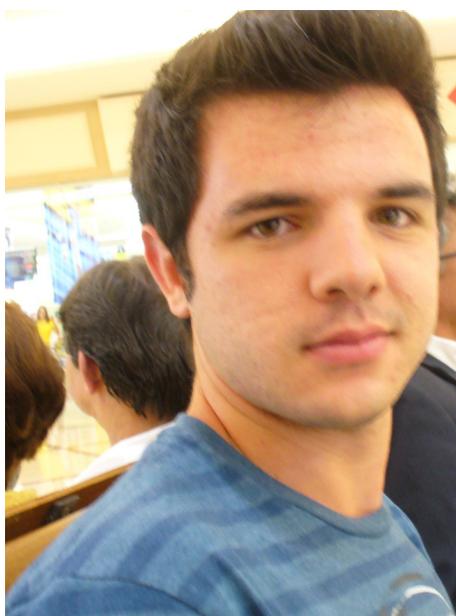




Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física Gleb Wataghin  
Disciplina: F 609 – Tópicos de Ensino de Física I  
Coordenador: Professor José Joaquin Lunazzi



## RELATÓRIO FINAL: MEDIDA DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE POR QUEDA LIVRE E SENSORES.



Aluno: Diego Mariano Valero, e-mail: d076011@dac.unicamp.br

Orientador: Professor Mauro Monteiro Garcia de Carvalho, e-mail: mauro@ifi.unicamp.br

Campinas, 5 de novembro de 2010.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, professor Mauro, pela sua dedicação em atender minhas dúvidas e por contribuir com excelentes sugestões para aperfeiçoar o projeto.

Aos monitores do LIEF (Laboratório de Instrumentação para o Ensino de Física), em especial ao André, que não mediu esforços para me ajudar na confecção dos componentes do experimento.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>TEORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>FOTOS DO EXPERIMENTO.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>DIFICULDADES ENCONTRADAS.....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>PESQUISA BIBLIOGRÁFICA REALIZADA.....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>DECLARAÇÕES DO ORIENTADOR.....</b>	<b>13</b>

## 1) INTRODUÇÃO

Apresentamos um método sofisticado e barato para medir uma grandeza física simples: o valor da aceleração da gravidade (**g**). Esse método consiste em medir, de maneira automatizada, o tempo de queda-livre de uma esfera de aço que cai de alturas variáveis. O uso de lançamento remoto da esfera e sensores nas medidas nos permite obter um resultado mais confiável para o valor de **g** comparado ao método manual de lançamento e medida do tempo.

O uso desta experiência em sala de aula ou em laboratório de ensino é fácil e muito proveitoso para o entendimento do conceito de aceleração constante.

## 2) TEORIA

Através da queda livre de esferas de aço podemos medir a aceleração da gravidade **g**. Se as esferas forem soltas de uma altura  $h$ , sem velocidade inicial ( $v_0 = 0$ ), vale a relação  $h = \frac{1}{2}gt^2$  onde  $g$  é o valor da aceleração da gravidade e  $t$ , o intervalo de tempo de queda.

Medindo-se os intervalos de tempo  $t$ , diferentes para cada altura  $h$  escolhida, podemos obter a constante  $g$  através da linearização dessa função quadrática. Se colocarmos em um gráfico, diretamente,  $h$  em função de  $t$  teremos uma parábola. Mas se calcularmos os quadrados de  $t$ , isto é,  $t^2$ , e fizermos um gráfico de  $h$  em função de  $t^2$ , é como se estivéssemos analisando a função  $h = \frac{1}{2}gz$ , onde  $z = t^2$ .

Portanto,  $h$  em função de  $z$  é apresentada por uma reta, cujo coeficiente angular é  $\frac{g}{2}$ .

Este processo de análise é chamado **linearização** e é muito utilizado para facilitar a obtenção de constantes através de uma reta. Note que é mais fácil traçar uma reta média do que uma parábola média, pois basta o uso de uma régua.

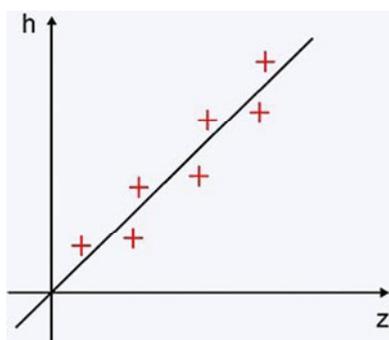


Figura 1: Reta ajustada aos pontos experimentais.

### 3) DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA

O método desenvolvido nessa experiência permite o lançamento remoto da esfera de aço e a obtenção automática dos tempos de queda livre da mesma.

A figura abaixo ilustra o aparato experimental montado (ver também fotos no item 5 deste relatório). Para tomar medidas de tempo devemos:

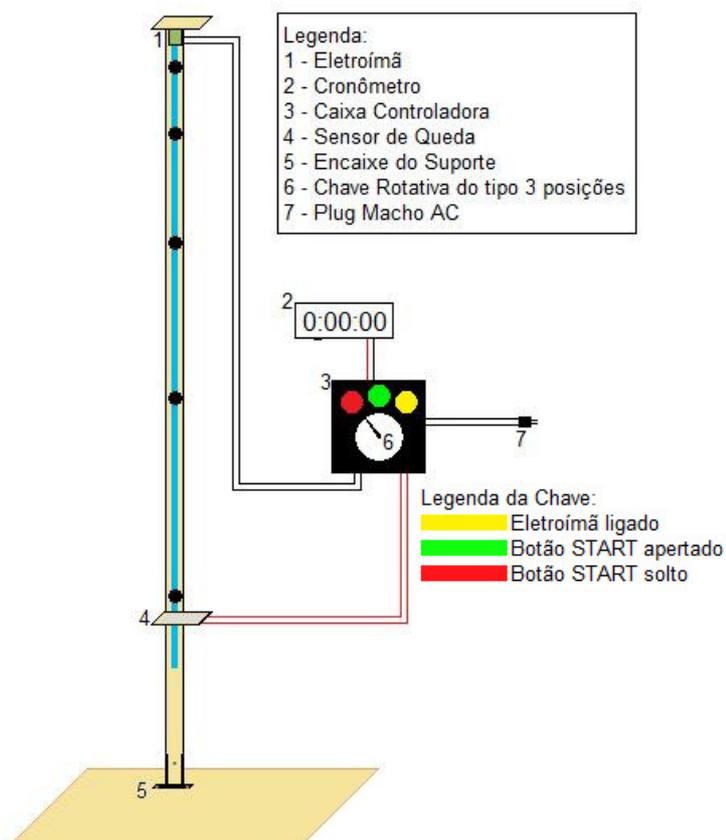


Figura 2: Esquema do aparato experimental montado.

- Ajustar o Sensor de Queda na altura desejada. Para isso utilizar a fita métrica, em azul na figura.

- Levar a chave até a posição amarela (eletroímã ligado)
- Levar a esfera de aço até o eletroímã. Ela permanece sustentada pela atração do eletroímã.
- Zerar o cronômetro.
- Mudar rapidamente a chave para a posição vermelha (Botão START solto).

Dessa maneira, a chave passará obrigatoriamente pela posição verde (Botão START apertado). Esse processo “sincroniza” o lançamento da esfera e o acionamento do cronômetro. Ao tocar o sensor de queda, o cronômetro é travado e o tempo de queda livre para a altura desejada é registrado.

#### 4) RESULTADOS OBTIDOS

Depois de concluída a fase de montagem do aparato, sendo todas as dificuldades encontradas solucionadas (ver dificuldades encontradas no item 6 deste relatório), foram ainda realizados vários testes de confiabilidade dos diversos componentes do experimento. Feito isso, o próximo passo foi a coleta dos dados necessários para determinarmos um valor experimental para a aceleração da gravidade ( $g$ ).

Foram determinadas 14 (quatorze) alturas( $h$ ) diferentes de queda livre, variando-as de 0,1m até 1,4m. Para cada uma dessas alturas foram registrados 10(dez) medidas de tempo de queda livre, a fim de realizar a média desses valores ( $t_m$ ). Dessa maneira podemos determinar 14(quatorze) pares do tipo  $(h, t_m^2)$  e realizar o ajuste linear que nos fornecerá o resultado experimental pretendido (ver teoria no item 2 deste relatório).

