

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA CINEMÁTICA DO PROCESSO DE POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS COM AUXÍLIO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE CINEMATICS OF POLISHING PROCESS OF THE ORNAMENTAL ROCK WITH COMPUTATIONAL TOOL ASSISTANCE

Rodrigo Lopes Arcanjo

Aluno de Graduação da Engenharia Mecânica do 9º período, IFES
Período PIBIC/CETEM: fevereiro a julho de 2018,
rlopesarcanjo@gmail.com

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Orientador, Geólogo, D.Sc.
leolysil@cetem.gov.br

RESUMO

A realização do processo industrial de polimento de rochas ornamentais se baseia no conhecimento empírico, visto que os parâmetros operacionais das máquinas politrizes variam mediante a experiência do operador em lidar com os vários tipos de material rochoso. Contudo, existe um certo limite para tais parâmetros a serem adotados, uma vez que, dependendo dos valores inseridos, tem-se uma perda de qualidade da superfície polida, um maior consumo de água, energia, abrasivo e menor eficiência do processo como um todo. Assim, neste presente estudo foi analisado por meio de compilações no *software Matlabas* equações que regem a cinemática atuante, a fim de entender a influência de tais variações nos parâmetros operacionais e como as mesmas interferem no resultado final. Os resultados ora apresentados mostram a grande contribuição que este tipo de estudo pode dar a melhoria da qualidade do processamento industrial de rochas ornamentais e se configura como o primeiro passo para o real dimensionamento das variáveis da máquina nesse sistema de desgaste.

Palavras chave: polimento, cinemática, modelagem.

ABSTRACT

The accomplishment of the industrial polishing process of dimension stones is based on empirical knowledge, since the operational parameters of polishing machines vary with the experience of the operator in dealing with the various lithotypes. However, there is a boundary to apply such parameters once depending on the entered values in the machines, it has been a loss of quality of the polished surface, increase of water consumption, energy, abrasive and decrease of the efficiency of the hole process. Thus, this present study was carried out through compilations of Matlab software the equations that controls the active cinematic, in order to understand the impacts of such variations at the operational parameters and how those influence the final outcome. The results presented here show the great contribution that this type of study can give to the improvement of the quality of the industrial processing of dimension stones and it is configured the first step for the real dimensioning of the variables of the machine in this wear system.

Keywords: polishing, cinematic, simulation.

1. INTRODUÇÃO

A compreensão do processo industrial de polimento de rochas ornamentais, que compreende fases de desgaste abrasivo de uma superfície rochosa em que existe uma íntima relação entre as muitas variáveis envolvidas no que tange a máquina, tipo litológico e abrasivo, ainda não é completa. O enfoque adotado pelo CETEM, que aborda tais etapas de processamento de rochas ornamentais à luz da Tribologia, tem contribuído para o esclarecimento dos fenômenos existentes no sistema de desgaste (tribossistema) que melhor representa essa etapa industrial (SILVEIRA et. al, 2017). O caráter multidisciplinar desse estudo imprime desafios no que se refere a determinação do rol de conhecimentos necessários para um efetivo avanço na aplicação de tais conceitos na área de rochas ornamentais. Dentre os grupos de variáveis que influem nos resultados final do polimento, as referentes à máquina de polir (politriz) é fator fundamental e que exige conhecimentos na área de engenharia mecânica (SOUZA, 2007). Aspectos relacionados a cinemática, variáveis operacionais, entre outros, têm grande impacto na definição de um modelo que melhor represente esse sistema de desgaste.

2. OBJETIVOS

Analisar a influência dos parâmetros operacionais da máquina politriz com relação aos aspectos cinemáticos a fim de propor um modelo computacional que caracterize os principais fenômenos físicos existentes no processo de polimento de rochas ornamentais.

