

# Queda Livre de Corpos

## Relatório Final

Aluno Caio Henrique Coutinho  
Orientador Varlei Rodrigues  
Co-orientador Goes



**15/06/2009**

## Descrição

### **Resumo:**

O projeto consiste em observar a queda de objetos com massas diferentes e avaliar o tempo que eles levam para cair. No dia-a-dia, objetos com massas menores normalmente chegam ao chão mais lentamente, como uma folha de papel ou uma pena, enquanto que objetos mais “pesados” caem mais rapidamente, como uma maçã ou um martelo. No entanto, quando Neil Armstrong deixou cair um martelo e uma pena na Lua, eles chegaram ao chão ao mesmo tempo, indicando que talvez a diferença de tempo que observamos esteja relacionada com a presença do ar da nossa atmosfera. Assim, neste projeto, observamos a queda de uma esfera de isopor e de uma esfera de metal tanto quando o tubo está cheio de ar, quanto quando está sem ar (vácuo).

### **Descrição:**

O objetivo principal do projeto é mostrar que a idéia que Galileu propôs estava correta, mostrando que dois objetos de massas diferentes abandonados de uma mesma altura não atingem o chão ao mesmo tempo devido à resistência do ar. Assim, abandonando duas esferas de mesmo tamanho, mas de massas diferentes, pretende-se que o tempo que as duas tomem para chegar ao fim do tubo seja semelhante quando no vácuo e que a esfera de isopor demore um pouco mais do que a de metal quando o tubo está cheio de ar.

No entanto, o tempo de queda destes objetos oscila muito pouco, o que faz necessária a utilização de um aparelho eletrônico (o photogate) para que a medição seja feita com mais precisão do que se fosse feita através de um cronômetro, e que sejam feitas muitas medições, para que o valor médio se aproxime do real valor da medida.

Pretende-se então, após um tratamento simples dos dados obtidos, observar que o tempo de queda dos dois objetos não difere no vácuo, mas que o tempo de queda da esfera de isopor seja menor do que da de metal quando não se está no vácuo.

## Estimativa dos resultados

Considerando a fórmula da força de arraste dada na referência (HALLIDAY) e utilizando a velocidade terminal também dada, podemos encontrar a posição da partícula em função do tempo resolvendo uma equação diferencial.

Sabemos então que a velocidade da partícula (em m/s) em função do tempo (em segundos) é:

$$v(t) = -v_1 \left\{ \frac{1 - \exp(-2gt/v_1)}{1 + \exp(-2gt/v_1)} \right\}$$
$$v_1 = (mg/K)^{1/2}$$
$$K = \delta\rho\pi R^2/2$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade (usaremos  $9,81\text{m/s}^2$ ),  $m$  é a massa da esfera,  $\delta$  é um coeficiente adimensional associado à forma do objeto (aproximadamente 0,4 para esferas),  $\rho$  é a densidade do ar (usaremos  $1,293\text{kg/m}^3$ ),  $R$  é o raio da esfera,  $K$  é chamado constante de proporcionalidade e  $v_1$  é a velocidade terminal.

A partir daí então, temos que a altura  $x$  da partícula em relação ao fundo do tubo é (em metros):

$$x(t) = (v_1^2 \ln[ D(t) ]/2g) + 0,99$$

$$D(t) = (v_1^2 - v(t)^2)/v_1^2$$

o termo constante é adicionado pois o tubo tem altura de 99cm.

Os photogates estão posicionados à alturas de 93cm e 7cm do fundo do tubo.

Para a esfera de metal (massa igual à 41,71g e raio de 22mm), os photogates são acionados nos tempos 0,1192s e 0,4360s de acordo com a fórmula, e então, a esfera de metal leva aproximadamente 0,3168s.

Já a esfera de isopor tem massa de aproximadamente 1g e raio de 20mm, e então, os tempos de ativação dos photogates previstos pela teoria são de 0,1200s e 0,4576s, sendo então a diferença de aproximadamente 0,3376s.

