

Departamento de Física, Escola de Ciências,

Universidade do Minho

**Laboratório de Mecânica Newtoniana**

**Grupo 1:**

**Diana Silva | A89633**

**João Gomes | A81782**

**Miguel Godinho | A89624**

**Docente:**

**José Luís Ribeiro**

|  |  |
| --- | --- |
| Análise estatística de um grande número de medições com distribuição normal  APLICAÇÃO NA MEDIÇÃO DO PERÍODO DE UM PÊNDULO SIMPLES |  |

**Índice**

[**Sumário** 2](#_Toc21480666)

[**Introdução** 3](#_Toc21480667)

[**Considerações Teóricas** 4](#_Toc21480668)

[**Procedimento** 7](#_Toc21480669)

[**Parte 1** 7](#_Toc21480670)

[**Parte 2** 7](#_Toc21480671)

[**Resultados** 8](#_Toc21480672)

[**Parte 1** 8](#_Toc21480673)

[**Parte 2** 13](#_Toc21480674)

[**Discussão de Resultados** 15](#_Toc21480675)

[**Parte 1** 15](#_Toc21480676)

[**Parte 2** 15](#_Toc21480677)

[**Conclusão** 17](#_Toc21480678)

[**Bibliografia** 18](#_Toc21480679)

[**Apêndice** 19](#_Toc21480680)

# **Sumário**

Este trabalho visa medir o período de uma oscilação de pequena amplitude de um pêndulo simples. Fazendo um grande número de medições, estudamos se os seus valores seguem uma distribuição normal (ou gaussiana). Os dados recolhidos são analisados estatisticamente aplicando as noções de valor médio, desvio padrão e desvio padrão da média. Estes conceitos são explicados partindo do contexto da atividade experimental. Um outro objetivo passa por determinar a aceleração da gravidade e a sua incerteza.

# **Introdução**

O pêndulo simples é um mecanismo composto por uma massa presa a um fio inextensível, fixo por uma das pontas e solto na outra extremidade. A massa oscila em torno da sua posição de repouso.

Neste trabalho recolhemos um grande número de dados, mais concretamente do período de um pêndulo linear simples, com o objetivo de fazer a sua análise estatística. Deste modo, aplicamos uma série de conceitos:

O valor médio é considerado a melhor estimativa do verdadeiro valor, uma vez que revela para onde se concentram os dados do conjunto.

O desvio padrão é uma medida de dispersão dos dados em torno da média.

A distribuição normal ou gaussiana é um método estatístico usado para compreender o comportamento de um grande número de medidas aleatórias.

O desvio padrão da média é uma previsão do erro a que está sujeita a média dos valores medidos e pode ser considerado como estimativa da incerteza na medida.

Ao analisar diretamente o pêndulo, aplicando a equação do pêndulo linear simples e os conceitos da análise estatística anteriormente explorados, tentamos obter valores para a aceleração da gravidade e para a respetiva incerteza.

# **Considerações Teóricas**

A média considera-se como sendo a melhor estimativa do verdadeiro valor, posto que representa uma tendência geral e, deste modo, condensamos os dados num único valor. Numa amostra de N valores, o valor médio é obtido através da expressão:

[1]

O desvio padrão é uma medida de dispersão dos dados em torno da média. Um baixo desvio padrão indica que os pontos dos dados tendem a estar próximos da média ou do valor esperado. É dado por:

[2]

O significado do desvio padrão é que ele indica que uma dada observação tem 68% de probabilidade de estar no intervalo  em torno do valor médio.

Um histograma é uma representação gráfica em barras da distribuição das frequências dos valores de um dado conjunto. O número de barras é o número de classes em que os valores estão divididos e a altura das mesmas é a frequência com que os valores dessa classe ocorrem. As classes podem ser uniformes ou não. Os histogramas podem indicar se uma distribuição se aproxima de uma [função normal](https://pt.wikipedia.org/wiki/Fun%C3%A7%C3%A3o_(matem%C3%A1tica)).

A distribuição normal ou gaussiana é uma das distribuições mais utilizadas para modelar fenómenos naturais. É uma distribuição contínua que possibilita compreender o comportamento aleatório (só possível ajustar a distribuição partindo do princípio que todos os erros são aleatórios) de um conjunto de dados em torno de uma média. Permite a traçagem de uma curva normal, cujo objetivo passa por avaliar o nível de confiança dos dados. A função da densidade de probabilidade, também conhecida por função gaussiana, é dada por:

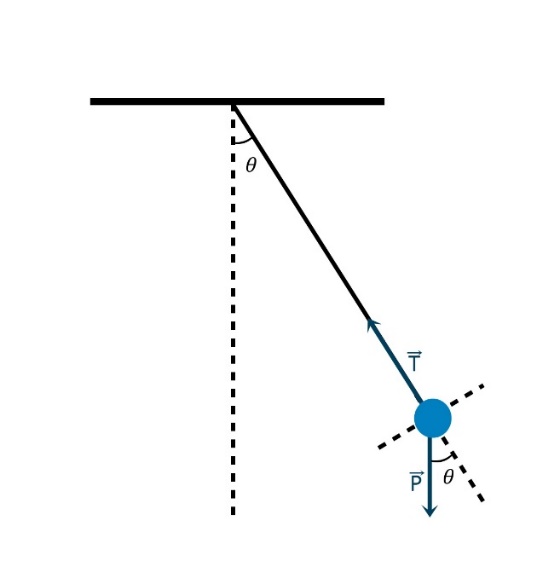
[3]

Sendo a média dos valores e o desvio padrão.

Considerando que as medições seguem uma distribuição normal, é possível estimar uma incerteza da média utilizando o desvio padrão da média:

[4]

Pêndulo

Um pêndulo simples é constituído por uma massa pendurada por um fio inextensível e inflexível num suporte fixo. Geralmente, fica na vertical na posição de equilíbrio. Quando deslocado do equilíbrio e depois libertado, inicia um movimento oscilatório para frente e para trás em torno da sua posição de equilíbrio fixa.

O tempo que o pêndulo leva a fazer o percurso desde um extremo, ir ao outro extremo e regressar à posição inicial é chamado de período. Para cada pêndulo, o período é regular e está dependente do comprimento do fio e do ângulo , que é o ângulo que o fio do pêndulo faz com a vertical.

O movimento pendular é conservativo e as únicas duas forças atuantes são a tensão no fio e o peso da massa, esta segunda que atua como restauradora do movimento oscilatório do pêndulo.

Figura -Pêndulo linear simples

[5]

neste caso: [6]

Igualando as duas expressões obtemos a equação do movimento do pêndulo, também conhecida como “equação de Mathieu”:

[7]

Sendo a massa do pêndulo, o comprimento do fio, o ângulo que o fio do pêndulo faz com a vertical e a aceleração gravítica.

Contudo, a equação [7] não é linear, complicando a resolução da mesma e não é o que se pretende. Podemos linearizá-la em torno de . Esta linearização consiste em restringir-se ao caso em que as amplitudes são muito pequenas (). Neste caso, o termo não linear é aproximado como:

Assim:

A equação [7] corresponde à equação do oscilador harmónico. Se à equação anterior acrescentarmos as condições inicias e , a solução de [7] é dada pela expressão seguinte:

onde é o ângulo máximo que o pêndulo atinge.

O período de oscilação é descrito pela “lei de Huygens”:

E, partindo da equação [10], podemos calcular a aceleração da gravidade:

# **Procedimento**

O procedimento está dividido em duas partes. A primeira parte pretende uma análise estatística sobre o período do pêndulo, já a segunda parte foca-se mais em analisar as propriedades físicas do movimento do pêndulo.

## **Parte 1**

O trabalho experimental começou com a medição do período de um pêndulo simples, realizada 100 vezes.

Depois de obtermos as 100 medições, agrupamos os valores em 10 conjuntos com um intervalo de 0,073. Com os conjuntos de valores medidos construímos o histograma da distribuição da frequência e ajustamos uma função gaussiana à mesma.

Com recurso às expressões [2] e [3], calculamos o valor médio e o desvio padrão dos valores medidos para comparar com os valores retirados do ajuste da distribuição.

Para estimar a incerteza na medição, calculamos o desvio padrão da média, recorrendo à expressão [4], em primeiro lugar. Por outro método, dividimos as medições em 10 conjuntos, cada um com 10 medidas aleatórias. Calculamos o valor médio de cada conjunto e o desvio padrão destes 10 valores médios calculados.

Para concluir, fazemos 10 medições do tempo que o pêndulo demora a realizar 10 oscilações (t) e calculamos o período dividindo o tempo medido pelas 10 oscilações (t/10). Calculamos a média dos 10 novos valores de período e a sua incerteza associada. Por fim, comparamos estes valores calculados com os obtidos através das 100 medições diretas, para averiguar se a incerteza diminui ao realizar a medição correspondente a várias oscilações.

## **Parte 2**

Nesta parte do procedimento, começamos por medir o comprimento do pêndulo (L) e a sua incerteza associada (ΔL) e verificamos se a incerteza relativa (ΔL/L) expressa em percentagem é menor que 0,1%.

Por instrução do docente, não seguimos o último passo do procedimento apresentado no protocolo do trabalho, correspondente à realização de pelo menos três ensaios para testar a seguinte afirmação: “Se pretender determinar a aceleração da gravidade (g), a partir deste sistema, de tal modo que a incerteza relativa (Δg/g) seja menor do que 0,1%, terá que medir o tempo correspondente a cerca de 200 oscilações.”

Em vez disso, realizámos 3 medições de 200 oscilações para determinar o melhor valor da aceleração da gravidade e a sua incerteza.

# **Resultados**

## **Parte 1**

Seguindo o procedimento, registamos 100 vezes o período de oscilação do pêndulo. Os valores encontram-se na tabela seguinte:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Período (s) | | | |
| 1,78 | 1,91 | 1,99 | 2,13 |
| 2,27 | 2,07 | 1,89 | 2,09 |
| 1,96 | 2,16 | 1,95 | 2,04 |
| 1,69 | 2,08 | 2,29 | 2,04 |
| 2,04 | 2,12 | 1,90 | 2,16 |
| 1,72 | 2,02 | 2,16 | 1,94 |
| 2,08 | 1,99 | 2,16 | 2,11 |
| 2,19 | 2,13 | 1,96 | 2,16 |
| 1,64 | 2,16 | 2,34 | 1,94 |
| 2,09 | 2,34 | 2,13 | 2,09 |
| 2,37 | 2,18 | 2,26 | 1,97 |
| 2,06 | 2,19 | 2,02 | 2,32 |
| 2,06 | 2,02 | 1,97 | 2,07 |
| 2,09 | 2,08 | 1,98 | 2,23 |
| 2,37 | 1,74 | 2,28 | 1,96 |
| 2,13 | 2,23 | 2,13 | 2,11 |
| 2,00 | 2,11 | 1,93 | 2,05 |
| 2,21 | 2,17 | 1,95 | 2,16 |
| 2,11 | 2,06 | 1,84 | 2,18 |
| 1,93 | 2,21 | 1,79 | 2,20 |
| 2,05 | 1,93 | 2,34 | 2,37 |
| 2,16 | 2,27 | 2,14 | 2,27 |
| 2,11 | 2,01 | 2,18 | 2,01 |
| 2,12 | 2,08 | 1,99 | 2,04 |
| 2,01 | 2,14 | 2,09 | 2,18 |

Tabela -Valores do período de oscilação do pêndulo.

