

# Desenvolvimento de um Sistema de Carga Alternativo para Aparelhos de Musculação e Fisioterapia

**Warner Artur Siquieroli**, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, e-mail: [wasiquieroli@mecanica.ufu.br](mailto:wasiquieroli@mecanica.ufu.br), home page: [www.mecanica.ufu.br](http://www.mecanica.ufu.br)

**Cleudmar Amaral de Araújo**, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, e-mail: [cleudmari@mecanica.ufu.br](mailto:cleudmari@mecanica.ufu.br), home page: [www.mecanica.ufu.br](http://www.mecanica.ufu.br)

**Sílvio Soares dos Santos**, Faculdade de Educação Física, Universidade Federal de Uberlândia, e-mail: [silvio@ufu.br](mailto:silvio@ufu.br), home page: [www.faei.ufu.br](http://www.faei.ufu.br).

## Introdução

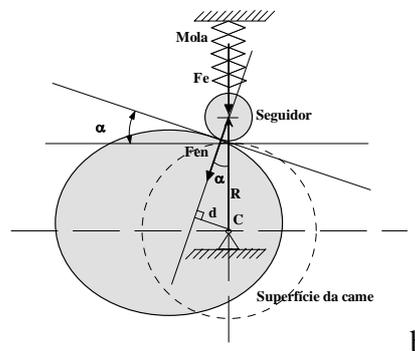
O princípio da *carga gradual* (Gallagher, J., & DeLorme, T. (1949), estabelece que a imposição de cargas aumentadas progressivamente sobre os músculos esqueléticos provoca uma adaptação que tem como resultado o aumento da força e a hipertrofia daqueles músculos e o princípio da *especificidade* (McCafferty & Horvath, 1977) que estabelece que não só a carga, mas também a maneira como ela é aplicada, provoca adaptações nos músculos esqueléticos que vão além do aumento da força e da hipertrofia, estendendo-se a outros aspectos como: tipo de contração muscular; padrão de movimento; região de movimento; recrutamento de fibras musculares; metabolismo; adaptação biomecânica; flexibilidade; velocidade do movimento e fadiga. Pode-se então presumir que qualquer aparato utilizado como coadjuvante no condicionamento dos músculos esqueléticos deve permitir que se variem as cargas da forma mais gradual possível e ainda que possa se ajustar da melhor forma ao padrão do movimento ou trabalho a que o músculo em questão será submetido, quer seja no esporte ou em qualquer outra atividade humana.

Por outro lado, a força exercida por um músculo esquelético contra uma resistência, sempre envolvendo o movimento de um membro do corpo em torno de uma articulação ou fulcro, não se mantém constante durante um movimento cíclico mesmo quando a resistência é mantida constante (Zatsiorsky, 2004), variando conforme a área de seção transversal do músculo, a densidade das fibras por unidade de área de seção transversal, a eficiência da alavanca mecânica através da articulação, a velocidade e aceleração do movimento, entre outras. Como a resistência ao movimento normalmente é gerada por massas nas

máquinas convencionais de musculação, as acelerações inerentes ao movimento cíclico fazem surgir forças de inércia de magnitude significativa que, somadas ao peso das massas, perturbam o ajuste da resistência. O objetivo deste trabalho é obter um sistema mecânico de produção de resistência ao trabalho dos músculos esqueléticos, sempre proporcional à sua capacidade de produzir força, independente do torque produzido na articulação e da velocidade do movimento.

## Princípio de Funcionamento

A figura mostra um desenho esquemático do mecanismo proposto.



## Esquema do mecanismo.

Como se pode observar, quanto maior for o ângulo  $\alpha$ , maior será a distância entre a direção da componente da força elástica normal e o centro de rotação da came, aumentando então o valor do torque resistente. E ainda, quanto maior for o valor de  $\alpha$ , maior será a variação do raio da came com relação ao seu próprio deslocamento angular e maior será o deslocamento da mola, o que também faz aumentar o torque resistente.

Por outro lado, a diminuição do valor de  $\alpha$  causa efeito contrário.