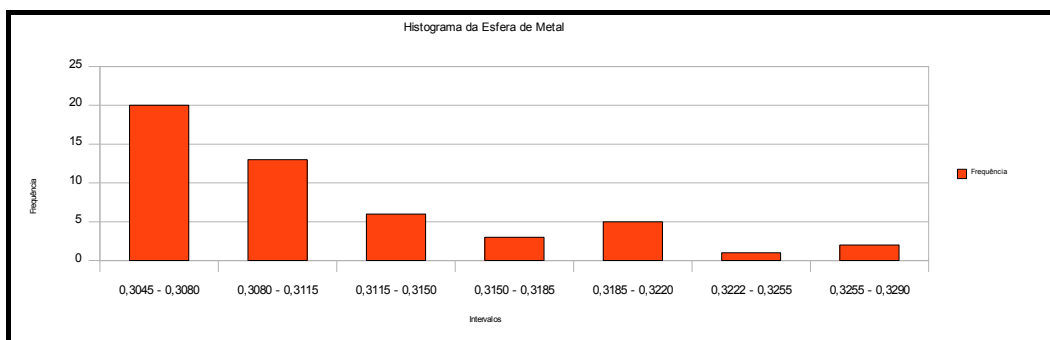
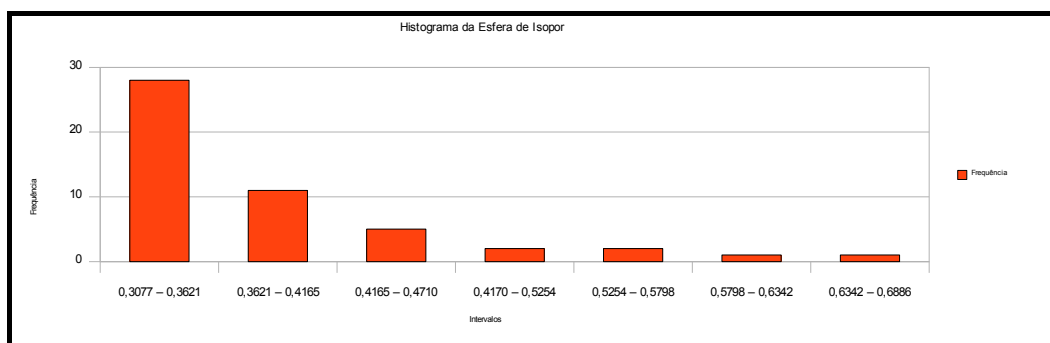
## **Resultados Parciais**

De início foram realizadas medições do tempo de queda da esfera de metal e de uma esfera de isopor sem a utilização da bomba de vácuo. A esfera de isopor foi aberta e um percevejo foi colocado dentro da esfera para que ela fosse atraída pelo ímã. Foram então realizadas 50 medidas do tempo de queda utilizando os photogates e foram feitos os cálculos do erro:

	<b>Tempo de Queda (segundos)</b>	
	<b>Metal</b>	<b>Isopor</b>
<b>1</b>	0,3218	0,3617
<b>2</b>	0,3047	0,3204
<b>3</b>	0,3150	0,5263
<b>4</b>	0,3054	0,3636
<b>5</b>	0,3123	0,3863
<b>6</b>	0,3050	0,3194
<b>7</b>	0,3046	0,3686
<b>8</b>	0,3082	0,3148
<b>9</b>	0,3097	0,3131
<b>10</b>	0,3107	0,4531
<b>11</b>	0,3045	0,3151
<b>12</b>	0,3045	0,3606
<b>13</b>	0,3070	0,3599
<b>14</b>	0,3047	0,3911
<b>15</b>	0,3075	0,3077
<b>16</b>	0,3089	0,3150
<b>17</b>	0,3076	0,5069
<b>18</b>	0,3271	0,3821
<b>19</b>	0,3102	0,3158
<b>20</b>	0,3116	0,3188
<b>21</b>	0,3053	0,3529
<b>22</b>	0,3051	0,3480
<b>23</b>	0,3218	0,6342
<b>24</b>	0,3185	0,4004
<b>25</b>	0,3207	0,3188

	<b>Tempo de Queda (segundos)</b>	
	<b>Metal</b>	<b>Isopor</b>
<b>26</b>	0,3162	0,3561
<b>27</b>	0,3290	0,3226
<b>28</b>	0,3225	0,5966
<b>29</b>	0,3133	0,3305
<b>30</b>	0,3110	0,4089
<b>31</b>	0,3128	0,5393
<b>32</b>	0,3061	0,4580
<b>33</b>	0,3084	0,3857
<b>34</b>	0,3075	0,3791
<b>35</b>	0,3135	0,3235
<b>36</b>	0,3090	0,4874
<b>37</b>	0,3104	0,4396
<b>38</b>	0,3056	0,3189
<b>39</b>	0,3070	0,3186
<b>40</b>	0,3064	0,3969
<b>41</b>	0,3084	0,3551
<b>42</b>	0,3121	0,3158
<b>43</b>	0,3066	0,3595
<b>44</b>	0,3072	0,3198
<b>45</b>	0,3065	0,4515
<b>46</b>	0,3109	0,3152
<b>47</b>	0,3086	0,4551
<b>48</b>	0,3163	0,3263
<b>49</b>	0,3086	0,3688
<b>50</b>	0,3218	0,3188

	<b>Metal</b>	<b>Isopor</b>
<b>Média (s)</b>	0,3110	0,3800
<b>Desvio Padrão (s)</b>	0,0062	0,0775
<b>Erro Estatístico (s)</b>	0,0009	0,0110
<b>Erro Instrumental (s)</b>	0,0001	0,0001
<b>Erro Total (s)</b>	0,0009	0,0110
<b>Valor (s)</b>	0,3110±0,0009	0,38±0,01



Os gráficos acima são chamados “histogramas”, eles mostram como os resultados se acumulam em função dos diferentes períodos. Neste caso, a partir do maior e do menor valor de tempo obtido, foram feitas 7 divisões do intervalo e foi contado quantos lançamentos se enquadravam em cada período.

Os valores obtidos não foram satisfatórios, pois este gráfico de histograma deve apresentar a forma de uma curva “Gaussiana”, aparentando um pico de frequência em torno do valor médio e frequências cada vez mais baixas quando os valores se afastam da média, isto será resolvido obtendo um número maior de dados.