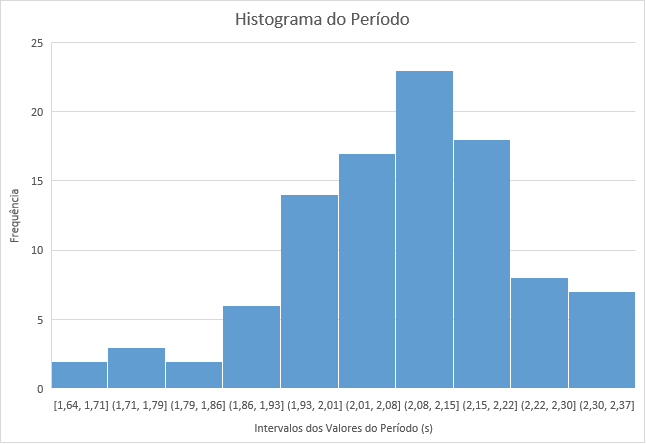
Usando as funcionalidades do Excel para o nosso conjunto de dados obtemos o histograma seguinte:

Gráfico - Histograma dos valores do período.

Dado que as funcionalidades do Excel permitem criar um histograma, não nos foi necessário criar conjuntos, no entanto, no ajuste do histograma, optamos por escolher 10 classes (ou conjuntos) sendo que o intervalo das mesmas é 0,073.

É pedido para ajustar uma função gaussiana ao histograma. Para tal, consideramos que o mesmo representa uma distribuição normal e que os erros nas medições são aleatórios. Então, utilizamos o software Originlab para traçar o histograma e a curva gaussiana:

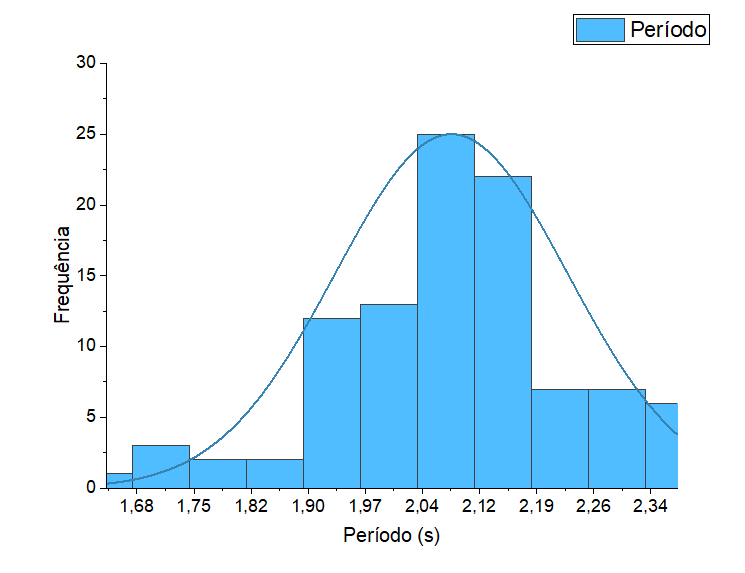


Gráfico - Histograma com a função gaussiana ajustada

Com o ajuste da função gaussiana obtido através do Origin obtemos os valores de média e desvio padrão:

Aplicando diretamente as expressões [1] e [2], respetivamente, ao conjunto de medições obtemos os seguintes valores:

É possível então verificar que os valores calculados pelo ajuste e calculados usando as expressões [1] e [2] são iguais.

De seguida, calculamos a incerteza na medição através de 2 métodos.

