

# **DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO DO ENSAIO DE POLIMENTO PARA ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS**

## **METHODOLOGICAL DEVELOPMENT OF SILICATICS DIMENSION STONE POLISHING TEST**

Thiago Motta Bolonini

Bolsista Capacitação Institucional, Tecnólogo em Rochas Ornamentais, *D. Sc.*

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Supervisor, Geólogo, *D. Sc.*

### **Resumo**

O presente artigo, além de mostrar as concepções construtivas do equipamento de Simulação do Polimento de Rochas Ornamentais "S-PRO", compara a qualidade das superfícies polidas com vazão de água reduzida (15 l/min) com a daquelas polidas pela indústria com a vazão usual (30 l/min) e discute os possíveis impactos dos resultados nas etapas atualmente utilizadas para o polimento de rochas ornamentais. Para tanto, foram utilizados um monzogranito isotrópico, o S-PRO (48 situações operacionais de polimento) e um medidor de brilho. O valor de brilho obtido na superfície polida pela indústria foi de 65 GU (*Gloss Unit*). Os melhores resultados de brilho e configurações obtidas nos testes, por granulometria de abrasivo (em *mesh*), foram: 120 (1,7 GU/2 ciclos/2 Bars); 220 (2,2 GU/2 ciclos/1 Bar); 400 (7,4 GU/ 4 ciclos/1 Bar); 600 (23,6 GU/3 ciclos/1 Bar); 800 (42,8 GU/4ciclos/1 Bar) e 1200 (59,4 GU/ 4 ciclos/2 Bars). Os resultados mostraram que o uso da água na indústria pode ser otimizado, pois no abrasivo 1200 *mesh* foi possível obter 91,4% do brilho obtido na indústria.

Palavras chave: rochas, ornamentais, simulador, teste, polimento.

### **Abstract**

This paper, as well as demonstrate the constructive conceptions of the equipment for Simulation of Ornamental Stones Polishing "S-PRO", compares the quality of surfaces polished with reduced water flow (15 l/min) with those polished by the industry with usual water flow (30 l/min) and discusses the possible impacts of the results on the steps currently used for stone polishing. Therefore, were used an isotropic monzogranite, the S-PRO (48 operational settings) and a gloss meter. The brightness value obtained on the surface polished by the industry was 65 GU (*Gloss Unit*). The best brightness results and configurations obtained in tests by abrasive particle size (in *mesh*) were 120 (1.7 GU/ 2 cycles/ 2 bars); 220 (2.2 GU/ 2 cycles/ 1 Bar); 400 (7.4 GU/ 4 cycles/ 1 Bar); 600 (23.6 GU/ 3 cycles/ 1 Bar); 800 (42.8 GU/ 4ciclos/ 1 Bar) and 1200 (59.4 GU/ 4 cycles/ 2 Bars). The results showed that the use of water in industry can be optimized because in the 1200 mesh abrasive were obtained 91,4% of the brightness obtained by the industry.

Key words: dimension, stones, simulator, testing, polishing.

## 1. Introdução

O processo de preparação das rochas ornamentais consiste, após a etapa de extração, no corte dos blocos em chapas (beneficiamento primário) e no polimento (beneficiamento secundário) tido como principal acabamento superficial das mesmas. No processo de polimento, são impostas às rochas solicitações cujas interações definem a qualidade da superfície acabada. A Tribologia é a ferramenta mais adequada para analisar tais interações, pois permite avaliar seus efeitos nas superfícies processadas. A Tribologia, conforme ZUM-GAHR (1987) é a Ciência e a tecnologia relacionadas às superfícies que interagem entre si em movimento relativo ao das práticas a elas relacionadas. O atrito e o desgaste resultantes das situações operacionais, das propriedades dos litotipos beneficiados, das propriedades das ferramentas abrasivas e as velocidades de corte às quais as rochas são submetidas no processo de polimento são, como sistema integrado (tribossistema), objetos de estudo desta área do conhecimento. Dentro deste contexto, algumas pesquisas podem ser citadas por aplicar a Tribologia ao estudo dos fenômenos físicos presentes no polimento de rochas ornamentais (COIMBRA FILHO, 2006); SILVEIRA, 2008; NEVES, 2010; CAMARGO, 2013; ALMEIDA, 2014).

