

## INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios no ensino de ciências em geral é torná-lo mais atraente, menos pragmático e mais crítico. Por isso a busca por metodologias que tenham essas finalidades tem se tornado um tema de grande interesse entre os pesquisadores na área de ensino. Na busca por esta construção metodológica, este trabalho propõe uma modelagem experimental para ser aplicada em sala de aula, utilizando um experimento lúdico de baixo custo associado à videoanálise e as TICs, para o estudo do movimento de um carrinho de brinquedo numa pista constituída de um plano inclinado e um *loop*. Deste modo abordamos os conceitos de cinemática e dinâmica, analisando as forças que atuam, em todos os pontos da sua trajetória, tanto no plano inclinado como no *loop*. Além disso, discutimos a conservação da energia mecânica do sistema, destacando a relação entre força e energia.

## OBJETIVO

O objetivo deste projeto é construir uma proposta experimental para o ensino de conceitos da dinâmica utilizando um experimento lúdico e TICs. Com este trabalho, pretende-se contribuir com o ensino de Física através da criação de uma ferramenta didática para uso em sala de aula em turmas de ensino médio/técnico, por se tratar de uma aplicação de conceitos em um problema real. E assim trazer uma contribuição para alcançar o ODS n° 4 da ONU.

## METODOLOGIA

Em nosso experimento o conjunto *Hot Wheels* é montado de tal modo a possuir inicialmente uma rampa com o *loop* no final, conforme ilustra a figura 1 (a). Experimentos no qual o carrinho é abandonado ao longo da rampa e desce em movimento acelerado completando o *loop* foram realizados. Durante os experimentos tentamos empiricamente abandonar o carrinho de uma dada altura inicial para a qual ele fica na iminência de perder contato no ponto mais alto do *loop*. O movimento do carrinho foi filmado com a câmera de um *smartphone* na função câmera lenta a uma taxa de captura de 30 quadros por segundo. Para rastrear o movimento do carrinho utilizamos o conhecido software gratuito Tracker, obtendo as coordenadas das componentes da posição, velocidade e aceleração em função do tempo.

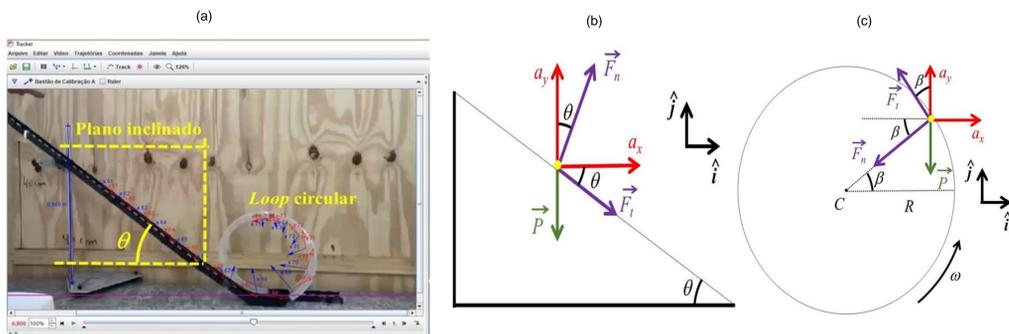


Figura 1 – Videoanálise da trajetória do carrinho no Tracker e modelagem das forças.

## RESULTADOS

Combinaremos as componentes  $a_x$  e  $a_y$  da aceleração obtidas pela videoanálise com a modelagem do movimento do carrinho a partir da segunda lei de Newton visando descrever o comportamento das forças internas que os eixos das rodas exercem na carroceria em função do tempo. Na figura 2 (a) e (b) apresentamos resultados para as componentes da aceleração em função do tempo e a trajetória do carrinho no plano inclinado e no *loop*. Na figura 2 (c) e (d) temos os gráficos da trajetória no plano e no *loop* respectivamente.

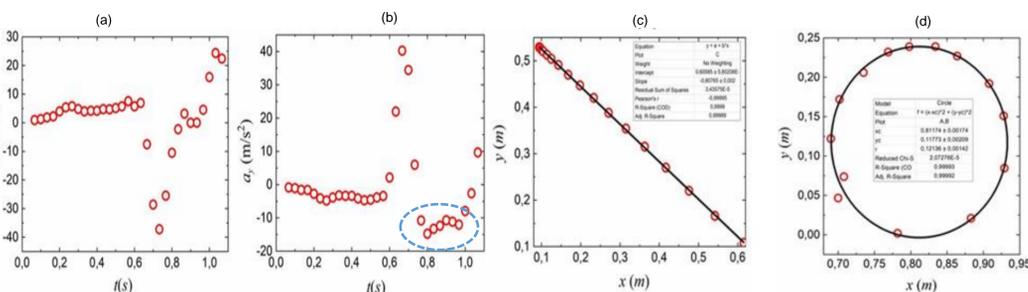


Figura 2 – Componentes cartesianas da aceleração em função do tempo, posições do carrinho durante a fase de descida ajustadas por uma reta de inclinação  $\theta = 38^\circ$  e posições do carrinho durante a fase do *loop* ajustadas por uma circunferência de raio  $R = 12\text{cm}$

Na figura 3 (a) observamos que no início da descida a componente tangencial se opõe ao movimento de descida até o instante aproximado de 0,2s, invertendo o seu sentido nesse instante. Logo em seguida, a referida componente passa a exibir um comportamento oscilatório, chegando até mesmo a assumir um valor próximo de zero em um instante de tempo próximo a 0,35s, voltando a crescer novamente. Por sua vez, a componente normal exibe um comportamento oscilatório no início da descida oscilando em torno do que seria a componente normal esperada para o caso ideal de um ponto material que estivesse executando o mesmo movimento sem trepidação e atrito, ao longo de uma superfície perfeitamente lisa e plana, neste caso  $F_n/mg = \cos 38^\circ \approx 0,78$ , como pode ser observado na figura 3 (b).

A fase do *loop* é descrita pela trajetória aproximadamente circular, modelada na figura 1 (a), onde agora os vetores tangencial e normal passam a variar ao longo de cada ponto da superfície da pista. Conforme ilustram as figuras 3 (c) e (d), o carrinho se aproxima do ponto mais baixo do *loop* com a componente tangencial da força de contato se opondo ao movimento e vai diminuindo a sua magnitude, se contrapondo ao comportamento crescente da componente normal até aproximadamente  $\beta = -90^\circ$ . Logo em seguida, o carrinho inicia a subida com a perda progressiva de contato com o *loop* até o ponto mais alto em  $\beta = 90^\circ$  quando o mesmo fica na iminência de perder o contato totalmente ( $F_n \approx 0$ ), conforme ilustra a figura 3 (d). A curva sólida apresentada na referida figura, representa o comportamento da força normal em função do ângulo  $\beta$  para o modelo ideal que despreza as imperfeições da pista e o atrito, no qual o corpo que desce é uma partícula, dada pela expressão  $F_n/mg = 2H/R - (2 + 3 \sin \beta)$ , sendo  $H = 0,53\text{ m}$  a altura para a qual o corpo é abandonado do ponto de partida durante o experimento.

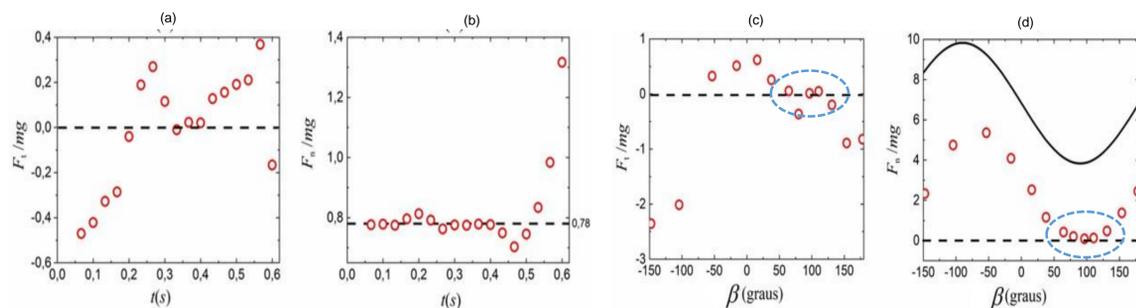


Figura 3 – Componentes da força resultante que os eixos exercem sobre a carroceria durante a etapa de descida em função do tempo durante a etapa do *loop* em função do ângulo  $\beta$  respectivamente.

Na análise energética observamos que ao invés das energias potencial gravitacional e cinética atingirem, respectivamente, seus valores mínimo e máximo ao mesmo tempo as figuras 4 (a) e (b) mostram que a energia cinética da carroceria atinge um valor máximo instantes antes de atingir o ponto mais baixo da descida, quando a energia potencial gravitacional assume seu menor valor. Esse comportamento pode ser entendido através das oscilações da componente tangencial da força ( $F_t$ ) durante a descida. A energia mecânica se conservar de maneira aproximada entre os instantes 0,87 s e 0,93s, como ilustrado na figura 4 (c), quando o carrinho atravessa a região do ponto mais alto do *loop* com contato quase nulo. Tal fato é corroborado pelas componentes horizontal ( $a_x = -0,02\text{m/s}^2$ ) e vertical ( $a_y = -10,72\text{m/s}^2$ ), como ilustrado na figura 1, da aceleração da carroceria no instante  $t = 0,9\text{ s}$ , com o módulo da componente vertical muito próxima do valor absoluto esperado para a aceleração da gravidade local  $g = 9,81\text{m/s}^2$ .

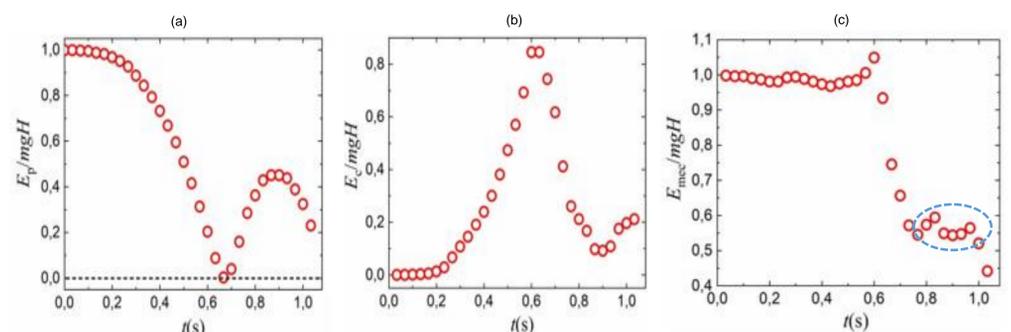


Figura 4 – Energias em função do tempo durante toda a trajetória, normalizadas pela energia mecânica inicial  $mgH$ .

## CONCLUSÃO

Esta atividade trouxe a possibilidade de os alunos aplicarem um exercício clássico discutido em sala em um experimento do mundo real. Ela também trouxe a possibilidade de inserir os alunos na vivência do fazer científico e no protagonismo do processo de ensino-aprendizagem, fazendo-os colocar a "mão na massa". Por meio da modelagem matemática do problema através da segunda lei de Newton e dos conceitos de trabalho e energia, foi possível buscar a interpretação dos resultados obtidos a partir da videoanálise. Especificamente para o ensino médio-técnico a proposta de abordagem trazida neste trabalho pode ser pensada de forma interdisciplinar entre a física e as disciplinas do curso técnico em mecânica, por exemplo, interdisciplinaridade esta assentada no tripé institucional ensino, pesquisa e extensão que caracterizam as finalidades dos Institutos Federais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Jovens Talentos para Ciência da FAPERJ e ao IFRJ pelas bolsas de iniciação científica recebidas durante o desenvolvimento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Springer Science & Business Media, 2012. | NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica: Mecânica (vol. 1)*. Editora Blucher, 2013. | PARREIRA, J. E. Um curso de Mecânica com o uso do programa de videoanálise Tracker. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 980-1003, 2018. | PEREIRA, L. O. et al. Investigação experimental da lei de Stokes em discos: uma abordagem de baixo custo por vídeo-análise de oscilações amortecidas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, p. e20200498, 2021. | PIAGET, J. *A formação do símbolo na criança*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1975. | SILVA, V. C.; DUTRA, R. S. Um estudo de modelos mecânicos em problemas de perseguição. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 45, p. e20230114, 2023. | VALENTE, J. A.; ALMEIDA, M. E. B.; GERALDINI, A. F. S. Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. *Revista Diálogo Educacional*, v. 17, n. 52, p. 455-478, 2017. | WIEMAN, C. E. et al. Teaching physics using PhET simulations. *The Physics Teacher*, v. 48, n. 4, p. 225-227, 2010.