

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO

Campus Serra da Capivara

Colegiado Acadêmico de Ciências da Natureza

Evolução dos Conceitos de Física I



FÍSICA EXPERIMENTAL I

Patrícia França Silva

Tamires Trindade

Caio Fabio Teixeira Correia

1ª Edição

Junho de 2018

APRESENTAÇÃO

Esta apostila foi elaborada a partir dos experimentos realizados nos semestres anteriores da disciplina Evolução dos Conceitos de Física I do curso de Lic. Em Ciências da Natureza do Campus Serra da Capivara da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Partes dos experimentos aqui descritos fazem parte ou são adaptados do kit *Experimentoteca* do Centro De Divulgação Científica E Cultural – USP, de acordo com a ementa da disciplina e a disponibilidade de materiais no Laboratório de Física do campus. O propósito desta apostila é guiar o discente nas práticas experimentais propostas na Disciplina de física I com propostas de roteiros relacionados à ementa da disciplina, focando em alguns aspectos teóricos relacionados a cada tema, e normatizando a experiência dos estudantes com a disciplina ao longo dos semestres e independente do professor que seja responsável pela mesma. Ao escrever esta apostila fomos guiados pela preocupação em apresentar aos iniciantes, de maneira simples e acessível, os princípios básicos para a elaboração de um relatório. Após uma leitura cuidadosa, o estudante de nível universitário, bem como o docente envolvido na disciplina, estará apto elaborar os experimentos aqui propostos.

Orientações Gerais

A aula prática ou experimental visa a reflexão acerca das dificuldades e cuidados que se deve ter na obtenção de dados científicos válidos, complementando o que foi apresentado em sala de aula. Nela, o aluno pode vivenciar as técnicas experimentais, os procedimentos e assim fazer uma análise crítica dos dados obtidos e das grandezas físicas que foram medidas, levando a um melhor entendimento sobre a Física e sobre a confiabilidade dos dados experimentais.

A organização durante as medidas é fundamental, por isso é importante **não chegar atrasado**, pois as orientações para o experimento e a fundamentação teórica ocorrem no início da aula. A organização das próprias anotações também é fundamental para um correto entendimento do problema e elaboração do relatório. Os experimentos em geral são realizados em grupo e é importante que o aluno não fique circulando pelo laboratório nem fique conversando durante ou após o experimento. Recomenda-se que cada aluno tenha sua própria cópia da apostila para anotar os resultados e para que leia o conteúdo da apostila relacionado antes de cada experimento.

Formatação

O relatório deverá apresentar a seguinte formatação: As margens devem ser; para o anverso, esquerda e superior de 3 cm e direita e inferior de 2 cm; para verso, direita e superior de 3 cm e esquerda e inferior de 2 cm. Recomenda-se, quanto digitado, fonte Arial ou Times New Roman, o tamanho da fonte 12 para todo o trabalho, inclusive capa, exceto notas de rodapé que devem ser menores, legendas e fonte das ilustrações e tabelas, que devem ser um tamanho menor e uniforme. Quanto ao espaçamento; todo texto deve ser digitado com espaçamento de 1,5 entre linhas, exceto as citações de mais de três linhas, notas de rodapé, referências, legendas das ilustrações e tabelas que devem ser separadas entre si por um espaço simples em branco. Ao final deve-se justificar todo texto para promover uma aparência organizada das laterais esquerda e direita da página. As referências devem ser apresentadas dentro das normas da ABNT.

Elementos obrigatórios na construção dos Relatórios

O relatório deverá conter os seguintes itens obrigatórios, seguindo a ordem de posição descrita abaixo:

- **Capa: Contendo as informações abaixo:**
 - a) Nome e símbolo da instituição.
 - b) Disciplina.
 - c) Nome do docente.
 - d) Título do experimento.
 - e) Discente e colaboradores.
 - f) Data.
- **Introdução / Desenvolvimento teórico**

Deve-se explicar toda a teoria do assunto relacionado ao experimento. Aqui também deverá constar as equações e fórmulas que serão utilizadas para resolução dos cálculos. Lembre-se de consultar os livros da disciplina para esta parte, sempre escrevendo com suas próprias palavras e evitando apenas copiar a fonte utilizada.
- **Objetivos**

Qual a finalidade do experimento? Deve ser curto; pode ser até um parágrafo ou em tópicos.

