

FÍSICA E ESPORTE: INVESTIGANDO O LANÇAMENTO OBLÍQUO NO PINGUE-PONGUE POR VIDEOANÁLISE

PHYSICS AND SPORTS: INVESTIGATING OBLIQUE PROJECTILE MOTION IN TABLE TENNIS THROUGH VIDEO ANALYSIS

FLÁVIO MOURA E SILVA JÚNIOR ^{*1}, JÚLIA OLIVEIRA DE MORAES ^{†1}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Departamento de Ensino, São José de Ribamar, MA.

Resumo

Ao analisar o panorama contemporâneo da educação, verifica-se a necessidade de integrar novas propostas de ensino que combinem tecnologias acessíveis aos estudantes com os esportes que eles praticam. Diante desse cenário, o presente trabalho propõe um estudo inovador para o ensino do lançamento oblíquo, utilizando o jogo de pingue-pongue e o software livre Tracker como ferramentas didáticas. Entre as modalidades esportivas, o pingue-pongue foi selecionado por ser bastante popular e praticado entre os estudantes do campus de um instituto Federal no qual um dos autores leciona. Este artigo traz uma videoanálise do lançamento oblíquo da bola de pingue-pongue realizada com o auxílio do Tracker. Como resultados, obteve-se uma aceleração da gravidade local de $9,554\text{m/s}^2$, valor bem próximo ao da literatura existente, e uma velocidade de lançamento da bolinha de pingue-pongue de $5,731\text{m/s}$. A estimativa do ângulo de lançamento da bolinha foi de aproximadamente $16,272^\circ$. Além da análise experimental, foi realizada uma revisão bibliográfica para investigar a origem do pingue-pongue, a qual revelou que o esporte surgiu na Inglaterra no século XIX. Espera-se que essa proposta contribua positivamente para o ensino da Cinemática, podendo ser adotada por professores de Física do ensino médio, tornando o ensino dessa Ciência mais eficaz, contextualizado e cativante.

Palavras-chave: Pingue-Pongue. Software Tracker. Videoanálise.

*flavio.junior@ifma.edu.br

†juliamoraes@acad.ifma.edu.br

Abstract

When analyzing the contemporary educational landscape, one can perceive the need to integrate new teaching approaches that combine technologies accessible to students with the sports they practice. In this context, the present work proposes an innovative study for teaching projectile motion, using the game of table tennis and the open-source software Tracker as didactic tools. Among the various sports modalities, table tennis was chosen due to its popularity and frequent practice among students at a Federal Institute campus where one of the authors teaches. This article presents a video analysis of the projectile motion of a table tennis ball, conducted using the Tracker software. As results, a local gravitational acceleration of 9.554m/s^2 was obtained — a value very close to that reported in the literature — and an initial launch speed of the table tennis ball of 5.731m/s . The estimated launch angle of the ball was approximately 16.272° . In addition to the experimental analysis, a bibliographical review was carried out to investigate the origin of table tennis, which revealed that the sport originated in England in the 19th century. It is expected that this proposal will contribute positively to the teaching of Kinematics, providing high school Physics teachers with a more effective, contextualized, and engaging teaching strategy.

Keywords: Table Tennis. Tracker Software. Video Analysis.

I. INTRODUÇÃO

Uma excelente alternativa para um ensino da Física prazeroso e motivante ao estudante é fazer uso de algo que ele goste. Nesse contexto destaca-se a Física dos esportes, uma vez que grande parte dos estudantes gostam e/ou praticam algum esporte (Pontes *et al.*, 2019). São inúmeros os exemplos na literatura nos quais se trabalha conceitos físicos por meio de esportes (Brancazio, 1981; Brody, 1979; Cohen; Clanet, 2016; Ghisleni, 2015; Miron, 2009). O futebol (esporte mais popular do país) é um grande exemplo para se trabalhar leis e conceitos da Mecânica, tais como: velocidade, aceleração, trajetória, força gravitacional, resistência do ar, momento linear, efeito Magnus etc. Interessantes e instrutivas análises da Física envolvida no futebol podem ser encontradas nos trabalhos de Aguiar e Rubini (2004) e Leroy (1977).

Além dos esportes, outra coisa das quais os estudantes gostam bastante é a tecnologia manifestada através de aparelhos tecnológicos com seus aplicativos e softwares. Assim como no caso da Física dos esportes, a literatura é recheada de trabalhos bem sucedidos que utilizam a tecnologia, principalmente a envolvida no smartphone, em prol do ensino de Física (Barroso; Felipe; Silva, 2006; Da Camino Perez; Viali; Lahm, 2016; Sena; Fernandes, 2018; Soares Pedroso *et al.*, 2020). Nesse ponto, fica a questão: se os jovens gostam de esportes e usam celular (cerca de 155 milhões de brasileiros usam celular segundo dados do IBGE) por que não pensar em um estudo que una o esporte com a tecnologia, por meio do uso do celular e de um software computacional, para estudo da Física? Pensando nessa questão é que surgiu a ideia desse artigo que consiste na análise da cinemática do jogo do pingue-pongue utilizando para tanto o software de videoanálise chamado Tracker (Sirisathitkul *et al.*, 2013; Brown, 2012; Parreira, 2018).

A escolha do pingue-pongue foi devido ao fato desse esporte ser bastante popular e praticado pelos discentes do campus de um Instituto Federal no qual um dos autores desse artigo é docente. O campus conta, inclusive, com estudantes agraciados com medalhas de ouro, prata e bronze na modalidade em jogos estudantis. A escolha do Tracker se justifica por ser um software gratuito de videoanálise muito utilizado no ensino de Física e de fácil aprendizagem (Sirisathitkul *et al.*, 2013; Brown, 2012; Parreira, 2018). Através desse programa computacional, é possível realizar análises de vídeos quadro a quadro possibilitando a investigação dos mais variados tipos de movimento a partir de vídeos feitos com câmeras digitais. Outra vantagem do Tracker é a de que as câmeras de celulares, que a grande maioria dos estudantes possui, são úteis para gravação dos vídeos, os quais podem ser analisados perfeitamente por esse programa de videoanálise.

Para além do estudo do lançamento oblíquo com o jogo de pingue-pongue a que se propõe este artigo, espera-se que este possa servir de inspiração para que professores de Física adotem estratégias de ensino similares nas suas aulas de Física, contribuindo para um ensino mais prazeroso e significativo da Física para o estudante do ensino médio.

II. A HISTÓRIA DO JOGO DE PINGUE-PONGUE

A história do esporte de tênis de mesa ou do pingue-pongue (como é popularmente conhecido) começa por volta da segunda metade do século XIX. O esporte surge na Inglaterra, onde estudantes universitários utilizavam livros como redes e raquetes, enquanto a bola era confeccionada de papel (Deprá, 2011). A invenção do pingue-pongue decorreu diretamente da necessidade de se adaptar o tênis de campo, a fim de viabilizar a sua prática em ambientes fechados, especialmente durante o inverno.

No final do século XIX, mais especificamente em 1898, um maratonista aposentado inglês, chamado James Gibb, fez uma contribuição significativa para o jogo de pingue-pongue, o qual estava em ascensão. Durante uma viagem aos Estados Unidos, Gibb trouxe bolinhas de celuloide, usadas como brinquedo, e as introduziu no jogo. Esta contribuição é notável até os dias de hoje, já que as bolas utilizadas em competições oficiais são desse material. Além disso, Gibb nomeou o jogo, que até então era praticado sem compromisso, como “pingue-pongue”, essa nomenclatura se deu pela associação que Gibb fez com o barulho produzido pela bola e pela raquete oca, feita de cabo longo e pergaminho (Deprá, 2011). Gibb repassou o nome ao seu amigo Jonh Jaques, um empresário do ramo de produtos esportivos, que registrou o nome e mais tarde vendeu os direitos para a empresa Parker Bros. Tal empresa foi responsável por fabricar o equipamento em larga escala e difundir a prática do jogo na virada do século XIX.

No ano de 1922, J.J. Payne e companhia criaram a associação do pingue-pongue na Inglaterra. Além disso, redigiram cuidadosamente um conjunto de regras para que fossem aceitas nacionalmente. Posteriormente, no ano de 1926, surge a ITTF (International Table Tennis Federation), em Berlin, na Alemanha (Deprá, 2011). Ainda no ano de 1926, a ITTF realiza o primeiro campeonato mundial de tênis de mesa. É importante ressaltar que tal entidade é responsável pela modalidade até hoje. Após o primeiro campeonato mundial, o esporte ficou ainda mais conhecido. Até a década de 70, os países asiáticos, principalmente o Japão, participaram acentuadamente da prática esportiva. Em 1977, o tênis de mesa foi

reconhecido oficialmente como modalidade olímpica pelo COI e somente 11 anos após esse ocorrido, o esporte foi introduzido no programa olímpico (Deprá, 2011). Um marco importante na história do pingue-pongue, foi o destaque que a China obteve nas competições internacionais nos anos 2000 (China, 2004).

Desde sua criação o pingue-pongue sofreu diversas modificações que garantiram a melhora da prática do esporte, tais como: aumento da altura da rede e o aumento da bola. Uma das mudanças mais relevantes foi a utilização de raquetes de madeira cobertas por pena de ganso que possuíam a característica de atribuir a bola uma trajetória imprevisível. Ao longo do tempo, passou-se a usar bolas feitas de celuloide e raquetes cobertas por borracha que conferiam maior velocidade e controle durante a partida de pingue-pongue (Melhores Raquetes, s.d.).

III. A CHEGADA DO PINGUE-PONGUE AO BRASIL

No Brasil, o pingue-pongue chegou e começou a ser praticado por turistas ingleses, que iniciaram a implementação desta modalidade no país por volta de 1905, especificamente em São Paulo. O esporte era praticado em locais fechados, como casas particulares ou em clubes, mas no ano de 1912 ocorreu o primeiro campeonato para os clubes paulistas (Almeida; Yokota, 2023). No ano de 1926 surgiu a liga paulista e nas décadas seguintes, os atletas, que praticavam o esporte, aprovaram a tradução das regras e assinaram convênios que levaram à oficialização do Tênis de Mesa pela antiga Confederação Brasileira de Desportos (CBD). Posteriormente, em 1979, no Rio de Janeiro, foi criada a Confederação Brasileira de Tênis de Mesa (CBTM), a qual é presidida desde 20 de janeiro de 1986 pelo Dr. Alaor Gaspar Pinto Azevedo.

No ano de 1947, o Brasil participou pela primeira vez do 3º Campeonato Sul-Americano e Internacional, este fato marca o início da participação brasileira nas competições internacionais. Atualmente, o esporte tem se tornado amplamente praticado no país, e isso fica evidente pelas conquistas que o Brasil alcança em competições (CBTM, 2024).

IV. DESCRIÇÃO DO JOGO DE PINGUE-PONGUE

O pingue-pongue é um esporte jogado em uma mesa com bola e raquetes. O jogo é uma adaptação do tênis de quadra e envolve a disputa de pontos entre dois, quatro ou seis jogadores que golpeiam uma bola com raquetes sobre uma mesa dividida por uma rede. A mesa possui 2,74 m de comprimento, 1,525 m de largura e 76 cm de altura, tendo uma linha branca de 2 cm de largura em toda a sua volta. A rede estende-se por 15,25 cm, além das bordas laterais da mesa e tem 15,25 cm de altura. A bola é feita de plástico nas cores branca ou laranja com uma massa de 2,7g e diâmetro de 40mm. No que diz respeito à raquete, este equipamento é feito de madeira laminada coberta com borracha de diferentes texturas e espessuras com o intuito de mudar o efeito da bola. Com relação ao uniforme, os atletas profissionais devem usar camiseta, calção, meia e tênis. A cor do uniforme deve ser diferente da cor da bola (Cataldo, 2024).

As partidas são jogadas em melhor de sete sets, vence quem ganhar quatro sets. Um set é disputado até 11 pontos, e um jogador deve vencer por pelo menos dois pontos de

diferença. O atleta que atua no 1º set num lado é obrigado a atuar no lado contrário no set seguinte. O jogo se inicia com um saque com a bola colocada na palma da mão, a qual é lançada verticalmente e golpeada com a raquete. A bola deve tocar primeiro no lado do sacador da mesa e, em seguida, no lado do recebedor. Os jogadores então trocam golpes, na bola com as suas raquetes até que um deles devolva a bola incorretamente (Cataldo, 2024).

V. O SOFTWARE TRACKER

O Tracker é um software livre de videoanálise muito utilizado no ensino de Física (Sirisathitkul *et al.*, 2013; Brown, 2012; Parreira, 2018). O Tracker é utilizado para finalidades didáticas, em análise de vídeos e imagens quadro a quadro. Este possibilita a obtenção de resultados diversos, tais como a construção de gráficos de alta precisão referentes ao movimento de corpos, bem como auxilia no processo de obtenção de medidas de corpos/objetos variados presentes na cena. Com esse software, professores e alunos podem criar, filmar e analisar experimentos com câmeras digitais comuns, reduzindo os custos operacionais e o tempo de preparação dos experimentos. O Tracker cumpre várias funções no processo de ensino-aprendizagem: permite aos alunos acompanharem a evolução das grandezas físicas em tempo real, pondo fim à mera sequência de passos experimentais em roteiros de laboratórios estruturados ao extremo; permite a manipulação dos dados e a construção dos gráficos, sendo fundamental para a construção do conhecimento físico a partir de atividades experimentais (De Pinho Alves Filho, 2004). Na Figura 1, tem-se a tela de apresentação do Tracker.

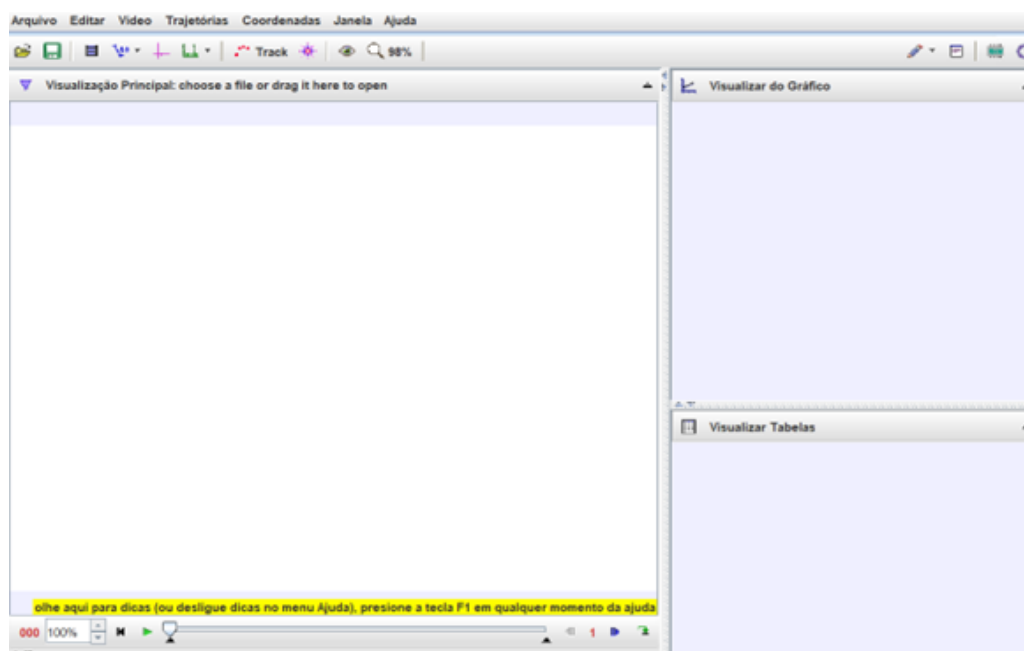


Figura 1: Apresentação do software Tracker. Fonte: Autores (2025)

O manuseio do software Tracker é relativamente simples, uma vez que para efetuar a análise de um vídeo qualquer, basta realizar quatro etapas:

- Iniciar o programa: após abrir o software Tracker, a estrutura inicial é exibida, conforme apresentado na Figura 1. Em seguida, procedemos ao carregamento do vídeo desejado, clicando em “Arquivo” e selecionando a opção “Abrir”. Uma vez carregado o vídeo, utilizamos a barra de controle, localizada abaixo dele, para avançar ou retroceder os quadros. Essa etapa permite determinar com precisão o ponto de interesse a ser analisado.
- Calibração: para garantir a escala correta no vídeo, é fundamental utilizar um objeto de referência, como uma régua, cujo comprimento seja conhecido. A partir dessa medida, podemos estabelecer a escala do vídeo em relação ao campo de visão. Além disso, é necessário ajustar os eixos de coordenadas para que correspondam à orientação do movimento e à origem da posição. Essa etapa garante que as medições realizadas no vídeo sejam consistentes e precisas.
- Rastreamento: no contexto da análise de movimento em vídeos, o rastreamento é uma etapa crucial. Para criar uma trilha de pontos que marque a posição do objeto em cada quadro, inicia-se selecionando a opção “Trajetórias” no software Tracker e, em seguida, clicando em “Ponto de Massa”. Com o vídeo carregado, basta clicar no objeto de interesse enquanto mantém a tecla Shift pressionada. Automaticamente, os dados referentes à posição desse ponto de massa serão registrados na tabela e nos gráficos. Conforme necessário, ajuste as variáveis relevantes, como correção de erros de medição ou calibração da escala usando um objeto de referência conhecido. Essa abordagem permite obter informações precisas sobre a trajetória do objeto no vídeo, essenciais para análises científicas e experimentais.
- Salvar: Após a conclusão das etapas anteriores, procede-se ao salvamento do arquivo como um projeto do Tracker, utilizando a extensão “.trk”. Esse formato permite preservar todas as informações relevantes do vídeo e das análises realizadas, garantindo a integridade dos dados e a possibilidade de retomar o trabalho posteriormente.

VI. LANÇAMENTO OBLÍQUO E O JOGO DE PINGUE-PONGUE

Quanto ao movimento da bolinha de pingue-pongue de massa m , sua trajetória entre o instante imediato ao impacto da raquete e o instante que toca a mesa, pode ser considerando parabólico, desprezando a resistência do ar e a rotação da bolinha. Nesse caso, o movimento da bolinha de pingue-pongue após ser rebatida pode ser interpretada como um lançamento oblíquo no vácuo como mostra a Figura 2. Nesse sentido, o movimento da bolinha pode ser separado em dois: um movimento uniformemente variado na direção vertical (eixo y), no qual a bolinha fica sujeita à ação força gravitacional, e outro na direção horizontal (eixo x) que é um movimento uniforme (Marion, 2013).



Figura 2: Ilustração da trajetória parabólica do voo da bolinha de pingue-pongue Fonte: Autores (2025)

Para a direção vertical, temos a seguinte equação de movimento (orientando a trajetória para cima):

$$F_r = -mg \Rightarrow m \frac{dv_y}{dt} = -mg \Rightarrow dv_y = -g dt. \quad (1)$$

Integrando ambos os membros da equação (1), vem:

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (2)$$

onde v_y é a componente y da velocidade de lançamento num instante t e v_{0y} é a componente y da velocidade inicial de lançamento (em $t = 0$) e g é a aceleração gravitacional (constante e dada por $9,8\text{m/s}^2$ ao nível do mar e para uma latitude de 45°). A equação (2) mostra que a componente y da velocidade de lançamento tem uma dependência linear com o tempo. Como na altura máxima $v_y = 0$, pode-se obter o tempo (t_s) que a bola leva para alcançar a altura máxima, substituindo esse resultado na equação (2), o que nos permite obter:

$$t_s = \frac{v_{0y}}{g}. \quad (3)$$

Sabendo que v_y pode ser obtida da derivada temporal da coordenada y da posição da bolinha de pingue-pongue, pode-se escrever:

$$v_y = \frac{dy}{dt} \Rightarrow dy = v_y dt. \quad (4)$$

Integrando ambos os membros da equação (4) e substituindo a equação (2) na equação (4), pode-se obter a função da coordenada y da posição da bolinha em relação ao tempo $y(t)$. Daí, segue:

$$\begin{aligned} \int_{y_0}^y dy &= \int_0^t v_y dt \Rightarrow y - y_0 = \int_0^t (v_{0y} - gt) dt \therefore \\ y(t) &= y_0 + v_{0y}t - \frac{g}{2}t^2, \end{aligned} \quad (5)$$

onde y_0 é a componente y da posição inicial, t é o tempo, v_{0y} é a componente y da velocidade inicial de lançamento (em $t = 0$); e g é a aceleração gravitacional. A equação

(5) mostra que $y(t)$ é uma função parabólica no tempo, como esperado, para movimentos de corpos com aceleração constante. A altura máxima ($y_{\text{máx}}$) atingida pela bola pode ser determinada, substituindo a equação (3) na equação (5), para $y_0 = 0$, obtém-se:

$$y_{\text{máx}} = \frac{v_{0y}^2}{2g}. \quad (6)$$

Uma inspeção da equação (6), mostra que a altura máxima da bola de pingue-pongue é proporcional ao quadrado da componente y da velocidade. Fazendo $y(t) = y_0$ na equação (5) obtém-se o tempo de voo da bolinha (T) (Marion, 2013). Com isso, vem:

$$T = \frac{2v_{0y}}{g} \quad (7)$$

A equação 7 revela que o tempo de voo é diretamente proporcional à componente y da velocidade inicial de lançamento. No que diz respeito ao movimento na direção horizontal (eixo x), para este, a força resultante é nula, o que permite escrever:

$$m \frac{dv_x}{dt} = 0 \Rightarrow dv_x = 0. \quad (8)$$

Integrando a equação (8), vem:

$$\int_{v_{0x}}^{v_x} dv_x = 0 \Rightarrow v_x = v_{0x} = \text{constante} \quad (9)$$

que mostra que a componente x da velocidade é constante no decurso do tempo (como esperado, uma vez que na direção do eixo x o movimento é retilíneo e uniforme). De forma análoga ao que foi feito para obtenção de $y(t)$, podemos obter a função da coordenada x da posição da bolinha $x(t)$ em termos do tempo. Vejamos, então:

$$v_x = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = v_x dt \Rightarrow \int_{x_0}^x dx = \int_0^t v_x dt \Rightarrow x - x_0 = v_x \int_0^t dt.$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t. \quad (10)$$

onde x_0 é o valor inicial da componente x da posição, v_{0x} é a componente x da velocidade inicial e t é o tempo. Como vemos, $x(t)$ é uma função de 1º grau no tempo, como era de se esperar para o movimento uniforme. Para um ângulo de lançamento θ da bolinha (vide Figura 1) podemos escrever as componentes x (v_{0x}) e y (v_{0y}) da velocidade inicial de lançamento v_0 em função de θ , como:

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta \quad (11)$$

e

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta. \quad (12)$$

Uma informação importante é o alcance da bolinha (R), a qual pode ser obtida substituindo a equação (7) na equação (10), considerando $x_0 = 0$, vem:

$$R = v_{0x} \frac{2v_{0y}}{g} = v_0^2 \frac{2 \sin \theta \cos \theta}{g}.$$

e, portanto,

$$R = v_0^2 \frac{\sin 2\theta}{g}. \quad (13)$$

onde usamos as equações (11) e (12) e o fato de $2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta$. Uma inspeção da equação (13) revela que para v_0 e g fixos, o alcance é máximo para um ângulo de lançamento $\theta = 45^\circ$. Da equação (10), temos que $t = \frac{x(t)}{v_0 \cos \theta}$ (para $x_0 = 0$), substituindo esse resultado na equação (5), podemos chegar a:

$$y(x) = y_0 + x \tan \theta - \frac{gx^2}{2(v_0 \cos \theta)^2}. \quad (14)$$

que mostra que a trajetória da bolinha seria parabólica na ausência da resistência do ar. No que se refere à velocidade de lançamento da bolinha de pingue-pongue v_0 (velocidade com que a bolinha é rebatida pela raquete do jogador), esta pode ser estimada por meio da equação (Marion, 2013):

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}. \quad (15)$$

Uma das características do lançamento oblíquo reside no fato de que o projétil parte de um certo ângulo (θ), o qual é formado entre o vetor velocidade de lançamento ($\vec{v}_0$) com a sua componente horizontal do movimento (Dos Santos Silva, Sanábria, 2018). O ângulo de lançamento da bolinha pode ser determinado pela equação abaixo:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_{0y}}{v_{0x}} \right). \quad (16)$$

Ao utilizar-se o Tracker, pode-se obter o gráfico $y \times t$ e por meio do ajuste desse gráfico com uma função parabólica, obter g e v_{0y} . Isso é feito comparando os parâmetros da função de ajuste com a equação (5). De posse de g pode-se comparar com o seu valor local informado na literatura e avaliar a exatidão dos valores obtidos da videoanálise da trajetória da bolinha de pingue-pongue. Essa análise é realizada na seção VIII. Convém ressaltar que o movimento da bolinha sofre influência da resistência do ar, por isso seu movimento na direção horizontal não é uniforme e sua energia mecânica decai no decorrer do tempo devido a efeitos dissipativos do atrito da bolinha com o ar, conforme discutido na subseção VIII.3.

VII. METODOLOGIA

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica da literatura existente sobre a história e a origem do jogo de pingue-pongue, bem como sobre os conteúdos físicos envolvidos na trajetória da bola utilizada nessa prática esportiva. Em seguida, para cumprir o propósito de

aprendizagem do manuseio do software Tracker, realizou-se pesquisas de tutoriais em forma de vídeos e manuais já existentes na literatura. Para a realização das filmagens, foi efetuada uma busca na literatura com o intuito de identificar e aplicar as condições essenciais para uma videoanálise de qualidade. Posteriormente, foram realizadas as filmagens das partidas de pingue-pongue e os vídeos obtidos foram analisados pelo software Tracker (Parreira, 2018).

Para a realização das filmagens da partida de pingue-pongue foi utilizado a câmera de um celular modelo SAMSUNG A24. As filmagens foram realizadas em um ambiente claro com um plano de fundo com cor contrastante com o movimento da bolinha. O plano de fundo escolhido foi cinza e uma bolinha de pingue-pongue branca, com massa aproximada de 2,7 g foi utilizada. Para melhor obtenção de resultados, utilizou-se um tripé (vide Figura 3) para evitar trepidações, garantindo a qualidade da videoanálise, conforme indicado por Leitão, Teixeira e Rocha (2011). Ademais, para fins de calibração do vídeo no software Tracker, é necessário que no ambiente filmado haja um objeto com dimensões conhecidas. Utilizou-se as dimensões da mesa de pingue-pongue para tal calibração.



Figura 3: Montagem experimental para as filmagens da partida de pingue-pongue. Fonte: Autores (2025)

Para as análises das partidas de pingue-pongue, utilizou-se um notebook com o software livre computacional Tracker instalado, que forneceu gráficos e tabelas com os dados coletados das filmagens das diversas grandezas físicas, tais como: as componentes vertical e horizontal da posição e componentes vertical e horizontal da velocidade da bolinha. Subsequentemente, os dados do Tracker foram aproveitados para construção de gráficos utilizando-se o programa Origin 2018 (Moberly, Bernards, Waynant, 2018). Apesar de também ser possível a construção e ajustes de gráficos no Tracker, optou-se pelo Origin por esse programa dispor de muito mais ferramentas para análise e configuração de gráficos.

VIII. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 4, temos a videoanálise realizada pelo Tracker da trajetória da bola, em uma partida de pingue-pongue, do instante imediato em que é rebatida pelo jogador até um instante em que a bola está na iminência de tocar a mesa do outro lado da rede. A origem

dos eixos coordenados foi definida em um ponto sobre a mesa de pingue-pongue de forma que no instante da rebatida, as coordenadas da posição da bolinha fossem $x_0 = 0$ e $y(t) = y_0$. Desconsiderando a resistência do ar, é possível considerar que a trajetória da bolinha é parabólica. Desta forma, o movimento da bolinha pode ser modelado matematicamente como se fosse um lançamento oblíquo. No que refere ao lançamento oblíquo, como já dito, este é um movimento bidimensional, ou seja, resulta da combinação de dois movimentos independentes entre si: o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) na componente horizontal, que possui aceleração nula, e o Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), que possui aceleração constante para baixo. O lançamento oblíquo é observado quando se lança um corpo a um certo ângulo θ em relação à horizontal e com uma dada velocidade inicial ($\vec{v}_0$), de forma que θ varia de 0° a 90° (Marion, 2013).

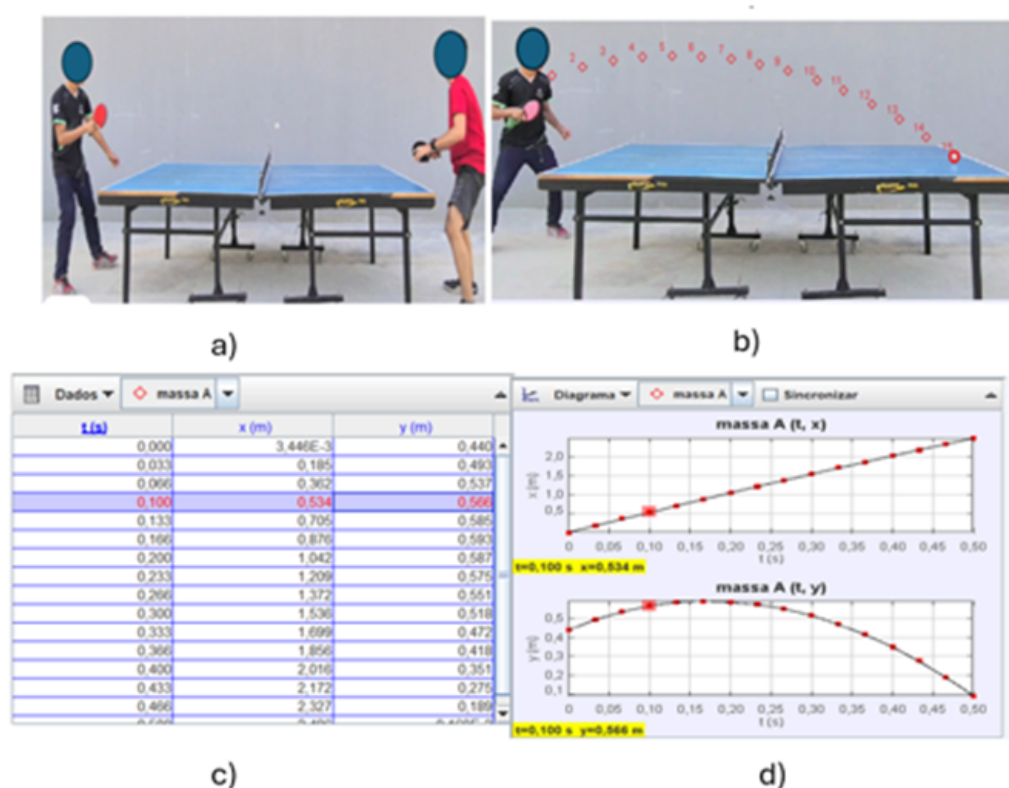


Figura 4: a) Partida de pingue-pongue filmada com um Samsung S24. b) Trajetória da bolinha gerada pelo Software Tracker. c) Tabela com dados obtidos da videoanálise realizada. d) Gráficos x versus t e y versus t gerados pelo Tracker. Fonte: Autores (2025)

VIII.1. Estimativa do valor da aceleração da gravidade local

Na Figura 5, apresenta-se o comportamento da componente vertical da posição do lançamento (y) em função do tempo, o qual foi construído, no Origin, a partir dos dados obtidos na análise de vídeo conduzida no programa Tracker. Como pode-se observar, o comportamento é aproximadamente parabólico. Por essa razão, ajustou-se este gráfico por meio de uma função parabólica, que segue a equação a seguir:

$$y = A + Bt + Ct^2 \quad (17)$$

onde A, B e C são parâmetros cujos valores são gerados pelo Origin após o ajuste. Os valores obtidos para os parâmetros foram: $A \approx -4,777 \pm 0,024$; $B \approx 1,680 \pm 0,012$ e $C \approx 0,444 \pm 0,001$.

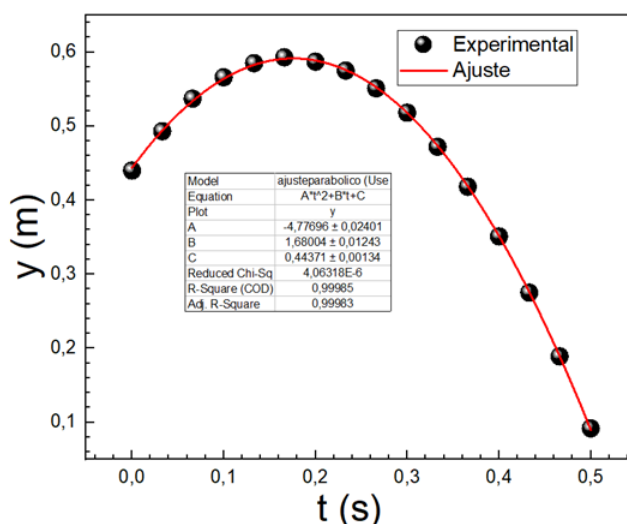


Figura 5: Gráfico da componente y da posição em função do tempo (t) plotado no Origin, utilizando os dados coletados no Tracker. Fonte: Autores (2025)

Desconsiderando a força resistiva do ar, a aceleração do corpo, no lançamento oblíquo, é constante e para baixo (Marion, 2013). Portanto, a componente da posição na direção vertical do movimento (y), pode ser dada por meio da função horária da posição do MRUV dada pela equação (5). Comparando as equações (5) e (17), pode-se atribuir significados físicos para os parâmetros A, B e C. Daí, escreve-se: $C = y_0$, $B = v_{0y}$ e $A = -\frac{g}{2}$. Como se nota o parâmetro C corresponde à componente y da posição inicial, B é a componente y da velocidade inicial e A é o negativo da metade da aceleração gravitacional. Portanto, a partir dos valores de A, B e C, dados pelo programa Origin, obtém-se que: $y_0 \approx 0,444$ m, $v_{0y} \approx 1,680$ m/s e $C \approx -4,777$ m/s². Sendo $C = -\frac{g}{2}$, torna-se possível estimar o valor da aceleração da gravidade experimental (g_e). Daí, segue:

$$-\frac{g_e}{2} \approx (-4,777) \therefore g_e \approx 9,554 \text{ m/s}^2.$$

Logo, o valor experimental da aceleração da gravidade obtido da vídeoanálise é $g_e = 9,554 \text{ m/s}^2 \pm 0,048$. Tendo em vista que a latitude e altitude da cidade de São José de Ribamar (local onde foi realizada a filmagem) são, respectivamente, $-2,56^\circ$ e 11,0 m (DB-City, 2024), a aceleração da gravidade local é aproximadamente $g_r = 9,780 \text{ m/s}^2$, obtida utilizando a equação (LOPES, 2008):

$$g_{\lambda,z} \approx \frac{g_p}{1 + \frac{f}{2}} \left(1 + \beta \sin^2 \lambda \right) \left(1 - \frac{2z}{R} \right), \quad (18)$$

onde g_p é a aceleração da gravidade padrão que ao nível do mar e na latitude 45° é igual a $9,8062 \text{ m/s}^2$; $\beta = 5,300 \times 10^{-3}$ é um fator numérico que leva em conta a rotação terrestre, em torno de seu eixo, e o achatamento polar devido a essa rotação; λ é a latitude local; z é a latitude local; e R é o raio da Terra que vale $6,371 \times 10^6 \text{ m}$.

Pode-se comparar o valor da aceleração da gravidade local com o valor experimental e obter o erro relativo percentual ($E_r\%$), como segue abaixo:

$$E_r\% = \frac{|g_e - g_r|}{g_r} \times 100\% \Rightarrow E_r\% = \frac{|(9,554 - 9,780)| \text{ m/s}^2}{9,780 \text{ m/s}^2} \times 100\% \approx 2,31\%.$$

Como se observa, o erro relativo percentual para determinação da aceleração da gravidade local, a partir da videoanálise em questão foi de aproximadamente 2,31%.

VIII.2. Estimativa da velocidade de lançamento e determinação do ângulo de lançamento (θ)

Derivando-se em relação ao tempo as componentes x e y da posição da bolinha obtemos, respectivamente, as componentes $x(v_x)$ e $y(v_y)$ da velocidade da bolinha. Da videoanálise, obteve-se essas componentes conforme mostra a Tabela 1.

Tempo (s)	v_y (m/s)	v_x (m/s)	v (m/s)
0,000	1,606	5,502	5,731
0,033	1,470	5,433	5,628
0,066	1,093	5,211	5,325
0,100	0,714	5,120	5,170
0,133	0,409	5,182	5,198
0,166	0,033	5,032	5,033
0,200	-0,270	4,977	5,014
0,233	-0,545	5,000	5,030
0,266	-0,849	4,881	4,955
0,300	-1,182	4,881	5,023
0,333	-1,515	4,848	5,080
0,366	-1,803	4,732	5,064
0,400	-2,137	4,717	5,178
0,433	-2,455	4,732	5,335
0,466	-2,734	4,687	5,426
0,500	-2,862	4,676	5,483

Tabela 1: Valores de velocidade da bolinha no decurso do tempo obtidos da vídeoanálise com o Tracker. Fonte: Autores (2025).

De posse dos valores das componentes $x(v_{0x})$ e $y(v_{0y})$, conforme mostra a Tabela 1 para $t = 0$, pode-se ainda estimar a velocidade de lançamento v_0 da bolinha de pingue-pongue por meio da equação (15). Substituindo os valores de v_{0x} e v_{0y} na equação (15), obtém-se

$v_0 \cong 5,731\text{m/s}$. Com os dados gerados pela análise de vídeo do jogo de pingue-pongue utilizando o Tracker é possível estimar o ângulo de lançamento (θ) da bolinha, a partir da equação (16), utilizando os dados de v_{0x} e v_{0y} que constam na Tabela 1. O resultado obtido é $\theta \cong 16,272^\circ$.

VIII.3. Influência da força resistiva do ar

No que tange à influência da força resistiva do ar no movimento da bolinha de pingue-pongue, pode-se concluir que a energia mecânica da bolinha ao decorrer da trajetória não é conservada, uma vez que esta fica sujeita a atuação da força de resistência do ar, que é uma força dissipativa (Marion, 2013). Isso pode ser demonstrado, esboçando o gráfico da energia mecânica em função do tempo, construídos com os dados da videoanálise e utilizando a equação da energia mecânica (E_M) dada por (Marion, 2013) :

$$E_M = E_c + E_p \quad (19)$$

onde E_c é a energia cinética da bolinha ($E_c = (mv^2)/2$) e E_p é a energia potencial gravitacional da bolinha em relação à mesa de pingue-pongue ($E_p = mgy$) em um dado instante.

Na Figura 6a, apresenta-se o comportamento da energia mecânica da bolinha no decorrer do tempo, considerando a aceleração da gravidade local de $9,78\text{m/s}^2$ e uma bolinha de massa $m = 2,7\text{g}$. Como se observa, a energia mecânica da bolinha decresce no decurso do tempo. Essa redução da energia mecânica deve-se à conversão parcial da energia mecânica em energia térmica durante o tempo de voo da bolinha. Esse resultado revela os efeitos dissipativos da atuação da força resistiva do ar sobre a bolinha. Quanto à Figura 6b, é apresentada a dependência da componente horizontal da velocidade (v_x) da bolinha durante o tempo de voo. Esse gráfico é construído com os dados da Tabela 1. Nota-se, claramente, que v_x não é constante no tempo, decaindo de $5,502\text{m/s}$ para $4,676\text{m/s}$ em apenas $0,500\text{s}$. Essa variação mostra que o movimento da bolinha não é uniforme na direção horizontal, como seria esperado, caso a bolinha se deslocasse no vácuo. Essa constatação reforça, novamente, que a força de resistência do ar influencia, significativamente, no movimento da bolinha de pingue-pongue.

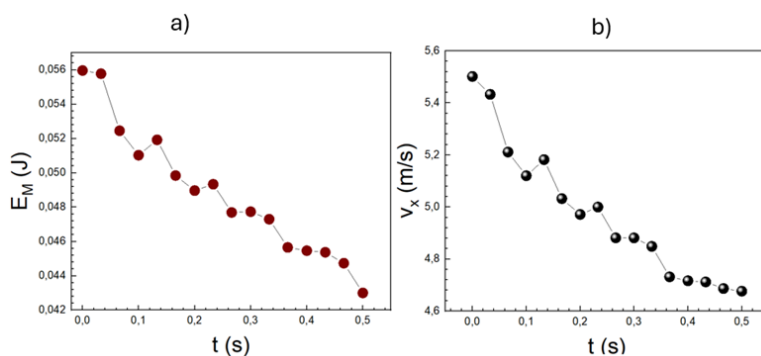


Figura 6: Dependência com o tempo a) da energia mecânica da bolinha (EM) e b) da componente horizontal da velocidade da bolinha (vx). As esferas representam os pontos experimentais. Fonte: Autores (2025)

IX. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados mostram que a videoanálise com o Tracker é uma ótima ferramenta para a análise do lançamento oblíquo do jogo de pingue-pongue. À luz desses resultados, torna-se imperativo reinventarmos a metodologia de ensino da Física para os jovens. Conforme discutido, essa disciplina é frequentemente encarada com aversão por muitos estudantes. Todavia, é viável atenuar essa percepção negativa mediante a utilização de tecnologias e práticas esportivas cotidianas, tornando o aprendizado mais lúdico, prazeroso e alinhado à realidade dos discentes.

Por fim, almeja-se que o estudo realizado possa ser aproveitado por professores de Física e que possa servir de inspiração para trabalhos similares, uma vez que a discussão aqui empregada pode ser adaptada no estudo cinemático, por videoanálise, de esportes populares como futebol, voleibol e basquetebol. Dessa forma, espera-se contribuir para o aprimoramento do ensino da Física.

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. E.; RUBINI, G. A aerodinâmica da bola de futebol. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, p. 297-306, 2004.

ALMEIDA, M. B.; YOKOTA, G. K. A chegada do tênis de mesa ao Brasil: origem e significados do ping-pong enquanto prática civilizada (1902-1909). *Revista Brasileira de Estudos do Lazer*, v. 10, n. 1, p. 42-62, 2023.

BARROSO, M. F.; FELIPE, G.; SILVA, T. Aplicativos computacionais e ensino de física. *Atas do IX EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, 2006.

BRANCAZIO, P. J. Physics of basketball. *American Journal of Physics*, v. 49, n. 4, p. 356-365, 1981.

BRODY, H. Physics of the tennis racket. *American Journal of Physics*, v. 47, n. 6, p. 482-487, 1979.

BROWN, D. Tracker free video analysis and modeling tool for physics education. *Open Source Physics comPADRE*, USA, 2012.

CATALDO, D. Tênis de mesa: regras, equipamentos, história e como funciona. 2024. Disponível em: link. Acesso em: 4 jan. 2025.

CHINA. China tops table tennis world again. *China.org.cn*, 2004. Disponível em: <<https://www.china.org.cn/english/Life/89600.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

COHEN, C.; CLANET, C. Physics of ball sports. *Europhysics News*, v. 47, n. 3, p. 13-16, 2016.

CONFEDERAÇÃO BRASILEIRA DE TÊNIS DE MESA. Por todo o Brasil, mirando muito mais alto: tênis de mesa comemora a marca de 9 mil filiados. 2024. Disponível em: <https://cbtm.org.br/noticia/detalhe/101746/por-todo-o-brasil-mirando-muito-mais-alto-tenis-de-mesa-comemora-a-marca-de-9-mil-filiados>. Acesso em: 18 abr. 2025.

DA CAMINO PEREZ, M.; VIALI, L.; LAHM, R. A. Aplicativos para Tablets e Smartphones para o ensino de Física. *Revista Ciências & Ideias*, 2016.

DB-CITY. São José de Ribamar. 2024. Disponível em: <<https://pt.db-city.com/Brasil--Maranh%C3%A3o--S%C3%A3o-Jos%C3%A9-de-Ribamar>>. Acesso em: 15 set. 2024.

DE PINHO ALVES FILHO, J. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, p. 44-58, 2004.

DEPRÁ, P. P. Tênis de mesa. In: OLIVEIRA, A. A. B. de *et al.* Ensinando e aprendendo esportes no Programa Segundo Tempo. Maringá: Eduem, 2011.

DOS SANTOS SILVA, E.; SANÁBRIA, N. D. Videoanálise de disparos realizados por uma catapulta caseira: uma proposta de ensino para a discussão de lançamentos oblíquos e avaliação da energia mecânica. *Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada*, v. 5, n. 1, 2018.

GHISLENI, L. F. P. Sobre o movimento de uma bola de tênis. 2015.

LEITÃO, L. I.; TEIXEIRA, P. F. D.; ROCHA, F. S. A vídeo-análise como recurso voltado ao ensino de física experimental: um exemplo de aplicação na mecânica. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, v. 6, n. 1, p. 18-33, 2011.

LEROY, B. O efeito “folha seca”. *Revista Brasileira de Física*, v. 7, n. 3, p. 693, 1977.

LOPES, W. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 3, p. 561-568, 2008.

MARION, J. B. *Classical dynamics of particles and systems*. Academic Press, 2013.

MELHORES RAQUETES. Tênis de mesa: a história e evolução do jogo. [s.d.]. Disponível em: <<https://melhoresraquetes.com.br/tenis-de-mesa-a-historia-e-evolucao-do-jogo/>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

MIRON, A. J. M. *A física da natação*. f. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MOBERLY, J. G.; BERNARDS, M. T.; WAYNANT, K. V. Key features and updates for origin 2018. *Journal of Cheminformatics*, v. 10, p. 1-2, 2018.

PARREIRA, J. E. Um curso de Mecânica com o uso do programa de vídeo-análise Tracker. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 980-1003, 2018.

PEDROSO, L. S. *et al.* Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de física Phyphox. *Latin-American Journal of Physics Education*, v. 14, n. 4, p. 1, 2020.

PONTES, S. S. *et al.* Práticas de atividade física e esporte no Brasil. *Revista Brasileira em Promoção da Saúde*, v. 32, p. 1-9, 2019.

SENA, C. G.; FERNANDES, G. W. R. Tecnologias móveis: uma proposta didática de Física para o uso do aplicativo “Física Lab Resistores”. *Revista Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, p. 352-376, 2018.

SIRISATHITKUL, C. *et al.* Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, p. 1-6, 2013.
