

O USO DO TRACKER PARA O ESTUDO DE ROLAMENTO NO PLANO INCLINADO

THE USE OF THE TRACKER FOR THE STUDY OF ROLLING ON THE INCLINED PLANE

Gustavo Oliveira Gurgel Rebouças¹ - UFERSA
Gustavo Alves Mendes² - UFERSA
Jusciane da Costa e Silva³ - UFERSA

RESUMO

O momento de inércia é um parâmetro de extrema relevância para objetos em rolamento e, por muita das vezes, negligenciado no ensino médio. Para o estudo da conservação da energia mecânica, a energia cinética rotacional também deve ser considerada. Apresentamos uma montagem experimental de um plano inclinado no qual esferas de diferentes raios e massas rolam sem deslizar, tendo seu movimento gravado por uma câmera de celular. A medida da posição e velocidade em função do tempo é realizada com uso do *Tracker*, um *software* de análise de vídeo, que possibilita ao discente identificar graficamente as funções horárias da posição e da velocidade ao longo da descida a partir do repouso. Os resultados apresentam uma boa correlação entre a análise teórica e o experimento. A conservação da energia é obtida considerando a energia cinética de rotação, usualmente não considerada.

PALAVRAS-CHAVE: Momento de inércia; *Tracker*; Plano inclinado; Ensino de física

ABSTRACT

The moment of inertia is an extremely relevant parameter for rolling objects, albeit one that is often neglected in secondary education classrooms. In order to study the conservation of mechanical energy, one must also take rotational kinetic energy into consideration. This study presents an experimental setup of an inclined plane on which spheres of different radii and masses roll without slipping, while having their movement recorded by a cellular phone camera. The measurement of position and velocity as a function of time is performed using *Tracker*, a video analysis software that allows students to graphically identify the hourly functions of position and velocity along the descent from rest. Our results suggest a sound correlation between the theoretical analysis and the experiment. The conservation of energy is obtained considering the kinetic energy of rotation, which is not usually taken into account.

KEYWORDS: Moment of inertia; *Tracker*; inclined plane; Physics teaching

DOI: 10.21920/recei72023931732743

<https://dx.doi.org/10.21920/recei72023931732743>

¹Doutor em Física pela UFRN. Mestre em Física pela UFRN. Graduado em Física pela UERN. Docente associado do Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia da Informação na UFERSA. Atua no Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF). E-mail: gustavoreboucas@ufersa.edu.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9162-9597>.

²Graduando em Engenharia da Computação pela UFERSA. Graduado em ICT pela UFERSA. Bolsista de IC do departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística na UFERSA. E-mail: gustavo.mendes@ufersa.edu.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9614-388X>.

³Doutora em Física pela UFC. Mestre em Física pela UFC. Graduada em Física pela UERN. Docente associada do Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística na UFERSA. Atua no Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF). E-mail: jusciane@ufersa.edu.br / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1442-1629>.

INTRODUÇÃO

O rolamento em um Plano Inclinado (PI) é muitas vezes negligenciado nos cursos regulares de Física, talvez devido à sua complexidade em relação ao deslizamento. No cotidiano, o PI está presente em diversos tipos de rampas ao nosso redor, que por ser comum, sua presença passa despercebida, bem como o seu entendimento, mesmo não havendo dúvida de sua importância, por exemplo, na redução de esforço na subida de um cadeirante em uma rampa de acessibilidade. Tal experimento apresenta-se como uma ferramenta para o estudo da mecânica e é considerado o primeiro experimento moderno, atribuído a Galileu, destacando que não há provas que ele tenha construído a versão elaborada do experimento (CREASE, 2006), apesar de ser presente em seus diálogos, principalmente em sua luta contra o pensamento aristotélico (GALILEI, 2011).

A videoanálise é um processo no qual pode-se realizar uma coleta de dados da posição de um objeto em função do tempo a partir de um vídeo. Este método tem sido usado em experimentos de diversas áreas da Física, havendo uma clara vocação com a mecânica (KESSLER, 2009; SANTOS, 2016; BEZERRA JR. *et al.*, 2012; TOBAJA; Gil, 2023), no entanto, contempla também oscilações (ANDRADE-NETO; LEYVA-CRUZ, 2015), ondulatória (CAVALCANTE; PEÇANHA; TEIXEIRA, 2013) e termodinâmica (FIGUEIRA, 2011; BROWN, 2009). Cada quadro ou *frame* do vídeo é um ponto de coleta de dados, posição e tempo, por exemplo. Um simples vídeo gravado em um celular apresenta 60 quadros por segundo, ou seja, coleta-se 60 pontos a cada segundo, fato completamente inviável para sensores típicos. Além de apresentar uma montagem de baixo custo e sem equipamentos eletrônicos como sensores LDR, que requerem conhecimento técnico mais apurado na montagem do experimento.

A câmera, além disso, pode ser usada em termografia infravermelho para identificar o espectro de radiação de imagens, distinguindo condutividades térmicas e condutividades de calor de diferentes materiais na imagem (VOLLMER *et al.*, 2001). Assim, com a popularização das câmeras, principalmente em celulares, estas apresentam-se como candidatas acessíveis para uso em experimentos didáticos.

Apresentamos uma sugestão de montagem de um plano inclinado com ângulo variável, em que cada descida das esferas em rolamento será filmada com um celular para posterior análise, com o uso do *software Tracker*, com o qual é possível identificar a posição (x) e a velocidade (v) do centro de massa em função do tempo (t). Os dados coletados são organizados em uma tabela que pode ser utilizada em outros programas gráficos. Inicialmente, trataremos da função temporal da posição da descida de cinco esferas de materiais e massas distintas, a partir do repouso, destacando a aceleração. O momento de inércia (I) do centro de massa é considerado devido ao rolamento, para que o valor esperado da aceleração coincida com o valor experimental. As diferenças das dimensões, materiais e, conseqüentemente, as massas das esferas podem produzir nos discentes a dúvida sobre qual rolaria com maior aceleração ao longo da descida, e a surpresa pode aparecer quando descobrirem que todas se comportam da mesma maneira ao rolar no PI com mesma inclinação.

A montagem e análise dos dados obtidos permitem identificar todas as energias envolvidas, translacional e rotacional, para o estudo da conservação da energia mecânica ao longo da descida. A conservação da energia ao longo do PI é apresentada na literatura, mas quase sempre para o deslizamento, ou seja, grandezas como o momento de inércia e a energia cinética de rotação são negligenciadas (ÇOBAN; ÇOBAN; ÇOBAN, 2023) e dada ênfase a parâmetros como o coeficiente de atrito para o deslizamento (GONZÁLEZ-LAPREA; SANTIAGO, 2021)

ou para o atrito de rolamento (ANDRADE-NETO; LEYVA-CRUZ, 2015). Neste trabalho, isso não acontece, e o estudo da energia mecânica se dá de forma mais precisa e direta sem a necessidade de medir o alcance ou o limiar de início do rolamento, por exemplo (GOYA; LUBURÚ; CAMARGO FILHO, 2014). Portanto, conseguimos medir experimentalmente a variação de cada energia, bem como a conservação da energia mecânica ao longo de cada descida, dentro dos limites experimentais.

ROLAMENTO DE ESFERAS EM UM PI

A construção do plano inclinado foi feita com duas tábuas de madeira presas por uma dobradiça simples de modo a controlar o ângulo θ . A descida é gravada com um celular conforme mostra a Figura 1. A Figura 1 ainda apresenta a força de atrito (\vec{F}_a), força gravitacional (\vec{F}_g) e a força normal (\vec{N}).

O rolamento em torno do diâmetro da esfera acontece devido ao torque externo da força de atrito \vec{F}_a da superfície do PI. Este torque de rotação pode ser apresentado como:

$$F_a R = I \frac{a_x}{R} \quad (1)$$

Onde a_x é a aceleração ao longo de x , R o raio e I o momento de inércia da esfera, dado por: $I = \frac{2}{5} m R^2$ (Nussenzveig, 2002). A segunda lei de Newton para a esfera de massa m ao longo do eixo x é dada por:

$$m \text{sen} \theta \vec{g} + \vec{F}_a = m \vec{a}_x \quad (2)$$

Sendo m a massa da esfera, g é a aceleração da gravidade, dada por $9,81 \text{ m/s}^2$. Associando as equações (1) e (2) temos que o valor escalar de \vec{a}_x será:

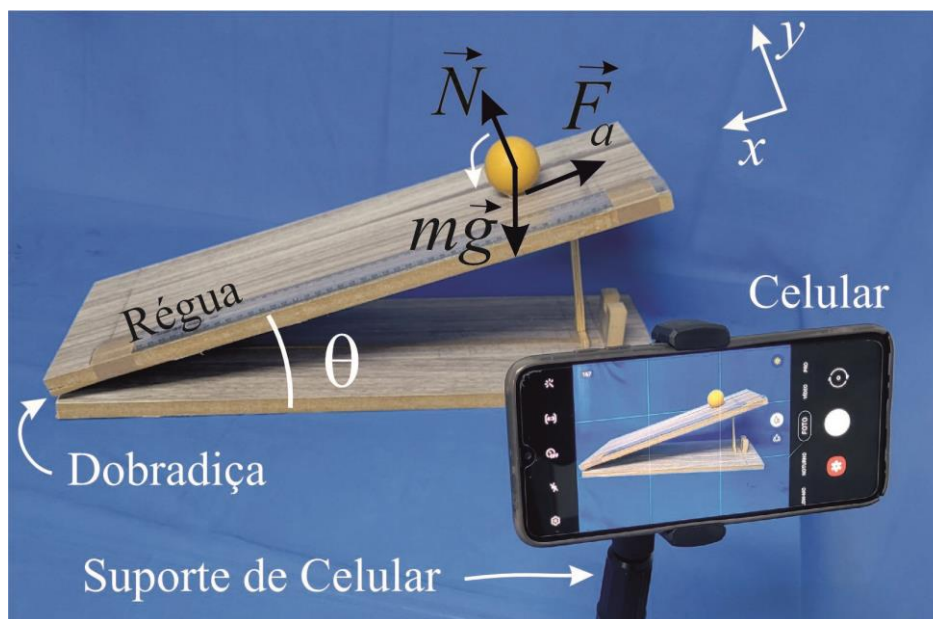
$$\vec{a}_x = \frac{5}{7} \text{sen} \theta \vec{g} \quad (3)$$

A aceleração apresentará o fator $5/7$ devido à rotação da esfera, diferente do objeto que desliza em um plano inclinado sem atrito. Desse modo, a posição x em função do tempo t será dada por:

$$x = \frac{1}{2} a_x t^2 \quad (4)$$

Devido à rigidez dos materiais nos quais a esfera é constituída e do material da rampa, não consideramos o atrito de rolamento (Andrade-Neto; Leyva-Cruz, 2015). O comportamento temporal da Equação (4) é muitas vezes apresentado em livros e textos de Física Básica na forma de problemas nos quais é perguntado qual objeto em rolamento chegará primeiro no final da rampa (SERWAY; JEWETT JR., 2004; SEARS *et al.*, 2009). Isso ilustra a tendência aristotélica de associar maiores velocidades a objetos mais massivos. Este problema, aparentemente simples, pode se apresentar como recurso didático interessante, pois mostra que os objetos chegam ao mesmo tempo.

Figura 1: Montagem e filmagem das esferas em rolamento no plano inclinado. São apresentadas as forças atuantes e a presença do celular para a gravação do movimento



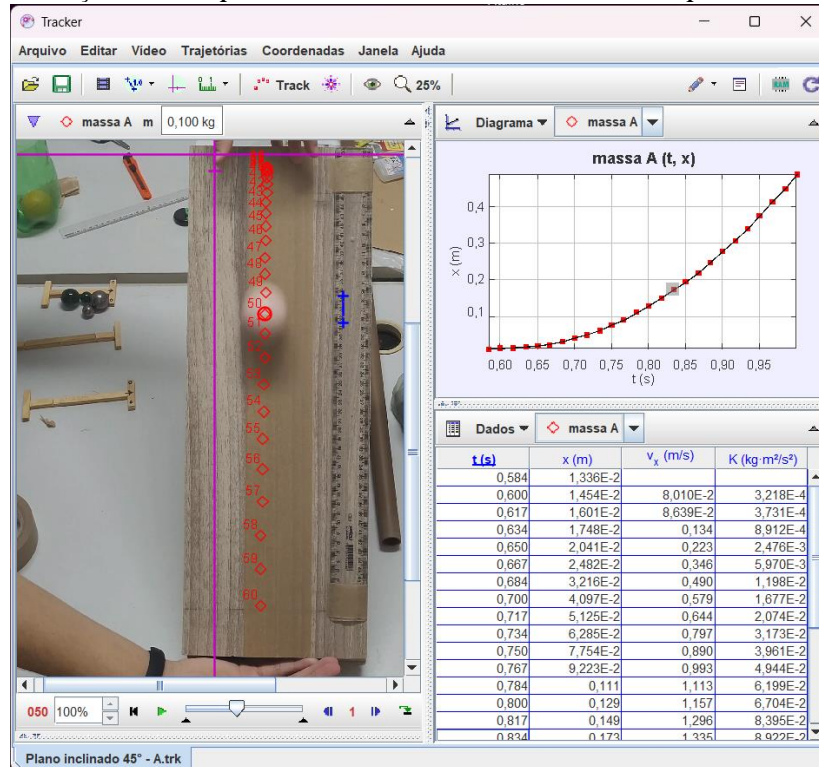
Fonte: Elaboração própria.

Para a conservação da energia mecânica, consideramos a energia potencial gravitacional (U_g), cinética translacional (K_t) e energia cinética rotacional (K_r) e, conseqüentemente, a energia mecânica (E_m) dada pela soma das três energias anteriores, sendo constante ao longo da descida da esfera.

SOFTWARE DE VIDEOANÁLISE: *Tracker*

A ferramenta de videoanálise que será utilizada é o *software Tracker*, que se apresenta como excelente ferramenta, além de ser uma modelagem gratuita e desenvolvida para ser usada no ensino de Física (CARVALHO; CHRISTIAN; BELLONI, 2013). Seu uso possibilita o estudo do movimento de um objeto determinando a curva de seu movimento, através do rastreamento de sua posição em função do tempo ao longo de um vídeo, previamente gravado. Porém, como o vídeo não possui informações de tamanho e escala dos objetos, é necessário aplicar essas considerações sobre ele, utilizando as próprias ferramentas disponibilizadas pelo *Tracker* (TRACKER, 2023). Portanto, o *Tracker* permite realizar experimentos junto aos discentes, principalmente em escolas públicas que não tenham espaços de laboratórios de Física, e, assim, obter resultados ricos para as discussões dos conceitos físicos estudados (BONVENTI JR.; ARANHA, 2015).

Figura 2: Tela do *software Tracker* mostrando uma análise realizada. À esquerda, o vídeo com os pontos obtidos e a barra de calibração. À direita, o gráfico parabólico da posição x em função do tempo e abaixo a tabela com os dados capturados.



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 apresenta a tela do *Tracker* e mostra o vídeo analisado, já com os pontos selecionados, neste caso 50 pontos, um ponto a cada quadro do vídeo. À direita superior a posição em função do tempo e na direita inferior a tabela dos pontos com o tempo em segundos, com a posição dada em metros, a velocidade em m/s e energia cinética translacional em joule. As energias potencial gravitacional (U_g), cinética rotacional (K_r) e energia mecânica (E_m) não são fornecidas diretamente no *Tracker* e este não proporciona seu cálculo indireto, assim, teremos que usar outro programa de planilha e gráficos para a obtenção das energias com os dados obtidos. Sendo a energia potencial calculada:

$$U_g = mg(x - x_m) \operatorname{sen} \theta \quad (5)$$

x é a posição e x_m é a última posição capturada, cujo $U_g(x_m)$ é nulo. A energia cinética rotacional para a velocidade do centro de massa v , calculada em cada ponto é dada por:

$$K_r = \frac{1}{5} m v^2 \quad (6)$$

Importante ressaltar que a energia cinética translacional já apresentada no *Tracker* é dada por:

$$K_t = \frac{1}{2} m v^2 \quad (7)$$

De posse das energias individuais, a energia mecânica será seu somatório e em qualquer instante do tempo é constante devido à conservação da energia. Desse modo, o *Tracker* apresenta para cada instante de tempo a posição, a velocidade e a energia cinética translacional. Com as equações (5) e (6), teremos as energias potenciais gravitacionais e cinéticas rotacionais e, conseqüentemente, a energia mecânica. Sendo possível, assim, apresentar graficamente para cada rolamento no PI estas energias em um mesmo gráfico.

RESULTADOS

Para o estudo de rolamento das esferas em um plano inclinado usamos cinco esferas diferentes, uma bola de bilhar, duas esferas de aço e duas de vidro. A Figura 3 mostra as cinco esferas, com suas massas e diâmetros, utilizadas no plano inclinado. Os diâmetros das esferas B e C são iguais, bem como, das esferas D e E. A esfera A é uma bola de bilhar, tem o maior diâmetro, e a esfera B a maior massa. As esferas B e D são de aço e C e E são de vidro.

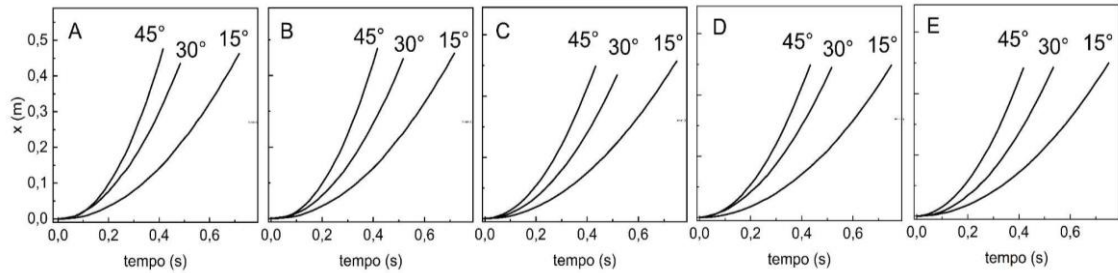
Figura 3: Esferas utilizadas no experimento, com suas respectivas massas, em gramas, e diâmetros, em milímetros.



Fonte: Elaboração própria.

Inicialmente, cada esfera foi liberada individualmente a partir do repouso para ângulos de inclinação 15° , 30° e 45° , tendo seu movimento gravado por uma câmera de celular e, em seguida, analisado pelo *Tracker*. A Figura 4 apresenta a posição em função do tempo para todas as esferas A, B, C, D e E. Identifica-se que para o mesmo ângulo, θ , as curvas são idênticas, portanto, caso estivessem no mesmo gráfico, as curvas seriam sobrepostas. Os valores da aceleração experimental apresentam uma ótima correlação com o valor esperado, dado pelas equações (3) e (4), com erro inferior a 2,0% para 15° e inferior a 8,0% para o ângulo de 45° . Isso ocorre pois, para ângulos maiores, há uma imprecisão na posição da esfera para cada quadro do vídeo, ou seja, esta se apresenta borrada na imagem. Temos, ainda, uma redução no número de pontos capturados devido ao menor tempo de descida facilmente identificado nos gráficos da Figura 4. Os resultados apresentados mostram a importância do momento de inércia de rolamento, bem como, o uso do *Tracker* no seu estudo.

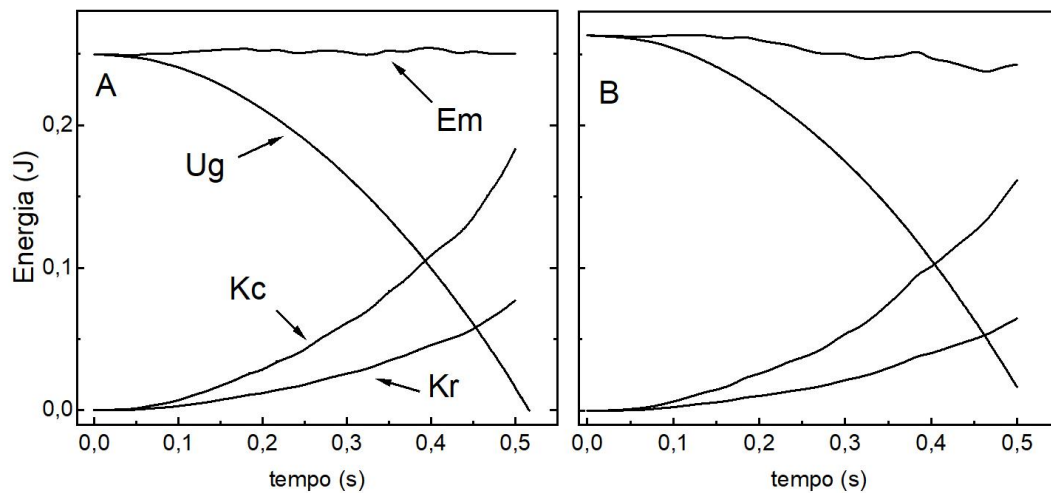
Figura 4: Posição em função do tempo para todas as esferas utilizadas e ângulos de 15°, 30° e 45° para o plano inclinado



Fonte: Elaboração própria.

Para o estudo das energias envolvidas no rolamento das esferas, usamos o PI com inclinação de 30° para todas as esferas. As energias, U_g , K_r e K_t , equações (5), (6) e (7) respectivamente, apresentam dependência direta da massa. A Figura 5 mostra estas energias para as esferas A e B, que apesar dos raios serem bem diferentes, as energias exibem a mesma escala, além disso, como a massa de B é maior, ela apresenta maior energia mecânica. Identificando, portanto, que não há dependência entre os diâmetros para as energias.

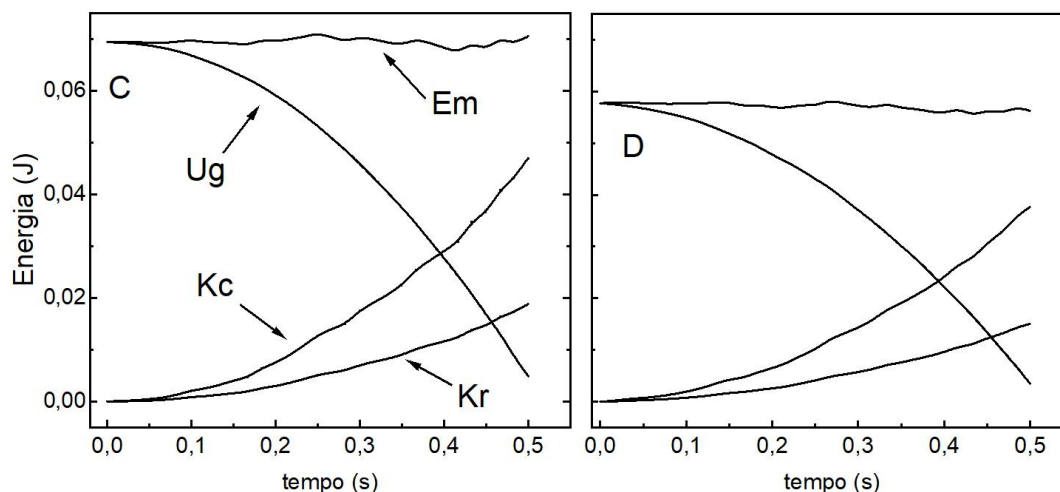
Figura 5: Energia potencial, cinética translacional, cinética rotacional e energia mecânica para rolamento das esferas A e B para inclinação de 30°



Fonte: Elaboração própria.

Do mesmo modo, a Figura 6 para as esferas C e D. Neste caso, C tem maior raio e massa de vidro, já a esfera D é de aço e menor diâmetro. A diversidade de esferas é usada para que na execução do experimento possa-se questionar quais grandezas realmente são importantes, para o caso da Figura 4 e para o estudo energético. Por último, temos a Figura 7 com a esfera E, de vidro, de menor massa, menos de um décimo das esferas A e B, apresentando a menor energia de todas.

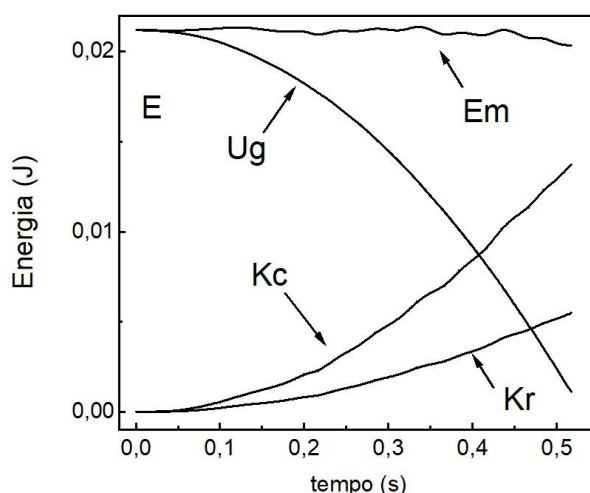
Figura 6: Energia potencial, cinética translacional, cinética rotacional e energia mecânica para rolamento das esferas C e D para inclinação de 30°



Fonte: Elaboração própria.

As Figuras (5), (6) e (7) possibilitam a observação clara da transformação da energia potencial gravitacional nas duas energias cinéticas, translacional e rotacional, dependentes da velocidade. Bem como, o fato de a soma das três energias em qualquer instante ser constante, identificando graficamente a conservação da energia mecânica. No caso energético, a massa, e não o tamanho da esfera, será o fator determinante.

Figura 7: Energia potencial, cinética translacional, cinética rotacional e energia mecânica para rolamento da esfera E para inclinação de 30°

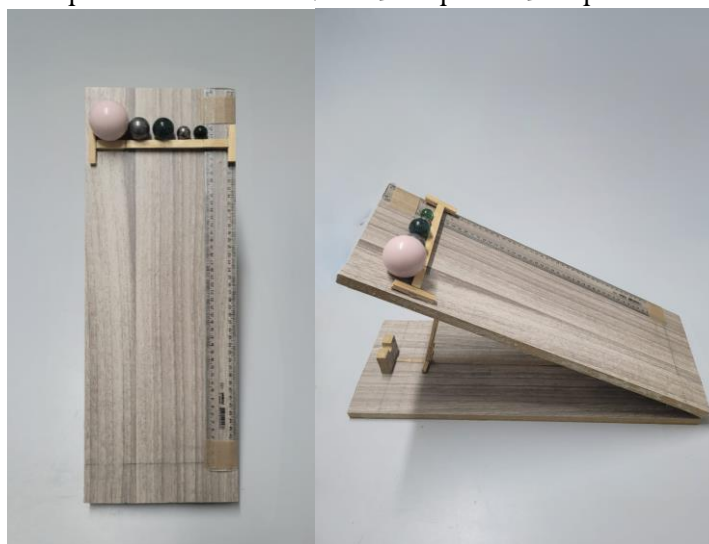


Fonte: Elaboração própria.

Para o ensino de Física, as diferenças geométricas, de materiais e suas massas podem se apresentar como um questionamento inicial considerando a posição em função do tempo para o estudo da conservação da energia. O *Tracker* se apresenta como uma ferramenta que ajuda a responder que a posição em função do tempo independe desses fatores, já a energia é função somente da massa, para um mesmo ângulo de PI, como pode ser observado nas Figuras (4) - (7).

Alguns livros e textos de Física apresentam uma espécie de corrida com diferentes objetos em rolamento soltos do topo de um PI a partir do repouso (Serway; Jewett Jr., 2004; Sears *et al.*, 2009). Com os materiais aqui apresentados, sugerimos um experimento qualitativo, corrida de esferas. Inicialmente, o docente apresenta um plano inclinado com algumas esferas, de massas e raios diferentes (Figura 8). As esferas podem ser soltas simultaneamente após a retirada do anteparo que as sustentam. Antes da execução do experimento, pode-se questionar os discentes sobre qual esfera chegará primeiro ao final da rampa.

Figura 8: Experimento no qual as esferas são liberadas a partir do repouso no mesmo instante



Fonte: Elaboração própria.

Ao soltar todas as esferas, conforme sugerido, estas se comportarão igualmente, independente da massa e do raio, e, portanto, se o experimento for bem realizado, as esferas chegarão todas ao mesmo tempo, comprovando qualitativamente os resultados da Figura 4. Este poderia ser um experimento introdutório da aula ou questionamento inicial, conduzindo os discentes a um momento lúdico e de ruptura com o pensamento aristotélico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção e análise do rolamento de esferas em um PI se apresenta como uma oportunidade de ultrapassar o limite da translação e apresentar aos alunos grandezas físicas referentes a rotações, como o momento de inércia e energia cinética rotacional. Este trabalho propôs a construção e utilização de um PI para estudo de rolamento de esferas a partir do repouso e a obtenção de dados com o *software Tracker*. O aparato, juntamente com a análise, proporcionou uma boa relação entre o que se espera analiticamente e o experimento tanto para posição quanto para a energia ao longo da descida. Tal montagem dispensa o tecnicismo do uso de sensores, além de apresentar um excelente número de medidas. Outro fator importante é o uso do celular para obtenção dos dados. É notório o fato dos discentes possuírem *smartphones* com uma boa qualidade na filmagem, permitindo acesso a esse recurso didático que pode facilitar o aprendizado dos fenômenos físicos.

O uso de diferentes esferas, sabendo de antemão que se comportam temporalmente da mesma maneira para o caso da posição, pode servir como uma ferramenta lúdica, partindo de uma pergunta chave: Qual esfera chegará primeiro ao final do plano inclinado? A partir deste momento inicial, desenvolver o estudo e buscar o entendimento por parte dos discentes.

Os testes realizados em ângulos de 15° , 30° e 45° do plano inclinado foram satisfatórios para o deslocamento temporal das esferas a partir do repouso, apresentando uma boa correlação com as previsões teóricas. As análises das energias envolvidas foram feitas somente para 30° e, do mesmo modo, apresentaram bons resultados, sendo graficamente interessante para se apresentar a conservação da energia mecânica para cada descida da esfera. Tudo isso caracteriza o *software Tracker* como uma excelente ferramenta para o ensino de Física neste tipo de experimento.

REFERÊNCIAS

ANDRADE-NETO, A. V.; LEYVA-CRUZ, J. A. Análise teórica e proposta para determinação experimental do coeficiente de atrito de rolamento em um plano inclinado. **Rev. Bras. Ens. Fis.** v. 37, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11173741952>. Acesso em: 22 nov. 2023.

BEZERRA JR., Arandi Ginane; OLIVEIRA, Leonardo Presoto; LENZ, Jorge Alberto; SAAVEDRA, Nestor. Videoanálise com o software livre tracker no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de newton. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 29, n. Especial 1: p. 469-490, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp1p469>. Acesso em: 22 nov. 2023.

BONVENTI JR, Waldemar; ARANHA, Norberto. Estudo das oscilações amortecidas de um pêndulo físico com o auxílio do “Tracker”. **Rev. Bras. Ens. Fis.** v. 37, n. 2, 2504, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11173721728>. Acesso em: 22 nov. 2023.

BROWN, Douglas; COX, Anne. J. Innovative Uses of Video Analysis. **The Physics Teacher**, v. 47, n. 3, p. 145-150, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.3081296>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CARVALHO, Paulo Simeão; CHRISTIAN, Wolfgang; BELLONI, Mario. Physlets e Open Source Physics para professores e estudantes portugueses. **Revista Lusófona de Educação**, v. 25, p. 59-72, 2013. Disponível em: <https://revistas.ulusofona.pt/index.php/rleducacao/article/view/4380>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; PEÇANHA, Renata; TEIXEIRA, Anderson de Castro. Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300021>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ÇOBAN, Atakan; ÇOBAN, Niyazi; ÇOBAN, Emine. Energy Conservation Analysis Using Arduino. **The Physics Teacher**, v. 61, p. 295-297, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1119/5.0067534>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CREASE; Robert P. **Os dez mais belos experimentos científicos**. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2006.

FIGUEIRA, Jalves S. Movimento browniano: uma proposta do uso das novas tecnologias no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, 2011. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400015>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Tradução de Pablo Rubén Mariconda. São Paulo: Editora 34, 2011.

GONZÁLEZ-LAPREA, Jesús; SANTIAGO, Álvaro. Sistema automatizado para medición del coeficiente de fricción estática. Un dispositivo para actividades de docência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0056>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GOYA, Alcides; LABURÚ, Carlos Eduardo; CAMARGO FILHO, Paulo Sérgio de. Estudo comparativo de rolamento e a determinação do início de deslizamento de uma esfera num plano inclinado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200019>. Acesso em: 23 nov. 2023.

KESSLER, Gabriel. Correction: Innovative Uses of Video Analysis. **The Physics Teacher**, v. 47, n. 6, p. 328-338, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.3204107>. Acesso em: 22 nov. 2023.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica, vol. 1: mecânica**. 4 ed. Revisada. São Paulo. Edgard Blücher, 2002.

SANTOS, Rafael Pinheiro. **Sequência Didática para o Ensino de Cinemática através de Vídeo-Análise baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa**. 2016. 45f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física). Instituto de Ciências Exatas, Universidade Fluminense, Volta Redonda, 2016.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, c2008-2009 vol 1.

SERWAY, A. Raymond; JEWETT Jr, John W. **Princípios de Física**. Mecânica Clássica. Volume 1. 3 ed. Tradução: André Koch Torres Assis. São Paulo: Pioneira Thomsom Learding, 2004.

TOBAJA, Luís Manuel; GIL, Júlia. Tracking Parabolic Trajectories with a Mobile Phone. **The Physics Teacher**, v. 61, p. 268-270, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/5.0066629>. Acesso em: 22 nov. 2023.

TRACKER. **Video analysis and modeling tool**. 2023. Disponível em:
<http://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

VOLMER, Michael; MÖLLMANN, Klaus-Peter; PINNO, Frank; KARSTÄDT, Detlef.
There is more to see than eyes can detect. **The Physics Teacher**, v. 39, n. 6, p. 371-376, 2001.
Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.1407135>. Acesso em: 22 nov. 2023.

Submetido em: outubro de 2023
Aprovado em: dezembro de 2023