O tribossistema possui três componentes principais: rochas (propriedades petrográficas); abrasivos (matrizes e elementos de corte) e; máquinas (variáveis operacionais). Conhecer e monitorar tais variáveis permite o aumento da eficiência do processo de desgaste, proporciona a elaboração de modelos de beneficiamento aplicáveis em rochas similares e propicia o aumento do nível de controle da qualidade das superfícies polidas. Entretanto, não há um ensaio que forneça informações que auxiliem a tornar o processo de polimento mais eficiente, evidenciando o caráter empírico do beneficiamento feito pelas empresas que adotam configurações operacionais e sequências granulométricas genéricas indicadas por seus fornecedores de abrasivos para o polimento dos diferentes litotipos, além de não conhecerem as influências efetivas do uso de insumos como água no processo em função da qualidade, avaliada através do brilho, das superfícies.

Para auxiliar na tarefa de definir situações operacionais mais eficientes à obtenção do brilho pretendido, o Centro de Tecnologia Mineral/CETEM, em seu Núcleo Regional do Espírito Santo/NR-ES, construiu o equipamento denominado Simulador de Polimento de Rochas Ornamentais "S-PRO" (BR 10 2015 031693 3) capaz de simular, em laboratório, configurações operacionais praticadas pela indústria e de testar situações operacionais que ainda não podem ser reproduzidas pelas politrizes existentes no mercado, demonstrando seu potencial para geração de conhecimento técnico capaz de impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor. O S-PRO permite analisar o uso da água (vazão e temperatura) e seu papel efetivo no processo e a eficiência de rebolos abrasivos (qualidade e rendimento). O presente trabalho agrupa uma série de dados obtidos na busca pela idealização de um método de ensaio para o polimento de rochas ornamentais com vistas a dar embasamento a uma proposta de normatização para este processo industrial.

## 2. Objetivos

Demonstrar as concepções construtivas do equipamento de Simulação do Polimento de Rochas Ornamentais “S-PRO”, apresentar os resultados obtidos a partir do seu uso e discutir os possíveis impactos gerados pela redução do uso da água nas etapas atualmente utilizadas para o polimento de rochas ornamentais.

## 3. Materiais e Métodos

O litotipo utilizado nos testes foi escolhido por se tratar de uma rocha isotrópica, ou seja, por apresentar baixa variabilidade relacionada às propriedades petrográficas permitindo assim avaliar de forma mais adequada os resultados obtidos a partir das variações dos parâmetros no equipamento ao longo do polimento. O litotipo é conhecido comercialmente como Cinza Castelo (CC), figura 1A, monzogranito equigranular de granulação fina, com cristais entre 1 mm e 4 mm, graus de microfissuramento e alteração incipientes à observação macroscópica, composto por feldspato potássico (30%), plagioclásio (26%), quartzo (25%) e biotita (19%).

Para obtenção dos valores de brilho foi utilizado o medidor de brilho *micro-TRI-gloss* (Figura 1B) com capacidade para a medição do brilho. As ferramentas abrasivas utilizadas no teste de polimento foram rebolos abrasivos magnesianos com matriz de cimento sorel (24, 36 e 60 *mesh*) e resinóides à base de resina epóxi (120, 220, 400, 600, 800 e 1200 *mesh*) como é possível visualizar na figura 1C.

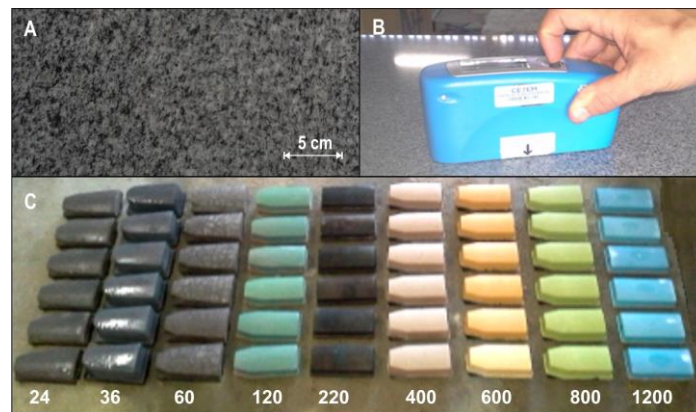


Figura 1. Materiais utilizados no ensaio. Legenda: A) rocha utilizada no ensaio; B) equipamento para medição do brilho e; C) sequência granulométrica (em *mesh*) de abrasivos.

