



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE MULTIDISCIPLINAR - PAU DOS FERROS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (2026)

DISPOSITIVO BASEADO EM ARDUINO DE MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME¹

UNIFORM CIRCULAR MOVEMENT ARDUINO-BASED APPARATUS

Gustavo Alves Mendes²

Pedro Thiago Valério de Souza³

RESUMO

Propomos a construção de um aparato baseado em Arduino para estudar a projeção do movimento circular uniforme (MCU) nos eixos cartesianos. Utilizando um motor de passo comum controlado por Arduino, o aparato produziu um MCU controlado com uma frequência específica. A configuração de iluminação, utilizando lanternas de celulares, produziu a projeção do MCU nos eixos x e y e, conseqüentemente, este aparato didático propôs a possibilidade de coletar dados da função posição-tempo e estudar a função sinusoidal da posição x e y , da velocidade e da aceleração, identificando parâmetros essenciais como amplitude, período, frequência, frequência angular e fase. A projeção pode ser associada a um movimento harmônico simples que, por vezes, não é compreendido nas aulas de física. Palavras-chave: arduino; MCU; experimento escolar.

ABSTRACT

We propose the construction of an Arduino-based apparatus to study uniform circular motion (UCM) cartesian axis projection. Using a common step motor Arduino controlled, the apparatus produced a controlled UCM with a specific frequency. The illumination configuration using cellphone flashlights produced UCM projection on x and y -axis and consequentially, this didactic apparatus proposed the possibility of collecting data time position function and studying x and y position, velocity and acceleration component sinusoidal time function and identifying parameters essentials such as amplitude, period, frequency, angular frequency, and phase. The projection can be associated with a single harmonic motion that sometimes was not understood in the physics classroom. Keywords: arduino; UCM; classroom experiments.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado/defendido ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação, no dia 22 de dezembro de 2025, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista junto a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

² Orientando do Curso de Graduação em Engenharia de Computação, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Lattes ID: <http://lattes.cnpq.br/5198926335885794>. E-mail: gustavo.mendes@alunos.ufersa.edu.br.

³ Orientador(a) do Curso de Graduação em Engenharia de Computação, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Lattes ID: <http://lattes.cnpq.br/0971359679672360>. E-mail: pedro.souza@ufersa.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

O projeto de física baseado em Arduino tem ficado popular devido a sua fácil acessibilidade e utilização em sistemas simples e complexos. Existem algumas propostas didáticas que utilizam Arduino para estudar sistemas físicos como queda livre (Moya, 2018), movimento harmônico simples (MHS) (Galeriu; Edwards; Esper, 2014), magnetismo (Moya; Macias, 2024), ondas sonoras (Mendes; Silva; Rebouças, 2023), entre outros, e associam baixo custo e medições de alta resolução em experimentos em sala de aula (Somogyi; Kelemen; Mingesz, 2022).

O acesso dos alunos à câmera do celular é uma realidade, e eles podem gravar situações experimentais que podem ser usadas como ferramenta de análise em aulas de física. Por exemplo, estudar a posição cartesiana de um objeto específico em função do tempo (Orban *et al.*, 2023), a conservação da energia mecânica em movimentos oscilatórios usando software de análise de vídeo (Bryan, 2010) e movimentos de rotação (Cross, 2024).

Neste artigo, propusemos a construção e utilização de uma configuração experimental baseada em Arduino para produzir um MCU controlável e a projeção específica de movimento em x e y . Isso permite que professores e alunos compreendam e visualizem a correlação entre o MCU e as projeções nos eixos cartesianos. É um aparato experimental de baixo custo que pode ser usado em aulas de física. O aparelho permite que os alunos registrem o objeto em movimento e estudar a função horária de posição cartesiana x e y .