3. METODOLOGIA

Para realização do modelo computacional, foi utilizado o *software MatLab 2016a* que permitiu a modelagem do processo de polimento através dos parâmetros reais de entrada (velocidade de avanço, rotação do cabeçote, amplitude e frequência). A utilização de tal *software* proporcionou a criação de funções que possibilitaram a compilação de linhas de programações em resultados numéricos. Para a criação dessas funções, foram analisadas deduções de movimento relativo a partir de equações que descrevessem o comportamento das partículas abrasivas atuantes no processo de polimento. Assim, a cinemática de partículas segundo MERIAM & KRAIGE (2009) desenvolvem as relações que regem o deslocamento, a velocidade e a aceleração, tanto linear quanto angular, de pontos dentro do rebolo abrasivo enquanto esses se deslocam ao longo de trajetórias retas ou curvilíneas. Para este estudo, primeiramente foi analisado o conceito de movimento relativo onde considera-se a combinação de um sistema de referência móvel no ponto H com um sistema de referência fixo na origem (ponto O) que permitiu determinar o movimento absoluto em questão. O segundo passo foi determinar a trajetória de uma partícula abrasiva ao longo da superfície da chapa bem como sua área de varredura, o que culminou com determinação da velocidade efetiva, obtida a partir derivação da equação da trajetória. Posteriormente, a derivada temporal da velocidade efetiva permitiu a obtenção da aceleração da partícula abrasiva na componente tangencial, contudo, devido ao caráter circular do movimento do cabeçote da politriz fez-se necessário determinar a componente normal da aceleração para, enfim, obter a aceleração efetiva atuante. Como etapa final deste trabalho, foi encontrado o trabalho realizado pela politriz mediante a inserção dos dados de entrada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dado a posição de um ponto qualquer dentro do rebolo abrasivo (H) a cada incremento de tempo, pode-se obter um vetor que é descrita como a trajetória da partícula abrasiva conforme a Figura 1.

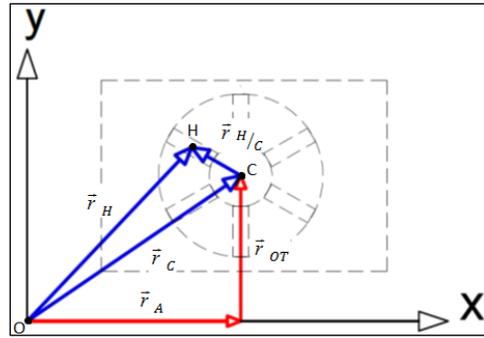


Figura 1: Componentes do vetor deslocamento.

Através dos vetores esboçados na Figura 1 que compõem o deslocamento da partícula abrasiva, pode-se escrever:

$$\vec{r}_H = \vec{r}_C + \vec{r}_{H/C} \quad (1)$$

Assim, são definidas as três componentes vetoriais presentes que são em relação ao movimento de avanço, a oscilação transversal e a rotação do cabeçote. Desta forma, a trajetória da partícula abrasiva em relação ao tempo é:

$$\vec{r}_H = [V_a t + \bar{r} \cos(\omega t)] i + [A/2 \sin(-2\pi f t) + \bar{r} \sin(\omega t)] j \quad (2)$$

Onde: V_a : velocidade de avanço do cabeçote (cm/s); A: amplitude de oscilação transversal(cm); f: frequência de oscilação transversal (Hz); \bar{r} : distância do ponto H em relação ao ponto C(cm); ω : velocidade angular (rad/s); t: tempo de análise(s). Para fins de simulação, foram adotados primeiramente os seguintes parâmetros, de acordo com o que é usualmente definido pela indústria (Tabela 1):

Tabela 1: Parâmetros convencionais no setor de polimentos.

Velocidade de Avanço da Esteira (cm/s)	1.7
Rotação do Cabeçote (rpm)	500
Amplitude de Oscilação Lateral (cm)	160
Frequência de Oscilação Lateral (ciclos/min)	40

Considerando as variáveis adotadas na tabela supracitada, obteve-se o gráfico da trajetória da partícula abrasiva (Figura 2).

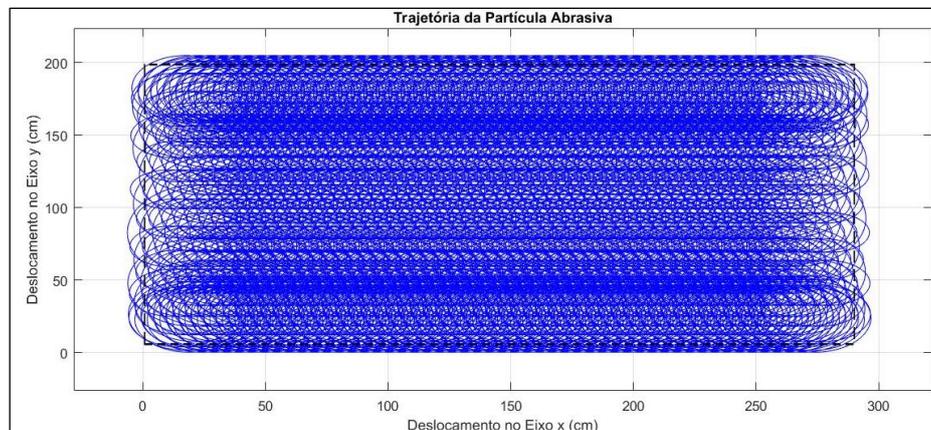


Figura 2: Trajetória da partícula abrasiva.

A velocidade da partícula abrasiva que percorre sobre a chapa, pode ser definida pela derivada temporal da função deslocamento encontrada na Equação 2, dessa forma:

$$\vec{v}_H = \dot{\vec{r}}_C = \dot{\vec{r}}_C + \dot{\vec{r}}_{H/C} \quad (3)$$

$$\vec{v}_H = [V_a - \bar{r} w \text{sen}(w t)] i + [\bar{r} w \text{cos}(w t) - \pi f A \text{cos}(-2\pi f t)] j$$

Assim, a velocidade escalar é a magnitude do vetor velocidade, denominada velocidade efetiva ou velocidade de riscamento, que pode ser obtida através do módulo da velocidade da partícula, a saber:

$$v_{\text{riscamento}} = \|\vec{v}_H\| \quad (4)$$

$$v_{\text{riscamento}} = \sqrt{[V_a - \bar{r} w \text{sen}(w t)]^2 + [\bar{r} w \text{cos}(w t) - \pi f A \text{cos}(-2\pi f t)]^2}$$

Sabendo que a velocidade da partícula é diretamente proporcional à distância do ponto H ao ponto O e a velocidade angular do cabeçote, tem-se:

$$\vec{v}_H = \bar{w} \bar{r}_{H/C} \quad (5)$$

Dessa forma, quanto maior for a distância da partícula abrasiva em relação ao centro do cabeçote, maior será a velocidade atuante da partícula sobre a superfície.

A aceleração da partícula pode ser obtida através da derivada temporal da velocidade efetiva obtida na Equação 4, contudo essa velocidade é um vetor tangente a trajetória, de modo que é conveniente transformar de coordenadas retangulares para coordenadas normal e tangencial devido ao caráter circular do movimento não retilíneo (BEER, 2012). Assim, aplicando a regra do produto, obteve-se:

$$\vec{a}_H = v_{\text{riscamento}} \frac{de_t}{dt} + \frac{dv_{\text{riscamento}}}{dt} e_t \quad (6)$$

Por dedução, obteve-se a aceleração da partícula em termos de coordenadas normal e tangencial.

$$\vec{a}_H = v_{\text{riscamento}} \dot{\theta} e_n + \dot{v}_{\text{riscamento}} e_t \quad (7)$$

Onde:

$$\dot{v}_{\text{riscamento}} = - \frac{(\bar{r} w \text{cos}(w t) - \pi f A \text{cos}(2\pi f t)) * 2(\bar{r} w^2 \text{sen}(w t) - 2A f^2 \pi^2 \text{sen}(2\pi f t)) + (2\bar{r} w^2 \text{cos}(w t)(V_a - \bar{r} w \text{sen}(w t)))}{2\sqrt{(\bar{r} w \text{cos}(w t) - \pi f A \text{cos}(2\pi f t))^2 + (V_a - \bar{r} w \text{sen}(w t))^2}}$$

Portanto, a aceleração efetiva da partícula abrasiva é:

$$\vec{a}_{\text{Efetiva}} = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} \quad (8)$$

$$\vec{a}_{\text{Efetiva}} = \sqrt{(v_{\text{riscamento}} \dot{\theta})^2 + (\dot{v}_{\text{riscamento}})^2}$$

Considerando a quantidade de cabeçotes envolvidos no processo de polimento em rochas ornamentais, é conveniente analisar o trabalho que as mesmas realizam. Devido ao movimento de amplitude da oscilação transversal, tem-se uma aceleração por unidade de massa proveniente da ação de forças(SOUZA, 2007). Desta forma, por meio das componentes da aceleração e deslocamento referente a oscilação transversal, encontra-se o trabalho realizado pela politriz:

$$U_{OT} = \frac{(A\pi f)^2}{2} \left[t + \frac{\text{sen}(-4\pi f t)}{4\pi f} \right] \quad (9)$$

Podemos inferir que quanto maior for a frequência de oscilação, maior é o trabalho realizado e consequentemente maior o consumo energético das politrizes. Além disso, tem-se maiores níveis de aceleração, o que significa maiores forças atuantes induzindo assim, tensões cíclicas nos elementos construtivos da politriz.

5. CONCLUSÕES

Na etapa de polimento, o que se espera alcançar é uma uniformidade de brilho ao longo de toda a chapa. Assim, não é vantajoso que o cabeçote atinja uma determinada área mais que outras. Desta forma, considerando a influência da rotação do cabeçote, pode-se concluir que quanto maior for tal velocidade mais trechos de sobreposição existirão. Além disso, maiores velocidades e acelerações estarão associadas, o que poderá comprometer a vida útil do equipamento. Analisando a influência da oscilação transversal, ele se configura como um fator primordial pois permite a obtenção do trabalho realizado e os impactos estimados no consumo energético. Ademais, mediante a variação de tal parâmetro tem-se uma perda significativa na área de varredura que o cabeçote consegue abranger sobre a placa. Como último parâmetro investigado, tem-se a velocidade de avanço que é importante por ditar a produtividade da empresa, de forma que, para maiores velocidades obtém-se maiores quantidades de chapas polidas por hora. Contudo, tal aspecto afeta diretamente a área de cobertura a ser polida. Uma vez que este estudo permitiu analisar o comportamento da politriz e principalmente a trajetória das partículas abrasiva, sugere-se para trabalhos futuros, definir o trabalho que a politriz realiza sobre uma chapa mediante a pressão de contato do cabeçote sobre a chapa e as propriedades intrínsecas do material rochoso a ser polido.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida (proc. 102558/2018-3), ao CETEM na figura do meu orientador Dr. Leonardo Lyrio da Silveira pelo companheirismo e os conhecimentos compartilhados inerentes ao setor de rochas ornamentais e ao meu professor do IFES Campus Cachoeiro de Itapemirim Dr. Markcilei Lima Dan por auxiliar nas pesquisas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEER, F.P. **Mecânica Vetorial para Engenheiros: Cinemática e Dinâmica**. 9ª edição, São Paulo: Makron Books, 2012, 779p.
- MERIAN, J.L.; KRAIGE, L.G. **Mecânica para Engenharia – Dinâmica**. 6ª edição, Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009. 536p.
- SILVERA, L.L.L.; ALMEIDA, P.F.; BOLONINI, T.M.; SOUZA, M.L.; MACHADO, L.L.; PEIXOTO, S. C. **Contribuição para o Avanço Tecnológico da Fase de Polimento de Rochas Ornamentais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2017.
- SOUZA, F. **Análise de Aspectos Cinemáticos do Processo Industrial de Polimento de Porcelanatos**. 2007. 128p. Tese (Doutorado Em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 128.p.2007.