O S-PRO é constituído por diversos componentes, a saber: painel de comandos (PLC - Figura 3A) onde são configurados os parâmetros mecânicos de movimentação do satélite e gravados os dados de monitoramento do ensaio para transferência para o computador; proteção do eixo árvore (Figura 3B); mesa de suporte para corpos de prova (Figura 3C); regulador da pressão do sistema pneumático responsável pela carga do satélite (Figura 3D); caixa de decantação para coleta de resíduos a serem analisados (Figura 3E); aquecedor que permite a utilização de água quente no processo de polimento (Figura 3F); medidor de vazão para a água que entra no processo (Figura 3G); proteção da bancada (Figura 3H); amortecedores de vibração (Figura 3I); bancada de suporte (Figura 3J); caixa de gelo para testes com água gelada (Figura 3K); pórtico do barramento (Figura 3L); cuba onde está acoplada a mesa de suporte para corpos de prova (Figura 3M); placa de proteção em

policarbonato (Figura 3N); caixa de proteção da mesa que permite a visualização dos testes com segurança (Figura 3O); conjunto do eixo árvore com o satélite para polimento na base (Figura 3P) e; inversores de frequência utilizados para variar as velocidades de rotação e de deslocamento horizontal do satélite (Figura 3Q).

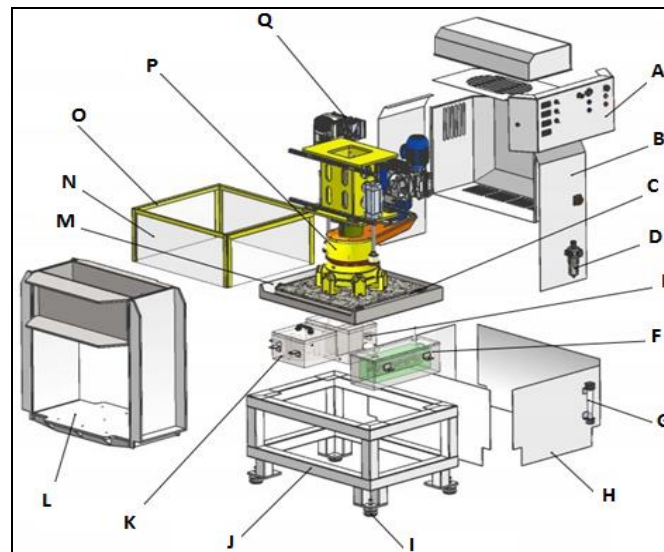


Figura 3. Principais componentes do S-PRO.

Os movimentos realizados pelo satélite em relação à placa a ser polida no S-PRO podem ser divididos em verticais (descida e subida do satélite) e horizontais (um percursos de ida e volta do satélite sobre uma chapa caracteriza um ciclo de polimento). O satélite realiza ainda o movimento de rotação em torno do próprio eixo e o movimento pendular das sapatas de acoplamento dos abrasivos.

As etapas definidas para obtenção dos resultados apresentados neste trabalho estão divididas em:

- Definição da quantidade e preparação dos corpos de prova: nos testes de polimento foram utilizados 9 corpos de prova representados por ladrilhos com dimensões de 60 cm x 60 cm x 2 cm, livres de fraturas que pudessem desagregar as placas durante os testes. Do total, 8 foram submetidos às etapas de desgaste no S-PRO e 1, com a superfície polida na indústria, foi utilizado para obtenção do valor de referência de brilho para fins comparativos.

- Configuração dos parâmetros no S-PRO: as configurações definidas para cada variável presente no ensaio, podem ser visualizadas na tabela 1 e remetem às mais utilizadas pela indústria para a realização do polimento dos diversos litotipos, com exceção da vazão da água. O uso da água é um tema cada vez mais em evidência devido à escassez do recurso e por esse motivo, ao invés de reproduzir situações praticadas pela indústria de beneficiamento, optou-se por realizar testes com vazão reduzida em 50% (15 l/min) em relação à utilizada pela indústria (30 l/min). Ressalta-se que o consumo de água de um satélite na indústria pode alcançar 15.444.000 l/mês (considerando uma politriz com 22 satélites em funcionamento durante 13 h/dia e 30 dias/mês), água suficiente para encher 6 piscinas olímpicas. Logo, reduzir a utilização deste recurso é fundamental, principalmente quando o país passa por uma crise hídrica, justificando a priorização da realização dos testes com a vazão reduzida.

As configurações presentes na tabela 1 foram repetidas no teste para cada granulometria de abrasivo. Tais configurações foram demarcadas nos corpos de prova sob a forma de um padrão alfanumérico de organização correspondente às variáveis: litotipo, número de ciclos e carga do satélite conforme o exemplo da figura 4.

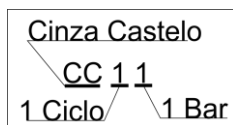


Figura 4. Padrão alfanumérico utilizado para identificação dos corpos de prova.

Tabela 1. Configurações operacionais definidas para o ensaio de polimento de rochas ornamentais.