A Tabela 1 mostra os resultados das medidas tomadas conforme descrito acima.

Tabela1: Resultados das medidas.

N	h (m)	$t_m$ (s)	$t_m^2$ (s <sup>2</sup> )
1	0,10 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,02 ± 0,00
2	0,20 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,04 ± 0,01
3	0,30 ± 0,01	0,26 ± 0,02	0,07 ± 0,01
4	0,40 ± 0,01	0,30 ± 0,02	0,09 ± 0,01
5	0,50 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,11 ± 0,01
6	0,60 ± 0,01	0,36 ± 0,02	0,13 ± 0,01
7	0,70 ± 0,01	0,39 ± 0,02	0,15 ± 0,01

8	$0,80 \pm 0,01$	$0,42 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,02$
9	$0,90 \pm 0,01$	$0,44 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,01$
10	$1,00 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,02$
11	$1,10 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$
12	$1,20 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$
13	$1,30 \pm 0,01$	$0,52 \pm 0,02$	$0,27 \pm 0,02$
14	$1,40 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,02$

Em seguida, a figura abaixo mostra o ajuste linear dos pontos experimentais do tipo  $(h, t_m^2)$

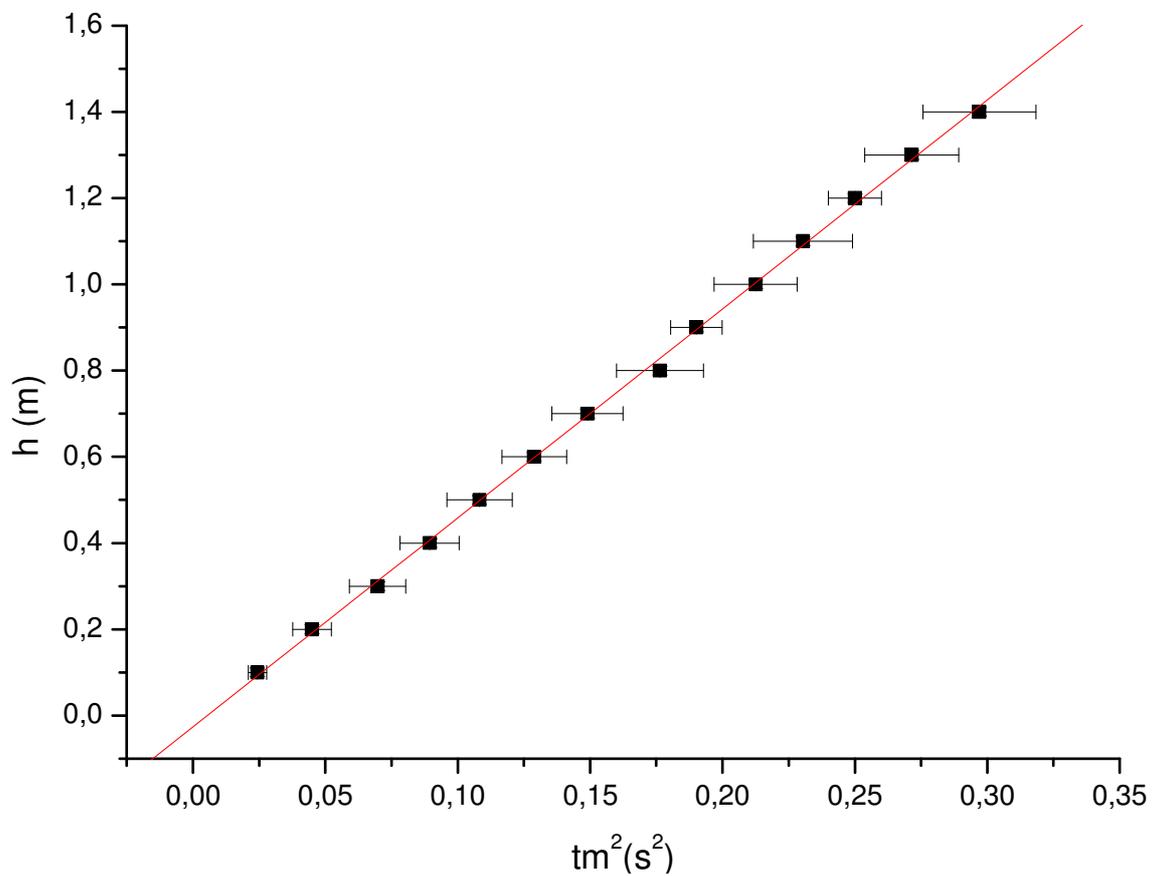


Figura 3: Pontos representados no gráfico  $(h \text{ vs } t_m^2)$  e o respectivo ajuste linear.

O valor encontrado para o coeficiente angular da reta ajustada (A) e seu respectivo erro é:

$$A = (4,85 \pm 0,04) \text{ m/s}^2$$

Dessa maneira temos:

$$h = A \cdot (t_m^2)$$

Da teoria sabemos que:

$$h = \frac{1}{2} g \cdot (t_m^2)$$

Logo:

$$g = 2 \cdot A$$

Que resulta em:

$$g = (9,70 \pm 0,08) m / s^2$$

Análise do Resultado:

**Local de realização do experimento:** Laboratório de Instrumentação para o Ensino de Física, Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil.

**Segundo o software Google Earth, no local do experimento temos:**

Latitude: 22°49'1.48"S

Altitude: 601m

De acordo a tabela abaixo, parte de uma tabela completa retirada da referência [1], temos:

Tabela 2: Valores de g segundo a literatura:

Altitude z (m)	Latitude em graus									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	9,7803	9,7807	9,7819	9,7838	9,7864	9,7896	9,7933	9,7974	9,8017	9,8062
50	9,7801	9,7805	9,7817	9,7836	9,7862	9,7894	9,7931	9,7972	9,8016	9,8061
100	9,7800	9,7804	9,7816	9,7835	9,7861	9,7892	9,7929	9,7970	9,8014	9,8059
150	9,7798	9,7802	9,7814	9,7833	9,7859	9,7891	9,7928	9,7969	9,8013	9,8058
200	9,7797	9,7801	9,7812	9,7832	9,7857	9,7889	9,7926	9,7967	9,8011	9,8056
250	9,7795	9,7799	9,7811	9,7830	9,7856	9,7888	9,7925	9,7966	9,8009	9,8054
300	9,7794	9,7798	9,7809	9,7829	9,7854	9,7886	9,7923	9,7964	9,8008	9,8053
350	9,7792	9,7796	9,7808	9,7827	9,7853	9,7885	9,7922	9,7963	9,8006	9,8051
400	9,7791	9,7795	9,7806	9,7825	9,7851	9,7883	9,7920	9,7961	9,8005	9,8050
450	9,7789	9,7793	9,7805	9,7824	9,7850	9,7882	9,7919	9,7960	9,8003	9,8048
500	9,7788	9,7792	9,7803	9,7822	9,7848	9,7880	9,7917	9,7958	9,8002	9,8047
550	9,7786	9,7790	9,7802	9,7821	9,7847	9,7879	9,7916	9,7957	9,8000	9,8045
600	9,7785	9,7789	9,7800	9,7819	9,7845	9,7877	9,7914	9,7955	9,7999	9,8044
650	9,7783	9,7787	9,7799	9,7818	9,7844	9,7876	9,7913	9,7954	9,7997	9,8042
700	9,7782	9,7785	9,7797	9,7816	9,7842	9,7874	9,7911	9,7952	9,7996	9,8041
750	9,7780	9,7784	9,7796	9,7815	9,7841	9,7873	9,7910	9,7950	9,7994	9,8039
800	9,7778	9,7782	9,7794	9,7813	9,7839	9,7871	9,7908	9,7949	9,7993	9,8038
850	9,7777	9,7781	9,7793	9,7812	9,7838	9,7869	9,7906	9,7947	9,7991	9,8036
900	9,7775	9,7779	9,7791	9,7810	9,7836	9,7868	9,7905	9,7946	9,7989	9,8034
950	9,7774	9,7778	9,7789	9,7809	9,7834	9,7866	9,7903	9,7944	9,7988	9,8033
1000	9,7772	9,7776	9,7788	9,7807	9,7833	9,7865	9,7902	9,7943	9,7986	9,8031

Logo, podemos concluir que o valor experimental obtido para  $g$  se aproxima com grande fidelidade do valor previsto pela literatura [1].

## 5) FOTOS DO EXPERIMENTO



Figura 4: Visão geral do experimento.



Figura 5: Esfera sendo sustentada pelo eletroímã.

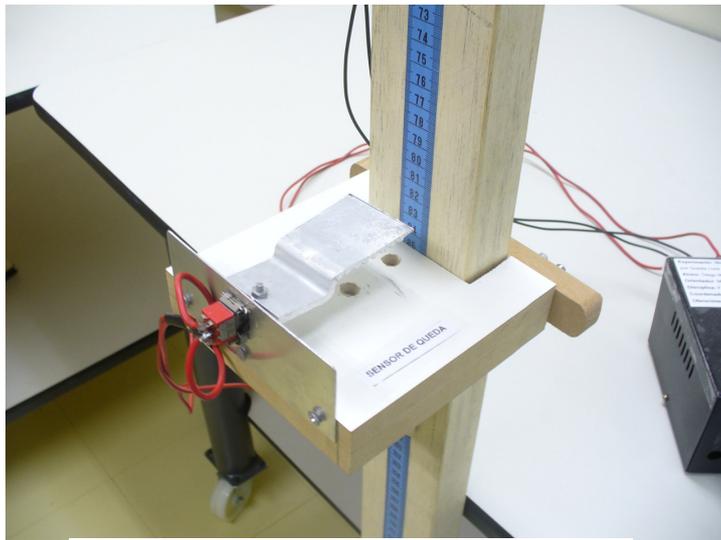


Figura 6: Sensor de Queda.



Figura 7: Cronômetro acoplado ao controlador.

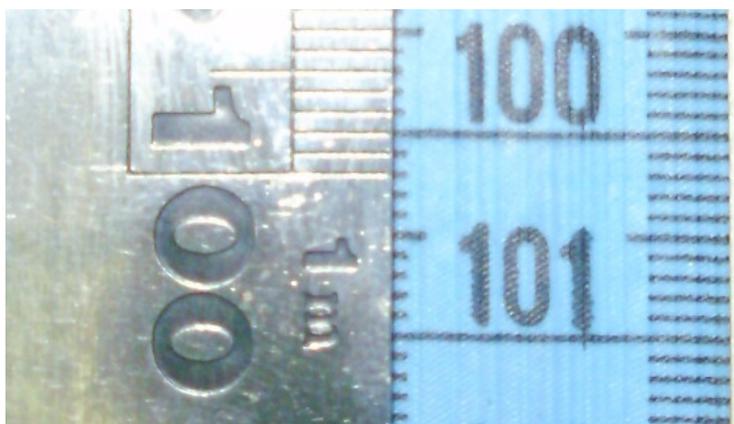


Figura 8: Aferição da fita métrica.

## 6) DIFICULDADES ENCONTRADAS

As dificuldades encontradas foram:

- Superaquecimento do eletroímã.

Causas: Alimentação mínima de 80V AC para sustentar a esfera de aço, o que significa alta corrente percorrendo o circuito. Além disso, a superfície do eletroímã está em contato com a madeira, que não conduz bem o calor.

Solução: Adicionamos um retificador de corrente no controlador, que agora alimenta o eletroímã com corrente contínua (DC). Além disso foi adicionado um parafuso de ferro no interior do eletroímã, que aumentou significativamente o campo magnético gerado. Esse aumento ocorre porque o ferro é um material ferromagnético. (Para maiores detalhes busque “ferromagnetismo” no índice da referência[1], volume 3). O resultado obtido foi a sustentação da esfera de aço fornecendo uma tensão de aproximadamente 10V DC ao circuito. Desse modo, o eletroímã não apresentou mais superaquecimento.

- Posição dos controladores do experimento.

Causas: A localização dos controladores do experimento (chave e cronômetro) na base da estrutura fragilizaria o transporte, dificultaria a operação do circuito e, portanto a realização das medidas.

Solução: Houve a necessidade de alterar a posição dos controles do experimento. Os sensores agora são operados sobre a mesa. O circuito foi fragmentado e pode ser facilmente montado e desmontado com o auxílio de conectores.

- Possível erro sistemático ocasionado por defeito de fabricação da fita métrica.

Causas: A fita métrica utilizada no experimento foi uma alternativa simples e barata para medir as alturas de queda livre. Porém, sabemos que não se trata de um instrumento científico aferido em laboratório. Sendo assim, sua leitura não é confiável.

Solução: Houve a necessidade de aferir a fita métrica. Para isso foi utilizada uma régua metálica de 1 metro. A diferença observada (ver Figura 8) entre o “metro” da régua e o “metro” da fita foi de 2 mm. Isso representa um erro percentual relativo muito pequeno: 0,2%. Além disso, o erro instrumental considerado nos cálculos foi de 1 cm. Podemos concluir dessa maneira que o erro sistemático detectado é irrelevante e não comprometeu a qualidade dos resultados experimentais obtidos.

## 7) PESQUISA BIBLIOGRÁFICA REALIZADA

[1] **Halliday, Resnick, Walker: Fundamentos de Física. Volumes 1 e 3, 7ª edição, Ed. LTC.**

Livro-texto de Física Básica. Utilizado para informar alguns resultados e informações na descrição do projeto.

[2] **[http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit1\\_mecanicaI/mecanicaI\\_sam/exp6\\_sam.pdf](http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit1_mecanicaI/mecanicaI_sam/exp6_sam.pdf)**

Experimento do “Projeto Experimentoteca”, do Centro de Divulgação Científica e Cultural da USP. Serviu de exemplo para mostrar outras maneiras de se medir a aceleração da gravidade, nesse caso, pelo uso de pêndulo simples.

[3] **<http://www.fisica.ufjf.br/disciplinas/labfis2/pratica01.pdf>**

Outro exemplo de como medir  $g$  pelo uso de pêndulo simples.

[4] **[http://cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap21/cap21\\_04.htm](http://cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap21/cap21_04.htm)**

Essa referência contém um experimento que se aproxima muito da proposta desse projeto: Medir a aceleração da gravidade por queda livre. Portanto é importante para informar a teoria e o tratamento adequado dos dados. A grande diferença proposta nesse projeto é a substituição do método manual de obtenção do tempo de queda da esfera de aço por um método automatizado.

[5] **[http://www.ifi.unicamp.br/vie/F809/F809\\_sem1\\_2010/LuizC-Ennio\\_RF2.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/vie/F809/F809_sem1_2010/LuizC-Ennio_RF2.pdf)**

Experimento interessante de um colega nosso do IFGW. Essa referência mostra como alterar o circuito interno de um cronômetro, transformar os botões START/STOP em sensores e realizar medidas precisas de tempo.

[6] **<http://www.efdeportes.com/efd99/calcados.htm>**

Artigo que mostra como “abandonar” uma esfera de aço de maneira remota, utilizando um eletroímã, colocando-a assim em movimento de queda livre.

Todas as páginas acessadas em 23/08/2010

Palavras-Chave utilizadas: Medida, Gravidade, Queda Livre, Cronômetro Alterado, Eletroímã.

### SUGESTÃO BIBLIOGRÁFICA:

Para quem deseja se aprofundar no tratamento dos dados experimentais, aplicando a teoria de propagação de erros e o ajuste linear pelo método dos mínimos quadrados, sugere-se ler a referência abaixo:

[7] **VUOLO, José Henrique: Fundamentos da Teoria de Erros, Editora Blucher.**

## **8) DECLARAÇÕES DO ORIENTADOR**

Meu orientador realizou os seguintes comentários:

“O aluno Diego Mariano Valero realizou um excelente trabalho. Durante sua realização mostrou-se sempre interessado em compreender muito bem o que fazia e procurou sempre fazer tudo da melhor forma possível, não temendo o trabalho e me procurando sempre com dúvidas consistentes. O resultado foi, em minha opinião, excelente. Ele construiu um experimento capaz de dar a aceleração da gravidade com muita precisão e ao mesmo tempo barato e fácil de montar. Além disso, aprendeu muito e amadureceu cientificamente.”