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O movimento circular uniforme (MCU) é um tópico importante em salas de aula de ensino de física devido ao fenômeno recorrente da vida cotidiana que pode ser explicado. O deslocamento angular dependente do tempo $\theta(t)$ é descrito por:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega t \quad (1)$$

onde θ é a posição angular inicial, $\theta_0 = \theta(t = 0)$, o parâmetro ω é a frequência angular. e representa a taxa de variação do ângulo ao longo de tempo. A equação de posição da projeção x do UCM, $x(t)$, é

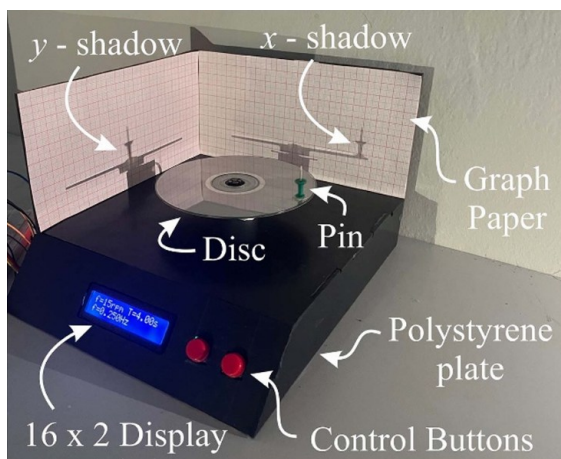
$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

onde A é a amplitude do movimento ou o deslocamento máximo em x e y e φ é a fase constante que representa a posição angular em $t = 0$ e têm o mesmo papel de θ_0 na equação (1).

3 METODOLOGIA

O dispositivo experimental foi projetado para produzir um objeto em movimento de rotação controlada e sua projeção específica da posição em x e y ao longo do tempo usando lanternas de celular para produzir sombras na tela de visualização. O dispositivo é mostrado na figura 1 e os materiais específicos utilizados: caixa do aparelho fabricada em placa de poliestireno, papel milimetrado, disco compacto (CD), alfinete, motor de passo 28BYJ-48 com driver ULN2003, Arduino UNO, Visor LCD 16×2 com LCM 1602 IIC, dois botões, mini placa de prototipagem de 170 pontos, tecla liga/desliga, um suporte para montagem do CD foi impresso em 3D (Ultimaker, 2014). Os detalhes do circuito não são mostrados na figura 1, eles são dentro da caixa do equipamento.

Figura 1 – Detalhes do aparato e materiais indicados

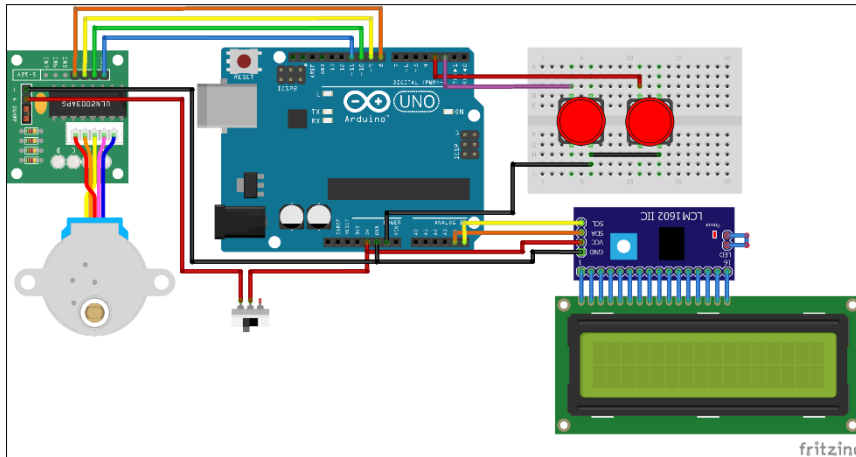


Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 2 mostra detalhes do esquemático do circuito baseado em Arduino não mostrado na figura 1. Os códigos estão disponíveis no material suplementar online. O par de botões controlam a frequência de rotação do motor de passo; o botão esquerdo diminui e o direito aumenta ω e o objeto em MCU e sua projeção de sombra em papel milimetrado.