Rotação (RPM)	Nº de ciclos (passadas)	Cargas (Bar)	Vazão da água (l/min)
500	1; 2; 3 e; 4	1 e 2	15

- Medição do brilho: o brilho foi medido para obtenção do valor de referência em uma amostra polida pela indústria e para monitoramento da qualidade das superfícies ao longo do procedimento de ensaio a partir da granulometria de abrasivo 120 *mesh*, totalizando 14.430 medições.

- Principais etapas adotadas para a realização dos testes: medição do brilho na amostra de referência polida pela indústria; limpeza das superfícies a serem submetidas ao desgaste no S-PRO; avaliação da integridade física dos corpos de prova; fixação do corpo de prova na bancada do S-PRO; configuração das variáveis operacionais no PLC e acionamento do equipamento; lavagem do corpo de prova após o desgaste; secagem e posterior limpeza da superfície, com água deionizada, para medição do brilho (a partir da granulometria 120 *mesh*) e; cálculo das médias e dos desvios-padrão do brilho por granulometria de abrasivo utilizada para avaliação. Esta sequência de atividades foi repetida até o abrasivo com granulometria 1200 *mesh*.

#### 4. Resultados e Discussão

Os melhores resultados de brilho e as melhores configurações, para cada granulometria de abrasivo (em *mesh*), obtidas nos testes foram: 120 (1,7 GU/2 ciclos/2 Bars); 220 (2,2 GU/2 ciclos/1 Bar); 400 (7,4 GU/ 4 ciclos/1 Bar); 600 (23,6 GU/3 ciclos/1 Bar); 800 (42,8 GU/4ciclos/1 Bar) e 1200 (59,4 GU/ 4 ciclos/2 Bars) conforme pode ser visualizado na figura 5A.

Os testes mostraram resultados que podem fundamentar modificações importantes no processo de polimento em termos tecnológicos, econômicos e ambientais. Com relação aos aspectos tecnológicos, os resultados de brilho mostram que o número de ciclos necessários à obtenção do brilho máximo (Figura 5A) varia para cada granulometria de abrasivo. Em uma politriz automática essa informação pode ser utilizada na definição da sequência granulométrica do polimento e na avaliação da necessidade da repetição de uma granulometria em função do número de ciclos requeridos para a obtenção do valor máximo de brilho. Para politrizes semiautomáticas basta verificar a quantidade de vezes que um mesmo abrasivo precisa ser passado sobre a chapa a ser polida e reproduzir na máquina. A afirmação anterior mostra que a politriz automática possui uma diferença importante, em relação à semiautomática, associada ao movimento do conjunto de satélites que é

controlado pelo movimento da trave, ou seja, sempre que for necessário definir uma sequência granulométrica na politriz automática isso terá que ser feito em função da granulometria de abrasivo que necessita de maior quantidade de ciclos para realizar seu trabalho e isso acarreta aumento desnecessário da quantidade de ciclos para as demais granulometrias, aumentando o custo relacionado ao consumo de abrasivos.

Ressalta-se também que o uso da água na indústria pode ser otimizado em função da proximidade entre o valor máximo de brilho obtido nos testes com vazão reduzida (1200 *mesh*; 59,4 GU) e o brilho medido na placa polida pela indústria (65 GU) desde que sejam equalizadas as configurações no equipamento utilizado para o polimento. Com a vazão da água reduzida foram obtidos no abrasivo 1200 *mesh*, 91,4% do brilho obtido na indústria (diferença de 5,6 unidades de brilho). Com relação aos aspectos ambientais isso significa dizer que é possível reduzir o uso da água no processo de polimento de rochas ornamentais sem prejuízo da qualidade da superfície e, no caso deste estudo, tal redução pode ser considerada com sendo de 50%.

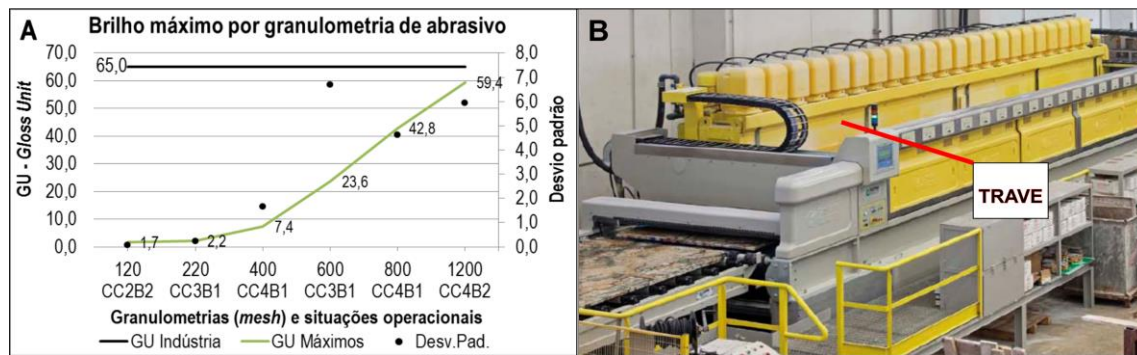


Figura 5. Resultados de brilho obtidos a partir situações operacionais mais eficientes (A) e politriz automática com 22 satélites (B).

Os valores de desvio-padrão relativos às médias de brilho (Figura 5A), para as granulometrias 120 *mesh* (0,1) e 220 *mesh* (0,3), indicam que modificar configurações operacionais pode não ser relevante (resultados similares) e permitem afirmar que é possível utilizar configurações menos severas para realizar o polimento com esses abrasivos devido aos baixos valores de brilho obtidos (120: 1,7 GU e 220: 2,2 GU) reduzindo os custos com insumos como energia elétrica e abrasivos. De modo geral, o desvio-padrão mostra uma tendência de aumento na importância que deve ser dada ao brilho máximo obtido a medida que a granulometria do abrasivo utilizado diminui, ou seja, quanto menor a granulometria, maior o desvio-padrão do brilho e maior a influência das situações operacionais no resultado de brilho obtido. Isso mostra que a influência das situações operacionais é inversamente proporcional à granulometria dos abrasivos. Na granulometria 400 *mesh* o desvio-padrão (1,4) demonstra maior relevância ao modificar as configurações operacionais em relação às granulometrias anteriores. Entretanto, com médias de brilho baixas (entre 3,2 – 7,4 GU).

Nas granulometrias 600 e 800 *mesh* os respectivos desvios-padrão (6,2 e 5,1) representam dispersões mais altas para o valor do brilho em relação às granulometrias de abrasivo anteriores com valores de brilho de 23,6 GU (600 *mesh*) e 42,8 GU (800 *mesh*). Na granulometria 600 *mesh*, o desvio-padrão apresenta um valor elevado

(6,2) em relação às duas granulometrias seguintes que pode estar associado às propriedades intrínsecas dos rebolos como a distribuição espacial e o grau de seleção dos seus grãos de diamante.

#### **4. Conclusão**

O estudo mostra resultados que aproximam o setor da obtenção de um método de ensaio capaz de elucidar os principais problemas inerentes à definição das melhores rotas de polimento para os diferentes materiais pétreos comercializados. Tais problemas, relacionados à definição das sequências granulométricas dos abrasivos e à otimização do uso da água em função da gama de configurações operacionais proporcionadas pelos equipamentos usados na indústria para realizar o polimento, podem ser minimizados a partir do enfoque tribológico dado à sua avaliação haja vista a eficiência no delineamento e monitoramento das condições de contorno do processo de polimento. O uso do S-PRO pode contribuir para o desenvolvimento da cadeia produtiva dando suporte, com o embasamento técnico à luz da Tribologia, a importantes inovações tecnológicas relacionadas ao maquinário (caracterização de novas configurações operacionais) e aos insumos (caracterização de novas ferramentas abrasivas e do uso da água) utilizados para polir e agregar valor às rochas brasileiras aumentando sua competitividade no cenário internacional. A viabilidade técnica da redução da vazão da água enseja estudos mais aprofundados que avaliem, inclusive, a influência da qualidade e da temperatura do insumo no polimento na busca por um processo cada vez mais sustentável.

#### **5. Agradecimentos**

Ao CNPq (Proc. N° 300012/2016-0), ao CETEM, aos pesquisadores, técnicos e demais colegas do NR-ES.

#### **6. Referências Bibliográficas**

ALMEIDA, P. F. **Estudo comparativo do polimento de “granitos” com diferentes tipos de abrasivos**. 2014. 120p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo (Brasil).

CAMARGO, J. L. **Influência das propriedades petrográficas na qualidade do polimento de rochas ornamentais**. 2013. 201p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, São Paulo (Brasil).

COIMBRA FILHO, C. G. **Relação entre processo de corte e qualidade de superfícies serradas de granitos ornamentais**. 2006. 168p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo (Brasil).

SILVEIRA, L. L. L. **Polimento de rochas ornamentais: um enfoque tribológico ao processo**. 1.ed. Editora Pós-Escrito, Curitiba-PR. 2008. 203p.

ZUM-GAHR, K. H. **Microstructure and wear of materials**. Institute of Materials Technology. University of Siegen. Federal Republic of Germany. 1987.