

## DESLIZAMENTO DE BLOCO RETANGULAR: ESTUDOS EXPERIMENTAL, TEÓRICO E COMPUTACIONAL<sup>1</sup>

**Daniel de Oliveira FERNANDES<sup>2</sup>**  
Graduando em Engenharia de Produção  
IFSP/Câmpus São Paulo

**Alberto Carlos BERTUOLA<sup>3</sup>**  
Doutor em Física/USP  
Docente de Engenharia de Produção  
IFSP/Câmpus São Paulo

### RESUMO

Este artigo apresenta o trabalho em que foi obtido um valor numérico do coeficiente de atrito cinético de um corpo em movimento sobre uma superfície horizontal rugosa. O experimento utilizado consistiu de um trilho de ar adaptado para que o corpo realizasse, numa primeira parte da trajetória, um movimento retilíneo uniforme. Em um determinado instante, o objeto adentrou uma região rugosa, na segunda parte do percurso, passando a descrever um movimento retilíneo uniformemente variado retardado até atingir o repouso. Justamente para essa fase do movimento, o coeficiente de atrito cinético é relacionado com a aceleração do móvel, por meio da segunda lei de Newton. A parte experimental desse projeto é a filmagem do movimento do corpo em todo o seu percurso, que depois passou a ser analisada utilizando o *software Tracker*, obtendo um valor experimental para a aceleração do corpo na parte final do movimento, então utilizado para obter o valor numérico do coeficiente de atrito cinético.

**Palavras-chave:** Atrito Cinético; Trilho de Ar; *Tracker*.

### Introdução

O estudo sobre a força de atrito é geralmente realizado por meio de um modelo teórico, que resulta em uma equação matemática e um aparato experimental para confirmar a lei quantitativa, estabelecendo em base científica todo o conhecimento

---

<sup>1</sup> Trabalho resultante de Iniciação Científica. Orientador Prof. Dr. Alberto Carlos Bertuola. Agradecimentos especiais ao CNPq, por financiar esse trabalho; ao Departamento de Mecânica do IFSP *campus* São Paulo, por fornecer espaço e equipamento para o estudo; e ao professor Carlos Antônio da Roca, pela revisão desse artigo.

<sup>2</sup> Endereço eletrônico: daniel.o.fernandes@hotmail.com

<sup>3</sup> Endereço eletrônico: acbertuola2@ifsp.edu.br

adquirido durante a pesquisa. Para estudar os efeitos do atrito ao movimento de um corpo é necessário obter o coeficiente de atrito cinético, que aparece na definição empírica da intensidade da força de atrito (HALLIDAY et al., 2012) na forma matemática.

$$F_{at} = \mu_c N , \quad (1)$$

em que  $\mu_c$  é o coeficiente de atrito cinético e  $N$  é a intensidade da força normal. O aparato experimental utilizado é conhecido como o trilho de ar, que foi modificado especialmente para essa experiência conforme é mostrado na Figura 1.

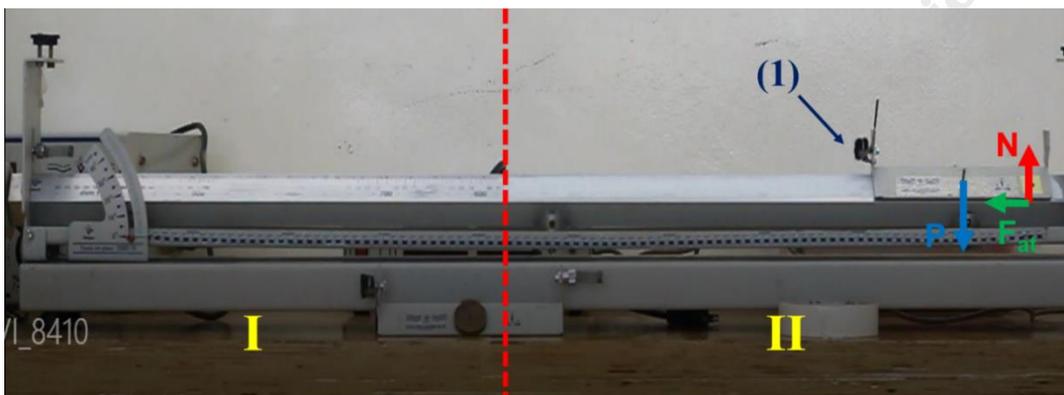


Figura 1: Trilho de Ar modificado  
Fonte: Autores

A região I mostrada na Figura 1 é aquela em que os orifícios permitem a passagem de jatos de ar gerados por um compressor, que mantêm o carrinho, indicado pela seta 1, flutuando sobre o trilho, enquanto se desloca em movimento retilíneo uniforme, horizontalmente de um ponto ao outro. A região II é aquela em que os jatos de ar são suprimidos por uma fita adesiva que cobre inteiramente os pontos de ar no percurso final do carro, obrigando o móvel a descrever um movimento retilíneo uniformemente variado retardado, devido ao contato do objeto com a fita adesiva na superfície do trilho. Na Figura 1 estão desenhadas todas as forças que atuam no carrinho, enquanto está se movendo na região II. A segunda lei de Newton é aplicada na vertical e é descrita pela igualdade