Desta forma, sendo  $T_m(\theta)$  o torque que o músculo esquelético motor pode fornecer em

cada posição angular  $\theta$  e  $Tr$  o torque resistente produzido pelo mecanismo, também em cada posição angular  $\theta$ , pode-se escrever:

$$Tm = Tr$$

Onde  $Tm$  é obtido através da realização de ensaios em um grupo de indivíduos, medindo-se o torque máximo produzido em determinada articulação pelo músculo motor, em cada posição angular e  $Tr$  pode ser calculado como segue, desconsiderados por enquanto os torques produzidos pela inércia do mecanismo:

$$Tr = Fe \cdot \cos \alpha \cdot R \cdot \sin \alpha$$

Onde  $Fe$  é força elástica acumulada pelo deslocamento da mola, dada por:

$$Fe = Fe(o) + K \Delta y$$

Sendo  $\Delta y$  igual a  $\Delta R$  (variação do raio da came para cada deslocamento angular  $\Delta \theta$  da came em torno do seu eixo) no caso particular deste modelo, onde a direção da força elástica passa pelo centro da came.

Através desta equação, poderia ser calculado um valor de  $\alpha$  para cada posição angular  $\theta$  da came e, por conseguinte, um valor do seu raio para cada mesma posição angular.

O ângulo  $\alpha$ , ou ângulo de pressão da came, é dado por (M. Kloomok e R. V. Muffley):

$$\alpha' = \text{tg}^{-1} \left( \frac{1}{R} \frac{dR}{D\theta} \right)$$

Se aplicado o valor do ângulo de pressão dado pela Eq. (6) na Eq. (2) o problema da síntese da came ficaria resolvido, partindo-se de determinados valores iniciais da força da mola e sua constante, bem como de um valor inicial do raio da came ( $R$ ) para a posição inicial da came em relação ao seguidor. Porém, como a deflexão da mola ( $\Delta R$  ou  $dR$ ) está intimamente ligada ao ângulo  $\alpha$ , enfrentar-se-ia um problema transcendental de difícil solução analítica.

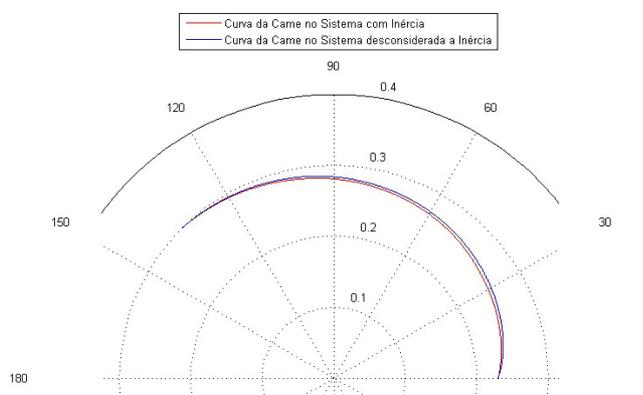
Utilizou-se, então, um algoritmo iterativo em MATLAB para a síntese do perfil da came, variando-se o valor de  $\alpha$  e partindo-se de determinados valores iniciais de constante elástica da mola, pré-carga da mola, raio inicial da came ( $R(0)$  em  $\theta=0$ ) e ângulo de

pressão  $\alpha$ , atualizando os valores do raio da came para cada posição angular  $\theta$  onde  $\alpha$  foi aproximado.

Para os testes deste trabalho, foi escolhida a articulação do cotovelo e uma curva característica média de torque produzido pelos músculos nesta articulação foi gerada por aproximação polinomial para ser utilizada pelo algoritmo na síntese do came.

Supondo  $T(i)$  como sendo a somatória dos torques produzidos pelo deslocamento do mecanismo came-seguidor-mola submetido às acelerações impostas pelo movimento do praticante/paciente tem-se:

$$Tr = Fe \cdot \cos \alpha \cdot R \cdot \sin \alpha + T(i)$$



### Perfis da came gerados pelo algoritmo.

### Conclusão

Encontra-se em construção, para aferição dos resultados teóricos deste trabalho, um mecanismo simples, seguro, barato, infinitesimalmente ajustável e capaz de gerar resistência controlada ao movimento em máquinas de musculação e fisioterapia, mesmo em velocidades de treinamento elevadas.

### Referências bibliográficas

- Gallagher, J., & DeLorme, T. (1949). The use of progressive resistance exercise in adolescence. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 31-A (4), 847-858.
- McCafferty WB, Horvath SM, Specificity of exercise and specificity of training: a subcellular review, 1977 May, *Research Quarterly*. 48: 358-371.
- Zatisorsky VM, *Biomecânica no Esporte: Performance do Desempenho e Prevenção de Lesão*, Editora Guanabara Kogan, 2004.
- M. Kloomok e R. V. Muffley, *Plate Cam Design – Pressure Angle Analysis*, *Prod. Eng.*, Maio 1955.