O resultado da esfera de isopor provavelmente é devido à distribuição de massa irregular no interior da esfera, pois esta distribuição fazia com que a esfera desse “rodopios” dentro do tubo, o que aumentava consideravelmente seu tempo de queda. Para isto, será providenciada uma esfera de isopor com um pequeno ímã em seu centro, para que a esfera possa ser atraída mas não prejudique a distribuição de massa da esfera.

## **Dificuldades encontradas**

Ao tentar fazer as primeiras medidas do experimento, alguns photogates apresentaram comportamentos problemáticos, então modelos diferentes foram testados para se assegurar que o photogate estava funcionando como deveria. Além disso, devido ao material do tubo, é necessário que o photogate esteja precisamente posicionado entre os arcos de metal que sustentam o tubo para que a medição seja feita.

A esfera de isopor utilizada tinha uma distribuição de massa em seu interior de forma muito irregular, o que fazia com que (sob a força de atrito com o ar) ela desse rodopios dentro do tubo e demorasse muito para chegar ao fim do tubo. Para contornar este problema tentamos montar esferas de isopor com pequenos rolamentos em seu centro.

Escolhendo e desmontando alguns rolamentos abandonados, pudemos encontrar esferas de metal de tamanhos diversos, mas para que a esfera de isopor fosse atraída pelo ímã a esfera de metal deveria ter um tamanho considerável, o que diminuía a área de isopor que receberia a cola. Estas esferas não resistiam a sequência de quedas e se partiam dentro do tubo.

Como nova tentativa, construiremos esferas de isopor com pequenos ímãs dentro delas, para que possam ser atraídas de forma satisfatória, e para aumentar a durabilidade das esferas, ao invés de cola para isopor será utilizado Araldite.

O tamanho do corte transversal da esfera também é uma dificuldade, pois se a esfera for muito grande ela se prende na entrada do tubo, e se for muito pequena seu corte transversal não se assemelha com o da esfera de metal que temos no laboratório, fazendo com que a resistência do ar atue de formas diferentes nas duas.

Novas medidas foram feitas utilizando uma esfera de isopor e um pequeno pedaço de ímã no seu interior. De início, o pedaço de ímã que foi utilizado foi muito grande, e então, a esfera de isopor era atraída pela mola de aço, o que comprometia as medidas. Além do mais, ela sofria um grande desvio na sua trajetória (muitas vezes rodopiando dentro do tubo) causado pelas interações eletromagnéticas entre o ímã e a estrutura do tubo.

Para minimizar estes desvios foi utilizado um pedaço de ímã mínimo, que garantiu apenas uma pequena força magnética para segurar a esfera de isopor no topo do tubo. Com esta nova esfera, a medição se tornou bem mais fácil, e os resultados finais do experimento foram obtidos com esta esfera.

No entanto, apesar dos resultados terem sido satisfatórios, algumas dificuldades na obtenção das medidas ainda se fazem presentes. Por exemplo, durante a medição, vários lançamentos são desconsiderados (sobretudo com a esfera de isopor) pois basta um pequeno desvio para que a esfera de isopor não ative um dos photogates, ou se a esfera de isopor atinge a base de plástico, um valor excessivamente alto é registrado no photogate quando ela sobe após o impacto.

Além do mais, apesar do pedaço de ímã utilizado na esfera ser muito pequeno, ele ainda interage (ainda que levemente) com as peças de metal utilizadas no tubo e com o ímã utilizado para o disparo, o que exige um grande cuidado para a realização das medidas.

## **Resultados Finais**

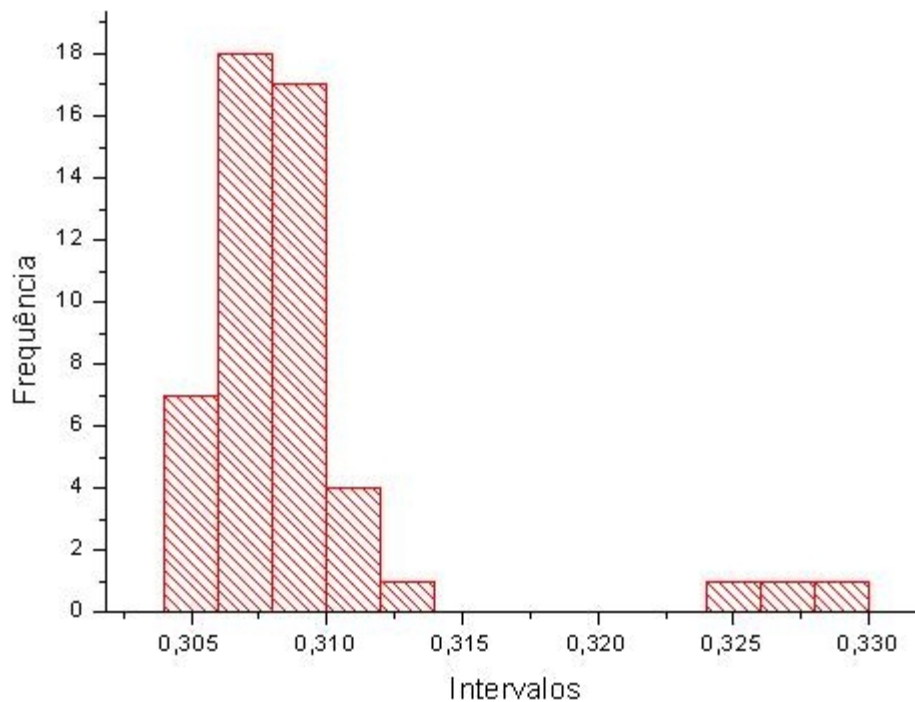
	Tempo de Queda (segundos)	
	Isopor	Metal
<b>Arejado</b>		
1	0,3254	0,3080
2	0,3477	0,3070
3	0,3249	0,3102
4	0,3209	0,3281
5	0,3269	0,3047
6	0,3499	0,3085
7	0,3219	0,3062
8	0,3204	0,3279
9	0,3104	0,3078
10	0,3606	0,3077
11	0,3705	0,3084
12	0,3225	0,3097
13	0,3360	0,3069
14	0,3333	0,3102
15	0,3389	0,3058
16	0,3230	0,3082
17	0,3223	0,3081
18	0,3208	0,3067
19	0,3280	0,3091
20	0,3433	0,3075
21	0,3219	0,3056
22	0,3251	0,3091
23	0,3621	0,3071
24	0,3191	0,3091
25	0,3219	0,3076
26	0,3222	0,3072
27	0,3265	0,3079
28	0,3195	0,3054
29	0,3262	0,3092
30	0,3637	0,3099
31	0,3219	0,3122
32	0,3280	0,3087
33	0,3253	0,3073
34	0,3349	0,3079
35	0,3300	0,3095
36	0,3571	0,3074
37	0,3572	0,3048
38	0,3185	0,3257
39	0,3198	0,3087
40	0,3668	0,3053
41	0,3203	0,3079
42	0,3224	0,3061
43	0,3205	0,3054
44	0,3673	0,3082
45	0,3314	0,3074
46	0,3197	0,3088
47	0,3176	0,3071
48	0,3226	0,3107
49	0,3560	0,3114
50	0,3265	0,3099

	Tempo de Queda (segundos)	
	Isopor	Metal
<b>Vácuo</b>		
1	0,3080	0,3096
2	0,3185	0,3082
3	0,3092	0,3060
4	0,3079	0,3091
5	0,3113	0,3089
6	0,3253	0,3067
7	0,3278	0,3083
8	0,3115	0,3095
9	0,3129	0,3071
10	0,3166	0,3076
11	0,3046	0,3079
12	0,3131	0,3131
13	0,3101	0,3074
14	0,3094	0,3072
15	0,3136	0,3098
16	0,3278	0,3127
17	0,3112	0,3087
18	0,3151	0,3061
19	0,3098	0,3066
20	0,3067	0,3086
21	0,3117	0,3065
22	0,3075	0,3075
23	0,3074	0,3080
24	0,3051	0,3070
25	0,3147	0,3065
26	0,3108	0,3103
27	0,3201	0,3072
28	0,3112	0,3070
29	0,3056	0,3075
30	0,3108	0,3065
31	0,3174	0,3141
32	0,3121	0,3074
33	0,3104	0,3073
34	0,3104	0,3087
35	0,3108	0,3070
36	0,3100	0,3150
37	0,3237	0,3064
38	0,3051	0,3077
39	0,3100	0,3086
40	0,3154	0,3075
41	0,3207	0,3057
42	0,3300	0,3049
43	0,3066	0,3083
44	0,3003	0,3077
45	0,3126	0,3048
46	0,3119	0,3069
47	0,3128	0,3055
48	0,3117	0,3145
49		
50		

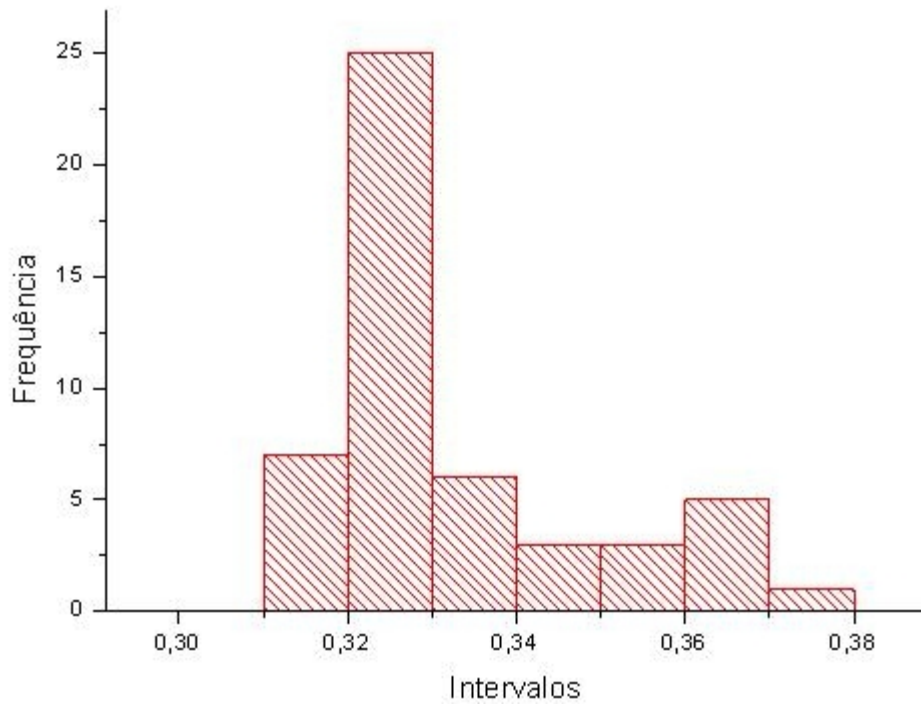
<b>Arejado</b>	<b>Isopor</b>	<b>Metal</b>
<b>Média</b>	0,3324	0,3091
<b>Desvio Padrão</b>	0,0161	0,0049
<b>Erro Estatístico</b>	0,0023	0,0007
<b>Erro Instrumental</b>	0,0001	0,0001
<b>Erro Total</b>	0,0023	0,0007
<b>Valor</b>	0,332 ± 0,002	0,3091 ± 0,0007

<b>Vácuo</b>	<b>Isopor</b>	<b>Metal</b>
<b>Média</b>	0,3127	0,3081
<b>Desvio Padrão</b>	0,0648	0,0636
<b>Erro Estatístico</b>	0,0094	0,0092
<b>Erro Instrumental</b>	0,0001	0,0001
<b>Erro Total</b>	0,0094	0,0092
<b>Valor</b>	0,312 ± 0,009	0,308 ± 0,009

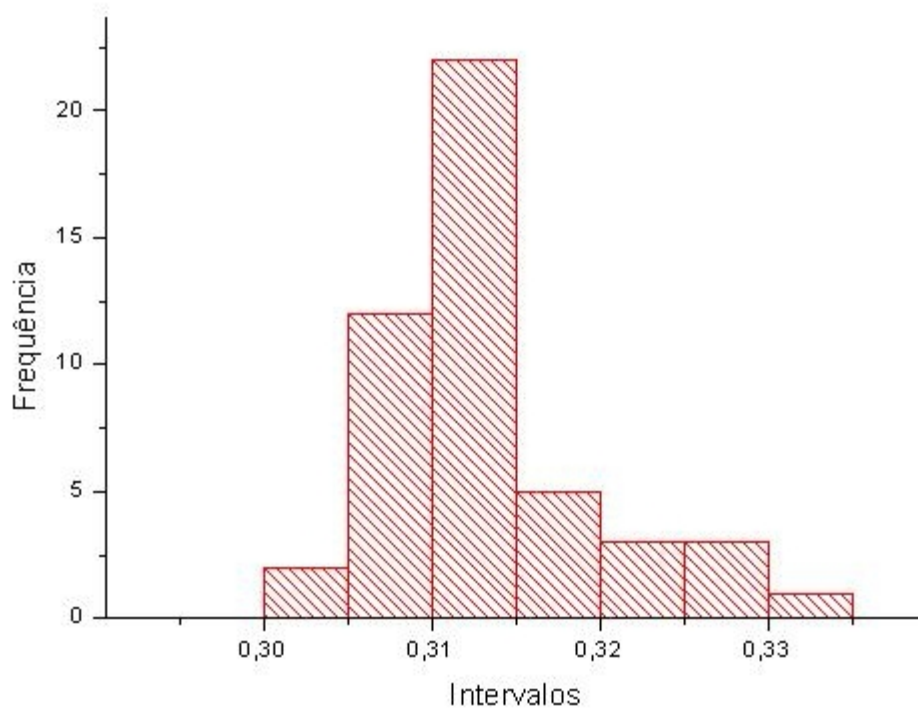
Histograma (Esfera de Metal no Ar)



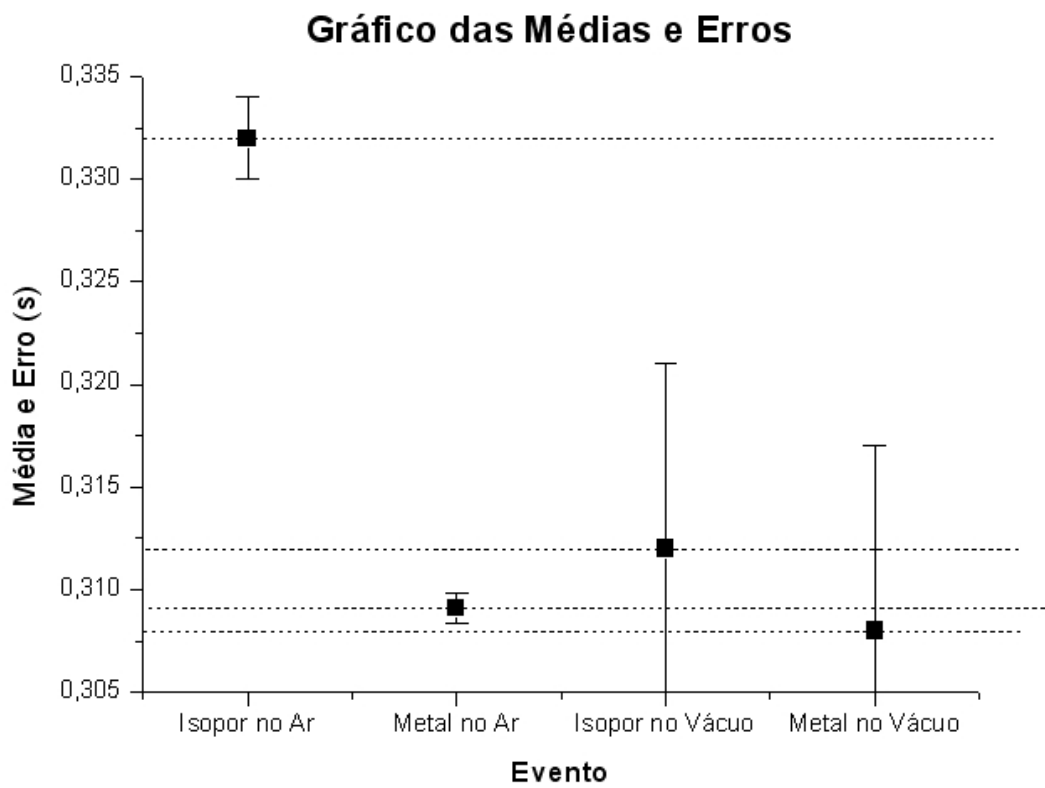
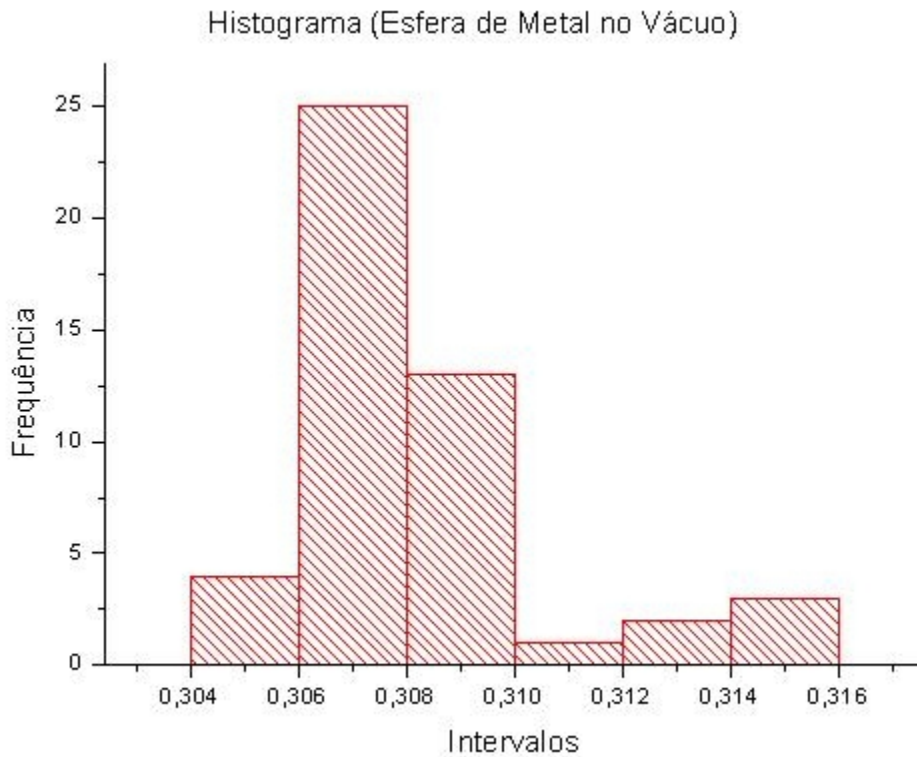
Histograma (Esfera de Isopor no Ar)



Histograma (Esfera de Isopor no Vácuo)







Os quatro histogramas mostram a distribuição dos dados em cada tipo de medição (metal ou isopor, no ar ou no vácuo), e pode ser visto que nas quatro

situações que a distribuição se aproxima de uma curva Gaussiana.

Estes valores são condizentes com a teoria, e eles apontam para o que queria ser mostrado com este experimento, que os corpos caem com a mesma velocidade a não ser pela resistência do ar, que influencia mais fortemente corpos com pequena massa.

Isto pode ser visto no último gráfico, que compara os valores das médias e dos erros em cada situação. Pode-se ver que o valor experimental do tempo de queda da esfera de isopor no ar é sensivelmente superior que os outros (sustentando que a resistência do ar retardava a sua queda de forma mais forte). Por outro lado, o valor do tempo de queda da esfera de metal é apenas levemente alterado pela resistência do ar quando comparado ao seu tempo de queda no vácuo (como previsto, devido à sua massa superior).

Já o tempo de queda das duas esferas no vácuo é tecnicamente igual, um valor pertence a faixa de valores do outro, o que mostra que no vácuo as duas esferas caem ao mesmo tempo.

	Valores Estimados		Valores Medidos	
	Vácuo	Ar	Vácuo	Ar
Isopor	0,3095	0,3376	$0,312 \pm 0,009$	$0,332 \pm 0,002$
Metal	0,3095	0,3168	$0,308 \pm 0,009$	$0,3091 \pm 0,0007$

Além do mais, pode ser visto na tabela que os valores medidos se aproximam dos valores estimados através da teoria.

## **Fotos**





## **Pesquisa**

Durante o desenvolvimento do experimento, foi necessário buscar informação sobre alguns temas. Entre eles:

- Proposta de Galileu da experiência da queda livre;
- Absorção óptica do PVC;
- Vácuo;
- Queda de objetos em meio viscoso.

As informações necessárias foram encontradas nas referências já citadas:

Importância da experiência de Galileu

<http://cienciatube.blogspot.com/2008/10/queda-livre-experincia-de-galileu.html>

<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>

<http://www.coladaweb.com/fisica/queda.htm>

<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/GalileGa.html>

Teoria:

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física 1: Mecânica**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

## **Referências:**

Experimentos semelhantes

Na disciplina de F609 da Unicamp foi realizado um experimento semelhante à este pela aluna Regina Célia Batista Moretti. O objetivo dela, porém, era trabalhar com o conceito de queda livre de diferentes formas, e uma delas era através da construção de um tubo de vidro que pudesse manter o vácuo após ser fechado e funcionasse sem a bomba de vácuo. O objetivo do nosso experimento é calcular o tempo de queda e avaliar a diferença no tempo de queda das esferas, para isto, é necessária a obtenção de uma quantidade maior de medições para minimizar o erro estatístico. Utilizando a bomba de vácuo, é possível obter estes valores com maior precisão. A construção do tubo então, é projetada para que os lançamentos possam ser feitos de maneira semelhante, visando conservar as condições iniciais em todos os lançamentos.

Relatório Final:

[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_)

2008/ReginaC-DirceuSilva\_RF3.pdf

Teoria:

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física 1: Mecânica**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

Outros experimentos:

"Corpos no interior de um recipiente fechado e transparente em queda livre"

Autores: Jose Joaquin Lunazzi, Leandro Aparecido Nogueira de Paula

<http://arxiv.org/pdf/0809.1471>

O objetivo deste experimento é estudar a queda livre dos corpos através de um experimento bem simples que pudesse ser realizado em sala sem dificuldades. De início, os autores propõe que seja estudada a queda de um pedaço de papel sobre uma moeda e então, a queda de uma garrafa com uma pedra e uma pena. Em ambas as etapas, os dois objetos de massas diferentes chegam juntos ao solo. No entanto, é feita apenas uma argumentação para que fossem desconsideradas os efeitos da dinâmica do ar (apesar de não influenciar no resultado aparentemente). Neste experimento, o vácuo é utilizado para que a influência do ar seja minimizada de fato, aproximando o experimento de uma real queda livre.

<http://www.upscale.utoronto.ca/IYearLab/Intros/FreeFall/FreeFall.html>

Página com informações sobre um experimento realizado em Toronto muito semelhante à este. Foram utilizadas uma esfera de metal e uma de plástico caindo dentro de um longo tubo. A página mostra também a teoria e o tratamento estatístico dados aos resultados.

<http://jedlik.phy.bme.hu/~hartlein/www.mip.berkeley.edu/images/physics/A+0+0.gif>

Imagem ilustrativa de um outro experimento semelhante.

Aplets em Java

<http://www.scribd.com/doc/7844448/Queda-Livre>

Algumas questões para alunos do ensino fundamental que envolvem a queda livre de objetos. No entanto, nenhuma experimentação é realizada, as questões acompanham apenas um pouco de teoria.

[http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more\\_stuff/Applets/ProjectileMotion/jar\\_applet.html](http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jar_applet.html)

Pequeno arquivo em flash que permite que sejam simuladas situações de lançamento de projéteis considerando ou não a resistência do ar. Este programa não demonstra a hipótese proposta por Galileu, mas permite que um aluno observe como a resistência do ar atua dependendo da massa, da velocidade, etc.

Importância da experiência de Galileu

<http://cienciatube.blogspot.com/2008/10/queda-livre-experincia-de-galileu.html>

[Experimento realizado na lua abandonando uma pena e um martelo.](#)

<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>

Pequena descrição do que teria sido a experiência de Galileu.

<http://www.coladaweb.com/fisica/queda.htm>

Um pouco de teoria sobre a queda livre de corpos e um pouco sobre a história de Galileu e Aristóteles.

<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/GalileGa.html>

Uma biografia mais a fundo sobre a vida de Galileu.

[http://www.if.ufrgs.br/~lang/Queda\\_freada\\_magneto.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~lang/Queda_freada_magneto.pdf)

Um artigo escrito por Fernando Lang da Silveira, Yan Levin e Felipe Barbedo Rizzato do instituto de Física da UFRGS sobre as correntes de Foucault e sobre o freamento de um ímã em queda livre dentro de um material condutor.

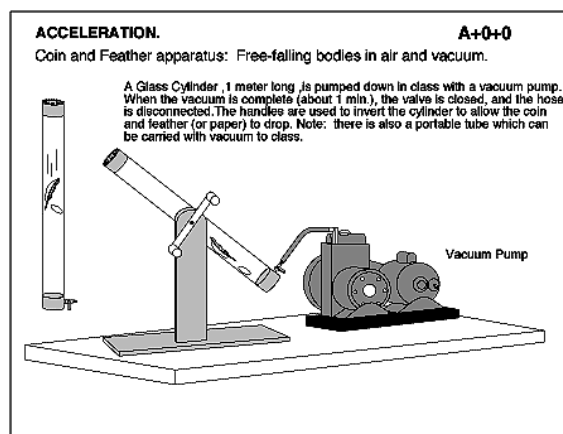
## **Observação do Orientador**

“Meu orientador concorda com o expressado nesse relatório e está satisfeito com o relatório.”