$$N = P , \quad (2)$$

em que  $P$  é o peso do carrinho, calculado por meio da igualdade  $P = mg$  ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ), e  $N$  é a intensidade da força normal. A segunda lei, aplicada agora na direção horizontal, é representada pela equação

$$-F_{at} = ma, \quad (3)$$

em que  $a$  é a aceleração do carrinho na região II. Combinando as equações (1), (2) e (3), após uma certa quantidade de manipulações algébricas, resulta a importante equação

$$\mu_c = \frac{a}{g}. \quad (4)$$

Conhecido o valor da aceleração do móvel, o coeficiente de atrito cinético fica imediatamente bem determinado pela equação (4).

O movimento do carrinho é filmado utilizando uma máquina fotográfica (*Canon* de 60 fps) apoiada em um tripé adequado. O vídeo é analisado utilizando-se o *software Tracker* (BEZERRA JÚNIOR et al., 2011), que tem um uso conveniente e com disponibilidade gratuita. O resultado final das análises é o valor experimental da aceleração do carrinho na região II.

Todo o processo teve como base para a pesquisa a aprendizagem direta do estudante pesquisador, na versão TEAL (*Technology-Enhanced-Active Learning*), classificada como uma variante da metodologia SCALE-UP (HENRIQUES et al., 2014).

### Coleta dos dados, análises e resultados

O programa *Tracker*, de uma forma geral, é utilizado para estudar o vídeo por meio de um sistema de referência cartesiano, com um eixo  $x$  na horizontal e o eixo  $y$  na vertical. É necessário conhecer o comprimento de um objeto presente no vídeo, que servirá para calibrar a distância entre dois pontos no *software*. Nessa experiência foi utilizado o tamanho do próprio carrinho de comprimento 0,18 m. Com essa padronização, o *software* identifica automaticamente a velocidade e a posição, em todo instante do movimento, de um ponto fixo adotado no carrinho. A Figura 2 mostra o *layout* gráfico das funções horárias.

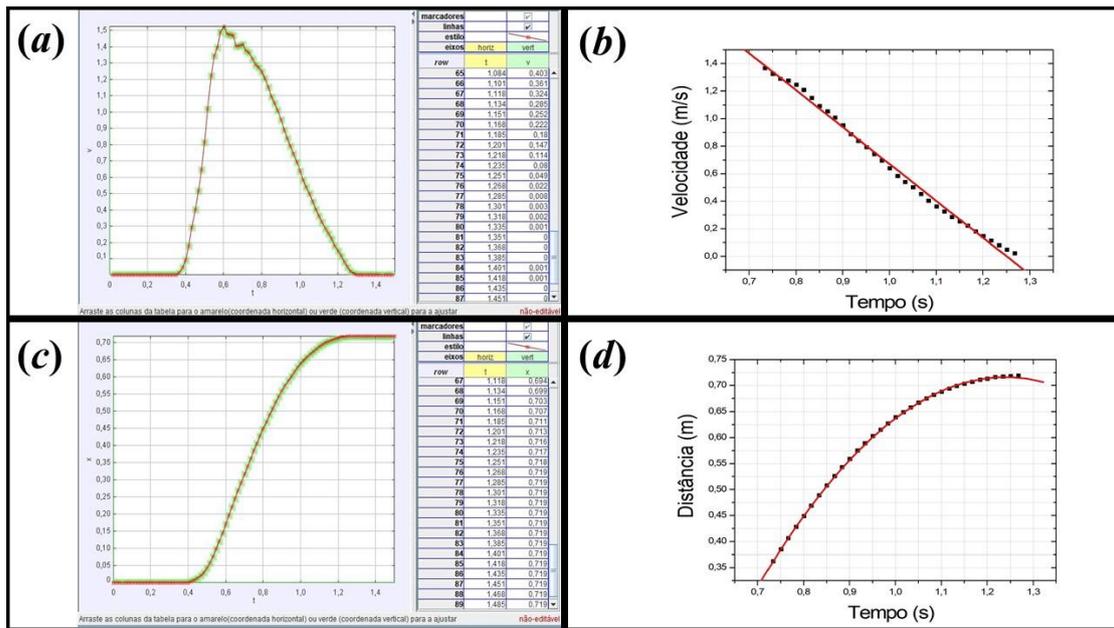


Figura 2: Resultados do estudo das imagens  
 Fonte: Autores

A Figura 2(a) mostra o comportamento da velocidade do ponto fixo no carrinho, em função do tempo obtido com o *Tracker*, cujo valor experimental da aceleração é obtido após um estudo matemático. Para isso o comportamento da velocidade na região II será representado por alguns pontos experimentais, que serão transportados para um novo programa denominado *Origin*, que permite uma reta de ajuste, conforme é mostrado na Figura 2(b). Nesse quadro, a expressão analítica da curva de ajuste é oferecida pelo *software*, podendo-se, então, coletar os valores numéricos da tangente, que nessas condições é a própria aceleração média. Substituindo esses valores na equação (4), obtém-se um valor numérico e experimental para o coeficiente de atrito cinético. Realizando o mesmo procedimento para 20 amostras de vídeo do movimento do carrinho, obtém-se 20 valores médios para o coeficiente de atrito cinético. O valor numérico experimental final é mostrado na Tabela 1.

Símbolo	Valor Experimental
$\mu_c$	$0,25 \pm 0,02$

Tabela 1: Coeficiente de atrito cinético  
 Fonte: Autores

O primeiro valor numérico na tabela 1 é o valor médio total de todos os 20 valores médios obtidos, enquanto o segundo valor numérico é a incerteza experimental, que é o desvio padrão da média. A Figura 2(c) é o gráfico da posição de um ponto fixo no carrinho em função do tempo de percurso. Nota-se um comportamento parabólico no segundo percurso (região II), cuja expressão analítica correspondente é uma função quadrática no tempo, indicando a existência do movimento retilíneo uniformemente variado e retardado. O ponto de máximo do gráfico é o instante em que o carrinho atinge o repouso. A Figura 2(d) mostra os pontos experimentais da posição nessa região II, transportados do *Tracker* para o *Origin*, em que a curva de ajuste é obtida utilizando a aceleração média encontrada no gráfico correspondente da velocidade.

O valor experimental dado na tabela 1 é aquele atribuído por meio desse experimento ao contato entre o metal (ferro) da constituição do carrinho e o material da fita crepe (papel) utilizado no trilho de ar.

## Conclusão

O valor experimental para o coeficiente de atrito cinético encontrado é de  $\mu_c = 0,25 \pm 0,02$ , a partir de uma técnica moderna. A principal parte é a experimental, que é a montagem do aparato e a filmagem do carrinho em movimento. As imagens, quando tratadas com o *Tracker*, resultam na obtenção do valor da aceleração constante do móvel, a partir do qual, por meio da segunda lei de Newton, atinge-se o resultado sobre o valor do coeficiente acima citado. Após consulta (JOHNSON, 2013), são encontrados valores entre 0,2 e 0,6, que mostram a coerência do resultado experimental obtido.

Cabe ressaltar ainda que a técnica desenvolvida no referido trabalho possui um valor didático intrínseco, pois, no projeto de iniciação científica, o estudante pesquisador está sob a ação da aprendizagem direta (HENRIQUES et al., 2014). Essa atividade teórica, experimental e computacional, pode ser também utilizada em disciplinas de cunho experimental, em que os estudantes são distribuídos em grupos e sujeitos a uma metodologia do tipo da aprendizagem colaborativa (TORRES et al., 2004). Para que essa transformação ocorra é necessário que o docente inclua essa atividade no seu planejamento de aula.

## Referências

BEZERRA JUNIOR, Arandi G. et al. **Manual para Usuários Iniciantes no software Tracker**. Departamento Acadêmico de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: file:///C:/Users/Danie/Desktop/Manualnivelintermediario.pdf. Acesso em: 20 mai. 2018.

HALLIDAY, David et al. **Fundamentos da Física**. Volume 1: Mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HENRIQUES, V. B. et al. Aprendizagem ativa. Revista Brasileira de Ensino de Física vol.36, n.3, 2014.

JOHNSON, David. What is the coeficiente of friction between steel and paper? Rede social voltada a profissionais da área de ciência e pesquisadores; resposta dada por um membro dessa rede em 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_the\\_coefficient\\_of\\_friction\\_between\\_steel\\_and\\_paper](https://www.researchgate.net/post/What_is_the_coefficient_of_friction_between_steel_and_paper). Acesso em: 15 jun. 2018.

TORRES, Patrícia L. et al. Grupo de consenso: uma proposta de aprendizagem colaborativa para o processo de ensino-aprendizagem. Revista Diálogo Educacional, Curitiba, v. 4, n.13, p.129-145, 2004.

### **SLIDING OF THE RECTANGULAR BLOCK: EXPERIMENTAL, THEORETICAL AND COMPUTACIONAL STUDIES**

#### **ABSTRACT**

*In this work, a numerical value of the coefficient of kinetic friction of a moving body on rough horizontal surface was obtained. The chosen experiment was an air rail, adapted for the body to perform, in a first part of the trajectory, a uniform rectilinear movement. At a certain moment, it enters a rough region, in the second part of the course, describing a uniformly varied rectilinear movement delayed until reaching the rest. At a certain moment it enters a rough region, in the second part of the course, describing a retarded uniformly varied rectilinear movement, until reaching the rest. Precisely for this phase of the movement, the coefficient of kinetic friction is related to the acceleration of the furniture, through Newton's second law. The experimental part of this project is the filming of the movement of the body throughout its course, which is then analyzed using Tracker software, obtaining an experimental value for the acceleration of the body in the final part of the movement. This value is used to obtain the numerical value of the coefficient of kinetic friction.*

**Keywords:** Kinetic Friction; Air Rail; Tracker.

**Envio: novembro/2018**

**Aceito para publicação: fevereiro/2019**