- **Material utilizado**

Faça uma lista contendo o nome e a ilustração de cada item utilizado no experimento.

- **Procedimento experimental**

Descreva, de forma detalhada sem copiar o procedimento do roteiro, explique quais foram os métodos utilizados e os cuidados tomados para a garantir a qualidade e precisão da obtenção dos dados, justificando os métodos escolhidos. A ilustração do experimento também é importante, de forma que o texto se conecte com as ilustrações. Use os tempos verbais corretos de forma impessoal. Escreva de forma clara, sempre pensando se a forma como você escreve e ilustra permite que o leitor seja capaz de reproduzir o experimento.

- **Dados e Cálculos**

Deve-se apresentar os dados coletados organizados em forma de tabelas, e todos os cálculos, feitos a partir do desenvolvimento teórico e do que se pede.

- **Gráficos e Resultados**

A melhor maneira de apresentar seus resultados é através de gráficos, e é a partir deles que você irá mostrar os resultados obtidos no experimento, verificando se com o experimento foi possível encontrar determinados valores, junto com suas unidades. Atenção! Os resultados nem sempre saem como o esperado. Neste caso você deve fazer uma reflexão das variáveis que interferiram ou aumentaram a fonte de erros nos resultados. Alterar os resultados para que deem certo ou fiquem mais próximos do esperado é o oposto do que propõe as aulas experimentais, além de ser inaceitável dentro do meio científico, podendo manchar reputações e terminar a carreira acadêmica de quem faz tal ato de desonestidade! A nota do relatório não será centrada nos resultados em si, mas na análise crítica do experimento e dos resultados!

- **Discussão e Conclusões**

Comparação do(s) resultado(s) encontrado(s) com os valor(es) esperados, valores de referência ou encontrado(s) na literatura, junto de uma discussão dos resultados, com seus respectivos desvios e unidades.

Comente o gráfico, explicando porque tem a aparência encontrada, de acordo com a teoria. Evite conclusões genéricas como “foi possível entender a teoria”, etc.

- **Referências**

Deve constar todas as fontes de pesquisa, sites, livros, revistas científicas, apostilas, etc. Todo texto utilizado que não é de autoria própria deve ser citado com aspas e adicionado nas referências, pois a não citação da fonte caracteriza plágio.

Observações: O experimento deve ser descrito e ilustrado no relatório com detalhes suficientes para que outra pessoa que não realizou o experimento possa entender seus objetivos, como foi feito e ser capaz de reproduzir. Por outro lado, o relatório não pode ser uma cópia do que está na apostila, esta serve apenas de roteiro e contexto para que o estudante possa entender o experimento a ser realizado. O relatório é um relato das observações do que ocorreu durante o experimento, nunca copie ou peça para outra pessoa fazê-lo por você. Toda quantidade determinada a partir das medidas experimentais devem ser apresentadas com as respectivas unidades, verifique se a unidade do resultado é a correta. Quantidades sem unidades também serão consideradas erradas!

REFERÊNCIAS

CDCC – USP. Dietrich Schiel. **Experimentoteca**. Disponível em:

<<http://www.cdcc.usp.br/experimentoteca/index.html>>. Acesso em: 06 junho 2018.

Takeya, M.; Moreira, J. **Laboratório de Física I** – DFTE/UFRN. 2010, sem editora.

Disponível em: <www.dfte.ufrn.br/fis315/>. Acesso em: 06 junho 2018.

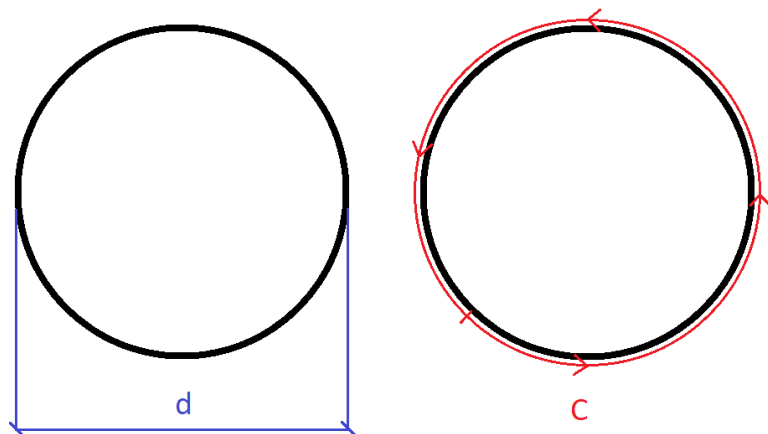
PRÁTICA I: CÁLCULO DE MÉDIA E ERRO – O VALOR DE PI (π)

OBJETIVOS: Familiarização do método científico e de ferramentas estatísticas;
Determinação experimental do valor de π .

A razão entre a circunferência de um círculo, e o seu diâmetro é uma constante, isso é de conhecimento da humanidade desde tempos antigos. Apesar de séculos de teorias, cálculos e provas, o valor exato de π permaneceu desconhecido. Várias civilizações antigas como, babilônios, egípcios e chineses, desenvolveram estudos acerca de π . Em 1768, Johann Heinrich Lambert provou que π é um número irracional, o que significa que ele é um número real que não pode ser representado como o quociente de inteiros. Após vários avanços, os estudos referentes a π limitam-se apenas em encontrar aproximações cada vez mais precisas. O último recorde do cálculo de π é da empresa GPUs NVIDIA sendo Ed Karrels o responsável pelo projeto, ele conseguiu chegar a oito quatrilhões de dígitos (8×10^{15} algarismos significativos), foram 35 dias de cálculos para chegar ao resultado utilizando 26 computadores bem equipados.

A mais famosa relação entre grandezas que envolvem o valor de π é a equação que relaciona a circunferência C de um disco com seu diâmetro d (ou seu raio r),

$$C = \pi d \text{ (ou } C = 2\pi r \text{)}.$$



As medidas experimentais nunca são perfeitas, pois estão sujeitas a erros aleatórios ou sistemáticos. Por isso, devemos fazer várias medidas de um mesmo objeto para obter um valor médio e estimar a incerteza da medida. A maneira mais comum de se estimar a incerteza de uma medida é pelo desvio padrão das medidas. A média de uma série de medidas de uma mesma grandeza x é denotado por $x_{méd}$ ou $\{x\}$, e é dada pela soma de todas as medidas

x_i ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$), dividida pelo número de medidas N ,

$$\{x\} = \sum_i \frac{x_i}{N}$$

$$\{x\} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N}$$

Já o desvio padrão é conseguido em mais alguns passos, subtraindo cada medida x_i do valor médio $\{x\}$ (desvio da média: $x_i - \{x\}$), depois elevando cada desvio da média ao quadrado, somando tudo, depois dividindo pelo número de medidas novamente e finalmente tirando a raiz quadrada do resultado, como mostra a fórmula abaixo,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \{x\})^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \{x\})^2 + (x_2 - \{x\})^2 + \dots + (x_N - \{x\})^2}{N}}$$

Dica: Pacotes virtuais de escritório vêm com um programa de planilhas (como o *Excel* da *Microsoft Office*, ou o *Calc* do *Open Office*) que sempre têm estas fórmulas de média e desvio padrão embutidas e são bastante práticas, veja como funcionam estas fórmulas, que dependem do idioma do pacote instalado, e faça a verificação dos cálculos.

MATERIAL

- 1 Paquímetro digital;
- 1 Régua ou fita métrica;
- 1 cilindro;
- 1 Fio (linha de nylon);



PROCEDIMENTO

- Meça com paquímetro a espessura do fio, anote o valor encontrado e depois converta a medida de milímetro para centímetro. Chame esta medida de ϵ .

Espessura do fio ϵ (cm): _____

- Faça três voltas bem justas em torno do cilindro com o fio, sendo que o fim da última volta deve se encontrar com a ponta do fio enrolado no peso. Segure o fio e desenrole de forma a não perder o fim da terceira volta, meça o comprimento do fio utilizado para fazer as três voltas, o que deve equivaler a 3 vezes a circunferência do cilindro – $3C$.
- Repita o processo de medição da circunferência do cilindro por 4 vezes e anote os valores encontrados na coluna 2 da tabela 1;
- Divida por 3 cada resultado e anote na coluna 3, opte por arredondar os resultados de acordo com os critérios A.S e preencha a tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Circunferência

Nº da medida	Medida 3C (cm)	Circunferência C (cm)
1		
2		
3		
4		

- Calcule o valor médio da circunferência, $\{X\}$: _____
- Preencha a tabela 2 abaixo para poder calcular o valor médio e o desvio padrão:

Tabela 2: Passos para obter o desvio padrão das medidas

Nº da medida	Desvio da média $X_i - \{X\}$	Desvio quadrático $(X_i - \{X\})^2$
1		
2		
3		
4		

- Desvio padrão da medida da circunferência: $\sigma_C = \underline{\hspace{2cm}}$
- Meça com o paquímetro digital (objeto com maior precisão que uma régua) o diâmetro (D) da circunferência do cilindro, faça quatro medições e anote o valor, será necessário converter as medidas do diâmetro (de mm para cm) uma vez que as medidas fornecidas pelo paquímetro são apresentadas em milímetros.
- Faça o arredondamento dos valores, calcule a média do diâmetro $\{D\}$ e o desvio padrão do diâmetro σ_D , seguindo os mesmos procedimentos das tabelas 1 e 2.
- Determine o valor de π utilizando a seguinte fórmula:

$$\pi = \frac{C}{D}$$

- Levando em consideração a espessura do fio, recalcule o valor de π utilizando a seguinte fórmula:

$$\pi = \frac{C}{D + \epsilon}$$

- Determine o erro da medida utilizando a seguinte fórmula:

$$\sigma_\pi = \sqrt{\frac{\sigma_C \sigma_D}{\sigma_C + \sigma_D}}$$

- Agora você tem o valor experimental de π , juntamente com a incerteza σ_π , apresente-o na forma:

$$\pi \pm \sigma_\pi$$

- Como você analisaria analiticamente a qualidade do valor que você encontrou? π tem unidade?

REFERÊNCIAS:

MELISSA. **Uma breve história de pi**. 2015. Disponível em:

<<http://gizmodo.uol.com.br/uma-breve-historia-do-pi/>>. Acesso em: 22 maio 2018.

WIKIPÉDIA. **Desvio Padrão**. 2018. Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Desvio_padrão>. Acesso em: 19 maio 2018

NVIDIA. **Pi Eating Champ Does His Digesting with GPUs**. 2013. Disponível em:

<<https://blogs.nvidia.com/blog/2013/03/14/pi/>>. Acesso em: 21 maio 2018.

PRÁTICA II: VELOCIDADE MÉDIA E ACELERAÇÃO - ROLAMENTO DO DISCO

OBJETIVOS: Calcular velocidade média e construir gráficos.

Na Física, aceleração é a taxa com que a velocidade varia com o tempo, sendo também uma grandeza vetorial, possuindo assim módulo, direção e sentido. Se a velocidade de um objeto não varia nem em intensidade nem em direção à medida que o tempo passa, sua aceleração é nula ($a = 0$). Definimos tal situação como um Movimento Retilíneo Uniforme (MRU). No caso especial em que a velocidade de um objeto varia de maneira uniforme em todos os instantes de tempo, mantendo a direção, tendo assim uma aceleração constante e diferente de zero, temos um Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). No Sistema Internacional (S.I.), a unidade padrão de velocidade é o m/s. Por isso, é importante saber efetuar a conversão entre o km/h e o m/s, que é dada pela seguinte relação:

$$1 \text{ km/h} = \frac{1\text{km}}{1\text{h}} = \frac{1000\text{m}}{3600\text{s}} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s} \cong 0,2\bar{7} \text{ m/s}$$

Ou

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

A velocidade média indica o quão rápido um objeto se desloca em um intervalo de tempo médio e é dada pela seguinte razão:

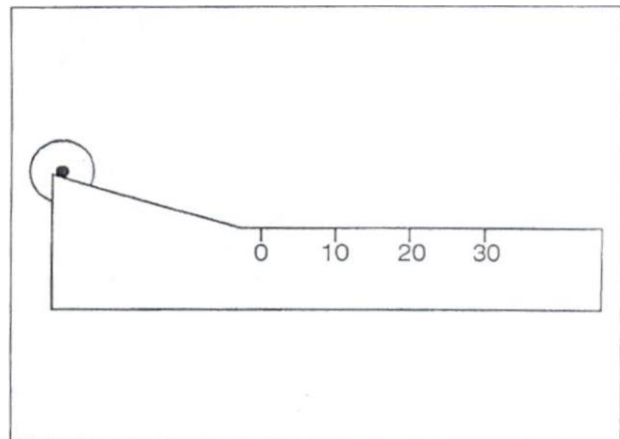
$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

MATERIAL

- 1 Trilho
- 1 rotor
- 1 cronômetro

PROCEDIMENTO

- Coloque o rotor sobre o trilho na posição de lançamento (ver figura). Usando o cronômetro, meça o tempo que o rotor leva para ir da posição de 0 cm até 10 cm. Mude o trilho de posição sobre o chão para compensar eventuais inclinações da mesa ou do chão e repita, completando 3 medidas.



- Repita o procedimento para os demais intervalos marcados na 1ª coluna da tabela abaixo.
- Calcule o tempo médio para cada intervalo na 5ª coluna da tabela.
- Calcule o tempo médio acumulado para todos os trechos (Δt_1 , $\Delta t_1 + \Delta t_2$, $\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ e $\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4$) e preencha a 6ª coluna da tabela.
- Dividindo o espaço percorrido (1ª coluna) pelo tempo gasto em cada intervalo (5ª coluna) obtém-se a velocidade média. Preencha a 7ª coluna da tabela com estes dados.

Tabela 1: Medidas de tempo

Espaço (cm)	Tempo 1 (s)	Tempo 2 (s)	Tempo 3 (s)	Tempo Médio (s)	T. Médio acumulado (s)	Velocidade Média (cm/s)
Δx_1 (0 a 10 cm)				$\Delta t_1 =$		
Δx_2 (10 a 20 cm)				$\Delta t_2 =$		
Δx_3 (20 a 30 cm)				$\Delta t_3 =$		
Δx_4 (30 a 40 cm)				$\Delta t_4 =$		

- Faça um gráfico da posição do rotor em função do tempo (eixo horizontal).

- Faça um gráfico da velocidade do rotor em função do tempo (eixo horizontal).

Dica: Use a 6ª coluna da Tabela 1 para construir o eixo horizontal dos gráficos.

Qual foi a velocidade média levando em consideração todo o trilho e o tempo total para percorrê-lo? Você diria que foi um MRU ou MRUV? Discuta os resultados.

REFERÊNCIAS:

GUIA DO ESTUDANTE. **Resumo de física: Cinemática e dinâmica.** 2017. Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/resumo-de-fisica-cinematica-e-dinamica/>>. Acesso em: 14 maio 2018.

PRÁTICA III: ROLDANAS E POLIAS – MÁQUINAS SIMPLES

OBJETIVO: Determinar experimentalmente as vantagens das roldanas móveis e fixas.

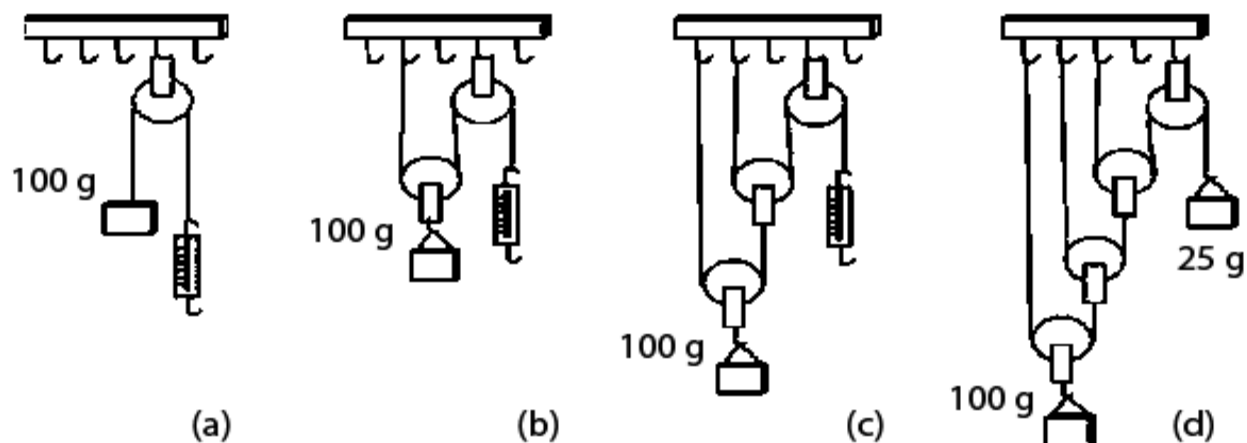
INTRODUÇÃO

A humanidade sempre buscou criar técnicas e ferramentas que facilitem seu trabalho, ou que permitam a realizar ações de força e perigosas na construção de estruturas grandes e complexas. Uma das máquinas simples mais antigas a serem utilizadas são as roldanas ou polias. Existe um conto que afirma que Arquimedes foi o primeiro a construir e usar o sistema de roldanas. Para demonstrar sua invenção, ele preparou uma apresentação. Estando um navio ancorado, ele deu a missão para os soldados do Rei Hieron que o retirassem da água e eles com muito esforço conseguiram tirar o navio, após isso Arquimedes fez um sistema de roldanas acoplou no navio e deu a extremidade livre da corda ao rei, para que ele mesmo puxasse. O rei sozinho, sem muito esforço, conseguiu tirar o navio da água.

Uma roldana é composta por uma roda leve, capaz de girar em torno do seu eixo central, e com um fio passando por suas bordas. As roldanas podem ser fixas, com seu eixo preso a um suporte rígido. Nesta configuração, a roldana tem apenas o movimento de rotação em torno do seu eixo, o que permite apenas a mudança da direção das forças envolvidas nos objetos presos ao fio. As roldanas móveis são utilizadas geralmente para deslocar cargas maiores, em conjunto com um sistema de roldanas fixas, pois podem se descolar juntamente com a carga e exigem uma força menor que as roldanas fixas, são caracterizadas por dividir a carga do objeto pela metade, se usadas corretamente.

MATERIAL:

- Suportes com sistema de roldanas.
- Pesos cilíndricos.
- Balanças de molas.



PROCEDIMENTO:

Primeira etapa (a): Usar apenas 1 roldana fixa e a balança de mola para sustentar o cilindro de 100g. Meça o peso aparente sentido pela balança de mola.

Segunda etapa (b): Usar 1 roldana fixa e 1 móvel, a balança e um cilindro de 100g nas extremidades de cada fio. Meça o peso aparente sentido pela balança de mola.

Terceira etapa (c): Usar 2 roldanas móveis e 1 fixa, uma balança e um cilindro de 100g nas extremidades de cada fio. Meça o peso aparente sentido pela balança de mola.

Quarta etapa (d): Usar 2 roldanas móveis e 1 fixa, porém com um cilindro de 100g e um de 25g nas extremidades de cada fio. Descreva o que acontece e explique porquê.

REFERÊNCIAS:

FISÍCA E VESTIGULAR. **Polias e roldanas**. 2008 - 2018. Disponível em:

<<http://fisicaevestigular.com.br/novo/mecanica/dinamica/polias-e-roldanas/>>. Acesso em: 05 maio 2018.

MAGALHÃES. **Vantagem Mecânica das Polias**. 2006 - 2015. Disponível em:

<http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_i2102>.

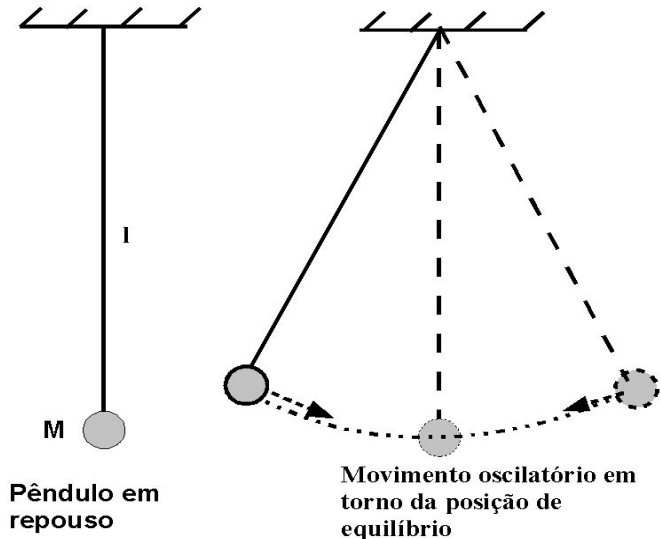
Acesso em: 04 maio 2018.

CIÊNCIAS NO COTIDIANO. **Arquimedes**. 2005. Disponível em:
<<http://cienciasnoquotidiano.blogspot.com/2005/11/arquimedes.html>>. Acesso em: 04
maio 2018.

PRÁTICA IV: ESTUDO DO MOVIMENTO DO PÊNDULO SIMPLES

OBJETIVOS: Verificar a relação período-comprimento do fio de um pêndulo oscilatório; calcular o valor da aceleração gravitacional.

Em mecânica, um pêndulo simples consiste em um corpo de massa puntiforme (m) presa a um fio leve e inextensível de comprimento L preso ao teto, que oscila em torno da sua posição de equilíbrio. Quando afastado desta posição de equilíbrio e solto, o pêndulo oscilará em um plano vertical sob a ação da gravidade;



o movimento é periódico e oscilatório, sendo possível a determinação do período do movimento. Galileu Galilei foi o responsável por descobrir a periodicidade regular do movimento de um pêndulo, permitindo assim a criação do relógio de pêndulo.

O movimento de um pêndulo simples relaciona apenas três grandezas entre si: O período (P), que é o tempo que o objeto leva para retornar a sua posição original de lançamento (completando uma oscilação completa), com outras duas grandezas, a aceleração da gravidade (g), e do comprimento do fio (L), através da seguinte fórmula,

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

MATERIAL

- 1 peso cilíndrico;
- 1 fio ideal;
- 1 cronômetro;
- 1 régua;
- 1 trave de suporte;

PROCEDIMENTO

- Meça três vezes o comprimento – L (cm) – do fio do pêndulo, desde o furo onde o gancho está preso até o centro do peso e anote os valores nas colunas 2, 3 e 4 correspondentes ao fio que você está medindo na tabela 1
- Deixe para completar a coluna 4, do L médio em casa

Tabela 1 – comprimento do pêndulo

FIO	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	L méd.(m)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

- Faça o pêndulo oscilar a partir de um ângulo pequeno e meça o equivalente a 5 períodos – $5.P$ (s) – de oscilação do pêndulo e anote também na tabela, repetindo o processo três vezes para preencher as colunas 2, 3 e 4 da tabela 2. Lembre-se que só completa um período depois que a massa volta pela 1ª vez para a posição em que você o soltou e não quando você solta o peso.
- Calcule o valor médio dos períodos $5P$, anotando na coluna 5 da tabela 2.
- Divida o valor de $5P$ por 5 para obter o valor do período – P (s), preenchendo a coluna 6 da tabela 2

Tabela 2 – período do pêndulo

FIO	5xP1(s)	5xP2(s)	5xP3(s)	5xP méd. (s)	P méd. (s)
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Os cálculos e procedimentos a seguir podem ser realizados em casa. Vamos checar primeiro a qualidade da correspondência dos valores do período obtidos, com o que a fórmula prevê para o período do pêndulo.

- Use o valor conhecido de $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ da aceleração gravitacional e do comprimento do fio que você mediu para prever qual deve ser o período do pêndulo e comparar com o período que você mediu. Compare dividindo a diferença entre o valor previsto e o encontrado pelo valor encontrado e então tire a porcentagem.

Agora nós vamos usar os valores encontrados para o período e o comprimento do fio para encontrar nossa própria medida da aceleração gravitacional.

- Isole g na fórmula do período e mostre que ele pode ser encontrado através da fórmula;

$$g = \frac{4\pi^2 L}{P^2}$$

Tabela 3 – Cálculos para gráfico e aceleração gravitacional

FIO	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$
1	
2	
3	
4	
5	
6	

- Calcule o valor médio e o desvio padrão da aceleração gravitacional.
- Faça um gráfico do período (eixo vertical) em função do comprimento do fio (eixo horizontal) – $P \text{ vs. } L$

REFERÊNCIAS:

WIKIPÉDIA. **Pêndulo Simples**. 2018. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Pêndulo_simples>. Acessado em: 17 maio 2018.