Em primeiro lugar, aplicamos diretamente a expressão [4]:

Posteriormente, usamos o segundo método que passa por dividir aleatoriamente as 100 medições em 10 conjuntos de 10 valores, calcular o valor médio de cada um dos conjuntos e o desvio padrão a partir dos mesmos.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Conjunto 1 | | Conjunto 2 | | Conjunto 3 | | Conjunto 4 | | Conjunto 5 | |
| Período (s) | Média (s) | Período  (s) | Média  (s) | Período (s) | Média (s) | Período (s) | Média (s) | Período (s) | Média (s) |
| 2,01 | 2,05 | 1,72 | 2,05 | 2,11 | 2,11 | 1,69 | 2,06 | 2,27 | 2,10 |
| 1,64 | 2,08 | 2,06 | 2,23 | 2,19 |
| 2,11 | 2,09 | 2,09 | 2,13 | 2,13 |
| 1,93 | 2,04 | 2,16 | 2,37 | 2,18 |
| 2,00 | 1,96 | 2,26 | 2,21 | 2,16 |
| 2,29 | 1,96 | 2,27 | 2,02 | 1,94 |
| 2,20 | 2,09 | 1,95 | 1,78 | 2,07 |
| 1,95 | 2,19 | 2,34 | 1,97 | 2,13 |
| 2,23 | 2,18 | 1,84 | 2,13 | 1,91 |
| 2,09 | 2,16 | 1,97 | 2,02 | 2,06 |
| Conjunto 6 | | Conjunto 7 | | Conjunto 8 | | Conjunto 9 | | Conjunto 10 | |
| Período (s) | Média (s) | Período (s) | Média (s) | Período (s) | Média (s) | Período (s) | Média (s) | Período (s) | Média (s) |
| 2,14 | 2,11 | 1,99 | 2,13 | 2,02 | 2,06 | 1,93 | 2,05 | 2,37 | 2,11 |
| 2,12 | 2,16 | 2,01 | 1,99 | 2,08 |
| 2,04 | 2,34 | 2,16 | 2,06 | 2,21 |
| 2,05 | 2,16 | 2,16 | 1,90 | 1,89 |
| 2,04 | 2,07 | 2,13 | 1,96 | 2,11 |
| 2,34 | 2,08 | 1,99 | 2,08 | 1,98 |
| 1,79 | 2,11 | 2,32 | 2,17 | 1,93 |
| 2,28 | 2,11 | 1,94 | 2,05 | 2,04 |
| 2,09 | 2,16 | 2,14 | 2,37 | 2,27 |
| 2,18 | 2,12 | 1,74 | 2,01 | 2,18 |

Tabela - 100 valores de período organizados aleatoriamente em 10 conjuntos e médias correspondentes a cada conjunto.

O valor do desvio padrão da média obtido por este método:

É possível verificar que o valor obtido pelo segundo método não corresponde ao primeiro. Ao testarmos com diferentes conjuntos aleatórios verificamos que o valor do desvio padrão da média varia.1

*1Os novos conjuntos tal como os novos valores do desvio padrão da média encontram-se no apêndice.*Por fim, fizemos as 10 medições do tempo que o pêndulo demora a realizar 10 oscilações (T) e calculámos o período (t) dividindo o tempo medido pelas 10 oscilações . A tabela seguinte apresenta o valor medido para as 10 oscilações e o tempo médio do período, em segundos:

|  |  |
| --- | --- |
| Tempo (s) | Período (s) |
| 20,63 | 2,06 |
| 20,72 | 2,07 |
| 20,27 | 2,03 |
| 20,86 | 2,09 |
| 20,92 | 2,09 |
| 20,46 | 2,05 |
| 20,80 | 2,08 |
| 20,36 | 2,04 |
| 20,96 | 2,10 |
| 20,72 | 2,07 |
| 20,63 | 2,06 |

Tabela -. Tempo que o pêndulo leva a realizar 10 oscilações e período médio estimado através do mesmo.

De forma a obter o valor mais provável e a melhor incerteza, fizemos a média e o desvio padrão, respetivamente:

## **Parte 2**

Foram medidos o comprimento do pêndulo (L) e a respetiva incerteza (ΔL) que, por recomendação do docente será usado a menor divisão de escala que no caso de uma fita métrica corresponde a 1mm.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| L (m) | ΔL (m) | ΔL/L (%) |
| 1,10 | 0,001 | 0,09 |

Tabela - Comprimento do pêndulo, incerteza e incerteza relativa.

Como já foi explicado no procedimento, em vez de seguirmos o último passo do protocolo experimental, fizemos a medição do tempo correspondente a 200 oscilações, três vezes. A cada medição do tempo correspondente a 200 oscilações chamamos de ensaio:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tempo (s) | | |
| Ensaio 1 | Ensaio 2 | Ensaio 3 |
| 418,14 | 421,96 | 419,88 |

Tabela - Tempo que o pêndulo leva a fazer 200 oscilações, para cada um dos três ensaios.

Para o tempo correspondentes às 200 oscilações, a incerteza () é dada pela expressão:

[12]

De seguida, fizemos a média () dos três ensaios, usando a expressão [1] e dividimos essa média pelas 200 oscilações para obtermos o período de uma oscilação (. Também dividimos a incerteza por 200 para obter a nova incerteza do período . Os valores apresentam-se na tabela abaixo:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ensaio | T (s) | (s) | (s) | (s) | (s) |
| 1 | 418,14 | 419,99 | 3,82 | 2,10 | 0,02 |
| 2 | 421,96 |
| 3 | 419,88 |

Tabela - Valores dos tempos medidos para os 3 ensaios, média, tempo estimado para o período e incertezas.

Usando a expressão [11] podemos tirar os valores de aceleração da gravidade com o valor do período calculado através da média dos tempos dos três ensaios:

A incerteza associada a aceleração da gravidade () vai ser dada pela seguinte expressão obtida através da propagação dos erros:

2

Por fim, calculamos a incerteza relativa:

2 A forma como foi obtida a expressão pela fórmula da propagação dos erros está expandida no apêndice.

# **Discussão de Resultados**

## **Parte 1**

O primeiro histograma, ajustado automaticamente pelo Excel, apresentava 7 classes, no entanto entendemos que o mais indicado para tirar conclusões sobre a distribuição dos nossos dados era definir 10 classes.

A partir do histograma é logo possível prever que a distribuição não é normal, e ao ajustar a função gaussiana notamos que a curva da função não é simétrica, confirmando-se que não é uma distribuição normal e não podemos dizer com certeza que temos só erros aleatórios.

Consideramos que a função ajustada é apenas uma estimativa da função para aquele limite, no entanto acabamos por tentar atribuir uma função gaussiana a uma distribuição que não é normal.

De qualquer das maneiras, os valores médios e os valores do desvio padrão do ajuste coincidem com os das fórmulas. Assim sendo, consideramos que o melhor valor é .

Considerando que é uma distribuição normal a incerteza diminui, e a incerteza é agora o desvio padrão da média calculado, deste modo passamos a considerar o nosso melhor valor como .

No segundo método, o resultado nunca seria exatamente igual, uma vez que estamos a usar um método de cálculo diferente. De qualquer das maneiras, se quiséssemos ter desvios padrão da média relativamente parecidos entre os métodos deveríamos aumentar o tamanho dos conjuntos para 100 valores por conjunto, sendo que o número de conjunto também teria de ser grande.

Ademais, quando tentámos diferentes valores aleatórios, tivemos diferentes resultados. Isto acontece porque os nossos conjuntos eram muito pequenos, caso fossem muitos maiores (>100) a diferença entre os resultados seria diluída.

Neste método, obtivemos um valor médio diferente e uma incerteza associada menor, comparando com o primeiro melhor valor (pois calculamos a incerteza da mesma maneira). Consideramos que isto acontece porque o erro humano diminui, dado que no primeiro método havia a necessidade de estar constantemente a iniciar e a retomar o cronómetro.

## **Parte 2**

Apesar de só termos tido a oportunidade de medir o comprimento do pêndulo uma vez, é possível concluir que a medição efetuada foi precisa, o que permitiu uma incerteza relativa menor que 0,1%.

