

## 15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### MEDINDO O CAMPO GRAVITACIONAL COM SENSORES DE ÁUDIO E CÂMERAS PRESENTES EM SMARTPHONES

MIGUEL A. O. NETO<sup>1</sup>, SUELEN F. BARROS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Bacharelado em Engenharia Mecânica, Voluntário do programa PIVICT, IFSP, Campus Itaquaquecetuba, almeida.neto@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Docente do campus campus Itaquaquecetuba, suelen.barros@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.01.00-2 Física Geral

#### RESUMO:

Propomos nesse trabalho um arranjo para que sejam realizadas medidas do campo gravitacional local empregando equipamentos de fácil acesso e simples manuseio. O arranjo permite que sejam trabalhados não apenas as questões instrumentais, mas também a tomada de dados de posição e tempo, a análise de incertezas nessas medidas, bem como o Método de Mínimos Quadrados para se estimar os parâmetros de uma função a serem ajustados ao conjunto de pontos experimentais. Os resultados prévios obtidos até o momento permitiram chegar a uma estimativa do campo gravitacional terrestre local de  $9,7(7) \text{ m/s}^2$ , compatível com o valor esperado para o município de no qual o experimento foi realizado, de  $9,79 \text{ m/s}^2$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** campo gravitacional; queda livre; aparelhos smartphones.

#### MEASURING THE GRAVITATIONAL FIELD WITH AUDIO SENSORS AND CAMERAS IN SMARTPHONES

**ABSTRACT:** In this work, we propose an arrangement for measuring the local gravitational field employing an equipment that is easy to access and simple to handle. The arrangement allows not only instrumental issues to be worked on, but also the taking of position and time data, the analysis of uncertainties in these measurements, as well as the Least Squares Method (LSM) to estimate the parameters of a function to be fitted to a set of experimental points. The previous results obtained so far have allowed us to obtain an estimate of the local terrestrial gravitational field of  $9.7(7) \text{ m/s}^2$ , in complete agreement with the expected value for the city in which the experiment was carried out, of  $9.79 \text{ m/s}^2$ .

**KEYWORDS:** gravitational field; free fall; smartphone devices.

#### INTRODUÇÃO

Atualmente é um consenso na área de ensino de ciências a importância do uso dos laboratórios didáticos, uma vez que a experimentação tem um papel essencial na formação dos sujeitos, tanto em relação à sua postura frente ao conhecimento quanto ao desenvolvimento de habilidades para lidar

com novas situações (NARDI, 1998). De fato, o reconhecimento da importância da experimentação e dos laboratórios didáticos é ressaltada em diversos documentos oficiais brasileiros (BRASIL, 1999, 2001, 2002, 2006). Por outro lado, é lugar comum que a adoção de atividades experimentais pelos docentes seja esporádica, assistemática e sem metodologia definida na maioria das escolas públicas, devido principalmente à carência de material, equipamento, local adequado para realizar as atividades, tempo para o seu preparo, e insuficiente número de aulas na carga horária (GASPAR, 2014).

Diante desse contexto, propõe-se nesse trabalho a utilização de um arranjo que permite a medição do campo gravitacional local, utilizando como equipamento um arranjo simples de queda livre e um aparelho smartphone. A proposta visa, por um lado, tornar o aparelho smartphone um aliado do processo de ensino aprendizagem dentro da sala de aula, e não um item a ser retirado do ambiente escolar, e por outro, apresentar uma proposta experimental que permita tornar menos abstrata as famosas equações de movimento apresentadas no estudo da cinemática, bem como os conceitos de posição, velocidade e aceleração (NUSSENZVEIG, 2013), e para a qual seja possível discutir as limitações da experimentação e as alternativas para essas limitações. A depender do nível de ensino em que for aplicada, a proposta permite ainda que sejam trabalhados o conceito de incerteza de uma medida e o Método dos Mínimos Quadrados na estimativa de parâmetros a partir de um conjunto de dados experimentais (VUOLO, 1996).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os instrumentos utilizados para a realização das medidas foram um suporte para experimento de queda livre do kit de experimental da AZEHEB medindo 700 mm com disparador eletromagnético, que pode ser facilmente substituído por uma haste vertical com uma trena fixada ao longo de sua extensão, e sem a necessidade do disparador eletromagnético para abandonar o corpo de prova, corpos de prova de formato esférico metálicos, réguas e trenas e programas de edição de planilhas para tratamento de dados (tais como Microsoft Excel ou LibreOffice Calc). A figura 1 apresenta o suporte para experimento de queda livre utilizado na medição, bem como o corpo de prova utilizado e o disparador eletromagnético.



FIGURA 1. Imagem ilustrativa do kit usado nas medidas de posição em função do tempo no experimento de queda livre. Fonte: Imagens extraídas do manual do kit de experimento de mecânica dos sólidos do fabricante AZEHEB.

Durante a medição, o corpo de prova foi abandonado do topo do suporte, e foram realizadas medidas da posição dele em alguns instantes de tempo durante o movimento de queda. Para essa medição, algumas possibilidades são propostas, sendo que até o momento duas delas já foram avaliadas. Na primeira delas o movimento do corpo de prova em queda foi filmado utilizando-se a câmera de um aparelho celular, e na segunda delas usou-se um sensor de áudio para registrar os ruídos emitidos quando o corpo de prova era abandonado e quando ele tocava em uma placa metálica fixada em diferentes posições ao longo do suporte de queda, a saber: 30, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600 e 690 mm.

Para o primeiro método empregado, os vídeos foram analisados usando o editor de vídeos *Clipchamp* da Microsoft. Abrindo o vídeo no editor é possível obter quadros de imagens do movimento de queda a cada 1/30s, com isso, pode-se montar uma tabela da posição do movimento em

função do tempo em intervalos de 1/30s. Uma vez que a velocidade de queda do corpo aumenta com o tempo, as imagens dos quadros tendem a ficar borradas, e, portanto, ilegíveis, a partir de certo ponto da queda. Assim, a fim de avaliar a qualidade dessas imagens com a câmera empregada, foram realizadas filmagens empregando três modelos de aparelhos diferentes: Samsung Galaxy A04s modelo SM-A047M/DS, iPhone 11 modelo MH9W3LL/A e Xiami Redmi Note 12S, cujas câmeras possuem resolução de 8165 x 6124 pixel, 4000 x 3000 pixel, 12000 x 9000 pixel, respectivamente. A figura 2 traz uma imagem do movimento de queda do corpo de prova obtida a partir do registro feito com o aparelho Samsung no editor *Clipchamp*.



FIGURA 2: Filmagem realizada por aparelho smartphone Samsung Galaxy A04s, recortada em intervalo de tempo 1/30s. Fonte: Autoria própria

Para a tomada de dados empregando o recurso do áudio, o problema da resolução das imagens não está presente. No entanto, é preciso usar um editor de áudio que permita fazer a leitura entre o instante que o corpo foi abandonado e o instante em que ele atingiu a posição em que a placa foi posicionada com boa precisão. Essa análise foi conduzida empregando-se o aplicativo *Audacity*. A figura 3 traz uma imagem do registro de áudio feito quando a placa foi colocada na posição de 690 mm a partir do ponto de queda. Nele observa-se claramente o pico de ruído registrado quando o disparador eletromagnético foi acionado e o corpo de prova foi abandonado, em  $t = 2,051$  s, o ruído liberado quando o corpo atinge a posição de 690 mm pela primeira vez e rebate, em  $t = 2,454$  s, e os ruídos seguintes, quando o corpo volta a atingir a placa, em  $t = 2,858$  s,  $t = 3,126$  s,  $t = 3,336$  s, e  $t = 3,514$  s.

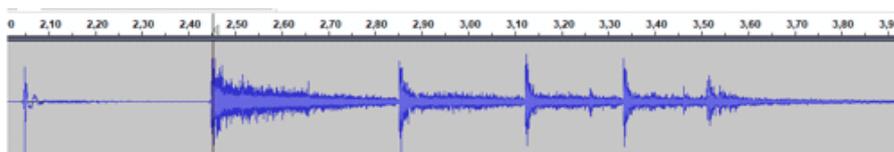


FIGURA 3. Imagem do aplicativo de edição de áudio (*Audacity*) para o registro feito para a queda do corpo de prova de uma distância de 690 mm. Fonte: Autoria própria.

Em ambas as situações de tomada de dados investigadas até o momento, o resultado fornece um conjunto de pontos da posição do corpo em queda em função do tempo, sendo a incerteza dominante à da leitura da posição. Assumindo que a resistência do ar possa ser desprezada durante a queda do corpo de prova, o que é uma hipótese razoável haja vista a pequena distância de queda e as dimensões do corpo e também desconsiderando o fato de que a Terra não é um referencial inercial, e portanto, não há forças centrífugas e de Coriolis atuando sobre o corpo em queda livre (THORNTON e MARION, 2011), o movimento dele pode ser aproximado com boa precisão por um movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), equação (1), cuja aceleração de queda tem a mesma intensidade que o campo gravitacional local. Assim, é possível empregar o Método dos Mínimos

Quadrados (MMQ) para se estimar os parâmetros da função do segundo grau que melhor se ajusta aos pontos de posição em função do tempo:

$$y = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{a}{2}(t - t_0)^2 \quad (1)$$

em que  $y$  e  $y_0$  correspondem à posição do corpo nos instantes de tempo  $t$  e  $t_0$ , respectivamente,  $v_0$  corresponde à velocidade do corpo em  $t_0$ , e uma vez que na queda livre aqui investigada o corpo de prova é abandonado, essa velocidade será igual a zero e  $a$  corresponde à aceleração e queda, que terá módulo igual ao campo gravitacional terrestre durante a queda.

Para a análise aqui conduzida adotou-se o instante de tempo inicial como sendo aquele em que o disparador eletromagnético foi acionado, e, portanto, o corpo de prova foi abandonado. Considerou-se esse ponto como sendo a origem do sistema de referência.

Como a dependência nos parâmetros  $y_0$ ,  $v_0$  e  $a$  na equação (1) é linear, o uso do MMQ para obter as estimativas desses valores pode ser sintetizado na expressão:

$$\hat{\mathbf{p}} = (\mathbf{X}^t \mathbf{V}^{-1} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^t \mathbf{V}^{-1} \mathbf{y} \quad (2)$$

em que  $\hat{\mathbf{p}}$  é a matriz coluna com as estimativas dos parâmetros a serem ajustados,  $\hat{y}_0$ ,  $\hat{v}_0$  e  $\hat{a}$ ,  $\mathbf{X}$  é a matriz *design*, contruída a partir do conjunto de dados  $(x_i, y_i)$ ,  $\mathbf{V}$  é a matriz de variâncias e covariâncias dos dados experimentais e  $\mathbf{y}$  é a matriz construída com os valores  $y_i$  do conjunto de dados medidos. As incertezas de cada um dos três parâmetros a serem ajustados pode ser obtida por meio da matriz de variâncias e covariâncias do vetor de estimativas  $\hat{\mathbf{p}}$ , dada por:

$$\mathbf{V}(\hat{\mathbf{p}}) = (\mathbf{X}^t \mathbf{V}^{-1} \mathbf{X})^{-1} \quad (3)$$

Comparando-se os parâmetros da função ajustada com os da equação (1) é possível obter uma estimativa para a intensidade do campo gravitacional.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 4 traz o gráfico da posição em função do tempo para a filmagem realizada com o aparelho Samsung Galaxy A04s, junto com a curva calculada com os parâmetros de uma função do segundo grau ajustados ao conjunto de dados. Nota-se que a curva descreve bem os dados, de modo que a hipótese de MRUV para a corpo em queda pode ser usada como boa aproximação. Na tabela 1 estão apresentados todos os valores do campo gravitacional terrestre estimados com a análise dos vídeos produzidos. Até o presente momento foram realizados vários testes, e o conjunto de medidas apresentados refere-se ao último deles, para o qual fez-se três medidas com cada um dos três aparelhos utilizados a fim de se avaliar a flutuação estatística inerente ao processo de medição com o procedimento aqui proposto. O grande desafio desta proposta de análise está na leitura das posições do corpo a medida que a velocidade aumenta, uma vez que as imagens tendem a ficar borradas com as três câmeras usadas, e assim, a leitura da posição fica comprometida.

TABELA 1. Estimativas do campo gravitacional em  $\text{m/s}^2$  obtidas com as análises das filmagens realizadas até o momento no desenvolvimento do projeto.

	Samsung	Xiaomi	Iphone
Medida 1	9,77	10,36	9,56
Medida 2	12,18	11,10	11,22
Medida 3	14,48	11,38	10,52
Valor estimado	$12,1 \pm 1,7$	$10,9 \pm 0,4$	$10,4 \pm 0,5$

A figura 5 mostra o resultado obtido para a primeira medida realizada com o método do registro de ruído, no qual o tempo de queda em cada uma das posições foi estimado a partir de imagens como a

da figura 3. Para essa medida obteve-se uma estimativa do campo gravitacional terrestre de  $g = 9,7(7)m/s^2$ , em ótimo acordo com o valor conhecido para o município em que as medidas foram realizadas, de  $9,79 m/s^2$  (LOPES, 2008). Nesse caso, a incerteza da posição é a própria incerteza instrumental da trena, que é pequena comparada com a escala de posições do experimento. A incerteza no tempo ainda está em processo de investigação, mas a figura 5 deixa claro que com o método aqui proposto para obter esses instantes de tempo, essa incerteza deverá ser também pequena.

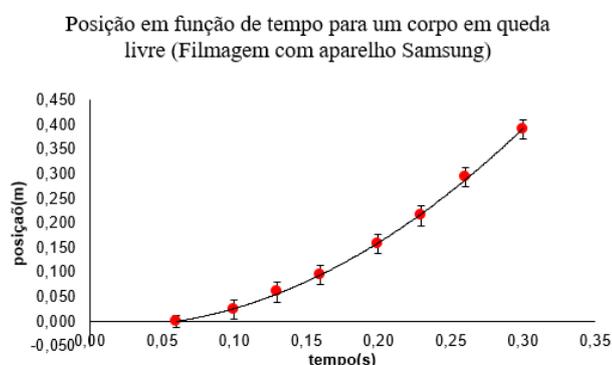


FIGURA 4. Dependência da posição em função do tempo para o movimento do corpo de prova em queda obtido a partir da análise das imagens extraídas do vídeo feito com o aparelho Samsung. Os pontos correspondem aos dados medidos enquanto que a curva contínua, dada pela equação 1, foi calculada a partir dos parâmetros da função do segundo grau ajustados ao modelo ( $y = 4,89 t^2 - 0,13 t - 0,0097$  em unidades do SI.). Fonte: Autoria própria.

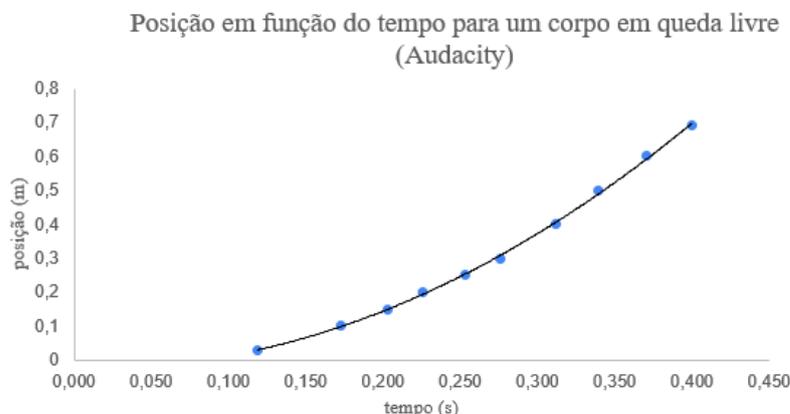


FIGURA 5. Dependência da posição em função do tempo para o movimento do corpo de prova em queda obtido a partir da análise feita nos intervalos de tempo determinados com o Audacity. Os pontos correspondem aos dados medidos enquanto que a curva contínua, dada pela equação 1, foi calculada a partir dos parâmetros da função do segundo grau ajustados ao modelo ( $y = 4,84 t^2 - 0,14 t - 0,022$  em unidades do SI.). Fonte: Autoria própria.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho encontra-se ainda em desenvolvimento, tendo iniciado a pesquisa recentemente. Os resultados prévios deixam evidente que é possível obter uma estimativa razoável do campo gravitacional a partir da análise da filmagem do tempo de queda, apesar da limitação associada à dificuldade de leitura da posição à medida que a velocidade do corpo aumenta. Uma estimativa melhor e consistente com o valor conhecido atualmente pôde ser obtida empregando o método de registro do ruído emitido quando o corpo é abandonado e quando alcança uma posição conhecida, no

entanto, o resultado ainda apresenta uma incerteza alta, da ordem de 10%. Essas limitações, por outro lado, abrem espaço para a discussão do conceito de incerteza da medida, incerteza instrumental e estatística, e como ela pode ser avaliada em cada situação. Uma terceira opção de análise ainda está sendo investigada e consiste em um sensor que permita obter o tempo de queda de forma eletrônica e com auxílio de uma placa Arduino obter o valor de  $g$ , reduzindo ainda mais as fontes de erro provenientes no tempo de queda, e muito provavelmente, fornecendo uma estimativa do campo gravitacional com menor incerteza.

### **CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES**

Suelen F. Barros contribuiu com supervisão do trabalho e as orientações para a tomada de dados e análise dos mesmos.

Miguel A. O. Neto contribuiu com a montagem do arranjo, a tomada de dados, a análise dos mesmos e a redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

### **AGRADECIMENTOS**

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado, em particular a minha orientadora por estar me auxiliado na escrita e no desenvolvimento deste projeto.

### **REFERÊNCIAS**

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 22-29, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Conselho Nacional de Educação (CNE). Parecer CNE/CES 1304/2001. Diretrizes Curriculares para os Cursos de Física. Diário Oficial da União. Brasília, 07 dez. 2001. Seção 01.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). PCN+Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais -Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 59-86, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica (SEB). Orientações Curriculares para o Ensino Médio; vol. 2, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 45-66, 2006.

GASPAR, A. Atividades experimentais no ensino de Física. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2014.

LOPES, W. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e longitude. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 25(3), 561-568, 2008.

NARDI, R. Questões Atuais no Ensino de Ciências. São Paulo: Escrituras, 1998.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de física básica: Mecânica (vol. 1). Editora Blucher, 2013.

THORNTON, Stephen T.; MARION, Jerry B. Dinâmica clássica de partículas e sistemas. Cengage Learning, 2011.

VUOLO, J.H. Fundamentos da Teoria de Erros. 2ª ed. São Paulo: Ed. Blucher, 1996.