



III Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica  
III EnICT  
ISSN: 2526-6772  
IFSP – Câmpus Araraquara  
19 e 20 de Setembro de 2018



## Estudo sobre as forças atuantes em um sistema de freio para um ciclo ergômetro de ciclo ativo e passivo

GUSTAVO CARDERAN BAGARINI<sup>1</sup>, ANDRÉ DA MOTTA GONÇALVES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> graduando em engenharia mecânica, Bolsista PIBIFSP, IFSP Campus Araraquara, gustavobagarini@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr. André da Motta Gonçalves, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Araraquara, andre.motta@ifsp.edu.br.

**Área de conhecimento** (Tabela CNPq): Engenharia médica – 3.05.04.04-0

**RESUMO:** Este trabalho trata do estudo das forças atuantes em um sistema de freio para o modo passivo de um ciclo ergômetro, sendo este também conhecido como minibicicleta ergométrica. Este equipamento é amplamente utilizado na área fisioterapêutica para o fortalecimento das pernas ou braços. O objetivo é analisar diferentes sistemas de freios, levando em consideração suas características no controle de carga em exercícios para reabilitação de pacientes com deficiência ou pessoas idosas, tendo em vista suas necessidades particulares quando o equipamento é comparado a similares. A partir de revisões de literatura e testes com protótipos de sistemas de carga no ciclo ergômetro em questão, foi iniciado um estudo sobre sistemas de freios já utilizados em equipamento da área, além de outros (sistemas), onde a partir de cálculos de dimensionamento do freio foi possível concluir quais os melhores sistemas a serem utilizados, visando não apenas a força de aplicação, mas também a facilidade de construção e manutenção e sua taxa de desgaste.

**PALAVRAS-CHAVE:** ciclo ergômetro; freios mecânicos; reabilitação de idosos; sistema de carga.

## INTRODUÇÃO

Em 2025 estima-se que haverá um total de aproximadamente 1,2 bilhões de pessoas com mais de 60 anos sendo aproximadamente 15% da população mundial. Diante do aumento da população idosa vê-se a necessidade de promover melhora qualidade de vida permitindo que os idosos envelheçam com saúde (NASCIMENTO, B. G., 2010). Ciclos ergômetros são equipamentos compactos utilizados em sessões fisioterapêuticas na reabilitação de pessoas idosas ou com deficiências motoras nos membros inferiores ou superiores, existindo no mercado aparelhos de ciclo ativo ou passivo. Enquanto certos pacientes têm necessidade de receber o movimento do aparelho (sistemas passivos), outros precisam fazer o movimento para fortalecimento da musculatura (sistemas ativos). A falta de aparelhos com ciclo passivo e ativo (no mesmo equipamento) encarece o processo de reabilitação de pacientes pela necessidade do uso de diferentes equipamentos. Tendo em vista esta realidade verificou-se a necessidade de um estudo sobre as forças atuantes em um sistema de freio para controlar a carga aplicada pelo paciente durante a realização de exercícios, com um sistema dimensionado segundo necessidades destes pacientes, que não necessitam de elevada carga de resistência ao movimento. Espera-se que este estudo contribua no desenvolvimento de um sistema de freio para controlar a carga do ciclo ergômetro em modo ativo. O estudo é uma continuação de um projeto iniciado em 2017 como um trabalho de conclusão de curso.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

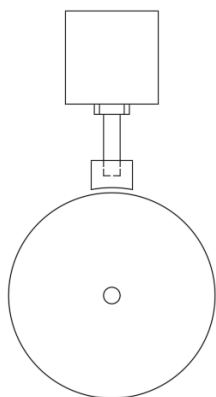
A principal força que atua num sistema de freio é a força de atrito, que transforma a energia cinética em outras formas de energia. A principal característica da força de atrito é a de se opor ao movimento, dependendo apenas da força normal e do coeficiente de atrito entre os materiais. Os coeficientes de atrito representam o contato destes materiais com aço.

Os sistemas de freio com disco de inércia de mais fácil aplicação ao ciclo ergômetro seriam os freios de sapata (figura 1) e o de cinta de carga (figura 2). No freio de sapata o material de atrito entra em contato com um disco de inércia que é acoplado ao eixo dos pedais, o que causa uma resistência ao movimento. O freio de cinta é composto por uma cinta de carga que abraça o disco, e sob ela fica o material de atrito, que no caso seria o feltro; ao a cinta ser tensionada, a normal sobre o disco de inércia aumentaria, levando a frenagem.

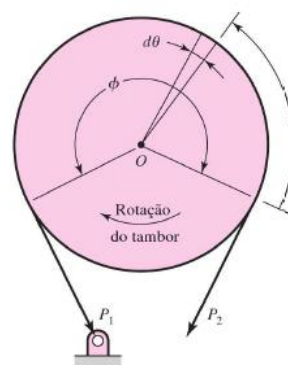
O desgaste do sistema tem uma relação direta com área de atuação do freio. Quanto maior a área de contato para frenagem, menor a pressão exercida, e assim, menor o desgaste. A taxa de desgaste é a razão entre a potência de frenagem e a área de contato do freio, servindo não para definir a vida útil do equipamento, mas sim como índice de aplicação deste, em função da potência e área de contato. A potência de frenagem é dada pelo produto do Torque de frenagem (T) e a Velocidade Angular (w), equação 1:

$$P_f = T \cdot w \quad (1)$$

As indicações para aplicação do sistema são: 0,04 hp/pol<sup>2</sup> - aplicações frequentes; 0,1 hp/pol<sup>2</sup> - serviço médio; 0,4 hp/pol<sup>2</sup> - freio usado raramente e com possibilidade de resfriamento (MOTT, 2015).



**FIGURA 1. Representação esquemática do freio de sapata**  
Fonte: Elaborada pelo autor.



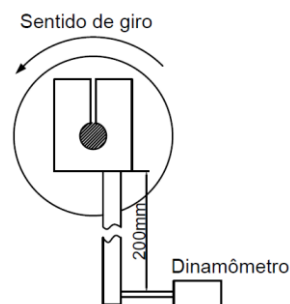
**FIGURA 2. Forças atuantes no freio de cinta.**  
Fonte: BUDYNAS, RICHARD. G., NISBETT, J. KEITH., 2011.

## METODOLOGIA

Foram realizadas pesquisas referentes a equipamentos similares ao ciclo ergômetro. Identificou-se que as principais aplicações utilizam freios de sapata ou freios de cinta de carga. Um dispositivo mecânico foi construído e acoplado ao eixo principal do ciclo ergômetro a fim de determinar a carga real aplicada ao freio durante a realização de exercícios no modo ativo (figura 3). Após a montagem do dispositivo o ciclo ergômetro foi levado a Clínica de Fisioterapia da Universidade de Araraquara (UNIARA) para realização dos testes de carga com auxílio de profissionais da área de fisioterapia. Um dinamômetro foi acoplado à extremidade da alavanca (Figura 4) para medir a força aplicada no sistema a uma velocidade de 12,5rad/s ou 120rpm (2 Hz), de acordo com as indicações da equipe de fisioterapeutas. A força (F) obtida foi utilizada para determinar o torque de frenagem foi calculado pelo produto da força aplicada em Newtons, e a distância (m).



**FIGURA 3. Dispositivo construído em aço ABNT 1020.**  
Fonte: Elaborada pelo autor.



**FIGURA 4. Teste com dinamômetro.**  
Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema de freio será acionado por um parafuso que receberá movimento de um motor de passo. De acordo com Nascimento (2003) a equação para determinação do torque de montagem é dada por (valores com base em um parafuso de rosca métrica fina MF 10 isento de cromo):

$$M_A = F_M [0,16p + \mu G \cdot 0,58d_2 + (DKM/2) \cdot \mu k] \quad (2)$$

Onde:

- MA - Torque de montagem (torque empregado pelo motor);
- FM - Força de montagem / acionamento;
- p - Passo da rosca = 0,75mm;
- $\mu_G$  - Coeficiente de atrito na rosca = 0,14
- d2 - Diâmetro primitivo = diâmetro nominal (10mm) x passo x constante (0,649) = 9,513mm;
- DKM - Diâmetro de atrito da cabeça do parafuso = 15mm;
- $\mu_K$  - Coeficiente de atrito da cabeça do parafuso = 0,14

De acordo com Nascimento (2003) o coeficiente de atrito na rosca ( $\mu_G$ ) e o coeficiente de atrito para a cabeça do parafuso ( $\mu_K$ ) é de 0,14, sendo este valor adotado para os cálculos deste estudo. Para os estudos foram considerados diferentes raios para o disco de inércia a fim de avaliar as variações da força normal necessária para atingir o torque de frenagem. Também foram adotados diferentes materiais de atrito para o sistema de sapata e cinta de carga, sendo eles: Celeron ( $\mu = 0,22$ ), Feltro ( $\mu = 0,22$ ) e Sapatas de freio de bicicleta ( $\mu = 0,29$ ) (HSU, 2012).

Os cálculos do freio de sapata foram obtidos pelo produto coeficiente de atrito ( $\mu$ ), Força normal ( $F_n$ ) e raio do disco (r), conforme equação 3.

$$T = \mu \cdot F_n \cdot r \quad (3)$$

No sistema de cinta, esta terá uma tração maior no lado contrário a rotação e menor no lado a favor, com o torque no disco sendo igual a diferença destas forças multiplicado pelo raio do disco (r). Os valores de P1 e P2 (tensões na cinta) foram obtidos conforme a equação (5), sendo ( $\varphi$ ) o ângulo de abrangência da cinta (2,094rad), (e) o número de Euler igual a 2,71828 (BUDYNAS, R et al, 2011).

$$T = (P_1 - P_2) \cdot r \quad (4)$$

$$P_1 = P_2 \cdot e^{\mu\varphi} \quad (5)$$

A taxa de desgaste foi calculada pela razão entre a potência de frenagem ( $P_f$ ) e a área de contato entre os discos e o material de contato, sendo esta análise importante para verificar a indicação de uso do equipamento. Com auxílio de *software* de modelagem 3D INVENTOR, as sapatas foram modeladas para diferentes raios de disco e obtidas as áreas de contato de frenagem. Para o freio de cinta a área de frenagem foi calculada pelo produto do setor circular de abrangência da cinta e a largura de uma cinta de carga (encontradas no mercado com 30mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A leitura do dinamômetro na haste do mancal de freio foi de 26N, o que resulta num torque de 5,2Nm. As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos Torques no parafuso de acionamento (MA) para diferentes raios de discos e materiais de atritos.

**TABELA 1. Dimensionamento do freio de sapata para obtenção de torque de 5,2Nm.**

Raio do disco (mm)	Material/Coeficiente de atrito	Força normal (N)	Torque no parafuso de acionamento (Nm)
100	Feltro/Celeron – 0,22	236,36	28,67
75	Feltro/Celeron – 0,22	315,15	38,23
50	Feltro/Celeron – 0,22	472,72	57,34
100	Sapata de bicicleta – 0,29	179,31	21,75
75	Sapata de bicicleta – 0,29	239,08	28,99
50	Sapata de bicicleta – 0,29	358,62	43,49

**TABELA 2. Dimensionamento do freio de cinta (Feltro/Celeron – 0,22)**

Raio do disco (mm)	P1 (N)	P2 (N)	Toque no parafuso de acionamento (Nm)
100	140,87	88,88	10,78
75	187,85	118,52	14,38
50	281,78	177,78	21,56

Comparando os resultados apresentados nas tabelas 1 e 2 verifica-se que sistema de cinta necessita de menores torques no parafuso de acionamento (MA) quando comparados com o sistema de sapata. Analisando separadamente o sistema de sapata, verifica-se que a sapata de bicicleta apresenta torques entre 21,75 e 43,49Nm, enquanto a sapata de Feltro ou Celeron apresenta torques entre 28,67 e 57,34Nm. Estes resultados indicam que o material de sapatas de bicicletas é o mais indicada como o material de atrito em sistemas de sapatas, pois proporcionam menores esforços do motor de acionamento. Ainda comparando as tabelas 1 e 2 verifica-se que sistema de sapatas necessita de discos de atritos praticamente duas vezes maiores para atingir torques de aperto similares ao sistema de cinta.

O freio de sapata e o freio de cinta apresentam a mesma potência de frenagem (0,0876hp). A área de contato do freio de sapata variou entre 0,699 e 1,099pol<sup>2</sup>, o que leva a uma taxa de desgaste de 0,079 a 0,125hp/pol<sup>2</sup>. O freio de cinta teve área de contato entre 4,869 e 9,738pol<sup>2</sup>, o que leva a uma taxa de desgaste de 0,008 a 0,017hp/pol<sup>2</sup>. De acordo com estes resultados verifica-se que o sistema de cinta apresenta uma taxa de desgaste para aplicações frequentes, enquanto o sistema de sapata apresenta uma taxa para aplicações em serviço médio. Esta diferença indica que o sistema de cinta apresenta um desgaste menor que o sistema de sapata. Deve-se levar em consideração que o ciclo ergômetro tem uma baixa frequência de uso e as sessões de fisioterapias são geralmente curtas, com duração entre 10 e 15 minutos de acordo com o estado de saúde do paciente. Os resultados apresentados, bem com as informações de uso do equipamento, indicam que tanto o sistema de cinta quanto o sistema de sapata podem atender o projeto em termos de desgaste.

## CONCLUSÕES

Os estudos do dimensionamento de um sistema de freio para um ciclo ergômetro para reabilitação de pessoas idosas e com deficiências motoras, levaram em conta as necessidades particulares destes pacientes, realizando-se de testes com auxílio de especialistas da área da saúde para o correto dimensionamento do sistema. Os resultados apresentados indicam que ambos os sistemas podem atender as especificações mínimas do equipamento. Analisando apenas o torque de acionamento, o sistema de cinta se se mostrou mais favorável, logo se faz necessária uma análise dos métodos construtivos, manutenção do sistema e custos de fabricação para uma conclusão adequada quanto à viabilidade de aplicação entre os dois sistemas.

O sistema de sapata é o de mais fácil construção, apesar de exigir uso de discos de diâmetros maiores, pode ser montado em um sistema de alavanca, o que diminuiria os esforços de acionamento, ou se estes forem mantidos o mesmo, poderia ser utilizado um disco menor, o tornando mais vantajoso que o sistema de cinta. Havendo grandes intervalos entre o acionamento do sistema, não é preocupante que sua taxa de desgaste tenha índice para serviço médio, não sendo este um ponto negativo ao ser comparado com a taxa de aplicações frequentes do sistema de cinta.

## REFERÊNCIAS

BUDYNAS, RICHARD. G., NISBETT, J. KEITH., Elementos de Máquinas de Shigley –Projeto de Engenharia Mecânica, 8 ed. Bookman, 2011.

HSU, CLAIRE C. **Give Me a Brake: A Study of How Various Brake Pad Patterns and Other Factors Affect the Braking Performance of a Bike.** 2012.

MOTT, ROBERT L. Controle de movimento: embreagens e freios. **Elementos de máquina em projetos mecânicos.** São Paulo: Pearson Education do Brasil. 2015. P. 798 – 826.

NASCIMENTO Jr., H. **Estudo da relação torque x força tensora e do coeficiente de atrito em parafusos revestidos isentos de corno hexavalente.** 2003. Dissertação (Mestrado em engenharia automotiva). Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte.