



## CONCEPÇÃO E ANÁLISE CINEMÁTICA DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO

Cassiano Arruda, André Garcia Cunha Filho, Antônio Marcos Gonçalves de Lima

**RESUMO:** O propósito deste trabalho é a concepção e o desenvolvimento de um martetele eletromecânico destinado ao forjamento de facas artesanais. Ao longo do trabalho, foi utilizado o programa computacional Solidworks® para elaboração dos desenhos, bem como para simulação da cinemática envolvida. Para comparação, iniciou-se o desenvolvimento de um modelo matemático em ambiente Matlab® capaz de realizar somente análises cinemáticas e dinâmicas. Deste modelo, um estudo de otimização dos parâmetros do sistema será possível no intuito de minimizar custos energéticos e por consequência reduzir a potência exigida pelo motor que tocará o mecanismo. Este estudo possibilitará que pequenos produtores de facas artesanais da região produzam aços e facas de melhor qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Martetele, cutelaria, produção, máquina, eletromecânico e artesanal.

### DESIGNING AND DEVELOPMENT OF AN ELECTRO-MECHANICAL FORGING HAMMER INTENDED FOR PRODUCTION OF CRAFTED KNIVES

**ABSTRACT:** This work is intended to the design and conception of an electro-mechanical forging hammer used to facilitate the manufacturing process of handcrafted knives. Throughout the work, it has been used the software Solidworks® for drawing and simulation of the system's kinematics and dynamics. In the sequel, a mathematical model based on the general kinematics equations of motion is developed, and both are compared. From this last model, an optimization study is in course to minimize the energy demand of the system and thus, decrease the overall power needed. The design of the forging hammer and the kinematic study have already been developed, allowing its dynamic analysis and optimization. This study will allow producers of small and medium-sized crafted knives to use an efficient electro-mechanical forging hammer to improve the production process of knives.

**KEYWORD:** Forging, hammer, production, machine, electro-mechanical and craft.

### INTRODUÇÃO

Segundo um levantamento realizado, pelos autores, de modelos de marteletes existentes no mercado, o processo de forjamento de facas em todo o mundo se divide em dois cenários, que correspondem ao forjamento industrial e ao forjamento artesanal. Neste primeiro cenário, são utilizadas máquinas de grande porte compostas por um sistema hidráulico ou pneumático, de alta produtividade e custo, as quais suprem a necessidade de produção em larga escala nas indústrias. Já no segundo cenário, os maquinários comumente utilizados consistem em variações de um mesmo sistema eletromecânico, porém não previamente planejados do ponto de vista da concepção mecânica. Desta maneira, este trabalho tem como propósito a elaboração e o desenvolvimento de um martetele eletromecânico otimizado, baseado em ideias já existentes e propondo novas alternativas que melhorem não só o funcionamento, mas também sua concepção. No que se refere ao funcionamento, a proposta é realizar uma otimização do mecanismo inicial, este idealizado pelo cliente, reduzindo a demanda de potencias elevadas. As alterações no conceito do martetele servirão não somente para melhorar a estética do equipamento, como também ajudar diretamente em seu funcionamento.

Além disso, será possível em um estado mais avançado do trabalho a validação experimental da máquina, pois a mesma se encontra em processo de

construção.

Segundo Zhang (2012)<sup>1</sup>, a análise de movimento de um martetele, feita através do programa computacional Solidworks®, promove um controle de parâmetros que influenciam diretamente na velocidade, no deslocamento e na energia cinética do martetele, possibilitando uma economia de energia e melhoria de eficiência do mesmo.

---

<sup>1</sup> Yinjuan Zhang, College of electrical & information engineering, Xuchang University, 461000, China.

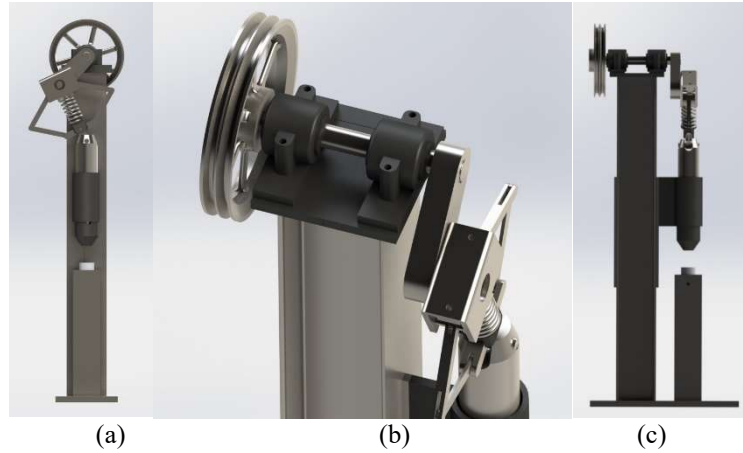
## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho teve início a partir da necessidade de cutedeiros locais em construir marteteles eletromecânicos de baixo custo. Baseando em uma idealização do cliente de um martetele eletromecânico foi feito um desenho em SolidWorks®, que permitiu um primeiro estudo cinemático do mecanismo, além de servir como fonte de parâmetros como: dimensões, massas, momentos de inércia de massa dos componentes e suas coordenadas dos centros de gravidade. Tendo definido todos estes parâmetros, foi utilizado o programa computacional Maple® para determinação das equações de velocidade e aceleração. Em seguida, estas equações foram transcritas para o Matlab® onde os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração foram determinados e comparados com aqueles obtidos por meio do SolidWorks®. Depois de validadas as equações cinemáticas, as forças envolvidas no movimento são estudadas a partir da dinâmica. Disso, os principais parâmetros são identificados, como por exemplo, o torque realizado pela manivela, a força de impacto do martelo e todas as energias envolvidas. Estas equações foram determinadas de maneira paramétrica para facilitar posteriormente a otimização do sistema por meio de uma ferramenta do programa computacional Matlab® chamada Particle Swarm.

O martetele em desenvolvimento apresentado está sendo construído fisicamente para ser validado experimentalmente. Para tanto, são utilizados aços comerciais e ferro fundido, de acordo com a função estrutural de cada peça. Estas peças do martetele são usinadas através do uso de torno mecânico, fresadora e aplainadora mecânica. Além de serem soldadas ou parafusadas de acordo com projeto.

Na fig. 1, a polia representada transmitirá o movimento para a manivela por meio de um eixo e esta é ligada a um mecanismo absorvedor de impacto formado por quatro barras e uma mola. Este mecanismo de absorção é necessário para suavizar o impacto do martelo sobre a peça a ser forjada. Este martelo deslizará dentro de uma guia para garantir movimento puramente vertical. Para simular os movimentos dos mecanismos, foi imposta uma rotação de 100 RPM em um primeiro momento, pois esta é uma condição de operação ideal e demandada pelo cliente. Na sequência, a partir dos resultados cinemáticos e dinâmicos desta condição, um motor será dimensionado. O desenho da máquina é apresentado na Fig. 1 (a), (b) e (c). A Fig.1, não contempla o motor elétrico que gerará toda a potência do mecanismo, mas é possível ver que o mesmo será fixado à viga em meia altura de tal maneira que uma correia seja conectada à polia.

**Figura 1 – Concepção do Martetele**



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir desta concepção, foram equacionados os deslocamentos, velocidade e aceleração do martelo, que realiza o movimento de translação. Para ser efetuado este equacionamento, o sistema Biela-Manivela-Martelo foi simplificado para um mecanismo de três barras, já que a largura e espessura de cada componente não interferem nas grandezas que serão analisadas. Desta maneira, faz-se necessário somente o comprimento das partes, como na associação da Fig. 2.

**Figura 2 – Simplificação do Mecanismo**



Fonte: Elaborado pelo autor

O ponto de interesse deste mecanismo é a ponta do martelo, representada pelo ponto D, pois é o ponto onde ocorrerá o impacto desejado.

$$D(t) = 0,1586 \cos(\omega t + \phi) + 0,2540 \sqrt{(1 - 0,3898871598 \sin^2(\omega t + \phi))} \quad (1)$$

$$v(t) = -0,1586 \sin(\omega t + \phi) \omega - \frac{0,09903133859 \sin(\omega t + \phi) \cos(\omega t + \phi) \omega}{\sqrt{1 - 0,3898871598 \sin^2(\omega t + \phi)}} \quad (2)$$

$$a(t) = -0,1586 \cos(\omega t + \phi) \omega^2 - \frac{0,03861104733 \sin^2(\omega t + \phi) \cos^2(\omega t + \phi) \omega^2}{(1 - 0,3898871598 \sin^2(\omega t + \phi))^{3/2}} - \frac{0,09903133859 \cos^2(\omega t + \phi) \omega^2}{\sqrt{1 - 0,03898871598 \sin^2(\omega t + \phi)}} + \frac{0,09903133859 \sin^2(\omega t + \phi) \omega^2}{\sqrt{1 - 0,03898871598 \sin^2(\omega t + \phi)}} \quad (3)$$

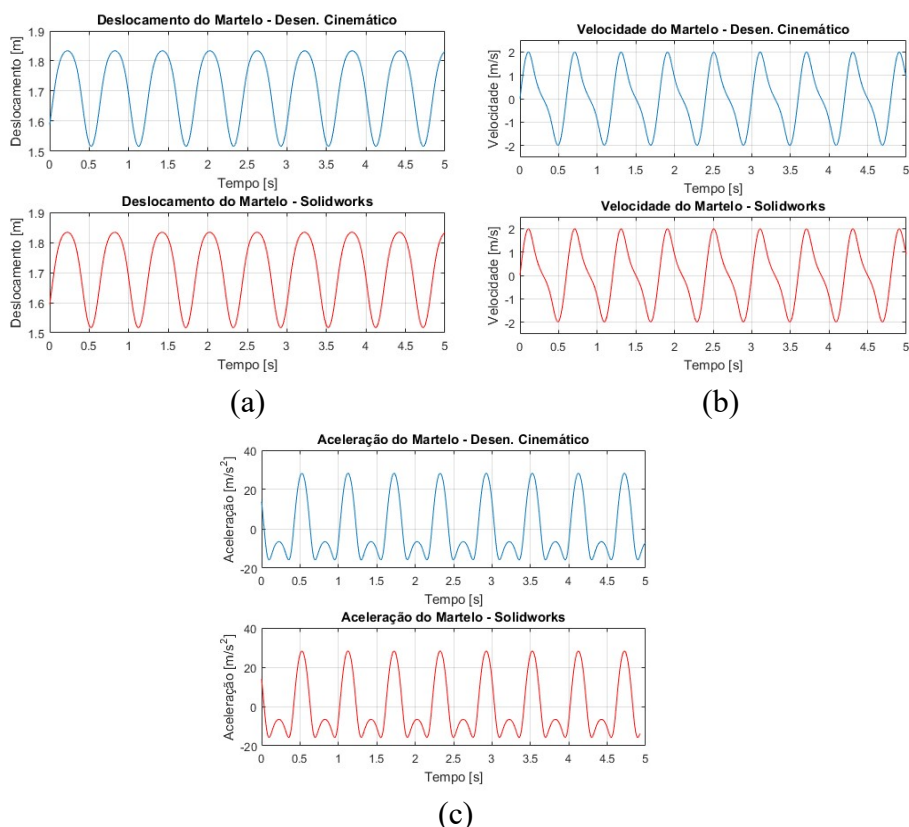
Nas Eqs.(1,2 e 3)  $\omega$  é a velocidade angular de  $ra$  e  $\phi$  o ângulo  $\theta$  inicial. Para validar as equações obtidas, as mesmas foram plotadas juntamente com os dados

fornecidos pela ferramenta SolidWorks Motion. Foram necessários alguns ajustes antes da comparação devido à diferença entre o sistema referencial inercial utilizada no equacionamento e o sistema referencial inercial utilizado pelo programa computacional Solidworks®, como a distância do mecanismo à origem e o sentido positivo dos eixos cartesianos.

## RESULTADOS PARCIAIS

As validações das equações do deslocamento, velocidade e aceleração, são apresentadas nas figuras 3(a), 3(b) e 3(c).

**Figura 3 – Validação da Cinemática do Mecanismo**



Fonte: Elaborado pelo autor

Após as validações, será realizado o estudo da dinâmica do movimento, utilizando as equações cinemáticas, obtendo as forças presentes no movimento e a energia envolvida de modo que estas grandezas possam ser parametrizadas e otimizadas através da ferramenta Particle Swarm do programa computacional Matlab®.

## CONCLUSÃO

O desenvolvimento aqui apresentado proporcionará uma contribuição para a evolução do martelete artesanal, permitindo que produtores de pequeno e médio porte de facas artesanais tenham mais eficiência no seu dia a dia de trabalho, contando com uma máquina de melhor eficiência e qualidade.

## REFERÊNCIAS

Y. J. Zhang “Study on Dynamic Simulation of Hydraulic Die Forging Hammer Based on VPT”, Advanced Materials Research, 2013.