A incerteza no período de oscilação deu igual à incerteza resultante pelo método da medição das 10 oscilações na parte 1 do procedimento experimental (), já o próprio valor do período foi mais próximo do método dos 100 valores da parte 1.

O valor tabelado para a aceleração gravítica (9,81 ms-2) encontra-se dentro do intervalo de valores calculado (9,85±0,19 ms-2). Apesar de não ter sido pedido no protocolo experimental, calculamos a incerteza relativa que nos deu um valor bastante mais alto que o pretendido (menor que 0,1%), o que pode ter sido consequência do nosso método de escolha das incertezas.

# **Conclusão**

Por último, é possível referir que o trabalho correu como planeado.

# **Bibliografia**

Jonh R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis – The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, University Science Books, Sausalito, California 2nd edition (1997).

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Histograma#N%C3%BAmero_de_barras_e_largura>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Distribui%C3%A7%C3%A3o_normal>

<https://www.studocu.com/en/document/universidade-federal-da-fronteira-sul/fisica-experimental/tutorial-work/relatorio-curva-normal-pendulo-simples/4392940/view>

<http://www.fis.ita.br/labfis45/erros/errostextos/erros4.htm>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%AAndulo>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%A3o_do_p%C3%AAndulo>

# **Apêndice**

As tabelas seguintes demonstram as novas tentativas de calcular o desvio do padrão média a partir do segundo método:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Conjunto 1 | | Conjunto 2 | | Conjunto 3 | | Conjunto 4 | | Conjunto 5 | |
| Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média |
| 2,27 | 2,15 | 2,28 | 2,12 | 2,21 | 2,05 | 2,04 | 2,09 | 2,09 | 2,11 |
| 2,19 | 1,99 | 2,07 | 2,34 | 2,17 |
| 2,37 | 1,95 | 2,18 | 2,13 | 2,11 |
| 2,01 | 2,37 | 1,89 | 2,16 | 2,02 |
| 2,13 | 2,18 | 1,95 | 2,05 | 2,29 |
| 1,93 | 2,20 | 1,79 | 2,01 | 1,97 |
| 2,16 | 2,23 | 2,14 | 2,04 | 2,21 |
| 2,02 | 1,94 | 2,11 | 2,18 | 2,06 |
| 2,26 | 1,74 | 2,16 | 1,94 | 1,99 |
| 2,13 | 2,34 | 2,04 | 1,97 | 2,16 |
| Conjunto 6 | | Conjunto 7 | | Conjunto 8 | | Conjunto 9 | | Conjunto 10 | |
| Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média |
| 1,96 | 2,06 | 2,23 | 2,12 | 1,98 | 2,07 | 1,69 | 2,06 | 1,78 | 2,00 |
| 2,11 | 2,16 | 2,13 | 2,09 | 2,04 |
| 2,34 | 2,08 | 1,93 | 2,06 | 1,72 |
| 2,05 | 2,02 | 1,84 | 2,13 | 2,08 |
| 1,91 | 2,13 | 2,14 | 2,32 | 1,64 |
| 2,12 | 2,19 | 2,18 | 2,07 | 2,09 |
| 2,27 | 2,23 | 2,09 | 2,27 | 2,37 |
| 2,01 | 2,08 | 2,16 | 2,06 | 2,11 |
| 1,90 | 1,99 | 2,09 | 2,00 | 2,16 |
| 1,96 | 2,13 | 2,16 | 1,93 | 1,96 |

Tabela -Primeira nova tentativa..

