

## EXTRAPOLAÇÃO DOS RESULTADOS DO DISPARO VERTICAL PARA CIMA DE UM PROJÉTIL DE *NERF* COM E SEM A ATUAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO AR: PRIMEIROS RESULTADOS

Lucas Nunes Rosa<sup>1</sup>, Marco Adriano Dias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *campus* Nilópolis,  
lucas.nuunes@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *campus* Nilópolis,  
marco.dias@ifrj.edu.br

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Videoanálise; Lançamento vertical para cima.

### Resumo expandido

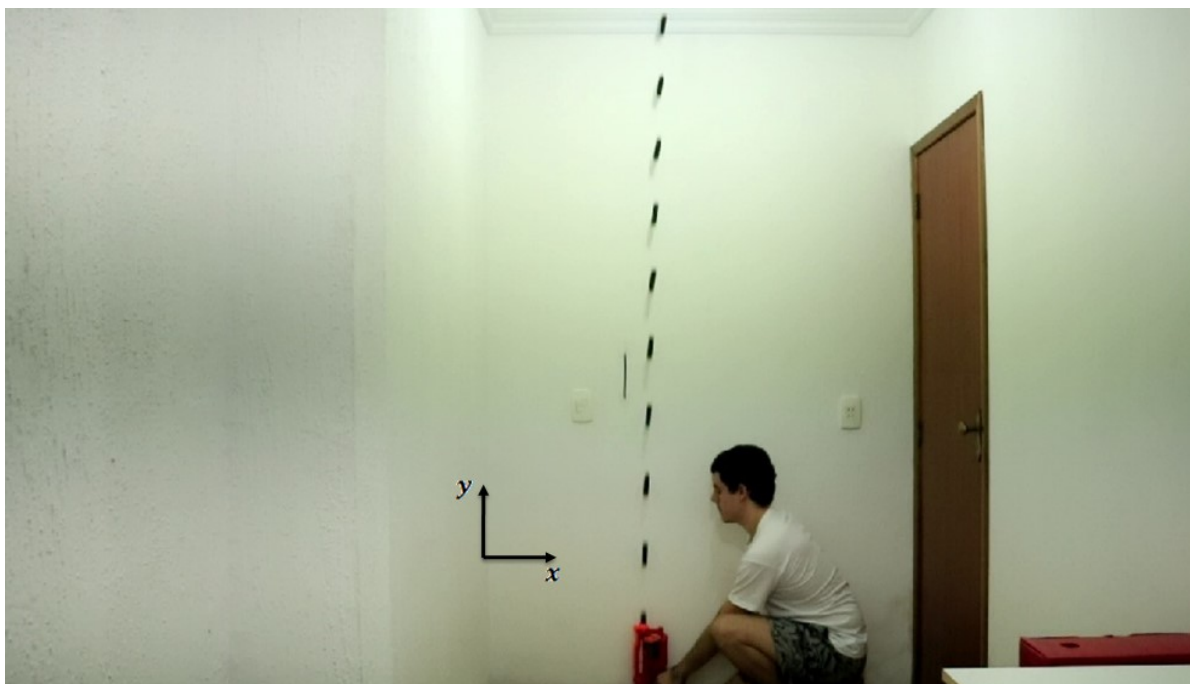
A fim de explorar a temática da física dos brinquedos, realizou-se uma videoanálise do disparo vertical para cima de um dardo à base de espuma, comumente conhecido como *Nerf*, com o objetivo de encontrar os valores para a altura máxima atingida pelo projétil em duas situações: com e sem a atuação da resistência do ar atmosférico do local. A filmagem foi feita utilizando a câmera *Canon*, modelo *EOS Rebel T6i*, com uma lente 18-55 mm. Para a realização do experimento, utilizou-se o lançador *Nerf N-Strike Elite Mega CycloneShock*, modelo A9353, da marca *Hasbro*, conforme Figura 1.



**Figura 1:** Foto do lançador *Nerf N-Strike Elite Mega – CycloneShock*, modelo A9353, com seus projéteis em um fundo branco. Destaca-se a importância de se criar contraste entre o fundo branco e o projétil a ser utilizado, fator imprescindível nesta experimentação.

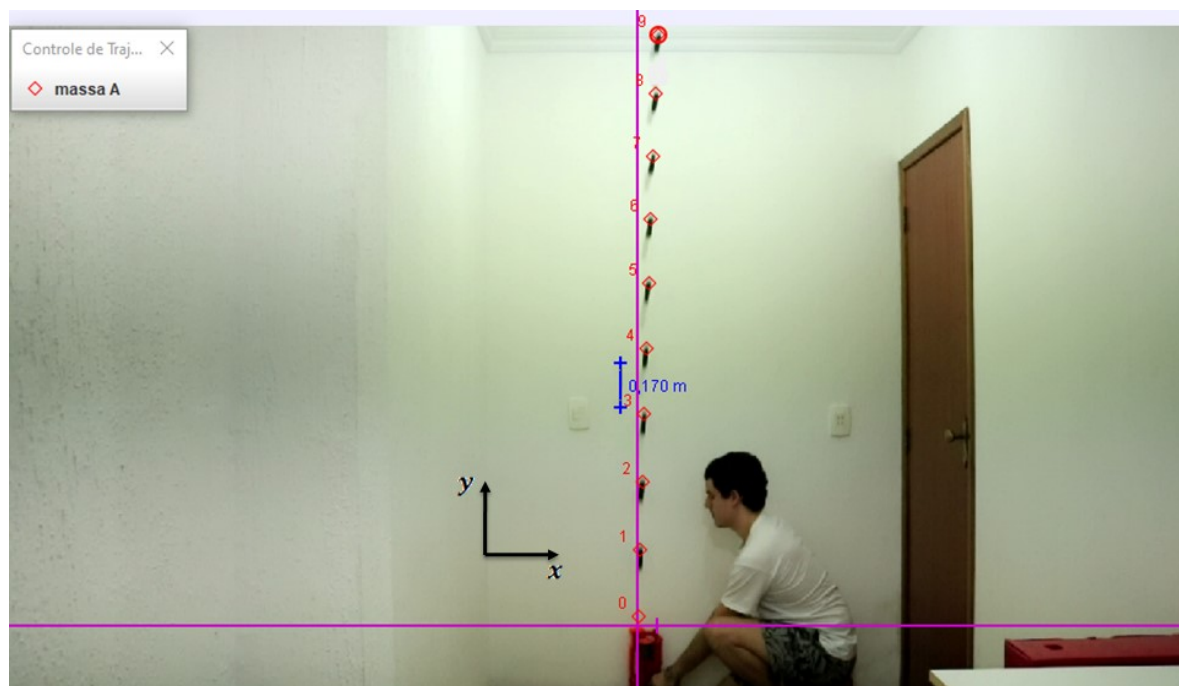
A câmera foi fixada em um tripé, a uma altura de 1,37 m do chão, a aproximadamente 4,20 m de distância da parede utilizada como plano de fundo para a realização da filmagem, cuja altura é de 2,56 m. Para destacar um comprimento

real de um objeto na própria imagem, escolheu-se por colar na parede branca de fundo uma fita preta, de comprimento 0,170 m, vide Figura 2.



**Figura 2:** Imagem estroboscópica do disparo vertical para cima do projétil, destacando: os referenciais das direções  $x$  e  $y$  adotados e uma fita preta de comprimento 0,170 m colada na parede branca de fundo, paralela à direção  $y$ .

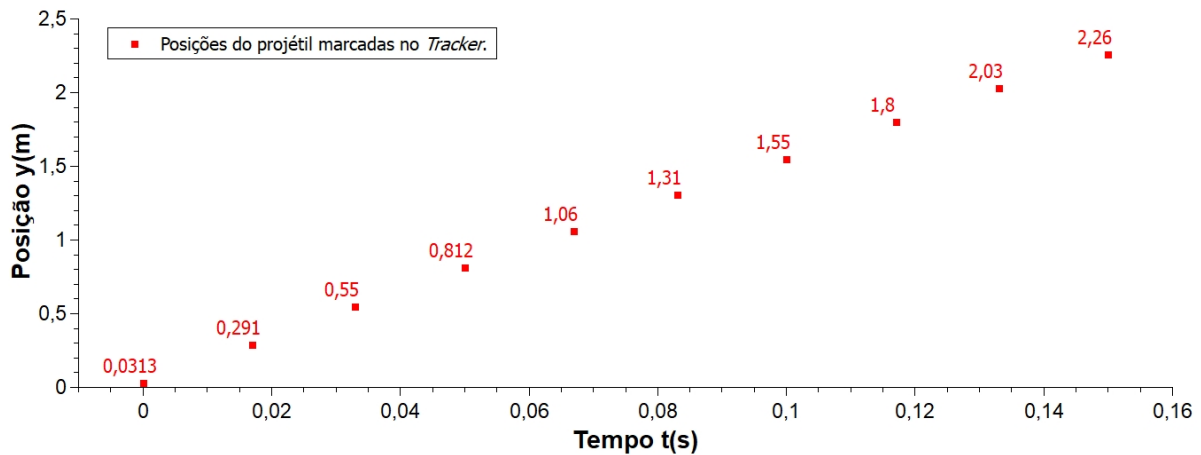
Utilizou-se o *software* gratuito *Tracker* para a realização da videoanálise e coleta dos dados<sup>1</sup>, segundo Figura 3.



<sup>1</sup> Optou-se por trabalhar somente com três algarismos significativos, sempre que possível. Além disso, não se considerou a propagação das incertezas.

**Figura 3:** Screenshot da videoanálise do disparo vertical para cima do projétil, destacando: na cor rosa, o eixo de coordenadas  $xy$ , posicionado de tal forma que sua origem coincidissem com a ponta do lançador *Nerf*; em vermelho, as marcações das posições do projétil; e, na cor azul, a fita preta colada na parede.

Através dos dados coletados construiu-se o gráfico *posição  $y(m)$  x tempo  $t(s)$* , a fim de estudar o comportamento da posição do projétil na direção vertical com o decorrer do tempo, conforme Gráfico 1.



**Gráfico 1:** Comportamento da posição do projétil na direção vertical  $y(m)$  com o decorrer do tempo  $t(s)$ . Os valores nos pontos de cor vermelha são os valores das respectivas posições do projétil marcadas na videoanálise, como apresentado na Figura 3.

A equação da posição do projétil na direção vertical, em função de qualquer instante de tempo, é descrita por uma equação quadrática (NUSSENZVEIG, 2013):

$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot (-a_R) \cdot t^2 + v_{y_0} \cdot t + y_0 \quad (1)$$

onde  $a_R$  é a aceleração resultante do projétil, e tem sinal negativo devido à adoção de referencial para cima;  $v_{y_0}$  é a velocidade com que o projétil parte da ponta do lançador *Nerf* na direção  $y$  e  $y_0$  é sua posição inicial nessa direção.

E Equação (1), graficamente, representa uma parábola, cuja concavidade aponta para baixo, permitindo concluir que a curva a ser construída no Gráfico 1 deve representar um pedaço dessa parábola. Por essa razão, os resultados coletados na videoanálise foram extrapolados, com o objetivo de verificar a possibilidade de um ajuste quadrático dessa função.

O valor do módulo da aceleração do campo gravitacional do local onde a filmagem foi realizada foi tido como constante (de JESUS, 2014), onde:

$$g = 9,78 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

No primeiro momento, a força de resistência do ar atmosférico do local foi desprezada, ou seja, considerou-se que somente a força peso atuou no projétil durante todo o seu movimento de subida. Portanto, ao realizar o ajuste, fixou-se o valor de  $a_R$  como constante, ou seja:

$$a_R = g = 9,78 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

O primeiro ajuste quadrático proporcionou os seguintes valores-parâmetros e coeficiente de ajuste quadrático<sup>2</sup>:

**Tabela 1:** Valores-parâmetros  $v_{y_0}$ ,  $y_0$  e do coeficiente de ajuste quadrático  $R^2$ , sem a atuação da força de resistência do ar.

Valor-parâmetro e coeficiente de ajuste quadrático	Valor encontrado no ajuste
$v_{y_0}$	$(15,6 \pm 0,04) \text{ m/s}$
$y_0$	$(0,036 \pm 0,004) \text{ m}$
$R^2$	0,9999005406776

Substituindo os dados acima no modelo teórico da Equação (1):

$$y(t) = -4,89 \cdot t^2 + 15,6 \cdot t + 0,036 \quad (4)$$

O cálculo do  $y$  do vértice na Equação (4) permite encontrar o valor da altura máxima que seria atingida pelo projétil, caso nenhuma força dissipativa atuasse nele durante seu trajeto de subida:

$$y_{\text{máx.}} = 12,5 \text{ m} \quad (5)$$

No segundo momento, considerou-se a atuação da força resistiva fornecida pelo ar atmosférico do local durante todo o trajeto de subida do projétil, além da força peso. Portanto, ao realizar o ajuste, o valor de  $a_R$ , apesar de ter sido considerado constante, não foi tido como um parâmetro previamente fixado. O segundo ajuste quadrático proporcionou os seguintes valores-parâmetros e coeficiente de ajuste quadrático:

**Tabela 2:** Valores-parâmetros  $a_R$ ,  $v_{y_0}$ ,  $y_0$  e do coeficiente de ajuste quadrático  $R^2$ , com a atuação da força de resistência do ar.

Valor-parâmetro e coeficiente de ajuste quadrático	Valor encontrado no ajuste
$a_R$	$(-14,4 \pm 0,8) \text{ m/s}^2$
$v_{y_0}$	$(16,0 \pm 0,1) \text{ m/s}$
$y_0$	$(0,028 \pm 0,004) \text{ m}$
$R^2$	0,9999471209922

Neste caso, o módulo de  $a_R$  é dado pela soma do módulo da aceleração do campo gravitacional ( $g$ ) com o módulo da aceleração da força de resistência do ar ( $a_r$ ), isto é:

<sup>2</sup> A interpretação desse coeficiente é *fundamental*, valendo ressaltar que quanto mais próximo de *um* for o seu valor, mais bem ajustados estarão os resultados coletados na videoanálise com o modelo teórico de função que se espera.

$$a_R = g + a_r \quad (6)$$

Isolando  $a_r$  na Equação (6), tem-se que o módulo da aceleração devido à força resistiva é de:

$$a_r = (4,5 \pm 0,7) \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

Substituindo os dados acima no modelo teórico da Equação (1), encontra-se a equação que é o ponto chave deste trabalho, pois é justamente ela que descreve a trajetória do projétil na direção vertical nas condições reais nas quais se deu o seu movimento:

$$y(t) = -7,2 \cdot t^2 + 16,0 \cdot t + 0,028 \quad (8)$$

O cálculo do  $y$  do vértice na Equação (8) permite encontrar o valor da altura máxima que deve ser atingida pelo projétil, considerando a atuação da força dissipativa durante todo o seu movimento de subida:

$$y_{\text{máx.}} = 9,0 \text{ m} \quad (9)$$

Ainda que o objetivo deste trabalho seja o de apresentar os resultados preliminares desta experimentação – uma vez que é evidente a necessidade de se realizar a filmagem do experimento ao ar livre, a fim de confrontar esses dados<sup>3</sup> –, os resultados encontrados são condizentes com o que se espera teoricamente, já que a altura máxima atingida ao considerar a força de resistência do ar é menor do que a altura máxima atingida ao desprezar essa força resistiva.

Ao explorar ao máximo possível a potencialidade dessa experimentação (MOREIRA, 1991), é possível a abordagem de diversos conteúdos de Física, como: a cinemática do lançamento vertical para cima; dinâmica e leis de Newton; trabalho de uma força (neste caso, a força peso e a força resistiva); sistemas conservativos e não conservativos entre outros (BRASIL, 2018). Além disso, com esse experimento o docente tem a possibilidade de aproximar o estudante do método científico.

## Referências bibliográficas

AXT, R.; MOREIRA, M.A. **O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 97-103, dezembro de 1991. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: <[basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518-versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf)>. Acesso em: 14 de dezembro de 2020.

<sup>3</sup> A experimentação ao ar livre ainda não foi feita devido à pandemia da Covid-19, pois é necessário um espaço amplo, aberto e vazio (a câmera precisa se posicionar consideravelmente longe do *Nerf*) para a realização da experimentação, algo não disponível no bairro onde moro. Portanto, a publicação completa desses resultados será feita em oportunidade futura.

de Jesus, V.L.B. **Experimentos e Videoanálise: Dinâmica**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 01 de janeiro de 2014.

NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica 1: Mecânica**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

Physlets Physics, 2020. **Tracker**. Disponível em: <<https://physlets.org/tracker/>>. Acesso em: 13 de julho de 2020.