

## Implementação de Experimento de Queda Livre com Arduino

**Ruan Pablo Vogado Silva<sup>1</sup>, Antônia Beatriz Carvalho Rodrigues<sup>1</sup>, Gabriel Milhomem Coelho<sup>1</sup>, Gustavo Bonifácio Ramos<sup>1</sup>, Victor Eduardo Ribeiro Maciel<sup>1</sup>, Hugo Leonardo Carvalhaes Couto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Estudante do Curso Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio – IFTO.

<sup>2</sup>Professor EBTT – IFTO, Campus Dianópolis.

**Resumo:** Este trabalho visa apresentar estudos de medição da gravidade no laboratório de Física/Matemática do *Campus* Dianópolis, com o uso do procedimento proposto do Moya (2018). Para isso, foi utilizada uma placa Arduino ligada a um sensor ultrassônico para medir a aceleração da gravidade em um movimento de queda-livre. Com esse aparato foram feitas medidas de tempo e de posição. A análise dos dados foi realizada em consonância com o movimento uniformemente variado previsto pela teoria da gravitação newtoniana. Pode-se comparar os resultados com o valor esperado da aceleração da gravidade local e com medidas manuais. Observou-se que a automatização das medidas promove uma melhoria significativa nos resultados em relação ao método manual.

**Palavras-chave:** automação, arduino, física, queda-livre, gravidade

### 1 INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência essencialmente experimental: todo e qualquer conhecimento ou teoria em seu escopo está a depender de limitações técnicas, sujeito a verificação experimental. Apesar disso, tradicionalmente o ensino de Física, a nível médio e mesmo a nível superior, tem um caráter prioritariamente teórico e conteudista (COLUCI, 2013; GOYA, 2011; LONDOÑO, 2017). A experimentação, quando existente, é relegada a segundo plano. Dentre as diversas razões para tanto, podemos apontar o custo dos kits experimentais, dispendioso para a maior parte das instituições de ensino

Medidas de grandezas físicas como temperatura, pressão, distância, luminosidade e massa são baseadas em circuitos integrados com transdutores que convertem as intensidades dessas grandezas físicas em sinais elétricos (INMETRO, 2012). A tomada desses valores é controlada por microcontroladores, que nada mais são do que “pequenos computadores” embarcados em dispositivos com tarefas específicas. Assim como um software proprietário, esses hardwares comumente são “caixas-pretas” cujo funcionamento e implementação não são de alcance público (MCROBERTS, 2011; GALERIU, 2013).

Na mesma linha dos programas de código aberto, o Arduino<sup>1</sup> é um projeto de hardware de código aberto que possibilita que seus projetos possam ser reproduzidos e modificados por terceiros. Isso evidentemente barateia os custos dos dispositivos e confere mais controle a todo o processo. Estas características tem feito do Arduino, e afins, a nova vedete dos laboratórios de ensino (MCROBERTS, 2011; MOYA, 2018; CORDOVA, 2016; MOURÃO, 2018; PILI, 2019). Além de existir uma série de aplicações em campos tradicionalmente estudados no currículo de Física, como lançamento de

<sup>1</sup> <https://www.arduino.cc/>

projéteis (SRIVASTAVA, 2015), carga de capacitores (CAVALCANTE, 2011), eletricidade básica (CAVALCANTE, 2015) e composição de cores (CARVALHO, 2016), são bastante comuns aplicações no ensino de áreas interdisciplinares como robótica, agricultura (BROX, 2016) e sismologia (SARAÒ, 2016).

Muito além do campo educacional, os microcontroladores de código aberto são uma tecnologia importante na automatização e informatização de tarefas do dia-a-dia em diversos campos de atuação, configurando em uma das tecnologias que dão suporte ao que se convencionou chamar de internet das coisas (*IoT – Internet of Things*).

Tradicionalmente, as medições da aceleração da gravidade nos laboratórios de ensino é feita através do estudo do Pêndulo Simples ou do Plano Inclinado, raramente através do estudo da Queda Livre. Isso se justifica por conta dos erros nas medidas manuais de tempo, os quais tem influência muito grande em movimentos com duração curta, como o movimento de queda-livre na escala do laboratório. Para o estudo desses movimentos faz-se imperativo o uso de sistemas eletrônicos de coleta de dados.

De qualquer modo, existe uma série de propostas de arranjos experimentais com Arduino para a medição da aceleração da gravidade. Desde o estudo do Pêndulo Simples com sensor ultrassônico (PILI, 2019), passando pelo estudo do Plano inclinado com LEDs e sensores infravermelhos (MOURÃO, 2018), até o estudo da queda-livre propriamente dita com sensoriamento óptico (PILI, 2019; BALDO, 2016), com o uso de sensor ultrassônico (MOYA, 2018) ou, ainda, com o uso de sensores caseiros (CORDOVA, 2016).

Neste trabalho nós relatamos a medição da aceleração local da gravidade no laboratório de Física/Matemática do *Campus* Dianópolis com o uso do procedimento proposto por Moya (2018). Aqui, nós inserimos uma pequena modificação do seu procedimento, retirando o sensor ultrassônico do ponto inferior da trajetória para o ponto superior dela.

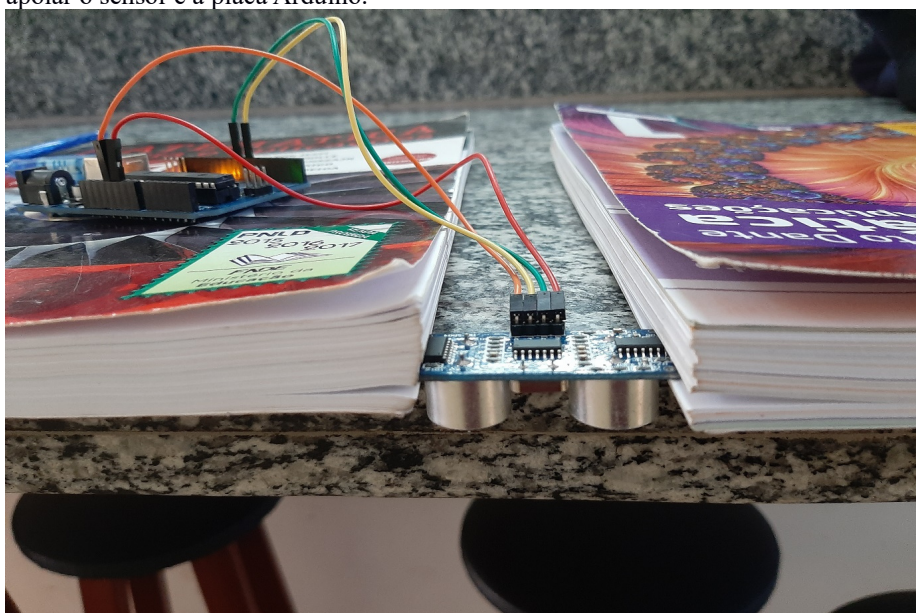
## **2 METODOLOGIA**

Para a aplicar os estudos de aceleração da gravidade pelo método de queda livre, utilizou-se o microcontrolador Arduino Uno juntamente com o sensor ultrassônico HC-SR04. O código, em linguagem C, de autoria Moya (2018) foi carregado no microcontrolador através da IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino.

Durante a montagem, o sensor foi posicionado sobre a bancada do laboratório a uma distância de 1,04 m do chão e apoiado sobre dois livros, conforme mostrado na Figura 1, de maneira que captasse o sinal refletido pelos projéteis.

Cada medida começava com o posicionamento do projétil diante do sensor e com o carregamento do código na placa Arduino. O projétil era então abandonado. Durante a queda eram feitas múltiplas leituras de tempo e posição. À medida que os dados eram coletados, uma tabela com duas colunas, a primeira contendo o tempo e a segunda a distância, era impressa no monitor serial da IDE Arduino.

Figura 1 – Fotografia da montagem do experimento usando dois livros didáticos para apoiar o sensor e a placa Arduino.



Feitas as medidas, os dados eram selecionados de acordo com dois critérios: que a distância aumentasse gradativamente como era esperado de uma queda-livre e que fosse inferior a 1,04 m (a altura da bancada). Esses dados eram, então, inseridos em uma planilha do Microsoft Excel e representados em um gráfico da posição em função do tempo.

A teoria da gravitação de Newton prevê que em uma queda-livre a posição se comporte como uma parábola em função do tempo segundo a equação:

$$y = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \quad , \quad (1)$$

onde  $y$  é a posição no instante  $t$ ,  $y_0$  e  $v_0$  são a posição e a velocidade iniciais e  $g$  é a aceleração da gravidade. Em face dessa teoria, foi feito o ajuste de uma equação polinomial de ordem 2 aos dados experimentais de modo que os coeficientes fossem definidos. Com o valor do coeficiente de  $t^2$  foi calculado o valor de  $g$  segundo a equação:

$$A = \frac{g}{2}. \quad (2)$$

O valor de  $g$  então obtido foi comparado com o valor teórico esperado (a saber,  $9,78 \text{ m/s}^2$ ), através do cálculo do erro relativo:

$$Erro = \frac{|9,78 - g|}{9,78} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Para efeito de comparação, foram realizadas medidas com tomada manual de tempo. Um objeto posicionado exatamente à mesma distância do solo (1,04 m) foi abandonado. O tempo de queda foi medido com o auxílio de dois cronômetros comuns de celular. Para minimizar a interferência de erros nas medidas individuais, foram feitas quatro medições e obteve-se a média desses valores:

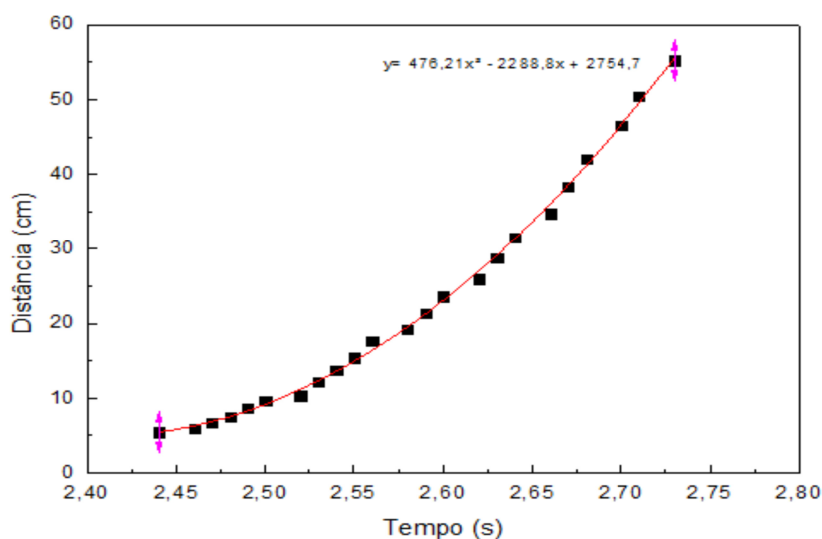
$$\frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4} \quad (4)$$

Em seguida, com a substituição desses tempos médios na equação 1, foram obtidas as estimativas da aceleração da gravidade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram escolhidos como projéteis um livro escolar, uma lata de leite em pó com metade de sua capacidade preenchida por água e uma pedra de mármore com superfície plana. Como pode ser observado nas figuras 2 e 3, houve uma boa concordância entre os dados experimentais e o modelo teórico parabólico (Eq. 1).

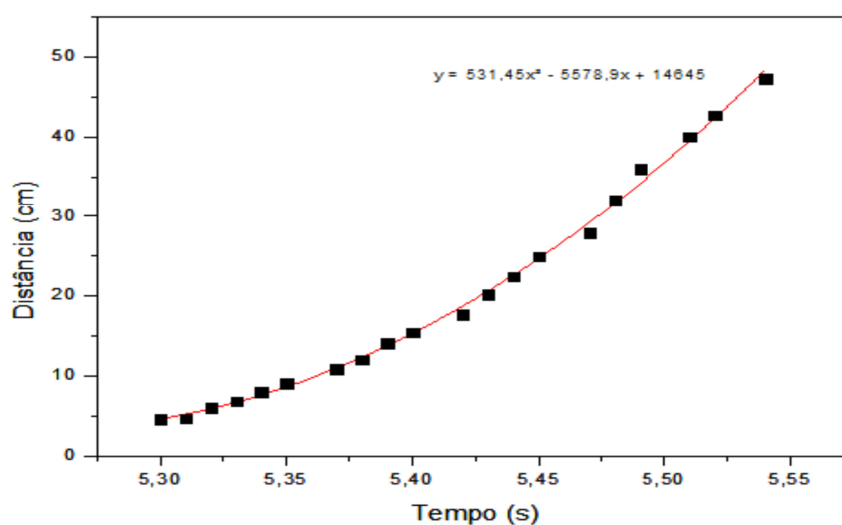
Figura 2 -- Gráfico da distância em função do tempo para a queda-livre do livro. A linha é o ajuste da Equação 1; os pontos são os dados experimentais.



Da comparação dos dados obtidos via arduino com os dados obtidos manualmente pode-se notar uma grande diferença na precisão dos dois métodos. Com o sensor foram obtidos os seguintes

valores de  $g$ : 9,49 m/s<sup>2</sup> para o teste com a lata de alumínio, 9,52 m/s<sup>2</sup> para o livro e 10,63 m/s<sup>2</sup> para a pedra de mármore, correspondendo a erros relativos iguais a 2,61%, 11,15% até 27,72%, respectivamente. Já no método manual foram obtidos erros iguais a 24,33%, 29,75% e 99,2% para os mesmos três objetos. Apesar de os resultados das medidas automatizadas não serem espetacularmente precisos, eles apresentam erros aceitáveis dentro das práticas de um laboratório de ensino.

Figura 3 -- Gráfico da distância em função do tempo para a queda-livre da pedra de mármore. A linha pontilhada é o ajuste da Equação 1; os pontos são os dados experimentais.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Implementar o Arduino para experimentos de queda-livre dentro do laboratório trouxe uma grande gama de possibilidades para futuros projetos que envolvam a mesma tecnologia. O método aprimorou os estudos de aceleração da gravidade por meio de queda-livre, pois o mesmo experimento quando feito manualmente apresenta muitos erros. Os testes com o sensor trouxeram resultados significativos, comparando com os testes manuais, nos quais o erro relativo atingiu valores muito altos que podem impossibilitar os estudos por meio da queda-livre.

Embora o método seja de fácil implementação, é necessário que haja um mínimo conhecimento de programação para entender ou até mesmo adaptar o código. Para introduzir este experimento em laboratórios em geral seria necessário um pequeno investimento inicial para adquirir os componentes eletrônicos que foram utilizados.

## REFERÊNCIAS

BROX, P. et al. Design of sensory systems using the platform arduino by undergraduate physics students. In: **2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.

CARVALHO, P. S.; HAHN, M. A simple experimental setup for teaching additive colors with arduino. **The Physics Teacher**, v. 54, n. 4, p. 244-245, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.4944370>>.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C.; MOLISANI, E. Physics with arduino for beginners. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, p. 4503-4503, 12 2011.

CAVALCANTE, M. M.; SILVA, J. L. DE S.; DANTAS, J. R.; VIANA, E. C. Proposta de Serious Games aplicado ao ensino de eletricidade básica: O Jogo Genius a partir da Plataforma Arduino DOI - 10.5752/P.2316-9451.2015v4n1p3. **Abakós**, v. 4, n. 1, p. 3-19, 22 nov. 2015.

COLUCCI, V. R. et al. Ilustração de incertezas em medidas utilizando experimentos de queda livre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Scielo, v. 35, p. 1 - 6, 06 2013. ISSN 1806-1117. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172013000200026&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172013000200026&nrm=iso) > .

CORDOVA, H.; TORT, A. C. Medida de g com a placa Arduino em um experimento simples de queda livre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Scielo, v. 38, 00 2016. ISSN 1806-1117. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172016000200407&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172016000200407&nrm=iso) > .

GALERIU, C. An arduino-controlled photogate. **The Physics Teacher**, v. 51, n. 3, p. 156-158, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1119/1.4792011> > .

GOYA, A.; HALABI, S. E. Trilho Multifuncional para Ensino de Mecânica. In: **IV Simpósio Latino Americano e Caribenho de Educação em Ciências do International Council of Associations for Science Education**. Curitiba: ICASE, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/ccb/biologiageral/eventos/erebio/painel/T170.pdf>>.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados**. 1ª edição luso-brasileira. Rio de Janeiro: IPQ, 2012. 95 p.

LONDOÑO, Y.; CORTES, J. A.; FERNÁNDEZ, M. E. Diseño, construcción e implementación de sistema de adquisición y análisis de datos para la enseñanza del movimiento rectilíneo en el laboratorio. **Momento**, v. 55, p.57-73, 2017.

MCRROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

MOURÃO, O. **Arduino & ensino de Física: automação de práticas experimentais**. Tianguá: Clube dos Autores, 2018.

MOYA, A. A. An arduino experiment to study free fall at schools. v. 53, n. 5, p. 055020, aug 2018. **Physics Education**, IOP Publishing, Disponível em: < <https://doi.org/10.1088%2F1361-6552%2Faad4c6> > .

SARAÒ, A. et al. Using an arduino seismograph to raise awareness of earthquake hazard through a multidisciplinary approach. **Seismological Research Letters**, v. 87, n. 1, p. 186, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1785/0220150091>>.

SRIVASTAVA, A.; RAGHAVENDRA, M. K.; RAMESH, K. P. Classroom. **Resonance**, v. 20, n. 5, p. 458-471, May 2015. ISSN 0973-712X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12045-015-0202-7>>.