Usando o botão liga/desliga permite pausar a execução do experimento e controlar o movimento inicial. Nessa configuração, o motor de passo funciona suavemente e sem atrasos entre passos, quando conectado a uma fonte de energia, em frequências abaixo 15 rpm.

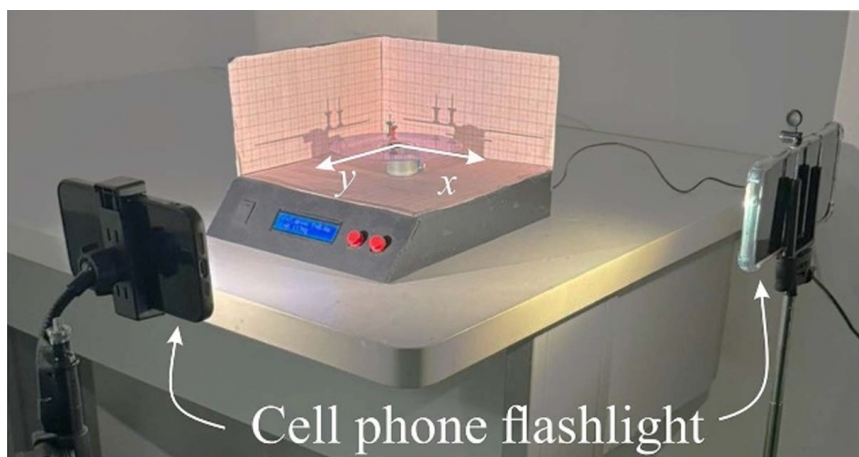
Figura 2 – Diagrama de montagem do circuito do Arduino do aparato, no programa *Fritzing*



Fonte: Autoria própria (2025)

O visor LCD mostra o período atual do MCU (T), em segundos, e a frequência (f), em unidades de rpm e hertz, respectivamente. O T , f e ω são os mesmos parâmetros de projeção de sombra que executam uma oscilação harmônica simples (OHS). Como esperado, o OHS pode ser explicado como uma projeção do MCU sobre um eixo.

Figura 3 – A configuração de iluminação do aparato, usando dois celulares com lanterna fixos.



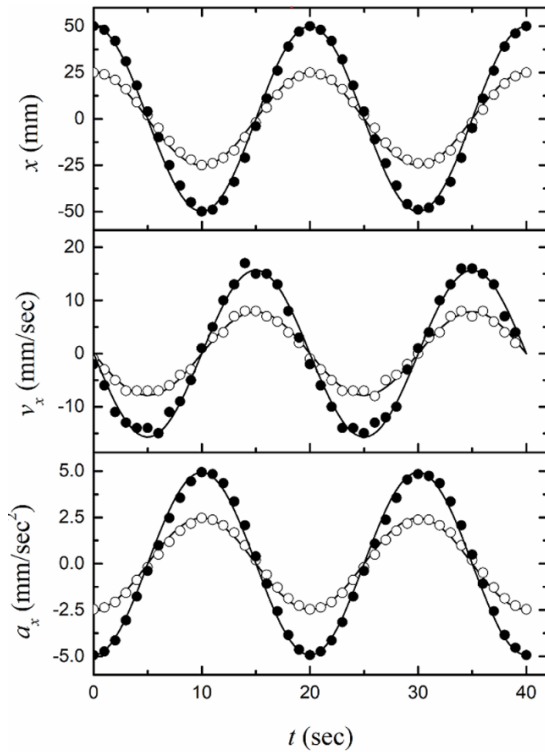
Fonte: Autoria própria (2025)

O celular da lanterna da configuração experimental é apresentado na figura 3. Dois celulares com lanterna fixos geram as sombras nos eixos x e y , que correspondem à projeção do MCU em eixos específicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizar a câmera do celular para gravar a sombra de um objeto permite que os alunos colem dados para construir a tabela de função horária da posição usando um aplicativo de celular ou um programa de visualização de vídeo no computador. A Figura 4 mostra o componente do eixo x da função horária da posição, velocidade e aceleração, em MCU, das sombras de dois pinos, com $T = 20.0$ s, para amplitudes de 5.0 cm (pontos vazios) e 10.0 cm (pontos preenchidos).

Figura 4 – Posição, velocidade e aceleração no eixo x para a sombra de dois pinos, $A = 5.0$ cm e $A = 10.0$ cm



Fonte: Autoria própria (2025)

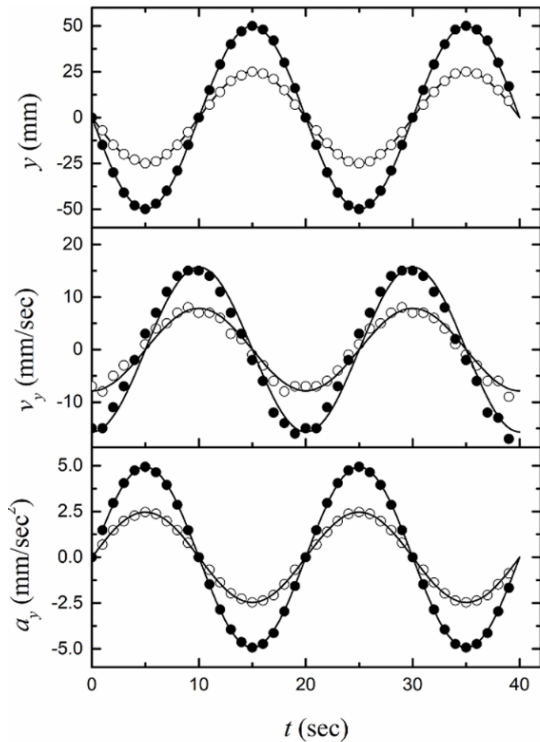
A velocidade é obtida usando $v_x(t_i) = x(t_{i+1}) - x(t_i)/(t_{i+1} - t_i)$ e $a_x(t_i) = \omega^2 x(t_i)$, onde os índices i são os dados de tempo de interesse e os índices $(i + 1)$ são os dados de tempo seguintes. Este procedimento é matematicamente equivalente ao cálculo da

primeira e segunda derivadas da equação (2). Os dados foram coletados assistindo às gravações dos experimentos em um celular ou computador, pausando o vídeo a cada segundo e anotando cada posição e tempo para construir a tabela de dados para a posterior construção gráfica. Este procedimento também pode ser realizado usando o software de análise de vídeo *Tracker* (Brown; Hanson; Christian, [s. d.]).

Os gráficos apresentam uma boa representação do componente MCU descrito pela equação (2), usando $\omega = 2\pi/T$, conforme mostrado nas linhas contínuas da figura 4. Os dados obtidos experimentalmente com nosso aparato apresentam boa correlação com o resultado teórico (linhas contínuas).

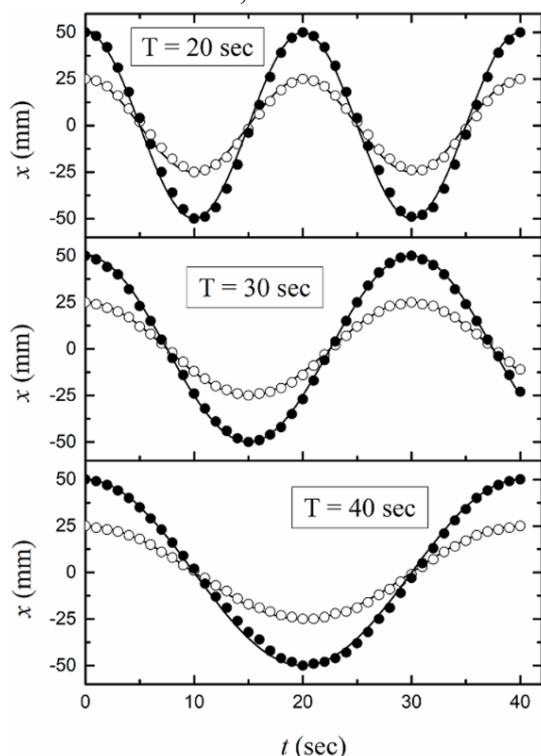
Para o estudo da posição (y), velocidade (v_y) e aceleração (a_y) no eixo y , utilizou-se a mesma configuração da figura 4, porém registrou-se a sombra no eixo y e mantiveram-se as condições iniciais. As funções horárias de y , v_y e a_y são mostradas na figura 5. A linha contínua é teoricamente esperada usando os mesmos valores de ω e $\varphi = 3\pi/2$ previstos para o parâmetro em y nas duas sombras dos pinos no MCU. A Figura 6 apresenta a função horária da posição dos dois pinos para períodos de 20.0, 30.0 e 40.0 s. As linhas contínuas são funções teóricas.

Figura 5 – Posição, velocidade e aceleração no eixo y



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 6 – Função horária da posição no eixo x de dois pinos, para períodos de 20.0, 30.0 e 40.0 s



Fonte: Autoria própria (2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do aparato baseado em Arduino permite um MCU controlável e a observação de seu movimento e componentes uniaxiais. A gravação de vídeo possibilita a aquisição de dados de posição temporal e a construção de gráficos da posição em função do tempo. Assim, observamos a função senoidal de cada um dos componentes, bem como a diferença de fase entre eles.

O comportamento senoidal do MCU é diretamente relacionado ao MHS, portanto, isso se apresenta como uma boa introdução ao estudo das oscilações harmônicas. A constância de ω no MCU não se mantém ao observar a velocidade e a aceleração das componentes x e y da projeção.

Assim, o equipamento se apresenta como uma ferramenta para ser usada em sala de aula e pode ser construído por professores interessados em usar o Arduino como ferramenta de ensino em física.

REFERÊNCIAS

- BROWN, D.; HANSON, R.; CHRISTIAN, W. **Tracker**: video analysis and modeling tool. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- BRYAN, J. A. Investigating the conservation of mechanical energy using video analysis: four cases. **Physics Education**, v. 45, n. 1, p. 50, 2010.
- CROSS, R. Work done on a tennis ball yo-yo. **Physics Education**, v. 59, n. 6, art. 063004, 2024.
- GALERIU, C.; EDWARDS, S.; ESPER, G. An Arduino investigation of simple harmonic motion. **The Physics Teacher**, v. 52, n. 3, p. 157, 2014.
- MENDES, G. A.; SILVA, J. da C. e; REBOUÇAS, G. O. G. Instantaneous measurement of the speed of sound in air and water using Arduino. **The Physics Teacher**, v. 61, n. 5, p. 394, 2023.
- MOYA, A. A. An Arduino experiment to study free fall at schools. **Physics Education**, v. 53, n. 5, art. 055020, 2018.
- MOYA, A. A.; MACIAS, R. An Arduino-based magnetic polarity detector and field intensity display. **Physics Education**, v. 59, n. 2, art. 023003, 2024.
- ORBAN, C. M. *et al.* Methods to simplify object tracking in video data. **The Physics Teacher**, v. 61, n. 7, p. 576–579, 2023.
- SOMOGYI, A.; KELEMEN, A.; MINGESZ, R. Low-cost high-resolution measurements of periodic motions with Arduino in physics teacher in-service education. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2297, n. 1, art. 012031, 2022.
- ULTIMAKER. **Thingiverse Design Community**. 2014. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:528428/files>. Acesso em: 10 jun. 2025.