

# **Análise da metodologia de medição dos resultados do ensaio de polimento de rochas ornamentais**

## **Analysis of the measurement methodology of results of the dimension stone polishing tests**

**Victor Moza Ponciano**

Bolsista PCI, Eng. de Minas

**Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Supervisor, Geólogo, D. Sc.

### **Resumo**

A evolução tecnológica do setor de rochas ornamentais está condicionada ao desenvolvimento de pesquisas e estudos direcionados à sua cadeia produtiva. Dentre as linhas de pesquisa desenvolvidas, há a que trata da normatização de um ensaio de polimento de escala laboratorial utilizando o Simulador de Polimento de Rochas Ornamentais (S-PRO) para a modelagem do processo industrial. Tal ensaio necessita de uma metodologia específica para a coleta dos resultados de qualidade do produto após o polimento, medidos com base no brilho resultante na superfície da chapa. Portanto, nesse trabalho foi analisado estatisticamente três diferentes metodologias de amostragem dos dados de brilho no processo de polimento de rochas com o uso de simulador, com o objetivo de compara-las. A metodologia usada foi baseada na repetibilidade do ensaio em dez amostras de um mesmo tipo litológico. Analisou-se a diferença entre a variabilidade dos resultados e foi possível afirmar que há diferenças significativas entre a aplicação das diferentes metodologias.

**Palavras chave:** Rochas ornamentais, polimento, análise estatística, anova.

### **Abstract**

The technological evolution of the dimension stone sector is conditioned to the development of research and studies directed to its productive chain. Among the lines of research developed, there is the one that deals with the standardization of a laboratory scale polishing test using the Dimension Stone Polishing Simulator (S-PRO) for modeling the industrial process. Such test requires a specific methodology for the collection of the product quality results after polishing, measured by the gloss on the slab surface. Therefore, in this work, three different methodologies for sampling the gloss data in the process of polishing stones with the use of a simulator were statistically analyzed, in order to compare them. The methodology used was based on the repeatability of the test on ten samples of the same lithological type. The difference between the variability of the results was analyzed and it was possible to state that there are significant differences between the applications of the different methodologies.

**Key words:** Dimension stone, polishing, statistical analysis, anova.

## **1. Introdução**

O processo de polimento de rochas ornamentais é uma das principais fases da cadeia produtiva do setor devido, principalmente, à considerável agregação de valor ao produto nessa etapa. Atualmente o setor conta com equipamentos com capacidade tecnológica que permitem um controle mais robusto do processo, principalmente quanto à sensível seleção de variáveis operacionais que influenciam nos custos e nos resultados de qualidade dos produtos e quanto à capacidade de geração e compilação de um grande volume de informações. Porém, é importante que se faça uso de ferramentas estatísticas que possam auxiliar na análise dessas muitas informações obtidas, para que assim, as observações realizadas possam ter a confiabilidade necessária para eficientes inferências ao fenômeno investigado.

O Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral (NRES/CETEM-MCTI) desenvolve um importante papel na disseminação e aplicação do conhecimento científico no setor de rochas, agindo de encontro com práticas tecnológicas modernas que fortalecem a melhoria contínua dos processos.

O Simulador de Polimento de Rochas Ornamentais (S-PRO) locado no Centro de Tecnologia Mineral, Núcleo Regional do Espírito Santo, é um equipamento capaz de reproduzir em laboratório o polimento industrial de rochas, possibilitando a simulação de diversas rotinas operacionais para a determinação dos pontos ótimos do processo. A normatização da instrução de trabalho com esse equipamento é uma das formas de padronizar os testes de polimento para que sua reprodutibilidade seja garantida e seus resultados sejam refletidos no processo industrial.

Para análise de confiabilidade do procedimento, gráficos de controle são utilizados para monitorar o desempenho do processo de medição dos resultados. Estes gráficos determinam estatisticamente uma faixa denominada limites de controle, que é limitada por uma linha superior e uma linha inferior em torno da média. Dessa forma, é de suma importância uma eficiente coleta do parâmetro resposta nos ensaios, de modo que as informações obtidas com a análise estatística do processo tenham a confiabilidade necessária. Portanto, este trabalho analisa as diferentes metodologias propostas para amostragem dos resultados de brilho na superfície de um ladrilho polido no S-PRO através de um experimento de repetibilidade do processo.

## **2. Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo a comparação entre diferentes métodos de medição de brilho de chapas de rochas ornamentais polidas no Simulador de Polimento S-PRO. Tal análise será realizada através observação da variabilidade das medições do parâmetro resposta na análise da qualidade de chapas de rochas ornamentais polidas. Ou seja, determinar os limites de controle do processo e analisar a variância das medições do brilho resultante na chapa.

### 3. Materiais e Métodos

Para os ensaios de polimento, utilizou-se do Simulador de Polimento de Rochas Ornamentais (S-PRO), locado no Centro de Tecnologia Mineral Núcleo Regional do Espírito Santo (FIGURA X). Os testes foram realizados em um material denominado comercialmente de Cinza Corumbá que, de acordo com o Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo, é classificado petrograficamente como um Biotita Monzogranito (Sardou Filho et al., 2013).

Os ensaios de polimentos foram executados seguindo a repetibilidade dos mesmos parâmetros operacionais em 10 amostras do material escolhido (ladrilhos com dimensões de 60x60 cm). Ao final das etapas de polimento, as amostras secaram por 24 horas para que os dados do parâmetro resposta brilho fossem coletados. Para isso, utilizou-se um medidor de brilho Glossmeter micro-TRI-gloss da marca BYK-Gardner. A unidade de medição de brilho é o *Gloss Unit* (GU) e para esse trabalho foram usados os resultados da incidência em 20° com base nas diretrizes da norma ASTM D523-14 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018).

As três metodologias utilizadas se baseiam em investigações já realizadas em trabalhos anteriores que determinam a melhor região na superfície do ladrilho para coleta da intensidade do brilho, uma área retangular com dimensão de 10 x 6 cm (Ponciano e Silveira, 2019). O primeiro método usado, denominado de Aleatório, consistiu na coleta de 15 pontos de brilho sem nenhuma ordem. No segundo método, denominado de Organizado, a coleta ocorreu em uma ordem padrão, contando também com 15 pontos. O terceiro método, denominado de Sistemático, consistiu na coleta de 5 pontos de brilho em cada uma das 15 subdivisões com área de 4cm<sup>2</sup>. Os 5 pontos foram usados para determinação da média resultante em cada subdivisão, portanto, com um número n de medições igual aos demais métodos (n=15). O esquema detalhado das metodologias de medição pode ser observado na Figura 1. A medição dos resultados com medidor de brilho e o gabarito proposto podem ser vistos na Figura 2.

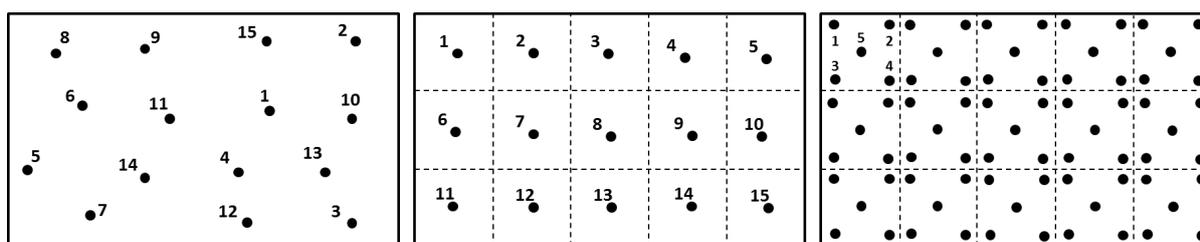


Figura 1. Esquema de coleta do brilho. Método Aleatório, Organizado e Sistemático.



Figura 2. Coleta do brilho com o medidor e área amostrada.

As análises estatísticas usadas foram: o teste Shapiro-Wilk para se conferir a normalidade da distribuição; os gráficos de controle com os limites  $3\sigma$  para a média dos grupos e para a variação dentro das amostras (OLIVEIRA, 2013); e a análise de variância (ANOVA) com a hipótese de haver diferença significativa entre os grupos (Montgomery, 2017).

#### 4. Resultados e Discussões

Primeiramente, o teste de normalidade conduzido mostrou que os dados seguem a distribuição normal e, portanto, são passíveis de serem analisados com as ferramentas propostas (Teste Shapiro-Wilk:  $p=0,44$ ). Na Tabela 1, está apresentado o resumo da média de cada amostra polida de cada grupo, com seus respectivos limites de controle definidos. Na Figura 3 é possível analisar os gráficos com os limites de controle para a média dos resultados e na Figura 4 para a variabilidade dentro das amostras.

Tabela 1. Resultados de brilho (em *Gloss Unit* - GU) de cada amostra das três metodologias.

Métodos	Amostras										Média	Desv. Pad.	Limite Superior	Limite Inferior
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Aleatório	75,8	80,2	82,3	82,1	82,9	78,7	77,7	78,3	80,2	83,0	80,1	2,5	82,5	77,7
Organizado	79,4	77,1	80,9	80,6	81,8	78,7	77,7	78,9	80,2	80,0	79,5	1,5	81,0	78,1
Sistemático	76,9	77,2	77,8	78,7	78,3	74,5	73,3	74,7	75,7	79,6	76,7	2,1	78,7	74,7

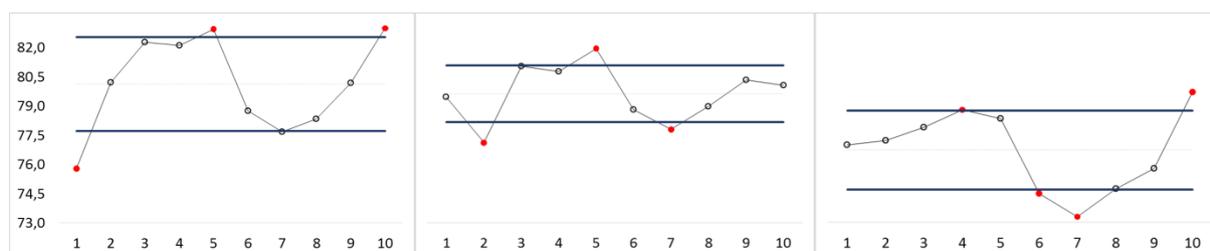


Figura 3. Gráficos de controle para a média dos resultados de brilho.

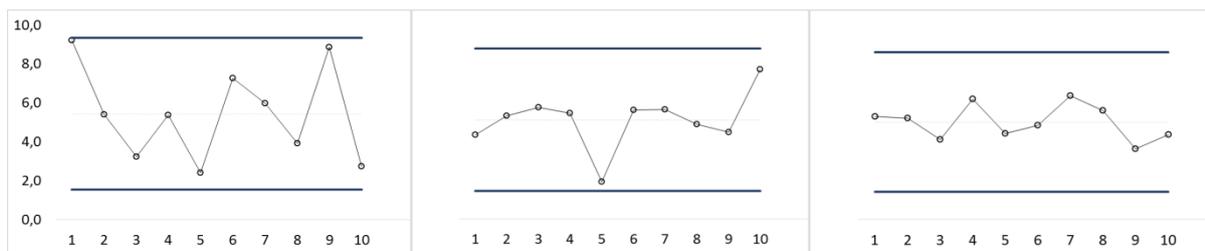


Figura 4. Gráficos de controle para a variabilidade dos resultados dentro de cada amostra.

Pode-se notar, a partir da análise da Figura 4, que o método Aleatório resulta em uma maior dispersão das medidas. A diferença entre os resultados pode ser também observada através de um gráfico de distribuição normal, Figura 5. Graticamente as diferenças podem ser observadas, porém, é necessário analisar a variância dos dados através de um teste estatístico para se concluir se há diferença realmente significativa nas médias (Tabela 2).

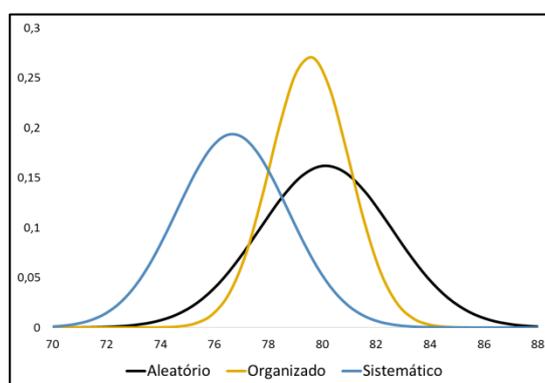


Figura 5. Distribuição normal dos resultados de cada método.

Tabela 2. Análise de variância.

Efeito	Soma dos Quadrados	g.l.	Quadrado Médio	teste F	p
Interseção	186193,2739	1	186193,274	44809,847	0,000
Método	68,51303747	2	34,257	8,244	0,002
Erro	112,1900379	27	4,155		

O valor p menor que 0,05 é a evidência necessária para se rejeitar a hipótese nula de que não há diferenças significativas entre os valores das médias. Mostrando que a padronização desse procedimento de coleta dos resultados de brilho é necessária para o estabelecimento um ensaio confiável e replicável.

## 5. Conclusão

Tendo em vista a adequação de práticas de pesquisa e desenvolvimento no setor de rochas ornamentais, a utilização dos recursos científicos é de importância ímpar para a evolução tecnológica da cadeia produtiva. O ensaio de polimento de rochas é uma etapa desse processo, servindo como base para a utilização de novos

recursos, desenvolvimento de novos insumos e rotinas operacionais nessa etapa do beneficiamento do produto. Este trabalho serve de base para a adoção de metodologias laboratoriais que tenham confiabilidade estatística e consigam representar os processos industriais com eficiência. Nele, pôde se observar que diferentes formas de execução da coleta dos resultados de qualidade têm resultados significativamente diferentes, mostrando assim a importância de se adotar métodos sistemáticos para coleta desse parâmetro. Outro resultado relevante foi a definição dos limites de controle do processo através da repetibilidade dos experimentos. Eles refletem a variabilidade média dos resultados de brilho para este tipo litológico, e pode ser um importante índice para o controle do processo industrial.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM e sua equipe técnica por toda colaboração e ao CNPq pela bolsa concedida (Processo 301592/2020-9).

## 7. Referências Bibliográficas

American Society for Testing and Materials. **ASTM D523-14**. Standard Test Method for Specular Gloss, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Controle estatístico da qualidade**. Tradução e revisão técnica Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

OLIVEIRA et al., **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. Disponível em: [http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs\\_leis/pd/pd11.pdf](http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs_leis/pd/pd11.pdf). São Paulo, SP. Acesso em: 11 set. 2020.

PONCIANO, V. M. & SILVEIRA, L.L.L. Estudos pré-normativos para o ensaio de polimento de rochas ornamentais. In: **VIII Jornada do Programa de Capacitação Institucional**, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, Resumo Expandido, 2019.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H de F. **Atlas de Rochas Ornamentais do Espírito Santo**. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo. Escala 1:400.000. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, CPRM: Brasília-DF. 2013.