## **Apêndice:**

### ***Referências de websites:***

<http://jedlik.phy.bme.hu/~hartlein/www.mip.berkeley.edu/images/physics/A+0+0.gif>



<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>

“O segundo experimento entre os 10 mais da revista [Physics World](#) refere-se à queda dos corpos, e teria sido realizado por Galileu na torre de Pisa. Embora, de acordo com o historiador Alexandre Koyré, isso não passa de uma lenda, é interessante discutir o que pretendia Galileu com este tipo de experiência. O principal objetivo de Galileu era combater a hipótese de Aristóteles, segundo a qual a *velocidade de queda* de um corpo é proporcional a seu peso. Para Galileu, o peso não deveria ter qualquer influência na velocidade de queda. A comprovação seria simples:

bastava jogar do alto da torre corpos com diferentes pesos e medir o tempo de queda. Há relatos na literatura de que bolas de 10 gramas e de 1 grama teriam sido lançadas, todas chegando ao solo ao mesmo tempo. Isso poderia ser facilmente observado se não houvesse a resistência do ar e outros fatores, como a forma e o material dos corpos lançados. Na verdade, a afirmação "todas chegando ao solo ao mesmo tempo" só seria rigorosamente verdadeira se a experiência fosse realizada no *vácuo*.

Galileu vislumbrou uma alternativa ao *experimento da torre de Pisa* para investigar a relação entre o peso de um corpo e sua velocidade de queda. Esta alternativa constitui o oitavo experimento mais votado pelos leitores da [Physics World](#). Os experimentos sobre o movimento de corpos num plano inclinado são detalhadamente descritos por Galileu na sua famosa obra *Discursos sobre duas novas ciências*.”

<http://www.coladaweb.com/fisica/queda.htm>

## Queda livre

### Queda dos corpos

Entre os diversos movimentos que ocorre na natureza, ouvem sempre interesse no [estudo](#) do movimento de queda dos corpos próximos à superfície da terra. Quando abandonamos um objeto agora (uma pedra, por exemplo) de uma certa altura, podemos verificar que, ao cair, sua velocidade cresce, isto é, o seu movimento é acelerado. Se lançarmos o objeto para cima, sua velocidade diminui gradualmente até se anular no ponto mais alto, isto é, o movimento é retardado. As características destes movimentos de subida e descida foram objeto de estudo desde tempos bastante remotos.

### Aristóteles e a queda dos corpos

O grande filósofo Aristóteles, aproximadamente 300 anos antes de cristo, acreditava que abandonando corpos leves e pesados de uma mesma altura, seus tempos de queda não seriam iguais: os corpos mas pesados alcançariam o solo antes dos mas leve. A crença nesta afirmação durante quase dois mil anos, sem que se tivesse procurado verificar veracidade através de medidas cuidadosas. Um estudo mas minucioso de queda de copos só veio a ser realizado pelo o grande fisico Galileu Galilei, no século XVII.

### Galileu e a queda dos corpos

Galileu e considerado o introdutor do método experimental da física, acreditando que qualquer afirmativa relacionada com um fenômeno deveria estar fundamentada em [experiências](#) e em observações cuidadosas . Este método de estudo dos fenômenos da natureza não era adotado até então e, por isso mesmo, varias conclusões de Galileu entraram em choque com os ensinamentos Aristóteles. Apesar das evidencias experiências realizadas por Galileu, muitos dos seguidores do [pensamento](#) Aristóteles não se deixaram convencer, sendo Galileu alvo de perseguições por pregar ideais consideradas revolucionárias.

### Queda Livre

Como você já deve ter visto muitas vezes, ao deixarmos cair uma pedra e uma pena, a pedra cai mas depressa, como afirmava Aristóteles. Entretanto, podemos mostrar que isso se dá porque o ar exerce um efeito retardador na queda de qualquer objeto e que este efeito exerce maior influencia sobre o movimento da pena do que sobre o movimento da pedra. Observamos, entretanto, que a resistência do ar só retarda sensivelmente certos corpos, como uma pena, um pedaço de algodão ou uma folha de

papel, sendo desprezível para outros, mais pesados, como uma pedra, uma esfera de metal ou até mesmo um pedaço de madeira. Então, para esses últimos, a queda no ar, estes corpos caem simultaneamente, como afirmava Galileu. O movimento de quedas dos corpos no vácuo ou no ar, quando a resistência do ar é desprezível, é denominado queda livre.

### **Aceleração da gravidade**

Conforme já foi dito o movimento de queda livre é acelerado. Com suas experiências, Galileu conseguiu verificar que o movimento é uniformemente acelerado, isto é, durante a queda o corpo cai com aceleração constante. Esta aceleração, denominada aceleração da gravidade, é representado normalmente por  $g$  e, pelo que já vimos, podemos concluir é o mesmo para todos os corpos em queda livre.