



# A caneca assustada

Guilherme Frederico Marranghelo<sup>1</sup>  
Alessandra Fontoura Maia<sup>1</sup>  
Joice Martins Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pampa,  
Campus Bagé, Bagé, RS, Brasil.

## RESUMO

Apresentaremos neste artigo uma proposta didática que utiliza recursos computacionais e o software livre Tracker para analisar o vídeo com o experimento da caneca assustada, do canal Manual do Mundo, no YouTube, que conta com 15 milhões de seguidores. A atividade se torna interessante para o aluno pelo fato de, inicialmente, o experimento causar espanto ao frear a queda da caneca usando um objeto muito mais leve. Adicionalmente, o professor ainda pode apresentar a possibilidade de investigação sobre o peso, as roldanas, a aceleração centrípeta e a conservação de quantidade de movimento angular, a fim de contestar ou confirmar as afirmações feitas pelo YouTuber. Por fim, a realização do experimento utilizando recursos tecnológicos simples e acessíveis permite explorar ideias ainda mais instigantes.

**Palavras-chave:** videoanálise; Tracker; YouTube; máquina de Atwood

## 1. Introdução

Apresentaremos aqui uma discussão sobre a física relacionada ao experimento denominado Caneca Assustada, apresentado no canal *Manual do Mundo*, no YouTube [1]. O experimento consiste em uma porca unida a uma caneca através de um barbante, passando por um lápis que funciona como roldana. Ao largar a caneca, a porca se enrola no lápis, o que impede a caneca de cair no chão, conforme mostra o esquema da Fig. 1. No vídeo, o apresentador menciona que o atrito do barbante com o lápis impede a caneca de cair, ressaltando, ainda, conceitos importantes sobre conservação de energia, conservação de mo-

mento angular e movimento pendular. O vídeo postado no canal em 2015 e conta com mais de 3,3 milhões de visualizações, mas será que a explicação dada nele está completa ou, até mesmo, correta? Neste artigo, vamos explicar uma questão importante que não foi abordada no vídeo e que está relacionada à aceleração centrípeta da porca.

Ao longo deste trabalho, vamos discutir sobre os conteúdos relacionados ao experimento que, em sala de aula, po-

de ser uma importante prática integradora do conhecimento e reunir discussões acerca do movimento pendular, da máquina de Atwood, da conservação de energia, da conservação de momento angular e da força de atrito. Para discutir os detalhes do problema, ele foi

**Os conteúdos relacionados ao experimento podem ser uma importante prática integradora do conhecimento e reunir discussões acerca do movimento pendular, da máquina de Atwood, da conservação de energia, do momento angular e da força de atrito**

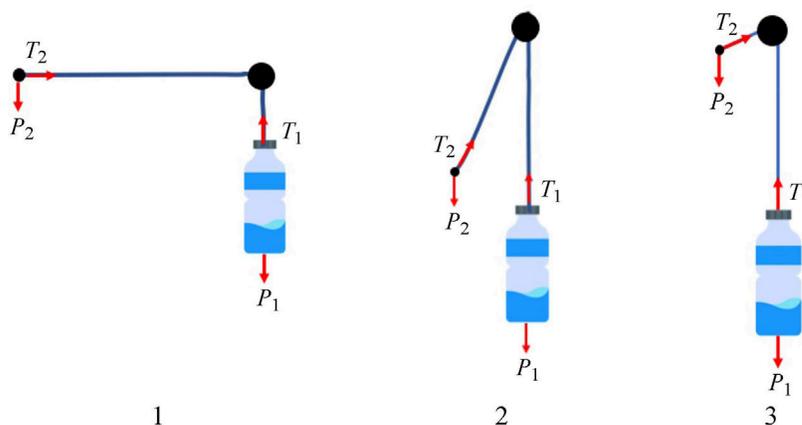


Figura 1 - Esquema mostrando três momentos distintos do experimento. 1) A porca está segura enquanto a garrafa está pendurada; 2) a porca cai e é puxada pela garrafa, girando ao redor de um eixo e 3) quando a porca completa uma volta ao redor do eixo e freia a garrafa.

\*Autor de correspondência. E-mail: guilherme.frederico@unipampa.edu.br.

analisado em partes e utilizamos a videoanálise, realizada com o software livre Tracker [2].

O uso de tecnologias em sala de aula já não é mais novidade, mas ainda é necessário que haja a construção de objetos de aprendizagem e, principalmente, sua ampla divulgação. Nosso grupo tem realizado diversas ações nesta direção, seja no uso de *smartphones* [3, 4] ou de videoanálise com o software Tracker [5, 6]. Esperamos, dessa forma, apoiar o uso de recursos tecnológicos nas aulas de física, aproveitando também a audiência trazida por *Youtubers* com trabalhos de divulgação científica.

## 2. A física da caneca (e da porca)!

Antes de iniciarmos a análise do experimento, é preciso considerar que um dos pilares da ciência é o controle das variáveis do problema. Desta forma, em vez de utilizarmos o vídeo disponibilizado no YouTube, fizemos nosso próprio experimento. Em nosso vídeo, reproduzimos o experimento utilizando uma chave de fenda, que funcionou como a roldana, uma porca com massa de 8 g e uma garrafa de água de 350 mL, conforme mostramos na Fig. 2. Ainda foi possível determinar a escala do vídeo com maior precisão, sendo esta uma questão fundamental para a



Figura 2 - Preparação do experimento em que a pessoa da esquerda segura a porca e a da direita segura a chave de fenda. O barbante une a porca à garrafa PET.

análise no software Tracker.

Começamos a discussão pela máquina de Atwood, onde temos duas massas presas por uma corda, que, por sua vez, passa por uma roldana, conforme mostra a Fig. 3.

Os livros didáticos costumam trazer duas versões para este problema: 1) com a roldana fixa, sem atrito e 2) com a roldana móvel. A primeira versão apresentada é também a primeira a ser trabalhada nos cursos de física. Em sua solução, construímos as seguintes equações:

$$\begin{aligned} P_1 - T_1 &= m_1 \cdot a, \\ T_2 - P_2 &= m_2 \cdot a. \end{aligned}$$

No caso da roldana fixa, sem atrito, acrescenta-se a equação  $T_1 = T_2$  e, para o caso de uma roldana móvel, acrescenta-se  $(T_2 - T_1) \cdot R = I\alpha$ , onde  $R$  é o raio da roldana,  $I$  é seu momento de inércia e  $\alpha$  é a aceleração angular da roldana. Como fica o caso da roldana fixa, com atrito? Para uma roldana fixa, sem atrito, temos  $T_2 = T_1$  e, ao inserirmos o atrito, segundo os autores Durian e cols. [7], este assunto pode ser chamado de Máquina de Atwood Quebrada e as tensões  $T_1$  e  $T_2$  estariam relacionadas através do ângulo entre os pontos de contato  $\phi$ , e o coeficiente de atrito  $\mu$ , segundo a ex-

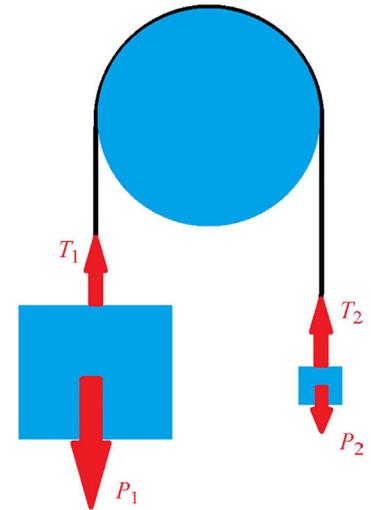


Figura 3 - Máquina de Atwood com duas massas que sofrem a ação da força gravitacional e da tensão nas cordas.

pressão

$$T_1 = T_2 e^{\mu\phi}.$$

Quando o coeficiente de atrito é igual a zero, ou seja, sem atrito, ele é expresso por  $e^0 = 1$ , o que nos devolve à equação da Máquina de Atwood simples. Desta forma, uma massa maior  $m_1$  poderia ser equilibrada por uma massa menor  $m_2$ , uma vez que as tensões  $T_1 = m_1 g$  e  $T_2 = m_2 g$  estariam relacionadas pela equação anterior. O coeficiente de atrito e o ângulo  $\phi$  ainda vão ajudar a determinar qual é o maior valor da massa  $m_2$  que pode ser suportada por  $m_1$  e isto vai acontecer quando  $\phi = \pi$ .

Assim, com o sistema em movimento, a presença de atrito na roldana resulta em uma aceleração

$$a = \frac{m_1 - m_2 e^{\mu\phi}}{m_1 + m_2 e^{\mu\phi}} g.$$

A caneca inicia seu movimento de queda com uma aceleração próxima à aceleração da gravidade; entretanto, esta aceleração é reduzida devido à presença da porca na outra extremidade. Inicialmente, a porca reduz o valor da aceleração de queda da caneca até o momento em que este valor se iguala a zero e, posteriormente, inverte o sinal, quando inicia a frenagem da caneca. Desta forma, utilizando os dados de nosso experimento, para que  $a = 0$  (valor imediatamente anterior ao do início da frenagem da caneca), seria necessário que o coeficiente de atrito entre a corda e a chave de fenda fosse igual a 1,22 a fim de que o coeficiente fosse o responsável pela frenagem da garrafa. O coeficiente de atrito cinético difícil-

mente atinge valores próximos a 1, como no caso do atrito entre borracha e concreto (0,80) e entre aço sobre aço (0,60). Para muitas superfícies de contato, estes valores são muito inferiores a 1, como no caso de madeira sobre madeira (0,20). Assim, este é um coeficiente de atrito extremamente elevado e não corresponde ao coeficiente de atrito entre a corda e a chave de fenda utilizada. Então surge a questão que nos trouxe a esta análise: quem é o responsável pela frenagem da caneca?

Seguimos então para uma discussão sobre o movimento pendular e a conservação da quantidade de movimento angular, também mencionados no vídeo analisado. O período de oscilação de um pêndulo está relacionado com o seu comprimento por meio da equação

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

na qual  $l$  é o comprimento do pêndulo. Desta forma, o pêndulo oscila com frequência maior quanto menor for o seu comprimento. Ainda precisamos considerar um importante princípio de conservação: o princípio de conservação da quantidade de movimento angular. Similar à conservação da quantidade de movimento linear, quando não há torque externo sobre o sistema, há uma quantidade conservada que chamamos de quantidade de movimento angular. Considerando um elemento da corda como uma partícula em movimento cir-

cular, a conservação da quantidade de movimento angular impõe que

$$m_2 l^2 \omega_i = m_2 r^2 \omega_f,$$

onde  $\omega_i$  e  $\omega_f$  representam a velocidade angular com a corda em seu tamanho máximo e em um instante em que ela foi reduzida. Para o pêndulo com comprimento constante, podemos determinar a sua velocidade a partir do princípio de conservação de energia, quando a energia potencial gravitacional do instante inicial do pêndulo é totalmente convertida em energia cinética. Ao passar pela sua base,

$$mgl = \frac{1}{2}mv^2,$$

a conservação de energia nos impõe a velocidade máxima da partícula como sendo  $v = \sqrt{2gl}$ , o que nos leva a uma expressão para a velocidade com o comprimento da corda reduzido igual a

$$v = \frac{l}{r}\sqrt{2gl},$$

sendo  $l$  o comprimento total da corda e  $r$  o comprimento reduzido. Mas qual seria a implicação de uma velocidade que aumenta conforme o comprimento do pêndulo diminui? A resposta apresentada no vídeo traz a possibilidade da porca poder alcançar uma altura final maior que a inicial e, assim, circular a chave de fenda. Contudo, este simples fato não explica a frenagem da garrafa. Encontramos a resposta ao considerarmos o surgimento de uma aceleração centrí-

peta

$$a_c = \frac{v^2}{r} = 2g\left(\frac{l}{r}\right)^3.$$

Assim, a aceleração centrípeta aumentaria 8 vezes quando a corda reduzisse seu tamanho pela metade, ou até 1000 vezes quando esta redução fosse feita para um décimo do tamanho original. Seria então esta aceleração a responsável por frear a caneca? Para responder a esta questão, utilizamos o software Tracker (Fig. 4), com o qual foi possível determinar o momento em que a garrafa começa a ser freada, além da velocidade e da aceleração da porca.

Ao realizar a videoanálise, é possível encontrar facilmente o momento em que a garrafa começa a ser freada (apenas 0,266 s após a liberação da porca) como sendo anterior ao instante em que a porca completa uma volta ao redor da chave de fenda, conforme mostra a Fig. 5. Neste instante, é necessário calcular a força centrípeta exercida pela porca. Uma vez que repetimos o experimento para diferentes valores de massa, ao enchermos a garrafa com diferentes quantidades de água, incluímos os dados obtidos com o Tracker em uma planilha eletrônica. Encontramos, em todos os casos, que a força centrípeta tinha valor superior ao da força de atrito entre a corda e a chave de fenda. Conforme mostra a Tabela 1, os dados para o produto da massa da porca pela aceleração centrípeta são maiores que o valor da força de atrito que, neste ins-

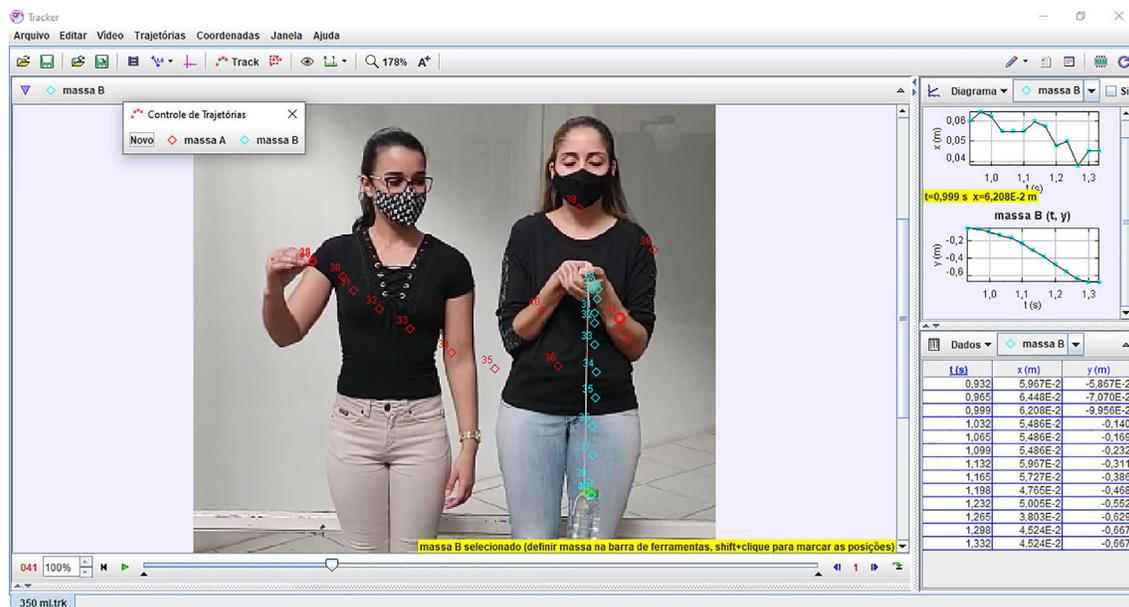


Figura 4 - Captura de tela do software Tracker com a análise do experimento. Os pontos vermelhos marcam a trajetória da porca enquanto os pontos azuis marcam a trajetória da garrafa.

Tabela 1: Dados de instante de tempo, velocidade tangencial, aceleração centrípeta e para o produto da massa da porca e da aceleração centrípeta para um lançamento padrão.

Instante de tempo (s)	Velocidade tangencial (m/s)	Aceleração centrípeta (m/s <sup>2</sup> )	$m \times a_c$ (N)
5,69	3,13	18,1	2,22
5,73	3,58	27,7	2,69
5,76	2,21	133,0	9,97

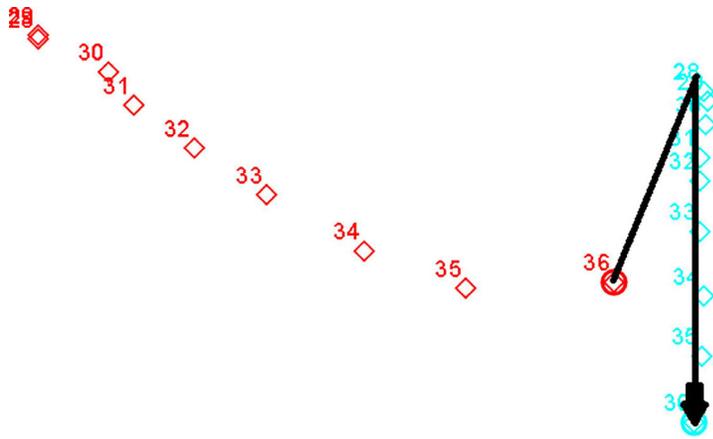


Figura 5 - Pontos coletados com o software Tracker. O instante marcado com o quadro 36 é aquele em que a garrafa já está sendo freada, visivelmente anterior à primeira volta na chave de fenda.

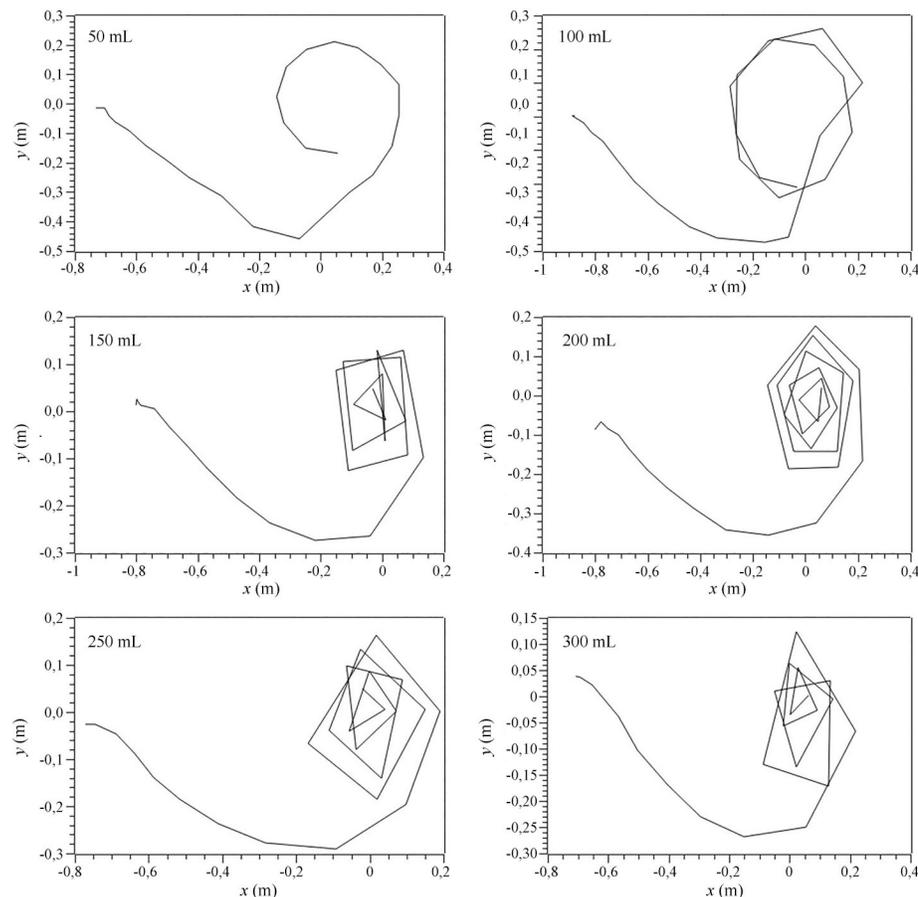


Figura 6 - Gráfico da posição da porca, marcando sua trajetória, quando a garrafa contém 50 mL, 100 mL, 150 mL, 200 mL, 250 mL e 300 mL de água.

tante, atinge o valor máximo de 1,5 N. Apresentamos, na tabela, alguns dados de um lançamento no momento em que a garrafa começa a ser freada, de forma a ilustrar esta relação.

Com isso, podemos concluir que, apesar da força de atrito ser importante para a frenagem da caneca, a principal responsável por sua frenagem é a força centrípeta, oriunda do movimento de rotação da porca ao redor da chave de fenda. Isto acontece porque, mesmo que a massa da porca seja muito inferior à massa da caneca, ao reduzir o comprimento do movimento pendular, a conservação da quantidade de movimento angular impõe uma alta velocidade angular à porca.

Por fim, ampliamos a discussão do vídeo e ainda variamos o conteúdo da garrafa, de forma a verificar o quanto sua massa influenciaria na dinâmica do experimento. Ao mesmo tempo em que encontramos maior facilidade de realização do experimento com sucesso (sem deixar cair a garrafa) com maior quantidade de água, ficou mais fácil de fazer as marcações dos pontos com o Tracker utilizando a garrafa mais vazia. Isto ocorre porque, ao analisarmos as equações da Máquina de Atwood, fica evidente que quanto menor a diferença das massas, menor é a aceleração da caneca, conforme apresentaremos nos gráficos a seguir, e quanto menor a aceleração, mais fácil é a marcação dos pontos e menor o número de voltas que a porca realiza. Quanto maior a diferença das massas, maior é a aceleração e o número de voltas realizadas pela porca (Fig. 6).

### 3. Considerações Finais

Embora tenhamos apresentado como objeto motivador a análise simplista realizada pelo apresentador do canal no YouTube, o objetivo deste trabalho foi apresentar uma proposta instigante para a aula de física, de forma que ela possa servir como uma atividade de reconciliação entre diversos conteúdos, como Queda Livre, Forças e Conservação de Momento Angular. Ainda, a atividade foi totalmente realizada, ao mesmo tempo, com material de baixo custo

(garrafa PET, porca e barbante) e com recursos tecnológicos (*smartphone* e Tracker). Também é importante ressaltar que o questionamento sobre a fala

do *YouTuber* pode, com certeza, ser um motivador dentro da sala de aula, atraindo a atenção dos alunos para um experimento divertido e educativo.

Recebido em: 26 de Maio de 2021  
Aceito em: 7 de Fevereiro de 2022

## Referências

- [1] [1] <https://www.youtube.com/watch?v=lweaQwd04YQ&t=69s>
- [2] [2] <https://tracker.physlets.org/>
- [3] [3] G.F. Marranghello, J.V. Falcão, T.B. Aveiro, W.M. Lucas, A Física na Escola **18**(1), 9 (2020).
- [4] [4] G.F. Marranghello, F.S. da Rocha, R.S. Franco, Revista Brasileira de Ensino de Física **38**, 1308 (2016).
- [5] [5] G.F. Marranghello, M.M. Lucchese, F.S. da Rocha, Ens. Ciên. Tec. em Rev. **10**, 105 (2020).
- [6] [6] A.C. Wrasse, L.P. Ethceverry, G.F. Marranghello, F.S. da Rocha, Revista Brasileira de Ensino de Física **36**, 1501 (2014).
- [7] [7] D.J. Durian, J. Kroll, E.J. Mele, <https://arxiv.org/pdf/2010.05240.pdf>, acesso em 26/05/2021.