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Conjunto 1 | | Conjunto 2 | | Conjunto 3 | | Conjunto 4 | | Conjunto 5 | |
| Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média |
| 1,72 | 2,05 | 2,26 | 2,09 | 1,98 | 2,01 | 1,91 | 2,09 | 2,18 | 2,12 |
| 2,21 | 1,78 | 2,13 | 2,08 | 1,99 |
| 2,37 | 2,08 | 1,96 | 1,99 | 2,32 |
| 1,89 | 2,37 | 2,01 | 2,11 | 1,64 |
| 1,94 | 1,95 | 2,18 | 2,34 | 2,16 |
| 2,20 | 2,02 | 1,79 | 2,01 | 2,18 |
| 2,16 | 2,05 | 2,14 | 2,27 | 2,21 |
| 2,02 | 2,13 | 1,93 | 1,97 | 2,16 |
| 1,97 | 2,19 | 2,00 | 2,07 | 2,28 |
| 2,05 | 2,04 | 2,01 | 2,16 | 2,06 |
| Conjunto 6 | | Conjunto 7 | | Conjunto 8 | | Conjunto 9 | | Conjunto 10 | |
| Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média |
| 2,09 | 2,152 | 1,93 | 2,03 | 1,69 | 2,09 | 2,19 | 2,092 | 1,99 | 2,12 |
| 2,11 | 2,14 | 2,23 | 2,04 | 2,09 |
| 2,34 | 1,95 | 1,94 | 2,13 | 2,16 |
| 2,09 | 2,09 | 2,34 | 1,93 | 1,89 |
| 2,04 | 2,11 | 2,14 | 2,11 | 2,02 |
| 2,18 | 1,74 | 2,07 | 2,12 | 2,13 |
| 2,27 | 2,13 | 2,09 | 2,37 | 2,27 |
| 2,13 | 2,08 | 2,14 | 1,96 | 2,29 |
| 2,23 | 2,17 | 2,13 | 1,90 | 2,34 |
| 2,06 | 1,96 | 2,16 | 2,13 | 2,06 |

Tabela - Segunda Tentativa.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Conjunto 1 | | Conjunto 2 | | Conjunto 3 | | Conjunto 4 | | Conjunto 5 | |
| Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média |
| 1,78 | 2,06 | 2,18 | 2,09 | 2,12 | 2,10 | 2,02 | 2,14 | 2,01 | 2,06 |
| 2,13 | 1,98 | 2,17 | 2,04 | 2,11 |
| 2,04 | 1,99 | 2,09 | 2,16 | 2,12 |
| 2,34 | 2,34 | 1,93 | 2,34 | 2,09 |
| 2,08 | 1,64 | 2,21 | 2,08 | 1,72 |
| 2,05 | 2,20 | 2,16 | 2,08 | 2,08 |
| 1,97 | 2,26 | 2,32 | 2,16 | 2,13 |
| 2,27 | 2,13 | 2,11 | 2,37 | 2,29 |
| 1,93 | 1,95 | 1,94 | 1,93 | 1,95 |
| 2,04 | 2,19 | 1,91 | 2,21 | 2,05 |
| Conjunto 6 | | Conjunto 7 | | Conjunto 8 | | Conjunto 9 | | Conjunto 10 | |
| Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média | Período | Média |
| 2,23 | 2,14 | 2,00 | 2,09 | 2,09 | 2,03 | 2,14 | 2,06 | 2,01 | 2,06 |
| 1,97 | 1,96 | 2,27 | 2,37 | 2,16 |
| 2,06 | 2,02 | 1,84 | 2,02 | 2,07 |
| 2,16 | 2,09 | 1,99 | 1,90 | 1,79 |
| 2,18 | 2,16 | 2,23 | 1,94 | 2,16 |
| 2,18 | 2,13 | 2,11 | 2,06 | 2,14 |
| 2,13 | 2,06 | 1,96 | 2,09 | 2,18 |
| 2,19 | 2,11 | 2,16 | 1,96 | 1,69 |
| 2,01 | 2,04 | 1,89 | 1,99 | 2,37 |
| 2,27 | 2,28 | 1,74 | 2,11 | 2,07 |

Tabela -Terceira Tentativa..

Incerteza da aceleração gravítica pela propagação de erros:

Cálculo da incerteza para o período: