

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS - DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA - MNPEF**

AMANDA APARECIDA BORGES DA SILVA

**O ENSINO DE FÍSICA ATRAVÉS DE PRÁTICAS
EXPERIMENTAIS COM APARATOS DE BAIXO CUSTO: O USO
DE UM *FOTOGATE* NA ABORDAGEM DE FENÔMENOS
RELACIONADOS AO MOVIMENTO**

ALFENAS
2022

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. CONSTRUÇÃO DO <i>FOTOGATE</i> E O USO DO SOFTWARE <i>AUDACITY</i> PARA COLETA DE DADOS.....	4
3. O USO DO <i>AUDACITY</i> NA COLETA DE DADOS DO <i>FOTOGATE</i>.....	7
4. APARATOS EXPERIMENTAIS ACOPLADOS AO <i>FOTOGATE</i> UTILIZADOS NAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS.....	8
5. AVALIAÇÃO DA PESQUISA	10
6. SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS EXECUTADAS DURANTE A INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA.....	12
6.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 01	12
6.1.1 Questionário avaliativo experimento - Plano Inclinado.....	24
6.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 02	25
6.2.1 Questionário avaliativo experimento – Plano Inclinado com variação angular	37
6.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 03	38
6.3.1 Questionário avaliativo experimento – Lançador de Projéteis	52
6.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 04	53
6.4.1 Questionário avaliativo experimento – <i>Picket Fence</i>.....	73
6.5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 05	74
6.5.1 Questionário avaliativo experimento – Pêndulo Simples.....	87
6.6 ARTIGOS E CAPÍTULOS DE LIVRO PRODUZIDOS DURANTE A REALIZAÇÃO DESTA PESQUISA	88

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Esse produto educacional faz parte de um trabalho maior de uma dissertação de mestrado do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - polo 28 - Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais. O tema central deste trabalho é o Ensino de Física através de práticas experimentais com aparatos de baixo custo: o uso de um *fotogate* na abordagem de fenômenos relacionados ao movimento.

Ao aprofundar os estudos acerca das dificuldades que afetam o sistema de ensino, principalmente o ensino de Física, foi possível averiguar que dentre os problemas presentes, o maior deles está na assimilação e compreensão dos conceitos físicos apresentados em sala de aula, com os acontecimentos rotineiros vivenciados pelo estudante. Isso, porque o ensino tradicional apresenta um ensino mecanizado, em que cabe ao estudante memorizar as fórmulas matemáticas apresentadas pelo professor, e essa situação muitas vezes resulta em desprezo e desinteresse por parte do estudante. E como alternativa a essa situação, aponta-se a implementação de práticas experimentais nas aulas de Física, como forma de contribuir com o aprendizado do estudante e possibilitar aulas mais dinâmicas e como maior participação dos estudantes.

No entanto, a realidade das escolas de ensino básico, há muitas dificuldades em relação a infraestrutura e raramente possuem laboratórios equipados dedicados ao ensino de Física que proporcionam a realização de atividades experimentais.

Desta forma, o intuito deste trabalho é oferecer ao professor um produto educacional que irá contribuir nas aulas de Física, despertar a curiosidades dos estudantes e principalmente otimizar as aulas de cinemática, por meio do uso de um aparato experimental de baixo custo: *fotogate* (portão de luz), associado a um software livre (*Audacity*) como ferramenta para coleta de dados de intervalos tempo.

Neste produto educacional, você irá encontrar os materiais necessários para construção do *Fotogate* de Baixo Custo (FBC) e a sua respectiva montagem. Será apresentado também o software associado ao FBC, no qual é utilizado nos experimentos para realizar a coleta de dados, além de mostrar as principais configurações da interface do software. Em seguida, os demais aparatos que foram utilizados acoplados ao *fotogate* durante os experimentos, serão apresentados.

Além disso, será disponibilizado nesse produto educacional, cinco sequências didáticas associadas aos experimentos com o uso do *fotogate*, referente ao estudo do Movimento, que foram trabalhadas e aplicadas em salas de aula, durante as intervenções pedagógicas. Todas essas sequências didáticas, estão organizadas de forma a auxiliar e contribuir com planejamento do professor, para que o mesmo tenha dimensão de todo material que será essencial para suas aulas, a teoria utilizada, o tempo necessário e todo o procedimento a ser seguido, para que assim, as aulas tenham melhor execução, rendimento e os objetivos sejam cumpridos.

E por fim, encontra-se nesse produto, o modelo do questionário utilizado ao final de cada intervenção pedagógica, como forma de verificar as opiniões dos estudantes de como cada sequência didática contribuiu para seu aprendizado, com pontos positivos, negativos e sugestões para as próximas intervenções.

Apresentamos a seguir, os produtos educacionais desenvolvidos durante a execução desta pesquisa.

2. CONSTRUÇÃO DO *FOTOGATE* E O USO DO SOFTWARE *AUDACITY* PARA COLETA DE DADOS

Em muitas atividades experimentais é necessário aferir intervalos de tempo. No entanto, durante a experimentação, esses dados de tempo nem sempre são coletados com tanta precisão. E o aparato proposto neste produto propõem soluções alternativas para medidas de intervalo de tempo, pois alia a simplicidade e o baixo custo, sendo de fácil construção e manuseio.

O aparato experimental proposto, trata-se de um *Fotogate* de baixo custo (FBC), caracterizado por ser um instrumento utilizado para indicar a variação de tempo entre um determinado evento. Ele consiste basicamente em um resistor dependente de luz (LDR) e um apontador laser, e, para a coleta dos dados referentes ao intervalo de tempo, utiliza-se a entrada de áudio do computador, combinado com o software livre *Audacity*. O custo final para confeccionar este *Fotogate* é de aproximadamente R\$ 30,00.

A confecção deste aparato de baixo custo, FBC, é de fácil compreensão e os materiais são acessíveis. Os materiais necessários são um LDR de 3 mm; a finalidade do LDR é para ter a função de um oscilador de frequência, sendo encarregado por caracterizar a interação com a luz emitida pelo diodo LASER e sua interrupção ocasionada por um objeto opaco; para realizar as conexões é necessário um metro de fios paralelos (cabo AWG40 preto/vermelho); um apontador LASER vermelho (pode ser

substituído por uma lanterninha) e um pino P2 mono. Além disso, é necessário um prendedor de roupas; que tem a função de ser suporte para o apontador laser ou lanterninha, um parafuso; um cotovelo de PVC; um tê de PVC; três pedaços de tubo de PVC de 8 cm e um pedaço de tubo de PVC de 10 cm. É relevante enfatizar que os materiais de PVC devem ter diâmetro de meia polegada ou 20mm.

O primeiro passo é cortar os tubos de PVC nas medidas mencionadas anteriormente, dos quais dois deles devem ser furados, conforme a figura 1, isso faz com que seja possível fixar o parafuso e o LDR.

O segundo passo é atravessar o cabo pelos tubos, soldar o fio no LDR, e em seguida isolá-los. Além disso, é necessário também soldar o fio no Pino P2 mono.

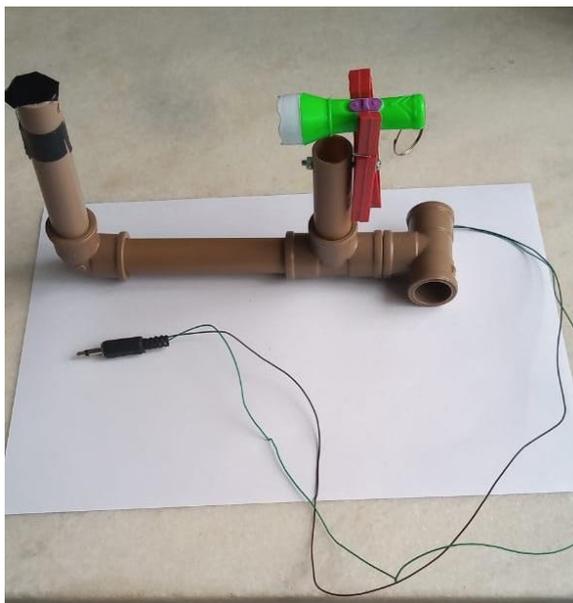
O terceiro e último passo é finalizar a construção do FBC, para isso, deve-se conectar os tubos e fixar o prendedor de roupas através do parafuso, como mostrado na figura 2.

Figura 1: Componentes utilizados para a construção do *fotogate*.



Fonte: Acervo da autora

Figura 2: *Fotogate* já montado



Fonte: Acervo da autora.

É necessário deixar claro que para utilizar o FBC, deve-se conectar o pino P2 mono na entrada de áudio do computador com o software *Audacity* previamente instalado e em execução. A seguir, podemos ver o *Fotogate* de baixo custo finalizado e conectado ao computador:

Figura 3: *Fotogate* já montado e posicionado para coleta de dados, com o P2 conectado no computador para utilização do software *AUDACITY*.



Fonte: Acervo da autora.

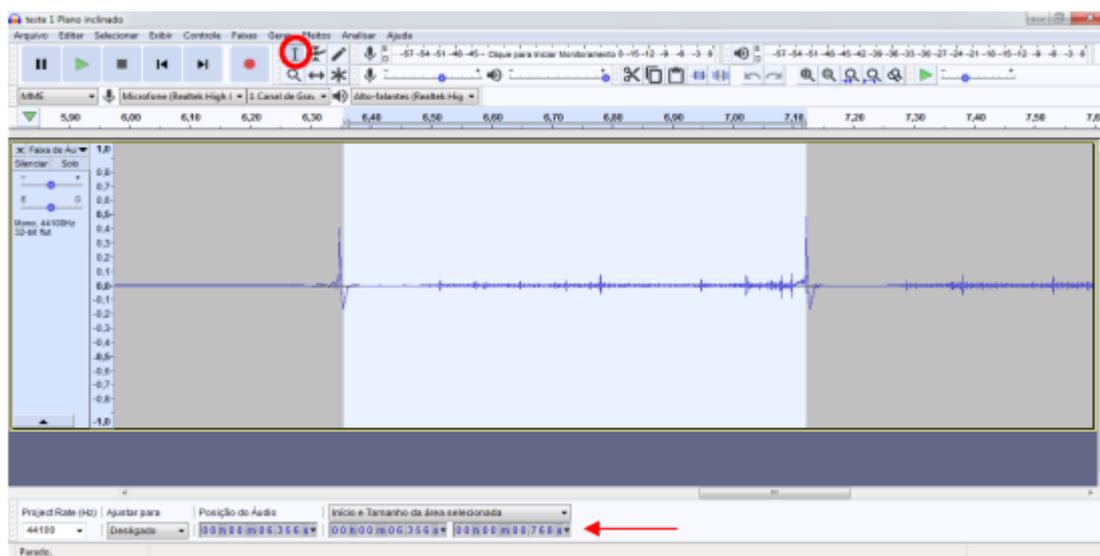
É necessário enfatizar que teoricamente, é possível conectar de forma concomitante à entrada de áudio do computador até oito *fotogates*. No entanto, para os

experimentos trabalhados nas sequências didáticas apresentadas neste produto, não foi necessário esse número, apenas com dois *fotogates* foi possível realizar diversos experimentos, no qual atente os objetivos deste trabalho.

3. O USO DO AUDACITY NA COLETA DE DADOS DO FOTOGATE

Segundo Silva, Pedroso e Pinto (2020), “o Audacity é um editor e gravador de áudio distribuído gratuitamente sob a licença *GNU General Public License*”. Este software apresenta uma interface bem simples e de fácil domínio, onde qualquer pessoa pode gravar ou editar um áudio facilmente. Por ser um software de edição de áudio, ou seja, é utilizado para melhorar a qualidade dos arquivos de áudio digital, com ele é possível gravar sons, capturar áudio de outros softwares, criar e adicionar sons por síntese, abrir arquivos de diversos formatos, convertê-los para outro tipo de formato de áudio, salvá-los e até mesmo realizar mixagens de várias pistas para um arquivo final mono ou estéreo. É importante destacar que como o software Audacity possui licença livre (GNU GPL) para as três plataformas: Linux, Windows e MAC, ele torna-se um software apropriado para realizar as coletas de dados de intervalo de tempo durante os experimentos conectado ao *fotogate*. A seguir, a captura da tela do software Audacity com as indicações das ferramentas que são utilizadas para se obter o intervalo de tempo nos experimentos:

Figura 4: Gráfico gerado no software Audacity, com o intervalo de tempo entre os *fotogates*, no experimento do plano inclinado.



Fonte: Acervo da autora.

O intervalo de tempo possui precisão de milésimos de segundo. A forma de como configurar e demarcar os intervalos de tempo no experimentos, será explicado detalhadamente em cada sequência didática.

4. APARATOS EXPERIMENTAIS ACOPLADOS AO *FOTOGATE* UTILIZADOS NAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

O *fotogate* é utilizado na coleta dos intervalos de tempo em todos os experimentos propostos nas sequências didáticas. Além disso, o FBC é usado acoplado nos aparatos para a realização de todos os experimentos contidos neste trabalho. As sequências didáticas propostas, utilizou-se de aparatos, tais como:

- Pêndulo Simples

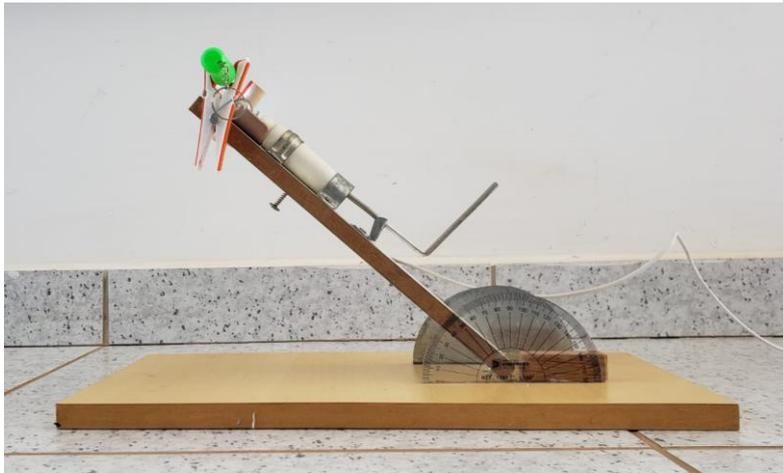
Figura 5: Aparato de baixo custo: Pêndulo Simples.



Fonte: Acervo da autora.

- Lançador de Projéteis

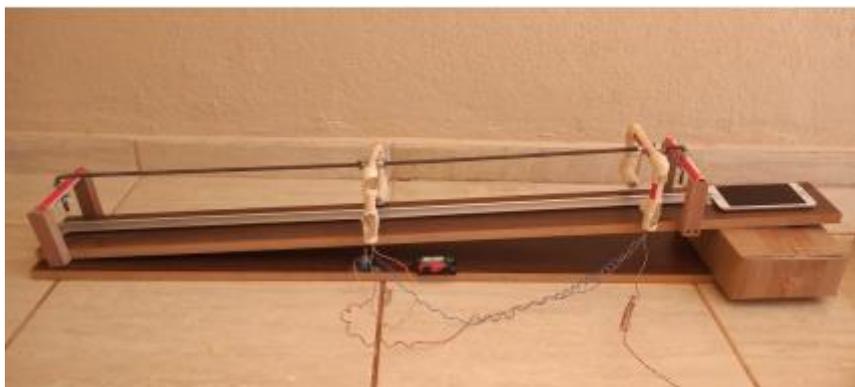
Figura 6: Aparato Lançado de projéteis com o *fotogate* acoplado



Fonte: Acervo da autora.

- Plano Inclinado

Figura 7: Plano Inclinado com *fotogates* acoplados.



Fonte: Acervo da autora.

- Picket Fence

Figura 8: *Picket Fence* de baixo custo construída.



Fonte: Acervo da autora.

A *Picket Fence*, consiste em uma placa de acrílico transparente, no qual há fitas opacas de mesma largura dispostas com distâncias previamente fixadas. No caso deste trabalho, foi construído uma *Picket Fence* de baixo custo, no qual a placa foi feita de garrafa pet de material transparente e as fitas opacas foi utilizado fita isolante preta colocadas a distâncias constantes.

Este aparato é utilizado para determinação da aceleração gravitacional local. Ao ser abandonada entre a ponteira LASER (lanterna) e o resistor LDR, produzirá bloqueios e desbloqueios sucessivos no *fogate* que será registrado pelo software *Audacity*.

5. AVALIAÇÃO DA PESQUISA

Após as intervenções pedagógicas com cada sequência didática, deve-se aplicar um questionário (no Google Formulário) referente ao experimento, para que os estudantes avaliem e manifestam suas opiniões sobre vários quesitos referentes a intervenção pedagógica.

O questionário foi construído de forma coletiva com os demais mestrandos, do MNPEF – polo 28, que participam do grupo que pesquisa práticas experimentais de Física no Ensino Médio. O intuito do questionário é para que o estudante estabeleça o nível de dificuldade que encontrou durante a intervenção pedagógica, contribuições dos experimentos, apontam seus pontos positivos, negativos e sugestões.

Para facilitar o estudo dos resultados obtidos no questionário pelo professor, a análise foi feita da seguinte forma: as três primeiras questões do questionário, tem como objetivo agrupar os estudantes conforme os seus posicionamentos. As perguntas oferecem nove opções de respostas. Essas respostas durante o tratamento dos dados, foram

agrupadas em três categorias. No caso da pergunta contida na figura 9, as respostas 0, 1, 2 foram classificadas como fácil montagem; 3, 4, 5 foram consideradas com média dificuldade de montagem, enquanto 6, 7, 8 foram classificadas como de difícil montagem.

Figura 9: Captura referente a primeira pergunta contida no questionário avaliativo.

1. A montagem do experimento "Picket Fence" foi: *

Marcar apenas uma oval.

0 1 2 3 4 5 6 7 8

Extremamente fácil Extremamente difícil

Fonte: Acervo da autora.

As respostas referente a pergunta 3, foram agrupadas em pequena, média e grande contribuição. Conforme pode ser visto na figura a seguir:

Figura 10: Captura referente a terceira pergunta contida no questionário avaliativo.

3. O experimento "Picket Fence" contribui para sua compreensão sobre movimento com aceleração constante. *

Marcar apenas uma oval.

0 1 2 3 4 5 6 7 8

Nenhuma contribuição Extrema contribuição

Fonte: Acervo da autora.

As demais perguntas do questionário, são questões abertas, para que o estudante possa argumentar suas conclusões referentes aos aspectos positivos, negativos e sugestões.

O modelo do questionário a ser enviado aos estudantes está localizado ao final de cada sequência didática, para que fique organizado de forma que o professor tenha o questionário referente ao assunto específico da respectiva sequência didática.

6. SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS EXECUTADAS DURANTE A INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

6.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 01

O USO DE UM *FOTOGATE* DE BAIXO CUSTO EM PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO: O MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO DE UMA ESFERA SOBRE UM PLANO INCLINADO.

Amanda Aparecida Borges da Silva; amanda.aparecida@sou.unifal-mg.edu.br

Resumo

O plano inclinado é um dos primeiros experimentos a ser estudado por discentes nas aulas de física. Na maioria dos livros didáticos é visto como o experimento com o qual Galileu chegou à lei matemática do movimento de queda livre dos corpos. Conta-se que, para investigar a queda dos corpos, Galileu soltou bolas de canhão e de fuzil, de massas diferentes, do alto da famosa Torre de Pisa, na Itália. No entanto, até o momento, ninguém tem provas de que isso de fato aconteceu. O que Galileu realmente fez na cidade de Pisa, foram estudos em um plano inclinado, com fins experimentais. A ideia de Galileu de usar um plano inclinado, tinha o propósito de analisar o movimento de um corpo que sofre uma aceleração menos acentuada do que a aceleração da gravidade. Assim, Galileu deixou rolar bolas feitas de bronze pelo plano e mediu o tempo em que esses objetos percorriam o plano em metade do percurso, ou até um quarto, dois terços e assim sucessivamente. Dos resultados, ele estabeleceu a relação existente entre a distância percorrida e o tempo de queda e concluiu que a queda dos corpos se dá em um Movimento Uniformemente Acelerado. Logo, essa Sequência Didática é um exemplo para explorar e sistematizar o conteúdo referente ao Movimento Uniformemente Variado (MUV) e também da função do segundo grau. As atividades e os experimentos propostos com o plano inclinado, possui como objetivo, determinar a relação existente entre a distância percorrida por um corpo sobre um plano inclinado em função do tempo de descida e a aceleração da esfera.

Palavras-chave: Ensino de Física; *Fotogate*; Plano Inclinado; Movimento Uniformemente Variado; Aceleração.

Introdução

Galileu Galilei nasceu em Pisa, em 1564, e foi professor de matemática na Universidade da cidade. Naquela época, não havia divisões de áreas de conhecimentos, com física, química e matemática. Esses conhecimentos eram reunidos em uma única área, em que era denominada de Filosofia Natural.

A queda dos corpos sempre foi um assunto intrigante para os estudiosos e pensadores. Aristóteles no século IV a.C., achava que a ação de uma força constante implicaria o movimento uniforme, isto é, uma força constante manteria a velocidade.

Por volta de 1600, Galileu ao publicar um trabalho no qual relata os estudos com o plano inclinado, ele se opõe à teoria aristotélica, que estava em vigor há quase dois mil anos. Com seus estudos sobre plano inclinado, Galileu foi um dos grandes responsáveis pelo que hoje chamamos de metodologia científica, trocando a abordagem qualitativa que era adotada, pela abordagem descritiva dos fenômenos observados.

Como vimos com o plano inclinado, Galileu conseguiu criar uma aproximação da queda livre dos corpos. Se a inclinação fosse pequena, a esfera desceria lentamente. Aumentando a inclinação do plano, a esfera desceria cada vez mais depressa, aproximando-se, então, à medida que a inclinação do plano aumentasse, queda da livre. E por meio de seus experimentos, ele constatou que a queda dos corpos se dá segundo um movimento uniformemente variado e teria descoberto a relação entre a distância percorrida e o tempo de queda.

Assim, para obter a equação que representa a posição de uma esfera em função do tempo, no MUV, vale ressaltar que a esfera desce o plano inclinado com aceleração constante, isto é, sua velocidade é incrementada com valores constantes para o mesmo intervalo de tempo. Assim, a posição da esfera no plano em função do tempo pode ser descrita da seguinte forma:

$$S = S_i + v_i t + \frac{a}{2} t^2 \quad (1)$$

Em que S_i é a posição inicial e v_i é a velocidade escalar inicial; S é a posição de tempo t qualquer, a é a aceleração escalar.

É importante ressaltar que a função da posição do móvel em função do tempo, no MUV, é uma função polinomial do 2º grau e sua representação gráfica no sistema cartesiano é uma parábola.

Por meio desses conceitos, para essa Sequência Didática, será trabalhado os conteúdos referentes ao Movimento Uniformemente Variado, encontrar a relação da distância percorrida por uma esfera em um plano inclinado em função do tempo e determinar a aceleração da esfera. São necessárias três aulas de 50 minutos para realizar as atividades e práticas experimentais presentes nesta sequência didática, o qual o público alvo são aluno do 1º ano do Ensino Médio.

Metodologia

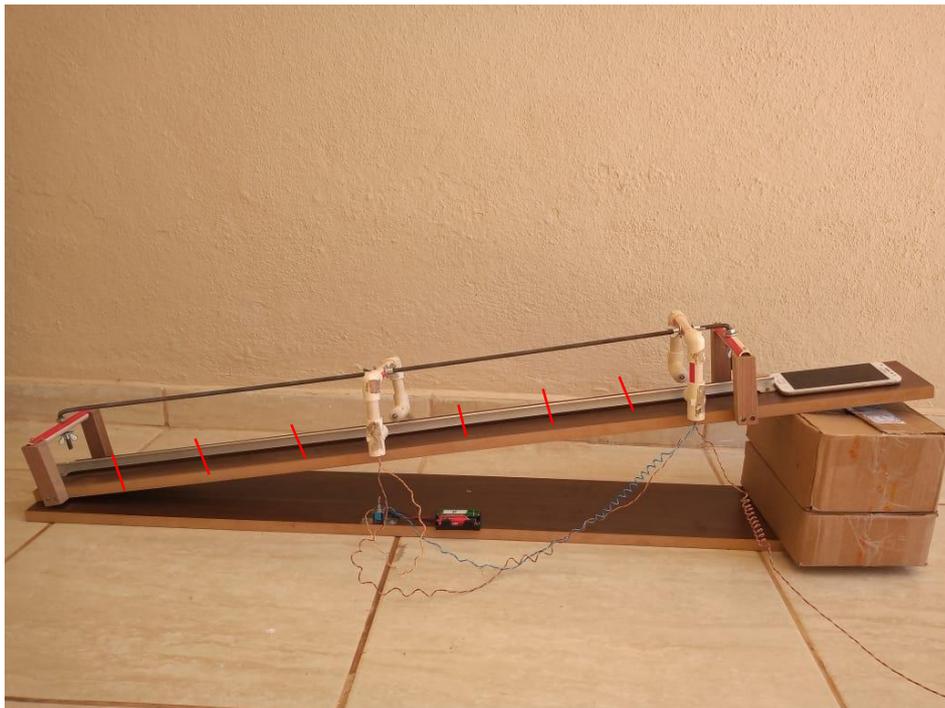
- **Materiais necessários:**

- ✓ Plano Inclinado com os dois *fotogates* adaptados.
- ✓ Esfera de gude.
- ✓ Fita métrica.
- ✓ *Smartphone* com o aplicativo *phyphox* instalado.

- **Etapas**

1. Com o plano inclinado e a fita métrica, estabeleça uma distância entre os *fotogates* e realize a medida. Dê a resposta em metros para facilitar os cálculos.
2. Após a primeira etapa, deixe fixo o primeiro *fotogate* e desloque o segundo *fotogate*, a fim de que a distância seja maior do que a medida anterior, e assim sucessivamente com os valores sugeridos na tabela (1). A seguir, uma sugestão de como deve posicionar o *fotogate*:

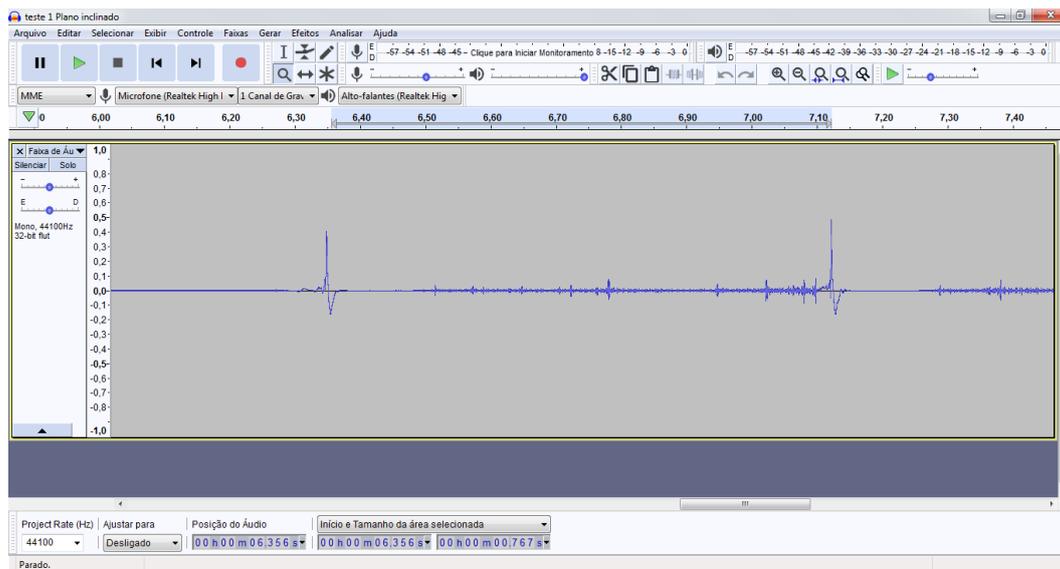
Figura-01: *Fotogates* posicionados com uma distância de 0,40 metros entre eles. E com algumas sugestões das próximas posições.



Fonte: Acervo da Autora

3. Para cada distância estabelecida, conecte os *fotogates* no software *Audacity* e em seguida solte a esfera de gude para registrar o intervalo de tempo. Lembre-se de soltar a esfera sempre da mesma posição. Realize esse mesmo procedimento para todas as distâncias estabelecidas. Link para instalar e executar o software *AUDACITY*: <https://www.audacityteam.org/download/>. Com os valores obtidos de tempo, complete a tabela 1 no local adequado.
4. Os gráficos obtidos para este experimento no software *Audacity* são da seguinte forma:

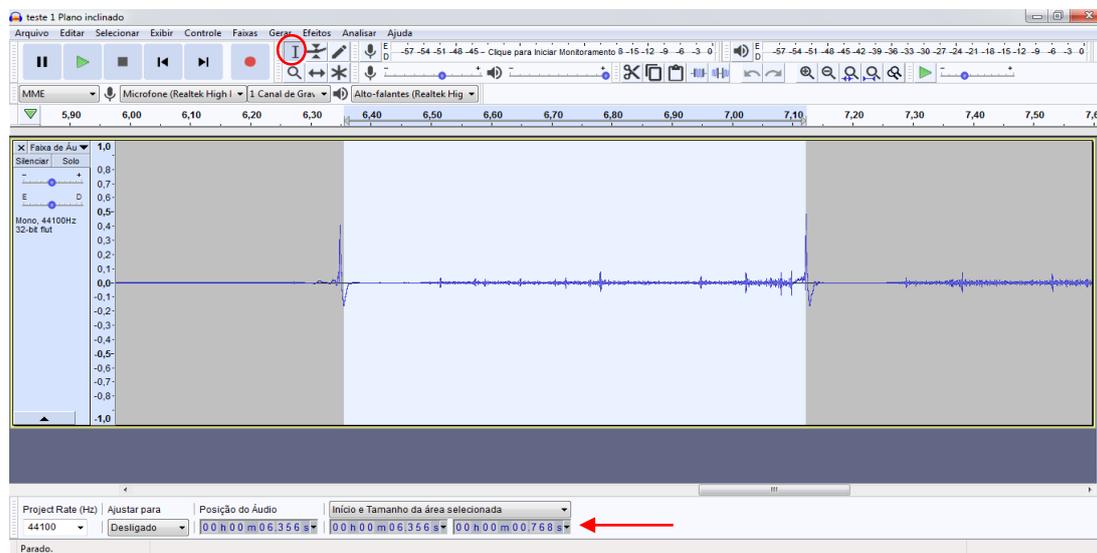
Figura-02: Captura da tela com o gráfico obtido pelo software *Audacity* após a bolinha passar por dois *fotogates*.



Fonte: Acervo da autora

Para obter o intervalo de tempo, basta utilizar a ferramenta disponível no software que está circulado na figura a seguir e o intervalo obtido está indicado por uma seta:

Figura-03: Gráfico gerado no software Audacity, com o intervalo de tempo entre os *fotogates*.



Fonte: Acervo da autora

Com os dados estabelecidos para a distância e os respectivos intervalos de tempos obtidos no software Audacity, complete a tabela 1 a seguir:

Tabela1: Dados coletados para distância entre os *fotogates* e o intervalo de tempo obtido pelo software Audacity.

Ensaio	Distância (m)	Tempo (s)
--------	---------------	-----------

1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Com os dados presentes na tabela 1, plote um gráfico de distância versus tempo. Apresente aqui o gráfico obtido, com a equação e o R^2

Por meio do gráfico obtido de distância versus tempo, apresente o valor da aceleração da esfera de gude na tabela 2 e a seguir interprete matematicamente o resultado.

Tabela 2: Valor obtido por meio do gráfico para aceleração da esfera.

Aceleração m/s^2

Como forma de validar a aceleração obtida no experimento, utilize a seguinte equação:

$$a = g \sin(\theta) \quad (2)$$

Sugere-se que encontre a inclinação do plano por meio do aplicativo *Phyphox*, pois ele utiliza os próprios sensores do *smartphone*. Para este experimento, será usado a ferramenta inclinação. A seguir, a captura da tela inicial do aplicativo e a forma como deve ser posicionado o *smartphone* para coleta de dados, no plano inclinado.

Figura-05: (a) Captura da tela inicial do aplicativo *Phyphox* na sessão “Ferramentas”.
 (b) Captura de tela mostrando as configurações iniciais e o resultado obtido pela autora para inclinação do plano.

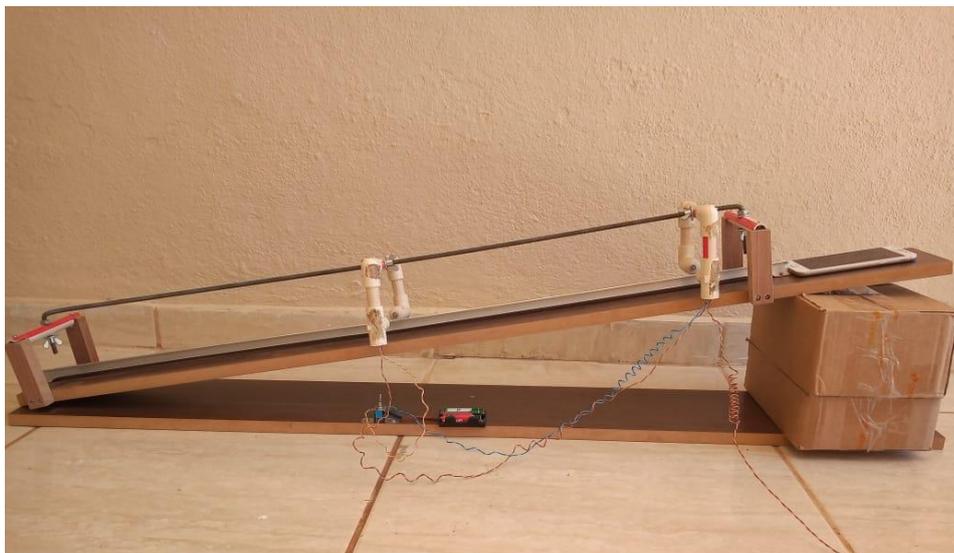


(a)

(b)

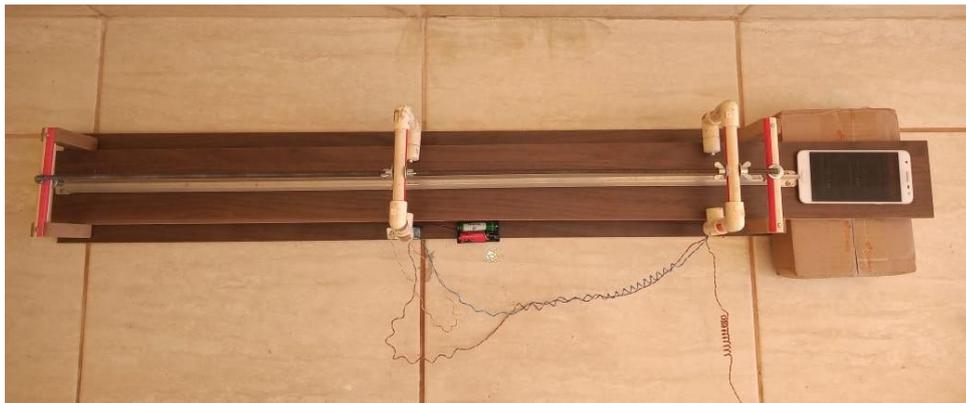
Fonte: Acervo da autora

Figura-06: Imagem tirada na lateral do experimento com o *phyphox* acoplado ao plano inclinado, mostrando a inclinação obtida.



Fonte: Acervo da autora

Figura-07: Vista superior do experimento mostrando a forma de como deve posicionar o *smartphone* para obter a inclinação do plano.



Fonte: Acervo da autora

Uma outra forma de validar de maneira mais precisa a aceleração obtida, é incluir o momento de inércia da esfera maciça no plano inclinado, a equação é dada da seguinte forma:

$$a = \frac{5}{7} g \operatorname{sen}\theta \quad (3)$$

Apresente seus cálculos e insira fotos do experimento.

- Questão prévia

Qual a sua opinião sobre a relação de inclinação do plano e a aceleração? Você acredita que se aumentar o ângulo de inclinação, a aceleração da esfera irá aumentar, diminuir ou será constante?

- **Questões norteadoras:**

1. Qual é a relação entre a distância percorrida pela esfera e o tempo obtido? O que motivou a sua resposta?
2. Em seus experimentos com planos inclinados, o que Galileu descobriu acerca do movimento dos corpos e das forças?
3. O movimento de rolagem da esfera sobre o plano inclinado apresenta quais características? A velocidade de descida é constante ou aumenta com o tempo?
4. Por meio das observações experimentais, a aceleração é constante ou ela varia em relação ao tempo?
5. Em qual situação a aceleração da esfera será a mesma que a aceleração gravitacional? O que motivou sua resposta?

6. Quais as conclusões tiradas do gráfico “distância versus tempo” em relação à velocidade?
7. Por meio de suas conclusões sobre o experimento, o que representa o coeficiente angular de uma parábola?

Resultados

O experimento foi realizado conforme as instruções sugeridas nesta sequência didática e os resultados podem ser visualizados em seguida.

Por meio dos dados coletados para a distância e os respectivos intervalos de tempos obtidos no software *Audacity*, foi possível completar a tabela 2 (esses resultados deve servir de exemplo para completar a tabela 1) a seguir:

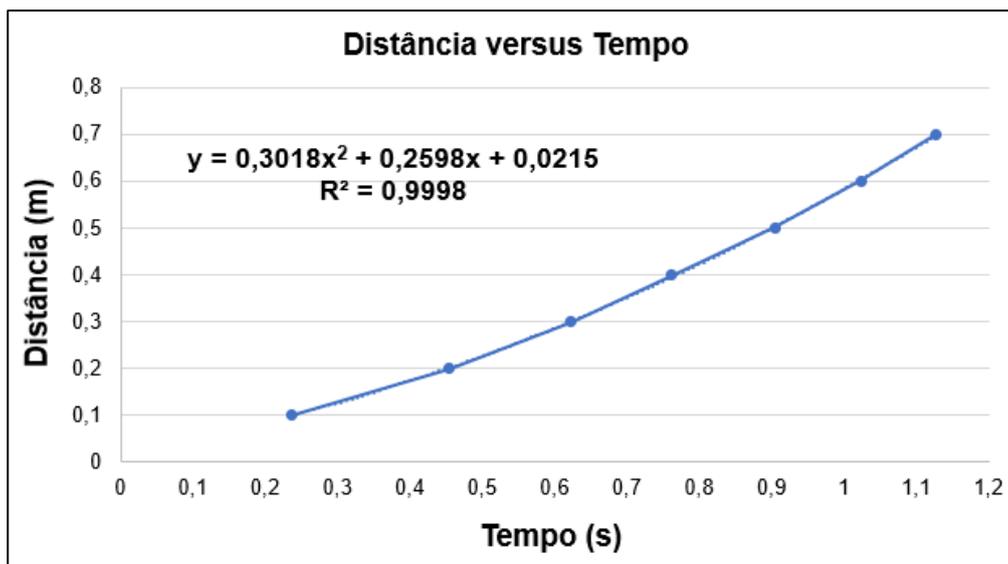
Tabela 2: Resultado dos dados coletados para distância entre os *fotogates* e o intervalo de tempo obtido pelo software *Audacity*.

Ensaio	Distância (m)	Tempo (s)
1	0,100	0,236
2	0,200	0,454
3	0,300	0,623
4	0,400	0,762
5	0,500	0,904
6	0,600	1,023
7	0,700	1,127

Fonte: Acervo da autora

Com os dados presentes na tabela 2 é possível plotar um gráfico de distância versus tempo, como mostrado a seguir:

Figura-05: Imagem do gráfico de Distância versus Tempo, gerado no Excel, por meio dos dados obtidos na tabela 2



Fonte: Acervo da autora

Como podemos observar, a equação obtida no gráfico é uma função de 2º grau e realizando uma comparação com a função horária da posição no Movimento Uniformemente Variado (equação 1), podemos concluir que a aceleração é dada pelo dobro do valor do coeficiente angular.

$$a = 2 \cdot 0,3018$$

Tabela 3: Valor obtido por meio do gráfico para aceleração da esfera.

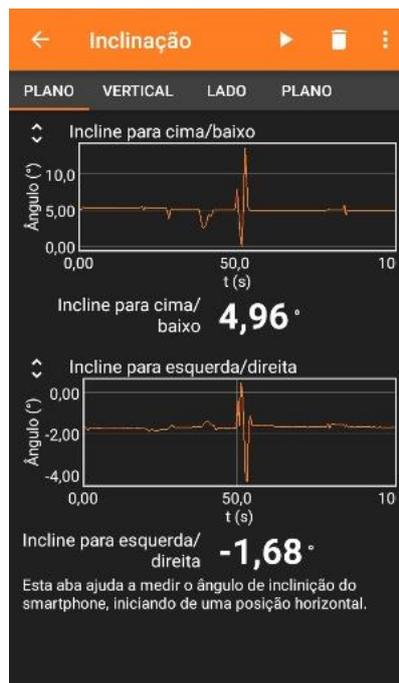
Aceleração m/s^2
0,6036

Fonte: Acervo da autora.

Para validar o valor da aceleração obtida pela esfera, será usado a equação 3.

E para obter o ângulo de inclinação do plano, foi utilizado o aplicativo *Phyphox* para *smartphones*. E o valor obtido para inclinação pode ser visualizado na figura a seguir:

Figura-06: Resultado obtido pela autora para inclinação do plano com o aplicativo *Phyphox*.



Fonte: Acervo da autora

Substituindo o valor da inclinação do plano conforme a figura 6 e considerando a aceleração gravitacional local da cidade de Alfenas onde o experimento foi realizado igual a $g = 9,78 \text{ m/s}^2$, podemos substituir na equação 3:

$$a = \frac{5}{7} g \text{ sen } 4,96$$

$$a = 0,6039 \text{ m/s}^2$$

Após calcularmos a aceleração da esfera por meio do experimento do plano inclinado com os *fotogates*, podemos comparar com o valor da aceleração da esfera encontrada acima por meio da inclinação obtida com o *phyphox* e a aceleração obtida durante a realização do experimento:

Aceleração da esfera obtida por meio da inclinação do plano	$a = 0,6039 \text{ m/s}^2$
Aceleração da esfera (experimento)	$a = 0,6036 \text{ m/s}^2$

Considerações finais

Como podemos observar, os valores são muito próximos, apesar de ser calculado de duas formas distintas, os valores para aceleração da esfera no plano inclinado estão de

concordância. Isso mostra que os resultados obtidos com os *fotogates* no plano inclinado são precisos e válidos.

Além disso, deve-se considerar que os materiais utilizados são todos de fácil acesso e baixo custo, o que permite o professor implementar em suas aulas de Física no Ensino Médio. Outro aspecto relevante a ser considerado, é o fato da possibilidade de interdisciplinaridade com a matemática, pois estas atividades permite o professor trabalhar funções e gráficos durante as suas aulas.

Referências

BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: Mecânica**, 1º ano, 3ª edição. São Paulo: FTD, 2016.

BONJORNO, J. R.; CASEMIRO, R. **Física: Mecânica**, 1º ano, 3ª edição. São Paulo: FDT, 2016.

Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2015.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky. **Física 1: Mecânica**, 12ª edição, São Paulo: Ad-Adison Wesley (2008).

6.1.1 Questionário avaliativo experimento - Plano Inclinado

Questionário de avaliação, feita pelos estudantes, referente a intervenção pedagógica com o experimento Plano Inclinado (SD – 01)

*Obrigatório

1. A montagem do experimento " Plano Inclinado" foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil							

2. A execução do experimento " Plano inclinado " foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil							

3. O experimento "*Plano Inclinado*" contribui para sua compreensão sobre Movimento Uniformemente Variado (MUV). *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Nenhuma contribuição	<input type="radio"/>	Extrema contribuição							

4. Aponte aspectos negativos relacionados a realização do experimento "Plano inclinado" em sala de aula. *

5. Aponte aspectos positivos relacionados a realização do experimento "Plano Inclinado" em sala de aula. *

6. Aponte sugestões para melhorar à realização do experimento "Plano Inclinado" em sala de aula. *

6.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 02

O USO DE UM *FOTOGATE* DE BAIXO CUSTO EM PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO: O COMPORTAMENTO DA ACELERAÇÃO DE UMA ESFERA EM UM PLANO COM DIFERENTES INCLINAÇÕES

Amanda Aparecida Borges da Silva; amanda.aparecida@sou.unifal-mg.edu.br

Resumo

Em seus estudos, Galileu Galilei se empenhou em estudar o movimento de queda-livre e medir a aceleração dos corpos que caem, no entanto em queda livre seria complicado realizar as medições. Com isso, ele usou um plano inclinado, no qual ele conseguiu analisar o movimento de um objeto que possui uma aceleração menor que a aceleração da gravidade e realizar aproximações do movimento de queda livre. Assim, da mesma forma do experimento de Galileu, o propósito desta sequência didática é encontrar a aceleração de uma esfera em um plano inclinado, em diferentes inclinações e mostrar que à medida que a inclinação do plano aumenta, a aceleração se torna maior. A coleta dos dados de tempo é feita por meio dos *fotogates* acoplados ao plano inclinado, com auxílio do software *Audacity*.

Palavras-chave: Ensino de Física; *Fotogates*; Plano inclinado; Aceleração.

Introdução

O experimento do plano inclinado de Galileu é muito importante na história da Física, pois são diversas as contribuições para o estudo do movimento de queda livre dos corpos. Além disso, o plano inclinado é um dos primeiros experimentos a ser estudado nas aulas de física, o que motiva ainda mais a dinamizar esse conceito e agregá-lo a teoria.

É necessário que o professor deixe claro com seus estudantes, antes mesmos de introduzir o conceito do movimento de queda-livre, que a aceleração de um objeto em um plano inclinado está relacionada com a inclinação estabelecida, isto é, maiores inclinações, acelerações mais acentuadas e que apenas em movimento de queda livre, ou seja na vertical, a aceleração do objeto será igual a aceleração gravitacional.

Tendo isso em vista, as atividades propostas nessa sequência didática, possuem como objetivo encontrar a aceleração de uma esfera em um plano inclinado, com diferentes angulações. Além disso, também será proposto encontrar a aceleração da esfera com uma mesma inclinação, porém com distâncias diferentes. Esta sequência possui como público-alvo estudantes do 1º ano do Ensino médio e para concretização de todos as atividades sugere-se três aulas de 50 minutos.

E para a realização dessas atividades, é necessário saber o conceito de velocidade instantânea, pois à medida que a esfera passar no primeiro *fotogate*, teremos a velocidade

instantânea inicial e da mesma forma quando passar pelo segundo *fotogate*, teremos a velocidade instantânea final da esfera.

Assim, pode-se dizer que ao considerar a variação da posição escalar em um intervalo de tempo que tende a um valor muito pequeno, o valor da velocidade escalar média se aproxima do valor da velocidade escalar instantânea.

$$V_m = V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \text{ (para valores de } \Delta t \text{ infinitamente pequenos)} \quad (1)$$

Para o cálculo da aceleração da esfera será usado a equação de Torricelli, no qual relaciona a velocidade final V_2 com a velocidade inicial V_1 , a aceleração a e distância d :

$$(v_2)^2 = (v_1)^2 + 2ad \quad (2)$$

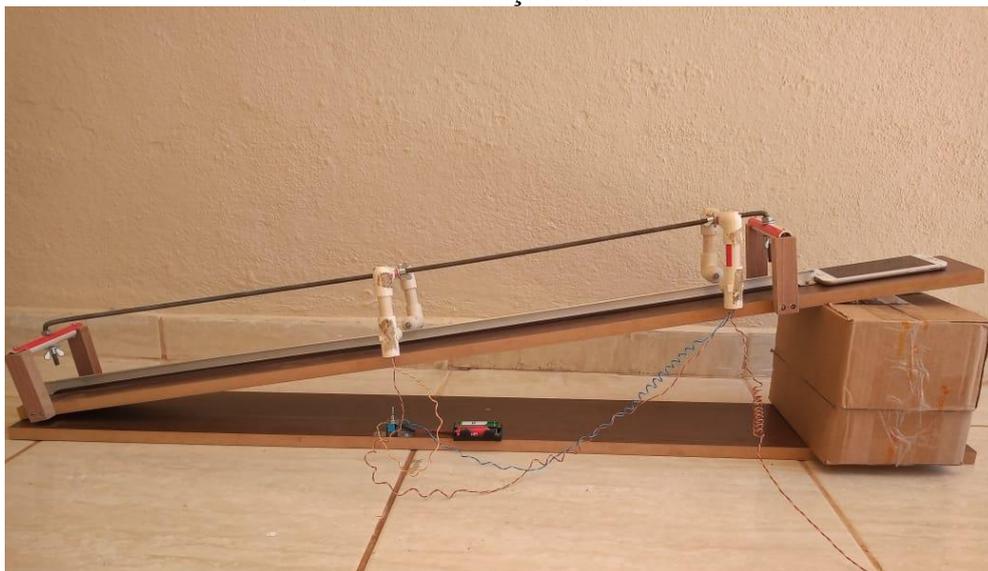
Metodologia

- **Materiais necessários:**
 - ✓ Plano Inclinado com os dois *fotogates* adaptados.
 - ✓ Esfera de gude.
 - ✓ Fita métrica.
 - ✓ *Smartphone* com o aplicativo *Phyphox* instalado

Etapas a serem realizadas:

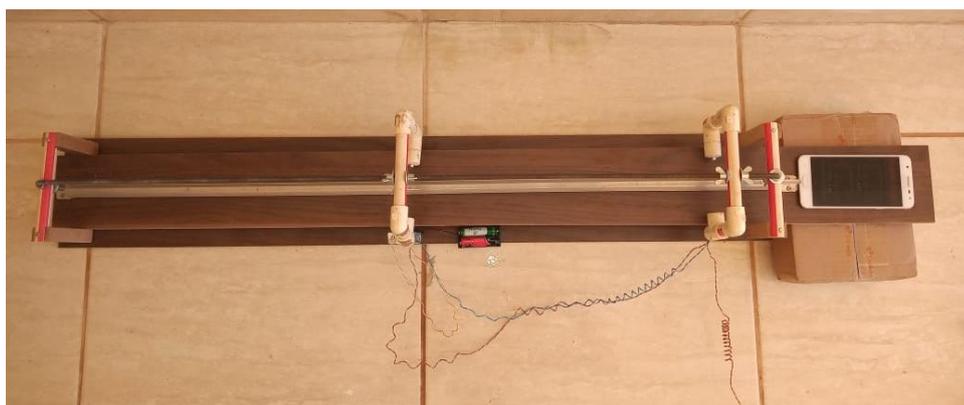
1. Estabelecer uma inclinação inicial para o plano inclinado de acordo com os ângulos mostrados na tabela 1. Sugere-se utilizar o aplicativo *Phyphox* para aferir a inclinação do plano. A seguir duas figuras para exemplificar como se deve posicionar o *smartphone* no plano inclinado:

Figura-01: Vista lateral do experimento com o *phyphox* acoplado ao plano inclinado, mostrando a inclinação obtida.



Fonte: Acervo da autora

Figura-02: Vista superior do experimento mostrando a forma de como deve posicionar o *smartphone* para obter a inclinação do plano.



Fonte: Acervo da autora

A ferramenta utilizada no software *Audacity* chama-se inclinação, de acordo com a figura a seguir:

Figura-03: (a) Captura da tela inicial do aplicativo *Phyphox* na sessão “Ferramentas”. (b) Captura de tela mostrando as configurações iniciais e o resultado obtido pela autora para inclinação inicial do plano.



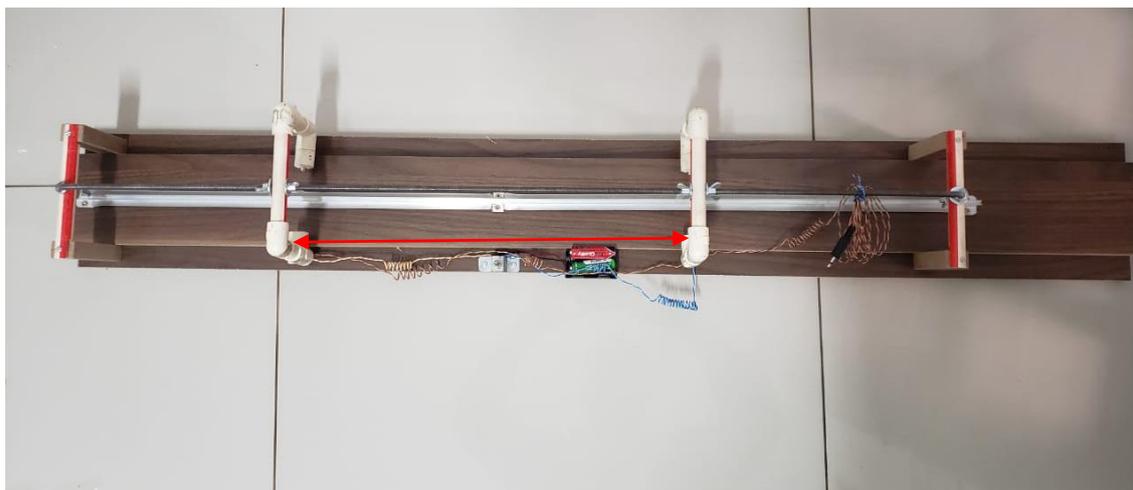
(a)

(b)

Fonte: Acervo da autora

- Após estabelecida a inclinação, é necessário estabelecer uma distância inicial entre os *fotogates*. Utilize a fita métrica para realizar a medida, essa medida deve ser realizada de centro a centro dos *fotogates*, conforme a imagem a seguir:

Figura-4: Vista superior, demonstrando como medir a distância entre os *fotogates*.



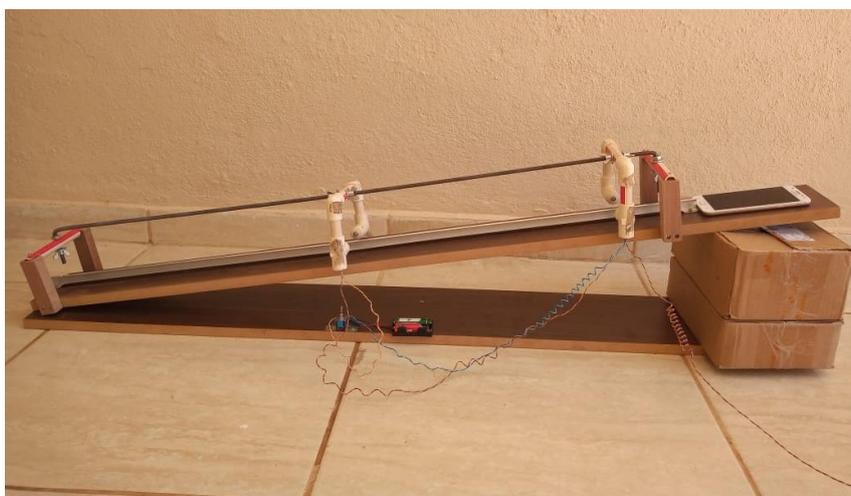
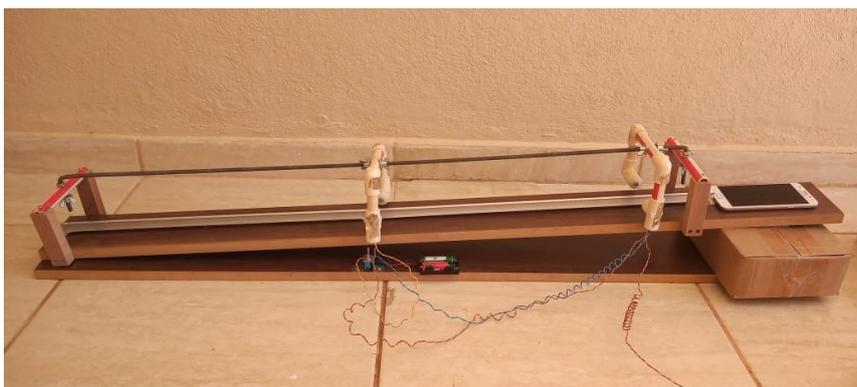
Fonte: Acervo da autora.

- Determinada a distância, conecte os *fotogates* no software *Audacity* e em seguida solte a esfera de gude para registrar o intervalo de tempo. Lembre-se de soltar a esfera sempre da mesma posição. Link para instalar e executar o software

AUDACITY: <https://www.audacityteam.org/download/>. O intervalo de tempo, deve ser referente a passagem da bolinha em cada *fotogate*. Sendo assim, para cada distância estabelecida, será coletado dois valores de tempo, isto é, à medida que a esfera passar pelo primeiro *fotogate*, será obtido o intervalo de tempo inicial e quando passar pelo segundo *fotogate*, o intervalo de tempo final. Anote, os valores obtidos na tabela 1.

4. Realizado as medidas para a primeira distância estabelecida, deixe fixo o primeiro *fotogate* e desloque o segundo *fotogate*, a fim de que a distância seja maior do que a medida anterior e assim sucessivamente com os valores sugeridos na tabela (1). Desempenhe o mesmo passo anterior (4^o etapa). Anote na tabela 1, os valores dos intervalos de tempo final e inicial referente a cada distância estabelecida.
5. Após isso, altere a inclinação do plano inclinado de acordo com valores sugeridos na tabela 1, e realize as mesmas etapas anteriores (1^o, 2^o, 3^o e 4^o). A seguir, duas figuras mostrando inclinações diferentes:

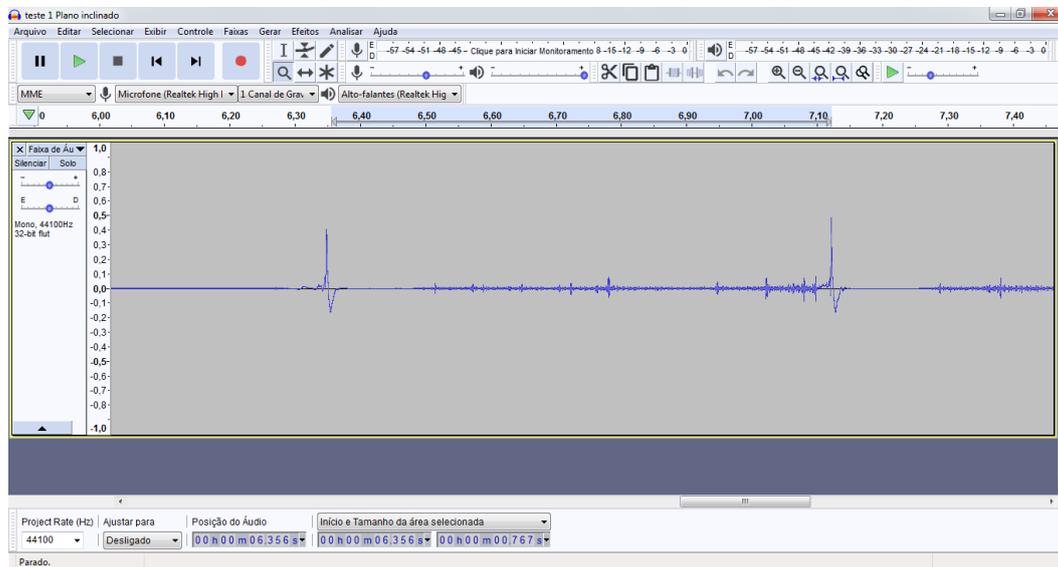
Figura-05: Demonstração do plano com diferentes inclinações.



Fonte: Acervo da autora

6. Os gráficos obtidos para este experimento no software *Audacity* são da seguinte forma:

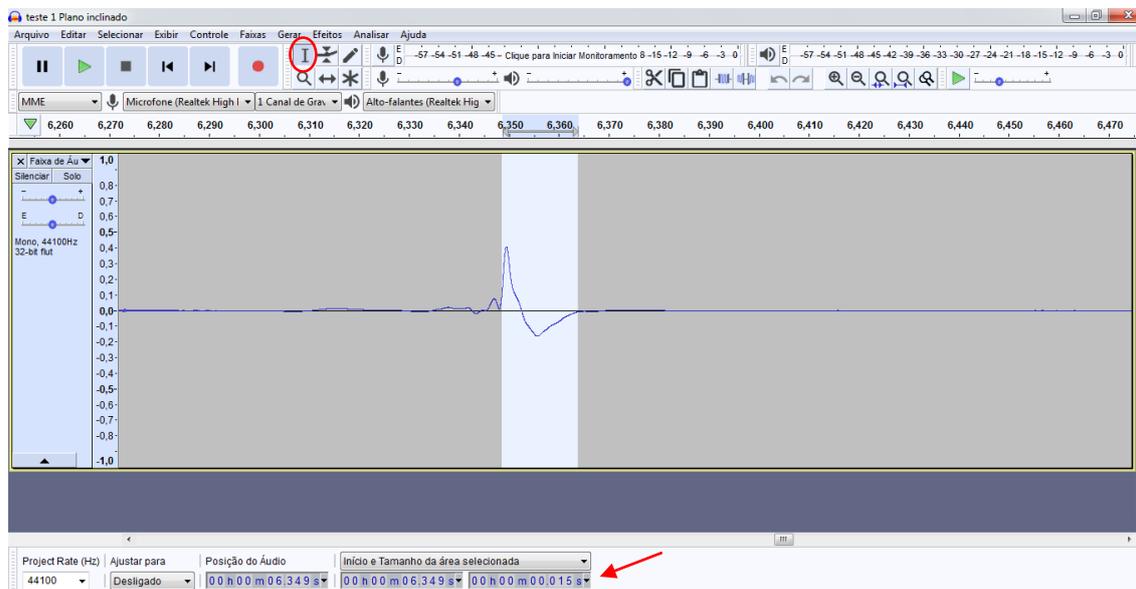
Figura-05: Captura da tela com o gráfico obtido pelo software *Audacity* após a bolinha passar por dois *fotogates*.



Fonte: Acervo da autora

Para obter o intervalo de tempo que a esfera passa em cada *fotogate*, é necessário dar um zoom e utilizar o cursor para selecionar a área e obter o tempo, com isso basta utilizar a ferramenta disponível no software que está circulado na figura a seguir e o intervalo obtido está indicado por uma seta:

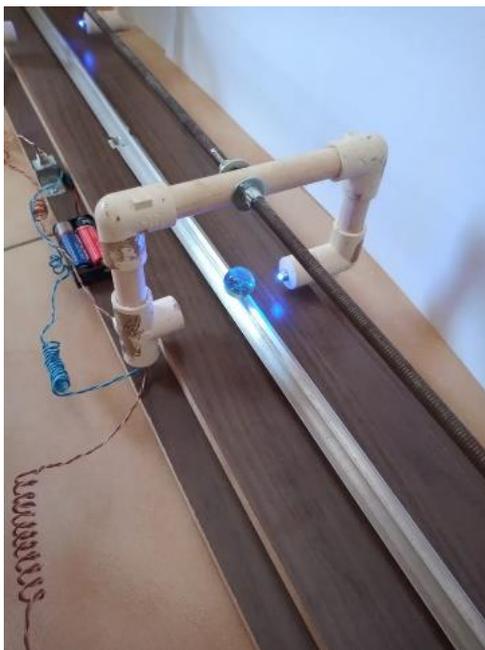
Figura-06: Gráfico gerado no software *Audacity*, com o intervalo de tempo referente ao primeiro *fotogate*. A seta na parte superior da figura, está indicando as ferramentas de zoom e o cursor para selecionar a área



Fonte: Acervo da autora

- Com os intervalos de tempo, é possível calcular a velocidade que a esfera passou pelo primeiro *fotogate* e o segundo *fotogate*, ou seja, as velocidades iniciais e finais, para cada distância referente a cada inclinação. É necessário que o professor explique aos estudantes que o objeto que será utilizado no experimento é uma esfera de gude e desta forma, apesar de ser pequena, suas dimensões deverá ser consideradas e será tratada como “corpo extenso” ao passar pelos *fotogates*, pois sua dimensão é significativa referente a saída do feixe de luz laser. A seguir, a imagem da bolinha de gude em frente ao *fotogate*:

Figura-07: Esfera de gude posicionada em frente ao *fotogate*.



Fonte: Acervo da autora.

Assim, para calcular a velocidade, é necessário medir o diâmetro da esfera, conforme a figura 4:

Figura-08: Forma de realizar a medida do diâmetro da esfera de gude.



Fonte: Acervo da autora.

Anote o valor do diâmetro da esfera _____ , para realizar os cálculos das velocidades de acordo com a equação 1.

Calculado as velocidades por meio dos dados de intervalos de tempo obtidos no software *Audacity*, e com as distâncias estabelecidas, é possível calcular as acelerações da esfera para cada inclinação, por meio da equação 2. Com isso, complete a tabela 1 a seguir:

Tabela1: Valores dos intervalos de tempo inicial, final e as respectivas velocidades instantâneas e acelerações da esfera para diferentes ângulos.

Distância (m)	(θ)	t_1 (s)	t_2 (s)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	a (m/s^2)
0,20	10°					
	25°					
	35°					
0,40	10°					
	25°					
	35°					
0,60	10°					
	25°					
	35°					

Como forma de validar os dados da aceleração da esfera, pode-se utilizar a seguinte equação, no qual é obtido a aceleração da esfera maciça no plano inclinado, incluindo seu momento de inércia:

$$a = \frac{5}{7} g \operatorname{sen}\theta \quad (3)$$

Apresente seus cálculos neste espaço.

- **Questão prévia:**

Conforme aumenta a inclinação, o que acontece com a aceleração obtida pela esfera? O que motivou sua resposta?

- **Questões norteadoras:**

1. Qual a descoberta de Galileu em seu lendário experimento na Torre Inclinada?
2. Caso inclinássemos o plano inclinado a 90° em relação à horizontal, qual seria o valor da aceleração obtida pela esfera?
3. Por meio das suas observações durante o experimento e os seus resultados obtidos, em qual situação a aceleração da esfera é constante? O que motivou a sua resposta?

4. Conforme aumenta a distância entre os *fotogates*, o que acontece com a velocidade instantânea obtida pela esfera ao passar pelo segundo *fotogate*? O que motivou sua resposta?
5. Em relação aos intervalos de tempo, o que acontece quando se aumenta a inclinação do plano? O que motivou sua resposta?
6. Em relação as velocidades instantâneas, o que se pode dizer em relação a velocidades instantâneas iniciais e finais? Qual o motivo de sua resposta?
7. Seria correto dizer que a inércia é a razão pela qual um objeto móvel continua em movimento quando não atua força alguma?

Resultados

Realizado todos os procedimentos descritos na sequência didática, os resultados obtidos se encontram na tabela 2:

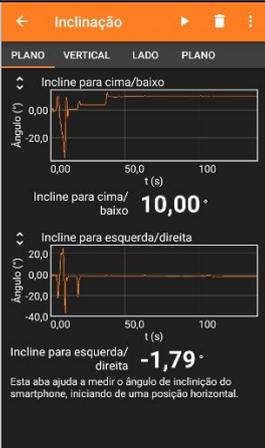
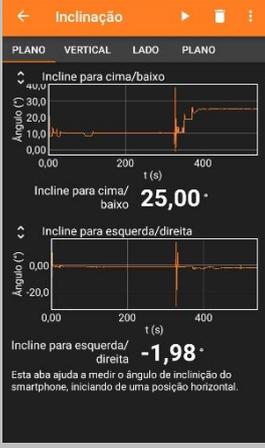
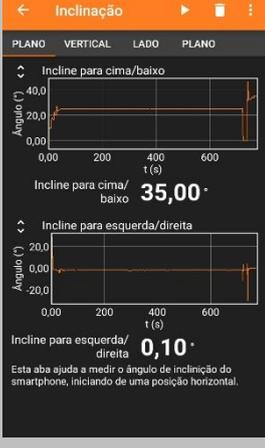
Tabela 2: Resultados para os valores dos intervalos de tempo inicial, final e as respectivas velocidades instantâneas e acelerações da esfera para diferentes ângulos:

Distância (m)	(θ)	t_1 (s)	t_2 (s)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	a (m/s^2)
0,20	10°	0,018	0,015	1,055	1,2666	1,22
	25°	0,016	0,012	1,1875	1,5833	2,74
	35°	0,014	0,010	1,3571	1,9000	4,42
0,40	10°	0,018	0,013	1,055	1,4615	1,27
	25°	0,016	0,010	1,1875	1,9000	2,74
	35°	0,014	0,008	1,3571	2,3750	4,75
0,60	10°	0,018	0,012	1,055	1,5833	1,16
	25°	0,016	0,009	1,1875	2,1111	2,54
	35°	0,014	0,007	1,3571	2,7142	4,60

Fonte: Acervo da autora.

Para validar o valor da aceleração obtida será utilizado a equação 3, no qual é obtido o valor da aceleração da esfera maciça no plano inclinado. Assim, aferido o valor da inclinação com o *phyphox* e utilizando o valor da aceleração gravitacional local da cidade de Alfenas-Mg igual a $9,78 m/s^2$, obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 3: Resultados da autora para a aceleração da esfera no plano inclinado referentes a diferentes inclinações obtidas por meio do aplicativo *Phyphox*.

 <p>Inclinação</p> <p>PLANO VERTICAL LADO PLANO</p> <p>Incline para cima/baixo</p> <p>Angulo (°)</p> <p>0,00</p> <p>20,0</p> <p>40,0</p> <p>0,00 50,0 100</p> <p>t (s)</p> <p>Incline para cima/baixo 10,00°</p> <p>Incline para esquerda/direita</p> <p>Angulo (°)</p> <p>20,0</p> <p>0,00</p> <p>-20,0</p> <p>0,00 50,0 100</p> <p>t (s)</p> <p>Incline para esquerda/direita -1,79°</p> <p>Esta aba ajuda a medir o ângulo de inclinação do smartphone, iniciando de uma posição horizontal.</p>	$a = \frac{5}{7} (9,78) \text{sen } 10$	$1,21 \text{ m/s}^2$
 <p>Inclinação</p> <p>PLANO VERTICAL LADO PLANO</p> <p>Incline para cima/baixo</p> <p>Angulo (°)</p> <p>0,00</p> <p>10,0</p> <p>20,0</p> <p>30,0</p> <p>40,0</p> <p>0,00 200 400</p> <p>t (s)</p> <p>Incline para cima/baixo 25,00°</p> <p>Incline para esquerda/direita</p> <p>Angulo (°)</p> <p>20,0</p> <p>0,00</p> <p>-20,0</p> <p>0,00 200 400</p> <p>t (s)</p> <p>Incline para esquerda/direita -1,98°</p> <p>Esta aba ajuda a medir o ângulo de inclinação do smartphone, iniciando de uma posição horizontal.</p>	$a = \frac{5}{7} (9,78) \text{sen } 25$	$2,95 \text{ m/s}^2$
 <p>Inclinação</p> <p>PLANO VERTICAL LADO PLANO</p> <p>Incline para cima/baixo</p> <p>Angulo (°)</p> <p>0,00</p> <p>20,0</p> <p>40,0</p> <p>0,00 200 400 600</p> <p>t (s)</p> <p>Incline para cima/baixo 35,00°</p> <p>Incline para esquerda/direita</p> <p>Angulo (°)</p> <p>20,0</p> <p>0,00</p> <p>-20,0</p> <p>0,00 200 400 600</p> <p>t (s)</p> <p>Incline para esquerda/direita 0,10°</p> <p>Esta aba ajuda a medir o ângulo de inclinação do smartphone, iniciando de uma posição horizontal.</p>	$a = \frac{5}{7} (9,78) \text{sen } 35$	$4,00 \text{ m/s}^2$

Fonte: Acervo da autora.

Considerações finais

Por meio desta sequência didática foi possível calcular a aceleração de uma esfera em um plano inclinado com diferentes inclinações. E com uso dos *fotogates* acoplados no plano inclinado e conectados ao software *Audacity*, foi possível realizar coleta dos intervalos de tempo e com isso calcular as velocidades instantânea inicial e final e por fim calcular a aceleração da esfera por meio da equação de Torricelli.

E como podemos observar os valores obtidos para aceleração da esfera durante o experimento está muito próximo ao valor da aceleração obtida pela equação 3, no qual é considerado o momento de inércia de uma esfera maciça e utilizado os valores das inclinações obtida por meio do aplicativo *phyphox*. Por exemplo, a aceleração da esfera obtida para o ângulo de 10° por meio da equação de Torricelli foi igual a $1,22 \text{ m/s}^2$ e a aceleração da esfera encontrada por meio da equação 3, foi igual a $1,21 \text{ m/s}^2$.

Isso nos mostra que apesar de ser um experimento que utiliza materiais de baixo custo e de fáceis acesso, os valores obtidos são significativos e robustos, o que nos mostra a eficiência e a validade do uso dos *fotogates* em experimentos de Física.

Além disso, por meio desse experimento, é possível que o professor induza os seus estudantes a raciocinar o movimento de queda livre, pois conforme foi aumentando a inclinação, aceleração também aumentou, se aproximando da aceleração gravitacional.

Referências

BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: Mecânica**, 1º ano, 3ª edição. São Paulo: FTD, 2016.

BONJORNO, J. R.; CASEMIRO, R. **Física: Mecânica**, 1º ano, 3ª edição. São Paulo: FDT, 2016.

Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12ª edição, Porto Alegre : Bookman, 2015.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky. **Física 1: Mecânica**, 12ª edição, São Paulo: Ad-Adison Wesley (2008).

6.2.1 Questionário avaliativo experimento – Plano Inclinado com variação angular

Questionário de avaliação, feita pelos estudantes, referente a intervenção pedagógica com o experimento “Plano Inclinado com variação angular” (SD – 02)

**Obrigatório*

1. A montagem do experimento " Plano Inclinado com variação do ângulo " foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil								

2. A execução do experimento "Plano Inclinado com variação do ângulo " foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil								

3. O experimento "Plano Inclinado com variação do ângulo" contribui para sua compreensão sobre a relação entre a aceleração da esfera e a inclinação do plano. *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Nenhuma contribuição	<input type="radio"/>	Extrema contribuição								

4. Aponte aspectos negativos relacionados a realização do experimento " Plano Inclinado com variação do ângulo " em sala de aula. *

5. Aponte aspectos positivos relacionados a realização do experimento " Plano Inclinado com variação do ângulo " em sala de aula. *

6. Aponte sugestões para melhorar à realização do experimento " Plano Inclinado com variação do ângulo " em sala de aula. *

6.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 03

O uso de um *fotogate* de baixo custo em práticas experimentais no Ensino Médio: O estudo da composição de movimentos através de um lançador de projéteis.

Amanda Aparecida Borges da Silva; amanda.aparecida@sou.unifal-mg.edu.br

Resumo

O termo "lançamento de projéteis" está associado ao movimento não vertical de corpos nas proximidades da superfície terrestre. Nesta sequência, vamos estudar o movimento de projéteis como a composição de dois movimentos simultâneos e independentes: um na horizontal e outro na vertical. Assim, esta sequência didática será dedicada para a realização de experimentos com um lançador de projéteis, sendo possível, mediante aos dados de tempo coletados pelo *fotogate* e registrado no software *Audacity*, encontrar a velocidade inicial que a esfera de aço é lançada obliquamente e com isso determinar o alcance máximo e a altura atingida pela esfera, por meio das equações do movimento.

Palavras-chave: Ensino de Física; *Fotogate*; Lançamento de Projéteis; Alcance máximo; Altura máxima; *Audacity*.

Introdução

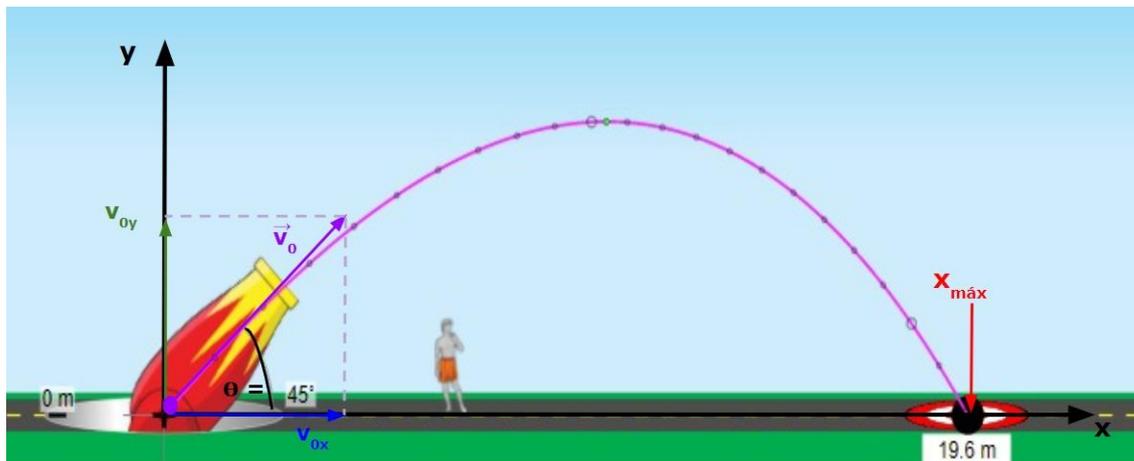
Pode-se observar em um experimento simples, que se abandonar um corpo a determinada altura do solo e, simultaneamente, lançar na horizontal um segundo corpo, a partir da mesma altura, ambos chegam ao solo no mesmo instante. Esse fato foi observado por Galileu e descrito em seu livro *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo*, em 1632, ao analisar a queda de uma bala de canhão do alto do mastro de um navio em movimento. O fato de os corpos chegarem ao solo ao mesmo tempo demonstra que a componente horizontal da velocidade inicial não interfere no movimento vertical. Esse fato é conhecido como princípio da independência dos movimentos e diz que se um corpo realiza um movimento composto, cada um dos movimentos componentes ocorre independentemente, como se os outros não existissem. Os lançamentos oblíquos são situações que podem ser estudadas pelo princípio da independência.

Para o estudo do lançamento de projéteis, é analisado o momento em que a partícula é lançada com velocidade inicial, segundo um ângulo θ em relação ao eixo horizontal. Considera-se que a componente horizontal do movimento tem velocidade constante e desconsiderando a resistência do ar, caracterizando assim, um movimento uniforme. Já a componente vertical do movimento possui aceleração, que no nosso caso é aceleração da gravidade g , caracterizando um movimento uniformemente variado. Sendo o movimento em duas direções, x e y , dizemos que ele ocorre em duas dimensões.

Vamos analisar o lançamento de projéteis em duas situações: quando ele é feito na direção horizontal e quando ocorre na direção oblíqua.

Como podemos analisar na figura 1, temos uma representação do lançamento oblíquo, juntamente com os principais elementos envolvidos:

Figura-01: Representação gráfica de um lançamento oblíquo.



Fonte: Acervo da autora com a captura de tela da simulação disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_pt_BR.html.

É possível notar que quando um corpo é lançado obliquamente descreve uma trajetória com formato de parábola.

Em um lançamento de um objeto, que é lançado obliquamente, com uma certa altura h em relação a superfície, as equações do movimento são as seguintes:

A velocidade \vec{v}_0 decompõem-se nas direções x e y , sendo:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta$$

A equação da posição na horizontal do objeto lançado, é dado por

$$x = x_0 + v_0 \cos \theta t \quad (1)$$

Das equações que descrevem a velocidade e a posição do objeto na direção vertical, temos:

$$v_y = v_0 \sin \theta t - gt \quad (2)$$

$$y = y_0 + v_{oy}t - \frac{g}{2}t^2$$

$$y = h + v_0 \text{sen}\theta t - \frac{g}{2}t^2 \quad (3)$$

O tempo máximo é obtido por meio da equação (2), quando no ponto mais alto, $v_y = 0$, assim,

$$0 = v_0 \text{sen}\theta t - gt_m$$

$$t_m = \frac{v_0 \text{sen}\theta}{g} \quad (4)$$

Por meio do tempo máximo, é possível obter a altura máxima $h_m = y$, substituindo na equação (3):

$$h_m = h + v_0 \text{sen}\theta \left(\frac{v_0 \text{sen}\theta}{g} \right) - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0 \text{sen}\theta}{g} \right)^2$$

$$h_m = h + \frac{v_0^2 \text{sen}\theta^2}{2g} \quad (5)$$

É possível obter o tempo que o objeto demora para atingir o solo por meio da equação (3), esse tempo chama-se tempo de queda ou tempo de voo. Considera-se $y(t_v) = 0$. Assim, temos:

$$h + v_0 \text{sen}\theta t_v - \frac{g}{2} t_v^2 = 0 \quad (6)$$

Como podemos notar a equação (6), temos uma equação de segundo grau, resolvendo, obtemos o tempo de voo (t_v)

$$t_v = \frac{v_0 \text{sen}\theta \pm \sqrt{v_0^2 \text{sen}\theta^2 + 2gh}}{g} \quad (7)$$

É possível obter também o alcance do projétil por meio da equação (1), sendo $a = x(t_v) - x_0$, logo temos, -

$$a = v_0 \cos \theta t_v \quad (8)$$

Substituindo (7) em (8), temos a equação que determina o alcance do projétil:

$$a = v_0 \cos \theta \cdot \left(\frac{v_0 \sin \theta \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \theta + 2gh}}{g} \right) \quad (9)$$

Com isso, temos as equações que serão úteis para determinar o alcance e altura do projétil, sendo este o objetivo principal dessa sequência didática. Além disso, essa experiência será aplicada em estudantes do 1º ano do Ensino Médio, com três aulas de 50 minutos cada.

Metodologia

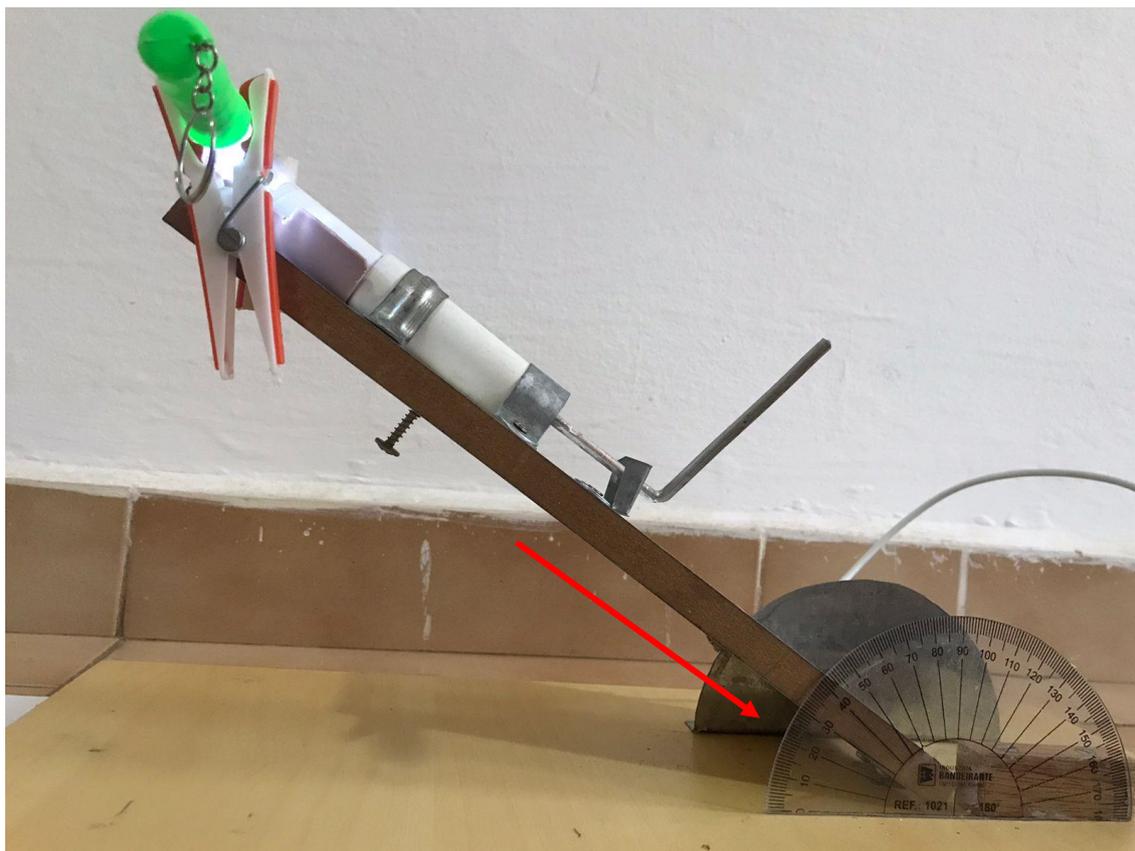
- **Materiais necessários:**

- ✓ Lançador de projéteis de baixo custo (LPBC);
- ✓ Esfera de aço
- ✓ Fita métrica
- ✓ *Fotogate* acoplado.

Para determinar o alcance do projétil, precisa-se seguir algumas etapas:

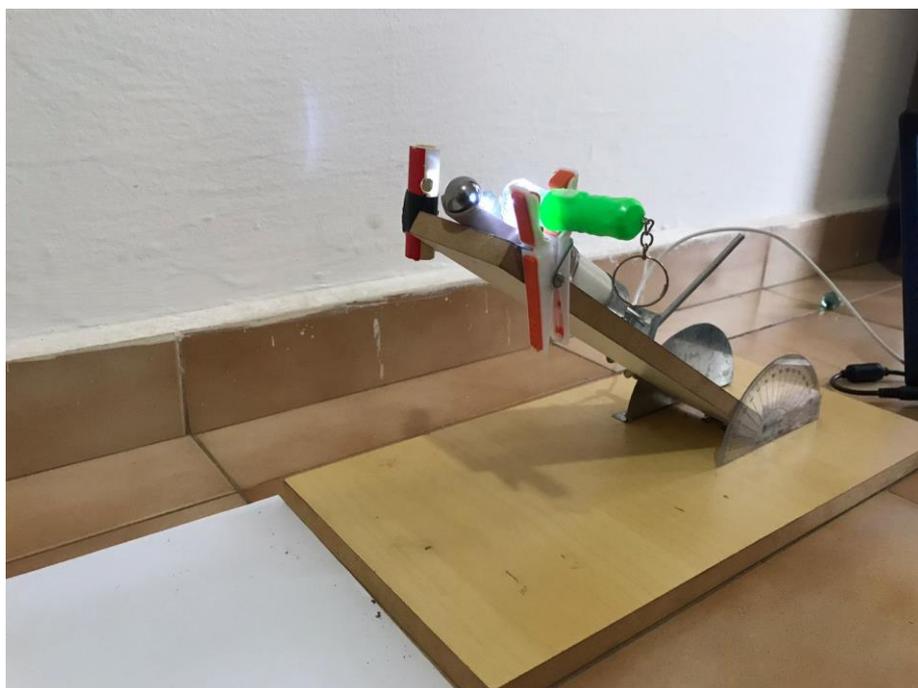
1. Com o lançador de projéteis de baixo custo, determinar o ângulo de inclinação a ser lançada a esfera (de acordo com os valores sugeridos na tabela 1), figura 01. Com o *fotogate* acoplado, posicionar a esfera na extremidade do lançador, de forma que o laser fique centralizado, conforme a figura 02:

Figura-01: Determinando a inclinação de 30°



Fonte: Acervo da autora.

Figura-02: *Fotogate* acoplado e esfera posicionada.



Fonte: Acervo da autora.

2. Após isso, conectar o *fotogate* no computador para registrar os dados de tempo no software *Audacity*. Por meio dos dados de tempo e o diâmetro da esfera de aço, é possível calcular a velocidade inicial de lançamento, pois neste caso a esfera se comporta como um corpo extenso.

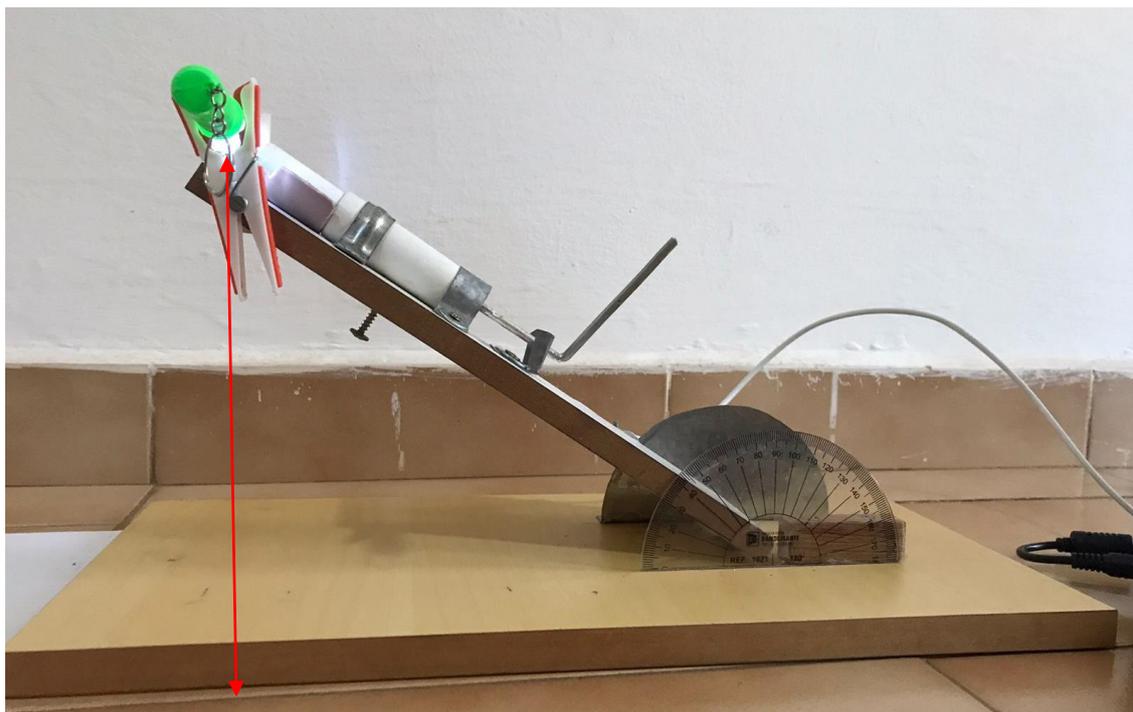
Figura-03: *Fotogate* acoplado no lançador de projéteis e conectado no software *Audacity*.



Fonte: Acervo da autora.

3. É necessário também, medir a altura entre o solo até a o centro da esfera, conforme a imagem a seguir:

Figura-04: Forma de medir a altura inicial de lançamento



Fonte: Acervo da autora.

4. Uma sugestão é colocar folhas de papel no solo, para que quando a esfera for lançada, é possível encontrar o ponto em que ela caiu, ou seja, o alcance, por meio da marcação na folha de papel. Desta forma, consegue confrontar o valor obtido experimentalmente com o alcance real.

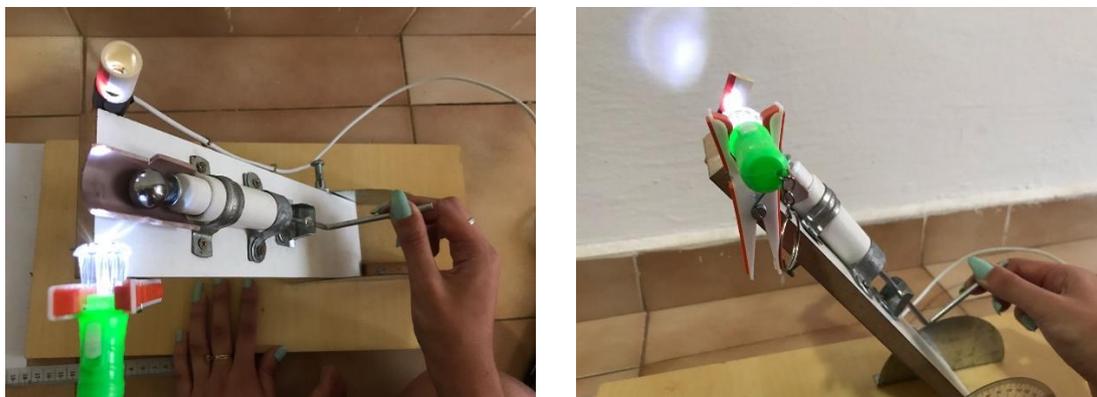
Figura-05: Vista superior do lançador de projéteis e as folhas de papel sulfite para determinar o local em que a esfera caiu.



Fonte: Acervo da autora.

5. O último passo é puxar a alavanca, travá-la e acioná-la com um toque para realizar o lançamento, conforme mostra a imagem a seguir:

Figura-06: Preparando para o lançamento



Fonte: Acervo da autora.

A seguir, anote na tabela 1 os valores obtidos no experimento, conforme as etapas anteriores. Além disso, com os dados obtidos calcular o alcance experimental por meio da equação 9 e anotar na tabela 1:

Tabela 1: Dados referente à altura, diâmetro da esfera e o tempo obtido no software *Audacity*. E os resultados encontrados da velocidade inicial de lançamento e alcance experimental.

Ângulo de Inclinação	Altura (m)	Diâmetro da esfera de aço (m)	Tempo (s)	Velocidade inicial (m/s)	Alcance real (m)	Alcance experimental (m)
20°						
30°						
40°						
45°						
60°						
70°						

O segundo momento do experimento é encontrar a altura máxima atingida pela esfera. Para isso é necessário seguir algumas etapas para obter resultados melhores durante o experimento:

1. Estabelecer o ângulo de inclinação para cada lançamento.

2. Para facilitar, julga-se necessário fixar uma fita métrica na parede na vertical, para que facilite encontrar a altura máxima em que a esfera alcançou e confrontar com o resultado obtido experimentalmente.

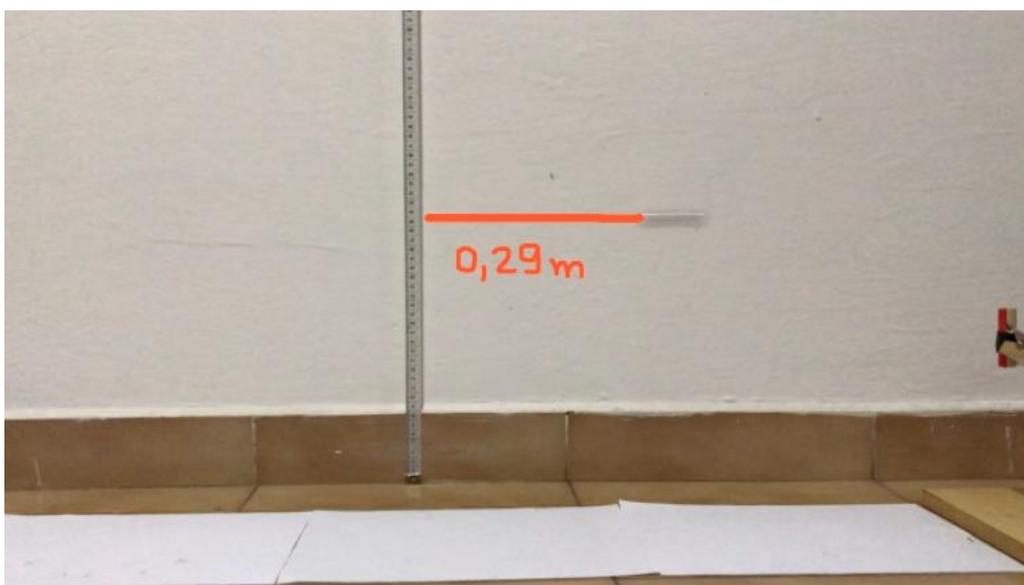
Figura-07: Preparação do experimento para encontrar a altura máxima. Fixação da fita métrica.



Fonte: Acervo da autora.

3. Sugere-se também gravar um vídeo do lançamento, para que depois se faça análise e encontre o pico da parábola, ou seja, a altura máxima que a esfera atingiu, para que depois possa fazer uma comparação da altura máxima experimental (calculada) e a altura máxima real obtida pela análise do vídeo.

Figura-08: Captura da tela do vídeo referente ao lançamento de 30° .



Fonte: Acervo da autora.

4. Com os dados da velocidade inicial, altura inicial e ângulo obtidos e estabelecidos na tabela 1 é possível calcular a altura máxima por meio da equação 5. Registre todos os dados na tabela 2:

Tabela 2: Dados referente à altura inicial e os resultados dos cálculos para altura máxima para os respectivos ângulos.

Ângulo de Inclinação	Altura inicial h (m)	Velocidade inicial (m/s)	Altura máxima h_m (m)	Altura máxima real h_m (m)
20°				
30°				
40°				
45°				
60°				
70°				

- **Questão prévia:**

- ✓ Você acredita que o ângulo de inclinação influencia no alcance que o objeto irá obter em um lançamento oblíquo? E para obter altura máxima, há também alguma influência da inclinação? O que motivou sua resposta?

- **Questões norteadoras:**

- 1) Ao lançar um projétil, como seria sua trajetória se não houvesse a ação da gravidade? O que motivou a sua resposta?
- 2) Após as observações e experimentos realizados nessa sequência didática, análise e responda a seguinte situação: Uma bola de beisebol é rebatida no ar formando um certo ângulo. Uma vez no ar, e desprezando a resistência aerodinâmica, qual é a aceleração vertical da bola? E a horizontal? O que motivou sua resposta?
- 3) Seguindo a mesma situação da questão anterior, responda: Em que parte de sua trajetória uma bola de beisebol tem a mínima rapidez? O que motivou sua resposta?

- 4) Em um lançamento oblíquo, a altura máxima é obtida de qual forma? Há alguma influência do ângulo de inclinação? O que motivou sua resposta?
- 5) O que se deve fazer em um lançamento oblíquo para se obter um maior alcance? O que motivou sua resposta?
- 6) Com a mesma velocidade inicial, o que se deve fazer para obter o mesmo alcance, com ângulos de lançamento diferentes? O que motivou sua resposta?
- 7) Uma mesma bola é golpeada por dois jogadores de golfe, e parte com a mesma rapidez, mas uma delas formando 60° com a horizontal e a outra formando 30° . Qual delas vai mais longe? Qual delas atinge primeiro o gramado? (Ignore a resistência do ar.) O que motivou sua resposta?
- 8) Um projétil é lançado para cima em um ângulo de 70° com a horizontal e atinge o chão a uma certa distância horizontal. Com a mesma rapidez no momento do lançamento, para que outro valor de ângulo de lançamento esse projétil teria o mesmo alcance? O que motivou sua resposta?

Resultados

Seguindo as mesmas etapas da sessão anterior, pudemos ter os seguintes resultados para o alcance:

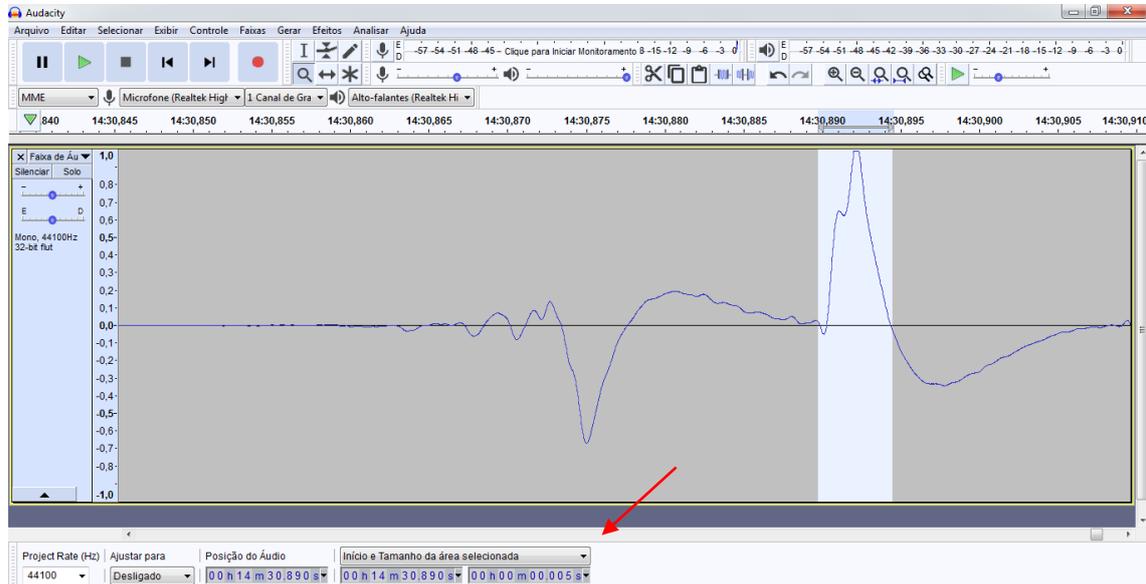
Tabela 3: Dados referente à altura, diâmetro da esfera e o tempo obtido no software *Audacity* da autora. E os resultados encontrados para a velocidade inicial de lançamento e alcance experimental.

Ângulo de Inclinação	Altura (m)	Diâmetro da esfera de aço (m)	Tempo (s)	Velocidade inicial (m/s)	Alcance real (m)	Alcance experimental (m)
20°	0,140	0,0135	0,005	2,70	0,74	0,72
30°	0,185	0,0135	0,005	2,70	0,87	0,87
40°	0,215	0,0135	0,005	2,70	0,87	0,93
45°	0,230	0,0135	0,005	2,70	0,88	0,92
60°	0,255	0,0135	0,005	2,70	0,64	0,76
70°	0,275	0,0135	0,005	2,70	0,41	0,56

Fonte: Acervo da autora.

Na imagem a seguir, podemos analisar o tempo obtido no software *Audacity* durante o lançamento:

Figura-09: Captura da tela do gráfico obtido no software *Audacity*.



Fonte: Acervo da autora.

Com o valor do tempo e o diâmetro da esfera de aço, foi possível calcular a velocidade inicial de lançamento. E por meio da velocidade inicial, o ângulo de inclinação e a altura, foi possível calcular o alcance experimental, usando a equação 9.

Em seguida, foi realizado diversos vídeos dos lançamentos para analisar a altura máxima, a fim de confrontar com os valores experimentais calculados. E como podemos observar a altura máxima experimental ficou muito próxima da altura máxima real. A equação 5 foi utilizada para o cálculo da altura máxima.

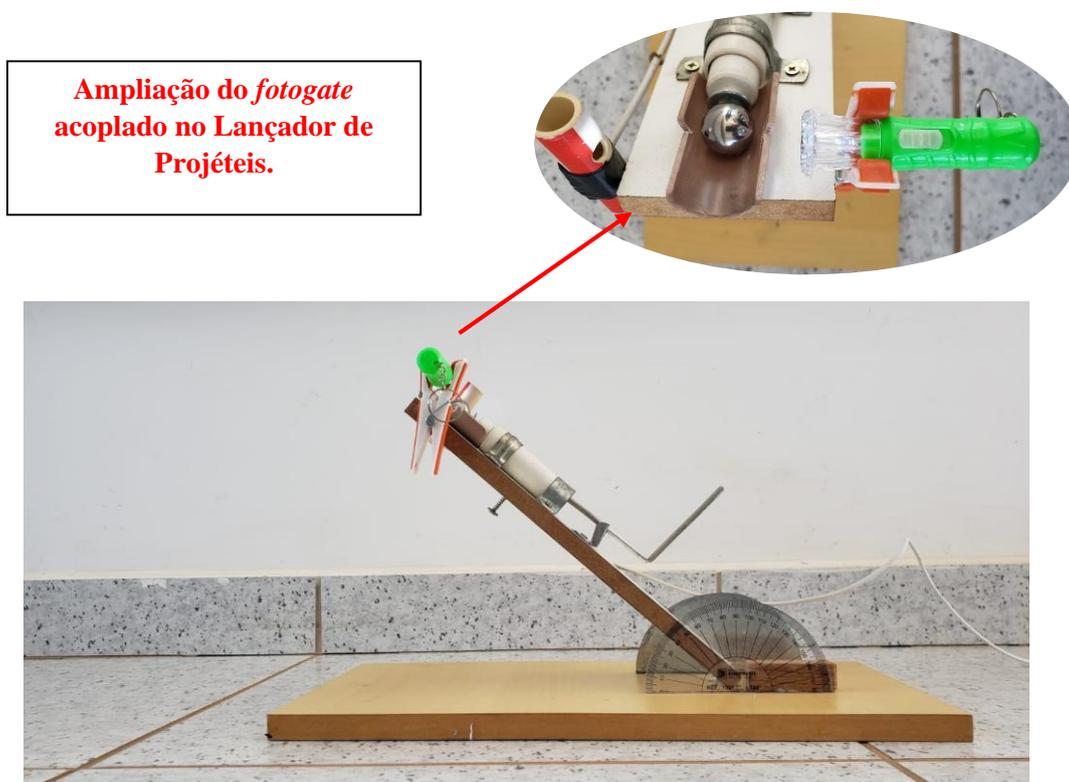
Tabela 4: Dados referente à altura inicial e os resultados dos cálculos para altura máxima encontrados pela autora.

Ângulo de Inclinação	Altura inicial h (m)	Velocidade inicial (m/s)	Altura máxima h_m (m)	Altura máxima real h_m (m)
20°	0,140	2,70	0,18	0,18
30°	0,185	2,70	0,28	0,29
40°	0,215	2,70	0,37	0,39
45°	0,230	2,70	0,42	0,44
60°	0,255	2,70	0,54	0,58
70°	0,275	2,70	0,61	0,68

Fonte: Acervo da autora.

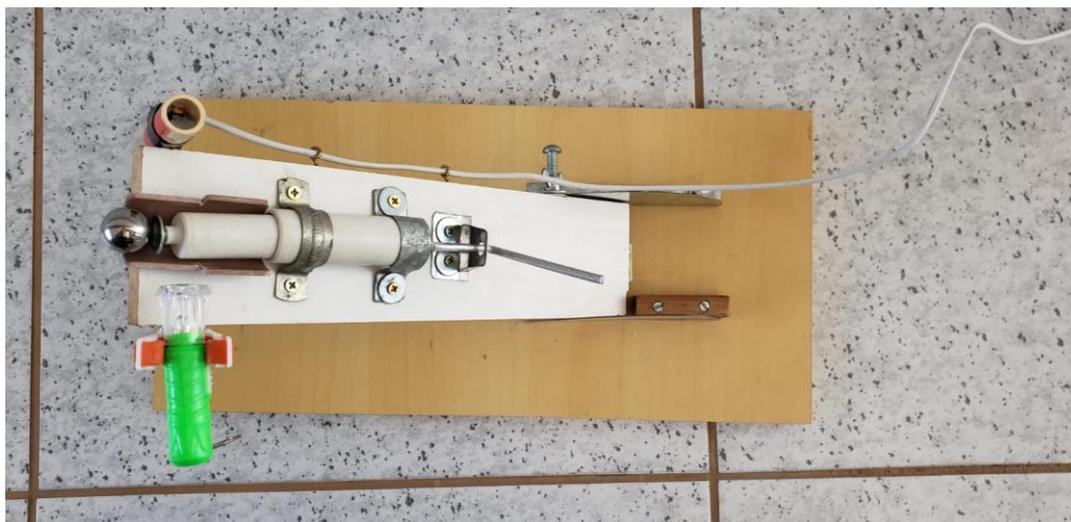
A seguir, algumas imagens com um foco maior do *fotogate* acoplado no Lançador de projéteis:

Figura-10: Vista lateral do lançador de Projéteis com um foco no *fotogate* acoplado.



Fonte: Acervo da autora.

Figura-11: Vista superior do Lançador de projéteis.



Fonte: Acervo da autora.

Considerações finais

Como podemos observar, o alcance real e o experimental ficaram próximos, o que valida o aparato experimental de baixo custo: *fotogate*. Além disso, conseguimos observar também que o maior alcance obtido foi para o ângulo de 45° . É necessário enfatizar que como a altura possui um valor considerável, haverá em alguns momentos discrepâncias, como por exemplo, os ângulos complementares, pois a altura influenciou nos resultados.

Os lançamentos realizados com o propósito de analisar e constatar a altura máxima também validaram o aparato *fotogate*, pois como podemos observar na tabela 4, os resultados ficaram muito próximo do real.

Referências

BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: Mecânica**, 1º ano, 3ª edição. São Paulo: FTD, 2016.

BONJORNO, J. R.; CASEMIRO, R. **Física: Mecânica**, 1º ano, 3ª edição. São Paulo: FDT, 2016.

Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2015.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky. **Física 1: Mecânica**, 12ª edição, São Paulo: Ad-Adison Wesley (2008).

6.3.1 Questionário avaliativo experimento – Lançador de Projéteis

Questionário de avaliação, feita pelos estudantes, referente a intervenção pedagógica com o experimento “Lançador de Projéteis” (SD – 03)

*Obrigatório

1. A montagem do experimento " Lançador de Projéteis " foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil							

2. A execução do experimento " Lançador de Projéteis " foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil							

3. O experimento " Lançador de Projéteis " contribui para sua compreensão sobre composição de movimento. *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Nenhuma contribuição	<input type="radio"/>	Extrema contribuição							

4. Aponte aspectos negativos relacionados a realização do experimento

" Lançador de Projéteis " em sala de aula. *

5. Aponte aspectos positivos relacionados a realização do experimento "Lançador de Projéteis " em sala de aula. *

6. Aponte sugestões para melhorar à realização do experimento " Lançador de Projéteis " em sala de aula. *

6.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 04

O USO DE UM *FOTOGATE* DE BAIXO CUSTO EM PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO: DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL LOCAL ATRAVÉS DA *PICKET FENCE*

Amanda Aparecida Borges da Silva; amanda.aparecida@sou.unifal-mg.edu.br

Resumo

Dizemos que um corpo se encontra em queda livre quando a única força que atua nele é a força gravitacional terrestre. Não pode haver atuação de outras forças; em particular, não pode existir resistência do ar, ou o seu valor deve ser tão pequeno que possa ser desprezado. Quando um corpo se encontra em queda livre durante um deslocamento relativamente pequeno, a força gravitacional que nele atua é praticamente constante. Como consequência, podemos considerar que, o corpo é submetido a uma aceleração constante para o centro da Terra. Esta aceleração é geralmente representada pelo símbolo g .

Mas será que o valor de g é realmente $9,81 \text{ m/s}^2$? E o que é pior, será que esse valor é sempre constante? Infelizmente temos que colocar essas questões, pois nossos alunos (talvez por nossa culpa) acreditam que o valor de g é constante e que esse valor é “sempre” 10 m/s^2 . Desta forma, para responder essas e outras questões acerca da queda dos corpos será realizado experimentos utilizando o *fotogate* e uma *picket fence*, para determinar o valor de g .

Palavras-chave: Ensino de Física; Queda-livre; *Fotogate*; *Picket fence*; Aceleração Gravitacional Local.

Introdução

O estudo da queda dos corpos foi tema de pesquisa tanto de pensadores da Antiguidade como dos primeiros físicos modernos. Para Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), se abandonássemos dois corpos de massas diferentes da mesma altura e no mesmo instante, aquele com maior massa chegaria primeiro ao solo. Essa ideia perdurou durante séculos, até que, no início do século XVII, Galileu Galilei (1564-1642) passou a questioná-la sistematicamente. Galileu pesquisou, criou instrumentos e realizou experimentos ao estudar a queda dos corpos. Para diminuir a influência da aceleração da gravidade durante a queda, ele analisou o movimento de descida de esferas em um plano inclinado. Dos seus estudos, Galileu concluiu que, mesmo com diferentes massas, os corpos chegavam quase exatamente no mesmo instante ao solo. A pouca diferença entre os tempos de queda foi atribuída por Galileu à resistência oferecida pelo ar, que atuaria diferentemente nos corpos testados. Com essa ressalva, afirmou que todos os corpos chegavam ao solo sempre ao mesmo tempo quando abandonados da mesma altura, não importando a massa de cada um.

Desta forma, é necessário enfatizar que as coisas caem por causa da força da gravidade. Quando um objeto está caindo sem enfrentar qualquer impedimento – sem atrito com o ar ou qualquer outro – e cai sob influência exclusiva da gravidade, o objeto encontra-se em estado de queda livre. A aceleração da queda livre é aproximadamente igual a 10 m/s^2 . No caso de objetos

em queda livre, é costume usar a letra g para representar esta aceleração (porque ela se deve à gravidade). O valor de g é muito diferente na superfície da Lua e na superfície de outros planetas. Aqui na Terra, g varia ligeiramente em diferentes locais, com um valor médio de 9,8 metros por segundo a cada segundo, ou, em notação abreviada, $9,8 \text{ m/s}^2$. As pequenas variações se devem a altitude e latitude do local.

Por se tratar de um movimento com aceleração constante, a queda livre é movimento uniformemente acelerado e, portanto, são válidos para a queda livre todas as funções e os conceitos do MUV. Além disso, é importante salientar que a distância percorrida por um corpo em queda livre é proporcional ao quadrado do tempo gasto para percorrê-la, o que significa matematicamente, que a função horária das posições $s = f(t)$ é uma função polinomial do 2º grau:

$$S = S_0 + v_0t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

Tendo em vista esses conceitos, o objetivo dessa sequência didática é a construção da *picket fence* e por meio dela fazer experimentos de queda livre utilizando o *fotogate* para obter intervalos de tempos por meio do software *Audacity*. E com os dados de tempo e distância, obter a aceleração gravitacional local (g).

Metodologia

Para um melhor desempenho nessa sequência didática, sugere-se seguir as etapas a seguir:

1. Acesse o QR-Code visite o artigo:



Ou acesse o link presente nas referências e faça download do artigo para seu computador: Neste artigo há uma tabela de valores de g conforme a latitude e a altura (em relação ao nível do mar). Procure em uma fonte confiável a latitude e a altitude da sua localidade e depois encontre o valor da aceleração da gravidade em seu local através da tabela que consta no artigo acima. Anote os dados e valores abaixo:

Cidade/localidade da pesquisa:

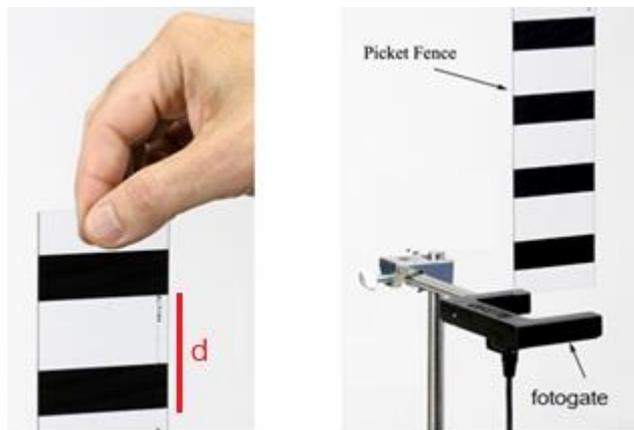
Altitude:

Latitude:

Aceleração gravitacional do local (conforme o artigo):

2. Construção da sua *picket fence*:

Figura-01: Ilustração fornecida da Picket Fence e o *fotogate*.



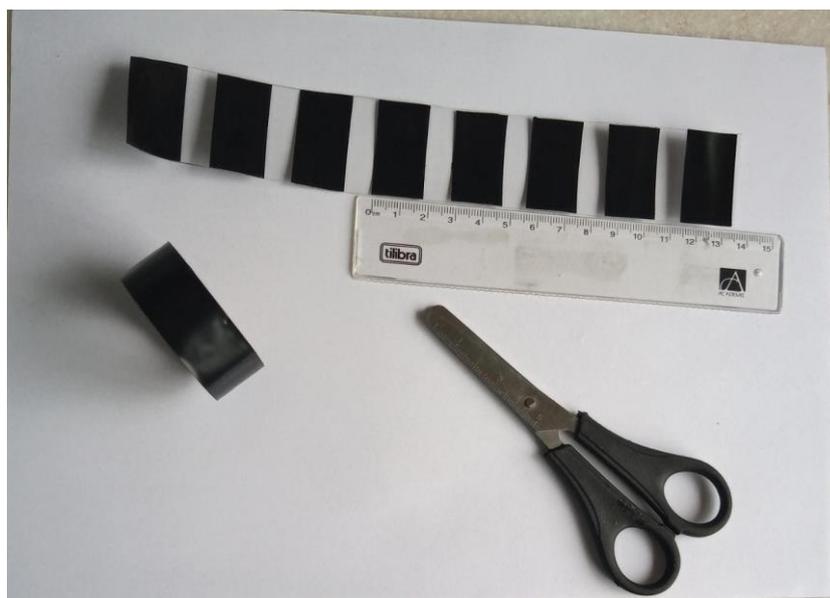
Fonte: Acervo da autora

Com uma régua de 30 cm e uma fita opaca (fita isolante ou fita crepe) construa sua Picket Fence.

Acrescente aqui a **imagem** de sua Picket Fence.

Uma sugestão é utilizar tiras de garrafa pet, conforme a imagem a seguir:

Figura-02: Imagem da *Picket Fence* feita de garrafa pet já construída, junto com os objetos utilizados na sua fabricação.



Fonte: Acervo da autora

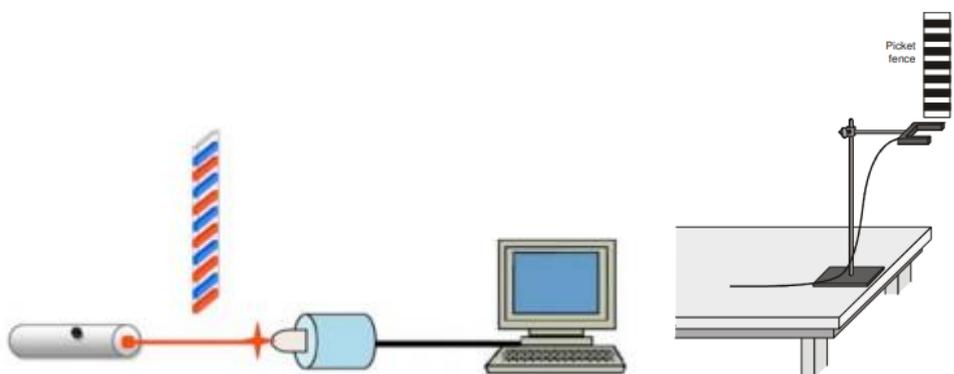
- Utilizando as marcações centimetradas da régua, cole a fita opaca em distâncias constantes (de 3 em 3 cm, por exemplo). Conforma a imagem acima.

Anote a distância entre a parte de baixo de uma fita até a parte de baixo da fita seguinte ___ cm.

OBS.: Essa distância é fundamental para se calcular/encontrar a aceleração com que sua *Picket Fence* cai em queda livre na sua localidade.

- Arranje seu *fotogate* conforme as figuras abaixo para a coleta de dados da sua *Picket Fence* quando ela cair em queda livre.

Figura-03: Configuração do arranjo do *fotogate* e a *Picket Fence* para a coleta de dados.



Fonte: Acervo da autora

- Execute o software livre *AUDACITY* em seu computador.

Link para o software: <https://www.audacityteam.org/download/>.

Acrescente aqui (no mínimo 3) imagens do seu experimento (*fotogate* + *Picket Fence*)

- Com o *fotogate*, conecte o P2 no notebook para realizar a coleta de dados, conforme a figura a seguir:

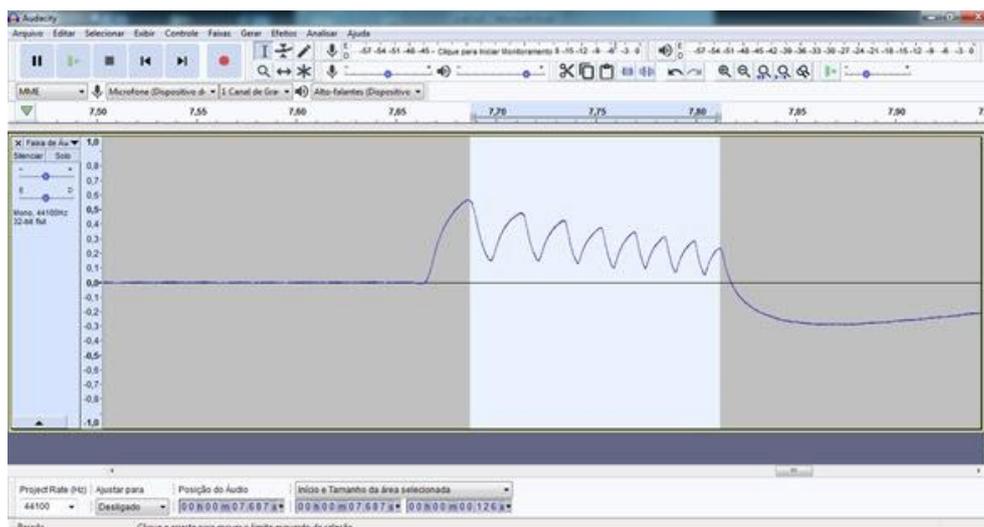
Figura-05: *Fotogate* posicionado para coleta de dados, com o P2 conectado no computador para utilização do software *AUDACITY*.



Fonte: Acervo da autora

7. Durante a realização do experimento, os dados serão coletados pelo software *AUDACITY*, gerando uma imagem de acordo com a mostrada na figura abaixo. Utilizando a ferramenta do software *Audacity*, registre o intervalo do tempo de queda da *Picket Fence* de um pico ao outro.

Figura-06: Captura da tela do software *Audacity*, demonstrando o intervalo de tempo obtido, referente a queda livre da *Picket Fence*. A imagem é referente aos dados coletados durante o Ensaio 5 que será discutido no tópico Resultados.



Fonte: Acervo da autora

8. Após posicionar o *fotogate* conforme mostra a Figura 5, deve-se utilizar a *Picket Fence* e soltar conforme indicado na (Figura 3). Sugere-se que se repita esse mesmo

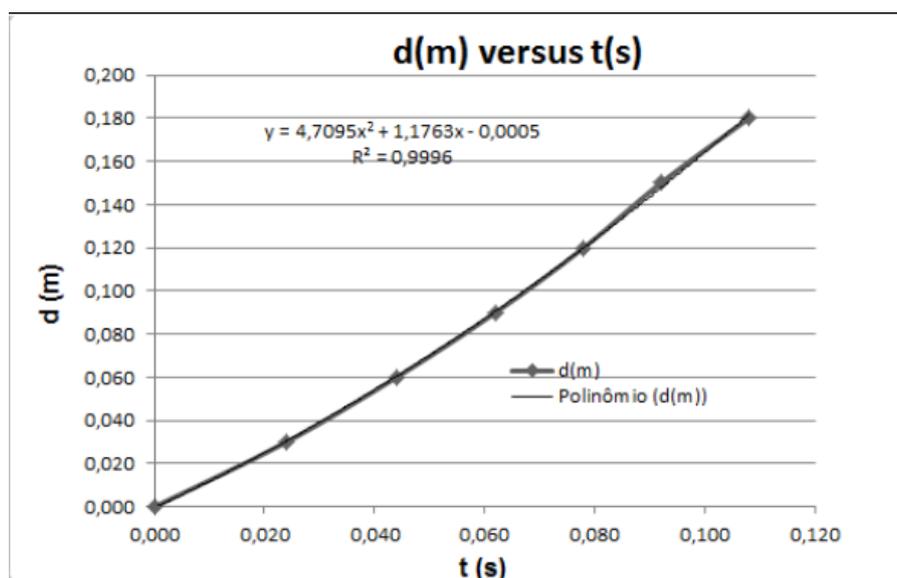
procedimento 7 vezes. Em uma tabela, anote os dados de tempo (intervalo entre o pico de uma fenda a outra) coletados por meio do *fotogate* e analisados através do software *AUDACITY* previamente instalado no computador e os dados da distância com a Picket Fence, sendo este o valor do final de uma fita a outra.

Tabela 1: Valor do tempo obtido no software *audacity* e da distância encontrada na Picket Fence

Tempo (s)	Distância (m)

Com os valores coletados e organizados em tabela, construa um gráfico de distância versus o tempo e acrescente aqui. A seguir, um modelo do gráfico a ser gerado:

Figura-07: Gráfico da distância pelo tempo.



Fonte: Acervo da autora

Para uma melhor precisão, sugere-se realizar 5 a 7 ensaios desse experimento e organizar em tabelas conforme a tabela 1 e plotar os gráficos, conforme a figura 7.

9. Por meio dos gráficos da distância versus tempo dos 5 ensaios realizados, as equações geradas pelos gráficos no Excel, é um polinômio do 2° grau e com isso consegue-se encontrar o valor da gravidade para cada ensaio. Registre na tabela o valor da aceleração gravitacional encontrado para cada ensaio:

Tabela 2: Valores obtidos para a gravidade dos ensaios realizados.

Ensaio					
g (m/s^2)					

Após isso, calcule a média aritmética das acelerações obtidas e compare com o valor da aceleração gravitacional local encontrada na literatura:

Tabela 3: Tabela comparando o valor da gravidade encontrada no artigo e o valor calculado pelo experimento do *fotogate*.

Aceleração gravitacional (artigo)	
Aceleração gravitacional (experimento)	

- **Questões prévias e norteadoras**

Responda estas questões antes de realizar o experimento.

1. A distância que vai desde um limite de uma barra opaca até ao mesmo limite da barra seguinte é **3 cm** (conforme o projeto de construção da sua Picket Fence). De que outra informação você precisa para calcular o valor da velocidade média correspondente a esse deslocamento da placa?
2. Se um objeto se move com aceleração constante, qual a forma do gráfico do valor da velocidade em função do tempo?
3. A velocidade inicial de um corpo tem alguma relação com a aceleração do corpo? Por exemplo, se arremessasse a placa para baixo, em vez de a abandonar, o valor da aceleração seria diferente?
4. Se deixasse cair a placa de acrílico de um ponto mais alto, haveria diferença em algum dos valores medidos? Teste a sua previsão.

5. Experimente arremessar a placa de acrílico para baixo, mas soltando-a antes de passar no sensor. O que varia? E se a atirasse para cima, fazendo-a atravessar o sensor em sentido contrário?

6. Em que medida a resistência do ar poderia alterar os resultados? Experimente colar com um pedaço de fita adesiva na parte superior da placa um paraquedas (feito de sacolinha de mercado) e abandoná-la novamente frente ao *fotogate*, realizando a medida de g novamente.

Resultados

A seguir estão os dados referente ao local onde foi realizado o experimento:

Cidade/localidade da pesquisa: Alfenas, Minas Gerais

Altitude: 882 m

Latitude: 21° 25' 46''Sul

Aceleração gravitacional do local (conforme o artigo): $g = 9,7836 \text{ m/s}^2$

Seguindo os passos descrito no tópico “Metodologia” e principalmente a etapa 8, foi possível coletar dados do tempo entre o pico de uma fenda a outra, utilizando o *fotogate*, juntamente com software *Audacity* e os dados da distância com a Picket Fence, sendo este o valor do final de uma fita a outra neste aparato, esse valor sendo **3 cm**. A *Picket Fence* foi solta por 7 vezes, ou seja, foram realizados 7 ensaios.

• Ensaio 1

No primeiro ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 4:

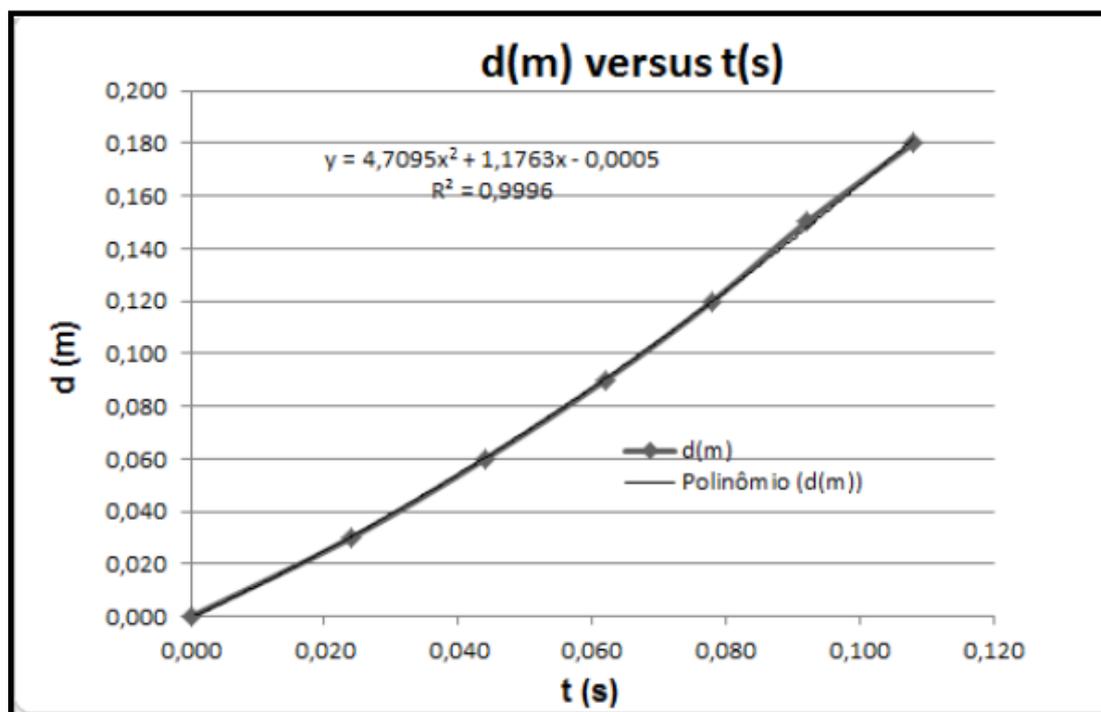
Tabela 4: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na Picket Fence.

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,024	0,03
0,044	0,06
0,062	0,09
0,078	0,12
0,092	0,15
0,108	0,18

Fonte: Acervo da autora.

Com os valores encontrado na tabela 4, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 8.

Figura-08: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 1.



Fonte: Acervo da autora

- **Ensaio 2**

No segundo ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 5:

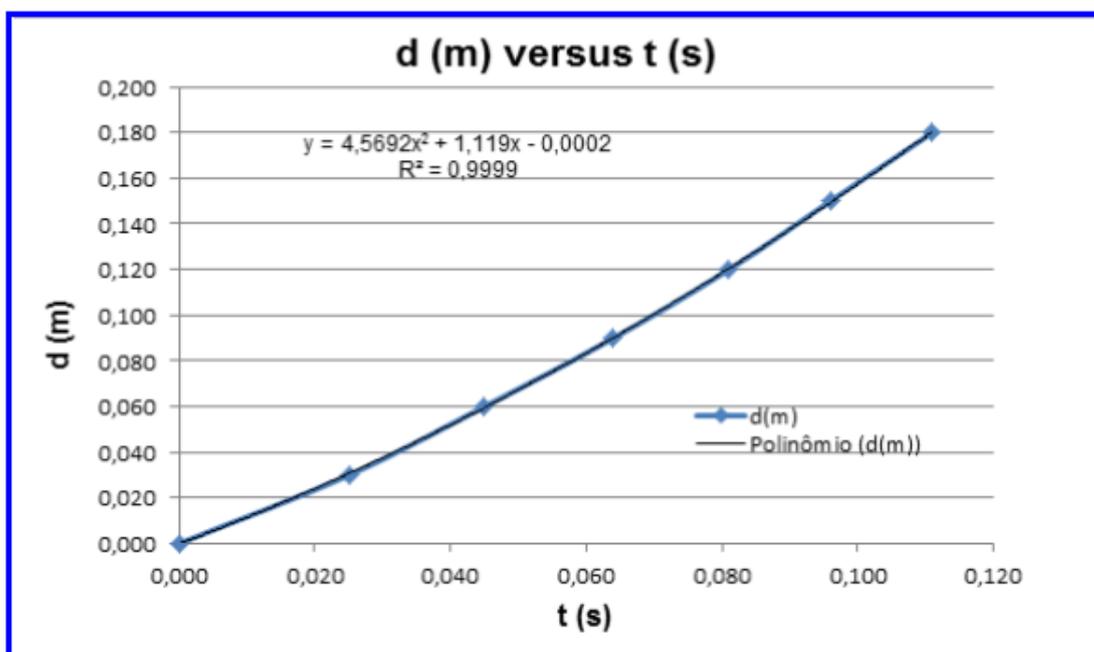
Tabela 5: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na Picket Fence

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,025	0,03
0,045	0,06
0,064	0,09
0,081	0,12
0,096	0,15
0,111	0,18

Fonte: Acervo da autora.

Com os valores encontrado na tabela 5, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 9.

Figura-09: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 2.



Fonte: Acervo da autora

- **Ensaio 3**

No terceiro ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 6

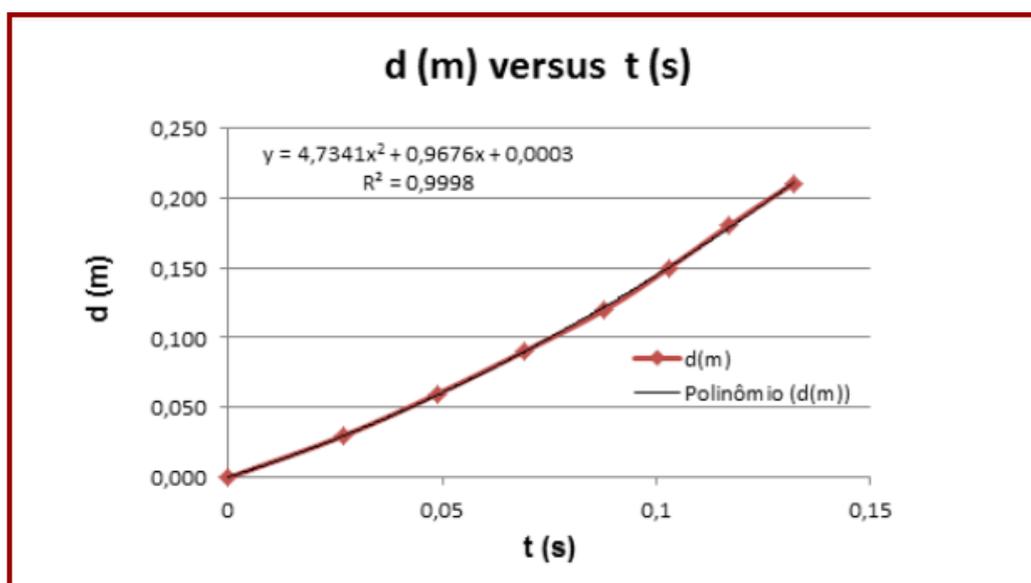
Tabela 6: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na Picket Fence

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,027	0,03
0,049	0,06
0,069	0,09
0,088	0,12
0,103	0,15
0,117	0,18
0,132	0,21

Fonte: Acervo da autora.

Com os valores encontrado na tabela 6, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 10.

Figura-10: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 3.



Fonte: Acervo da autora

- **Ensaio 4**

No quarto ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 7

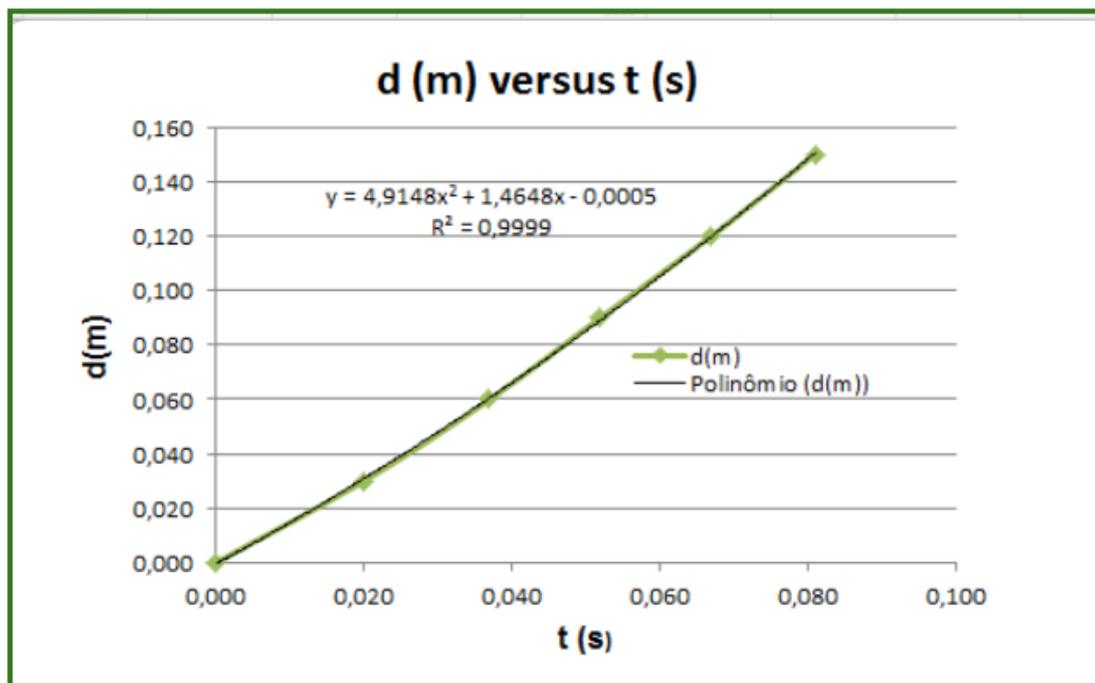
Tabela 7: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na *Picket Fence*

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,020	0,03
0,037	0,06
0,052	0,09
0,067	0,12
0,081	0,15

Fonte: Acervo da autora.

Com os valores encontrado na tabela 7, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 11.

Figura-11: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 4.



Fonte: Acervo da autora

- **Ensaio 5**

No quinto ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 8

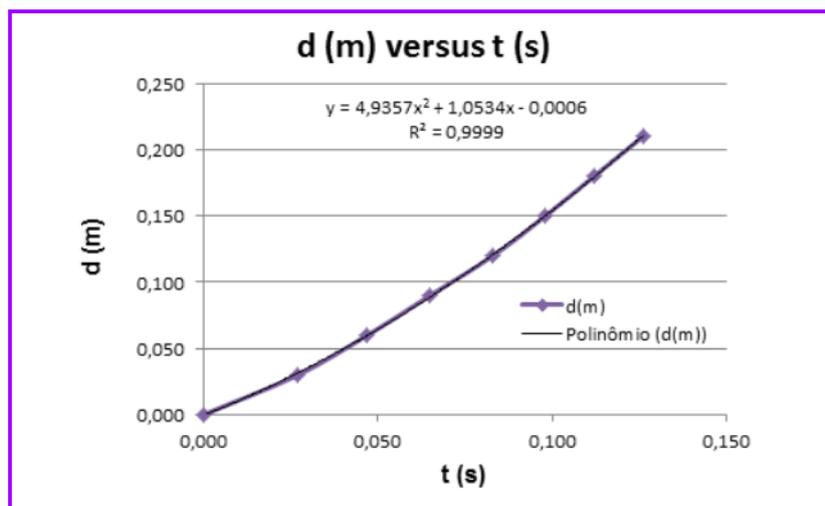
Tabela 8: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na *Picket Fence*

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,027	0,03
0,047	0,06
0,065	0,09
0,083	0,12
0,098	0,15
0,112	0,18
0,126	0,21

Fonte: Acervo da autora.

Com os valores encontrado na tabela 8, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 12:

Figura-12: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 5.



Fonte: Acervo da autora

- **Ensaio 6**

No sexto ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 9

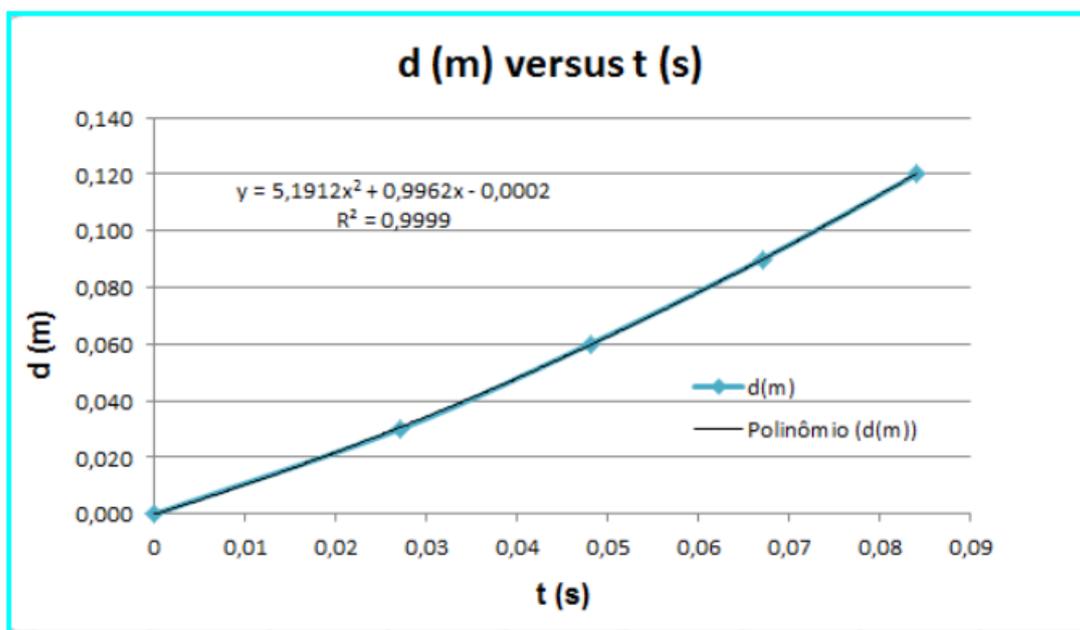
Tabela 9: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na *Picket Fence*.

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,027	0,03
0,048	0,06
0,067	0,09
0,084	0,12

Fonte: Acervo da autora

Com os valores encontrado na tabela 9, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 13.

Figura-13: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 6.



Fonte: Acervo da autora

- **Ensaio 7**

No sétimo ensaio encontramos os seguintes valores para a distância e tempo, como mostrado na tabela 10.

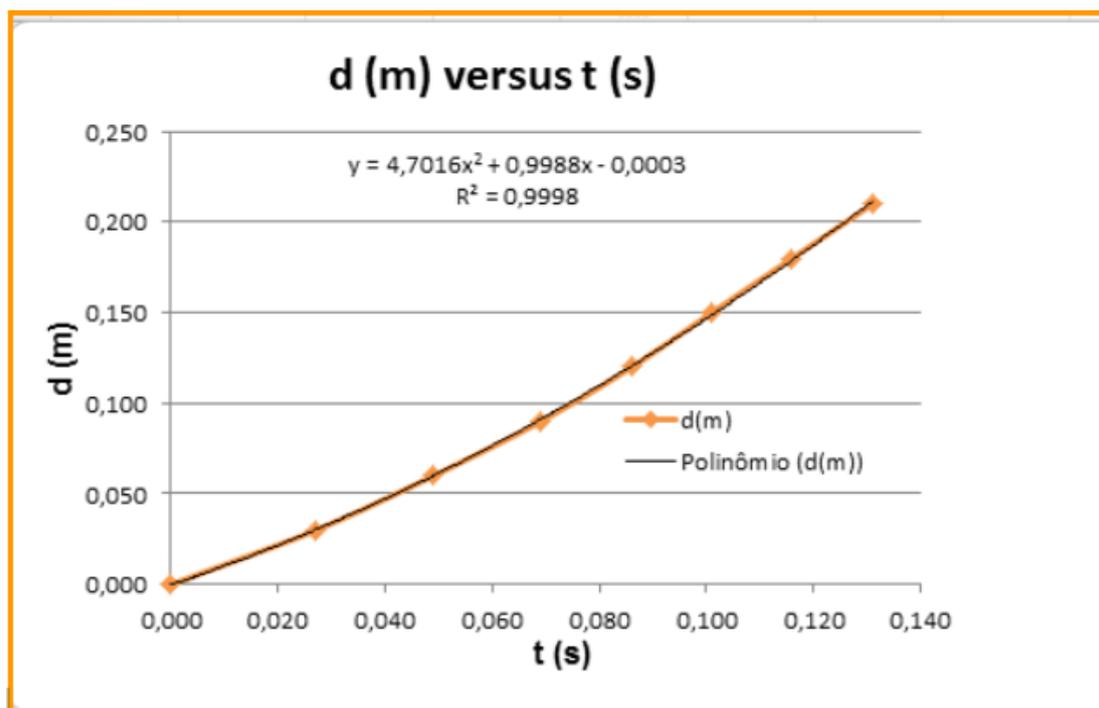
Tabela 10: Valor do tempo obtido no software *AUDACITY* e da distância encontrada na *Picket Fence*

Tempo (s)	Distância (m)
0	0
0,027	0,03
0,049	0,06
0,069	0,09
0,086	0,12
0,101	0,15
0,116	0,18
0,131	0,21

Fonte: Acervo da autora.

Com os valores encontrado na tabela 10, construímos um gráfico da distância versus o tempo como mostra a Figura 14.

Figura-14: Gráfico da distância pelo tempo do Ensaio 7.



Fonte: Acervo da autora

Realizado todos os 7 ensaios, foi feita uma análise das equações geradas nos gráficos. E como foi descrito anteriormente nesta sequência didática, a equação característica de um movimento em queda livre é um polinômio de 2º grau. Com isso, podemos fazer o análogo das duas equações:

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2)$$

$$Y = b x^2 + c x + d \quad (3)$$

Ao analisar as funções, percebemos que o valor do coeficiente b que acompanha o x^2 é equivalente ao valor que acompanha o t^2 na equação horária da posição (MUV). Sendo assim, podemos dizer que para calcular a aceleração basta realizar a multiplicação abaixo:

$$a = 2 b \quad (4)$$

Logo, por meio dos gráficos da distância versus tempo dos 7 ensaios realizados, as equações geradas pelos gráficos no Excel, é um polinômio do 2º grau e com isso conseguimos encontrar o valor da gravidade para cada ensaio, seus valores são descritos na tabela 11:

Tabela 11: Valores obtidos para a gravidade dos ensaios realizados.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7
$g (m/s^2)$	9,419	9,1384	9,4682	9,8296	9,8714	10,3824	9,4032

Fonte: Acervo da autora.

A seguir, o tratamento matemático dos dados coletados, com a aceleração mínima e máxima calculada, a média, e o cálculo do desvio padrão:

Tabela 12: Tratamento matemático dos dados coletados

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Aceleração (m/s^2)	9,1384	10,3824	9,6446	0,3829

Fonte: Acervo da autora.

- **Cálculo da média**

Para calcular a média usamos a seguinte equação:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Onde x_i é o valor individual

$$\bar{x} = \frac{9,419 + 9,1384 + 9,4682 + 9,8296 + 9,8714 + 10,3824 + 9,4032}{7} = \frac{67,5122}{7} = 9,6446$$

- **Cálculo do Desvio Padrão**

$$Dp = \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Onde x_i é o valor individual, \bar{x} a média dos valores e n o número de valores.

$$Dp = \sqrt{\frac{(9,419 - 9,6446)^2}{7} + \frac{(9,1384 - 9,6446)^2}{7} + \frac{(9,4682 - 9,6446)^2}{7} + \frac{(9,8296 - 9,6446)^2}{7} + \frac{(9,8714 - 9,6446)^2}{7} + \frac{(10,3824 - 9,6446)^2}{7} + \frac{(9,4032 - 9,6446)^2}{7}}$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(-0,2256)^2}{7} + \frac{(-0,5062)^2}{7} + \frac{(-0,1764)^2}{7} + \frac{(0,185)^2}{7} + \frac{(0,2268)^2}{7} + \frac{(0,7378)^2}{7} + \frac{(-0,2414)^2}{7}}$$

$$Dp = \sqrt{\frac{0,05089536}{7} + \frac{0,25623844}{7} + \frac{0,03111696}{7} + \frac{0,034225}{7} + \frac{0,05143824}{7} + \frac{0,54434884}{7} + \frac{0,05827396}{7}}$$

$$Dp = \sqrt{0,00727077 + 0,03660549 + 0,00444528 + 0,0048892857142 + 0,00734832 + 0,07776412 + 0,0083248514285}$$

$$Dp = \sqrt{0,1466481171427}$$

$$Dp = 0,3829466244043$$

Tabela 13: Valor da aceleração gravitacional local, calculado por meio do experimento e seu respectivo erro.

Aceleração gravitacional do local (m/s^2)	9,6446 ± 0,1447
Erro (e) percentual*	1,421 %

O erro da gravidade foi calculado usando a equação do erro padrão da média, para isso foi desprezados o erro dos instrumentos de medição e o erro do experimentador. Com isso consideramos apenas o erro padrão da média

$$\sigma = \frac{Dp}{\sqrt{n}}$$

Sendo σ o erro padrão da média, Dp o desvio padrão encontrado e n o número de ensaios realizados

$$\sigma = \frac{0,3829466244043}{\sqrt{7}}$$

$$\sigma = \frac{0,3829466244043}{2,645751311064591}$$

$$\sigma = 0,144740219083634$$

- **Cálculo do erro em percentual**

Para o cálculo do erro percentual utilizamos a seguinte equação:

$$e = \left(\frac{|g - \bar{g}|}{|g|} \cdot 100 \right) \%$$

Sendo $g = 9,7836 \text{ m/s}^2$ a aceleração gravitacional do local onde o experimento foi realizado e o $\bar{g} = 9,6446 \text{ m/s}^2$ a aceleração média encontrada nos 7 ensaios realizados.

$$e = \left(\frac{|9,7836 - 9,6446|}{9,7836} \cdot 100 \right) \% = \left(\frac{0,139}{9,7836} \cdot 100 \right) \% = (0,0142074492007032 \cdot 100) \% \approx 1,421\%$$

Considerações finais

Após calcularmos a gravidade por meio do experimento do *fotogate* e a *Picket Fence*, podemos comparar o valor da aceleração gravitacional conforme o artigo e o valor da aceleração gravitacional encontrado durante a realização do experimento do *fotogate*:

Tabela 14: Tabela comparando o valor da gravidade encontrada no artigo e o valor calculado pelo experimento do *fotogate*.

Aceleração gravitacional (artigo)	$g = 9,78 \text{ m/s}^2$
Aceleração gravitacional (experimento)	$g = (9,64 \pm 0,1447) \text{ m/s}^2$

Como podemos observar, os valores são muito próximos e se considerarmos o erro, o valor encontrado para a gravidade pelo experimento do *fotogate* está de acordo com o valor descrito na literatura para Alfenas. Isso mostra como os resultados obtidos através do *fotogate* com a *Picket Fence* são precisos e o experimento é válido, considerando que os materiais utilizados são todos acessíveis e de baixo custo.

Além disso, esse experimento pode ser implementado facilmente em uma aula de Física do Ensino Médio, visto que a sua construção e manuseio pode ser realizado pelos próprios alunos, fazendo com que eles entendam melhor o valor da gravidade local e como ele é encontrado.

Referências

LOPES, W. **Variação da Aceleração da Gravidade com Latitude e Altitude**, Caderno Brasileiro Ensino Física, v. 25, n. 3:p. 561-568, dez. 2008. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n3p561/8450> Acesso em 05/12/2022.

BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: Mecânica**, 1º ano, 3º edição. São Paulo: FTD, 2016.

BONJORNO, J. R.; CASEMIRO, R. **Física: Mecânica**, 1º ano, 3º edição. São Paulo: FDT, 2016.

Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12º edição, Porto Alegre : Bookman, 2015.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky. **Física 1: Mecânica**, 12º edição, São Paulo: Ad-Adison Wesley (2008).

6.4.1 Questionário avaliativo experimento – *Picket Fence*

Questionário de avaliação, feita pelos estudantes, referente a intervenção pedagógica com o experimento *Picket Fence* (SD – 04)

*Obrigatório

1. A montagem do experimento "*Picket Fence*" foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil							

2. A execução do experimento "*Picket Fence*" foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil							

3. O experimento "*Picket Fence*" contribui para sua compreensão sobre movimento com aceleração constante. *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Nenhuma contribuição	<input type="radio"/>	Extrema contribuição							

4. Aponte aspectos negativos relacionados a realização do experimento "*Picket Fence*" em sala de aula. *

5. Aponte aspectos positivos relacionados a realização do experimento "*Picket Fence*" em sala de aula. *

6. Aponte sugestões para melhorar à realização do experimento "*Picket Fence*" em sala de aula. *

6.5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 05

O USO DE UM *FOTOGATE* DE BAIXO CUSTO EM PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO MÉDIO: DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL LOCAL ATRAVÉS DO PÊNDULO SIMPLES.

Amanda Aparecida Borges da Silva; amanda.aparecida@sou.unifal-mg.edu.br

Resumo

Movimento periódico é o movimento de um corpo que retorna regularmente para uma posição após um intervalo de tempo fixo. Podemos identificar vários tipos de movimento periódico em nosso dia a dia, como por exemplo, o movimento de uma criança em um balanço no parque ou o pêndulo de um relógio antigo que oscila de um lado para o outro. Desta forma, o objetivo deste trabalho é encontrar a aceleração gravitacional local por meio do tempo de oscilação de um pêndulo simples com o uso do *fotogate* e o software *Audacity*.

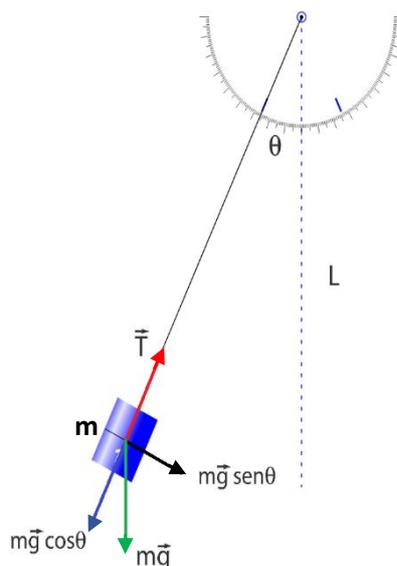
Palavras-chave: Ensino de Física; *Fotogate*; Pêndulo Simples; Movimento Periódico; Tempo de Oscilação.

Introdução

Um pêndulo simples é um modelo idealizado consistindo em um objeto de massa m que pode oscilar em torno de um ponto de equilíbrio, suspenso por um fio de comprimento ℓ . Algumas situações familiares como uma criança em um balanço no parque ou uma bola de demolição presa por um cabo à um guindaste pode ser considerada um exemplo de pêndulo simples.

A Figura 1 mostra a representação esquemática do movimento de um pêndulo simples consistindo em uma partícula de massa m presa em fio de comprimento ℓ . A Figura 1 (a) mostra a representação do pêndulo no instante inicial e as forças que agem sobre partícula de massa m . A Figura 1 (b) mostra as componentes radial e tangencial da força peso.

Figura-01: Representação esquemática de um pêndulo simples e as forças atuantes.



Fonte: Acervo do autor com a captura de tela da simulação disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html

A força restauradora F_R é a componente tangencial da força resultante, de forma que podemos calcular a frequência angular ω para pequenas amplitudes, ou seja:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1)$$

A frequência e o período correspondentes serão:

$$v = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (2)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3)$$

Note que o período e a frequência não envolvem a massa da partícula.

Em pequenas oscilações, o período de um pêndulo simples para um dado valor de g é determinado pelo seu comprimento.

Sabendo estes conceitos, será realizado experimentos com um pêndulo simples de materiais de baixo custo. E com o uso de um *fotogate* e o software *Audacity* será coletado intervalos de tempo de três oscilações completas e com os valores será calculado a

aceleração gravitacional local. Essa sequência didática será trabalhada com estudantes do 1º ano do Ensino Médio.

Metodologia

- ✓ Antes de iniciar o experimento acesse o QR-Code visite o artigo a seguir



Ou acesse o link presente nas referências e faça o download do artigo para seu computador:

Neste artigo há uma tabela de valores de g conforme a latitude e a altura (em relação ao nível do mar). Procure em uma fonte confiável a latitude e a altitude da sua localidade e depois encontre o valor da aceleração da gravidade em seu local através da tabela que consta no artigo acima. Anote os dados e valores abaixo:

Cidade/localidade da pesquisa:

Altitude: _____

Latitude: _____

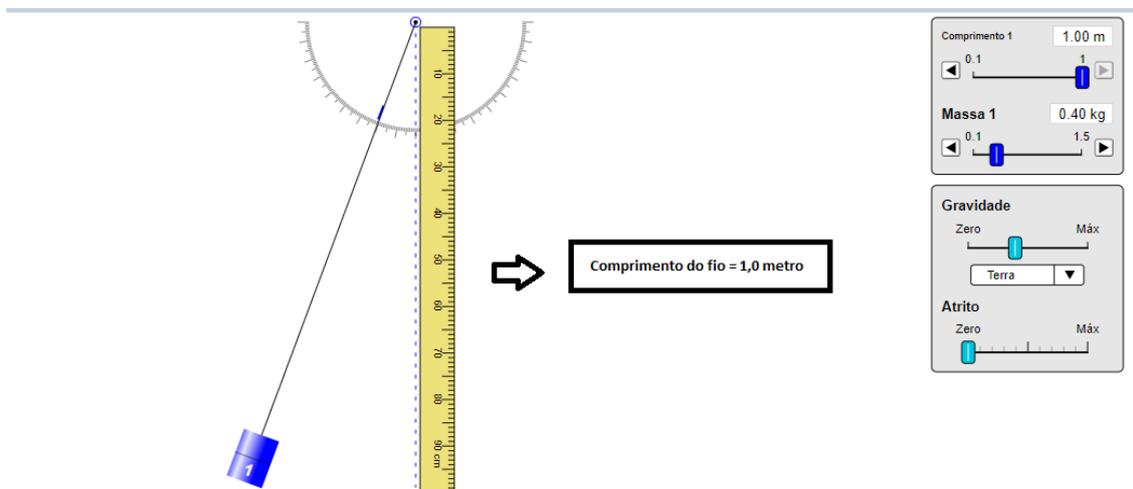
Aceleração gravitacional do local (conforme o artigo): _____

- ✓ **Pêndulo Simples**

Para uma melhor execução do experimento, deve-se seguir as etapas a seguir, uma sugestão é assistir esse vídeo <https://youtu.be/-aEvigNajXY>:

1. Monte o sistema conforme a Figura 2. Certifique-se de o equipamento esteja nivelado.

Figura-02: Montagem do experimento com pêndulo simples e medida do comprimento do fio.



Fonte: Acervo do autor e captura de tela da simulação disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html

2. Comece ajustando o comprimento do fio que suspende esta massa de modo que a distância entre o ponto de suspensão do pêndulo e o centro de gravidade do pêndulo seja de aproximadamente $\ell = 1,0 \text{ m}$ (pode ser menos que isso!). Este será o seu comprimento inicial.

Sugerimos confeccionar o artefato com um fio de nylon e na extremidade uma esfera oca de plástico e um suporte de palito de madeira. Construído o pêndulo, é necessário posicionar o *fotogate* para realizar a coleta de dados, conforme a figura 3:

Figura-03: Exemplo de Posição inicial com experimento, para a coleta de dados no software *AUDACITY*, nesta imagem o comprimento do fio é de $l = 0,5 m$



Fonte: Acervo do autor

3. Desloque o pêndulo da sua posição de equilíbrio por um pequeno ângulo (aproximadamente 10°) e solte-o. Verifique o tempo que o pêndulo leva para realizar 3 oscilações completas.

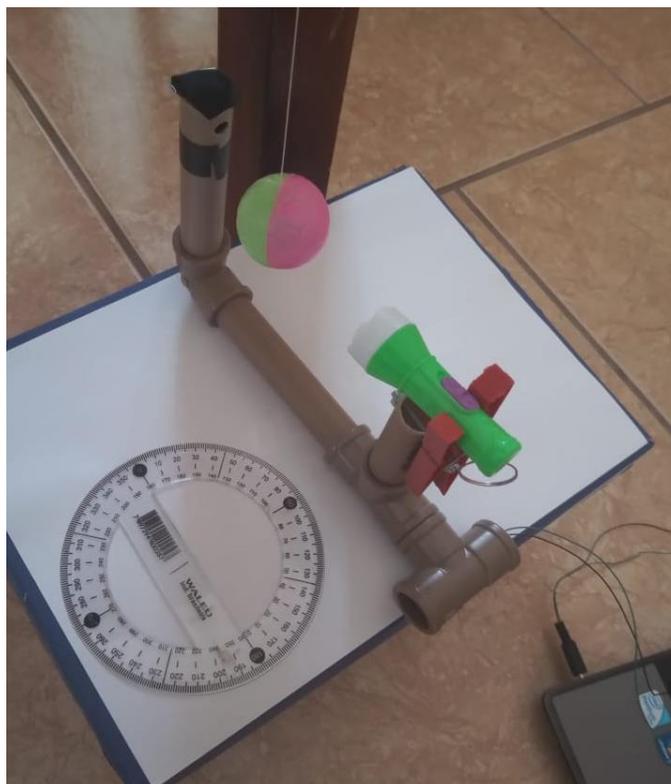
Repita a contagem por 5 vezes e anote seu resultado na Tabela 1.

Desloque o pêndulo de uma grande amplitude ($\sim 30^\circ$) e repita os passos anteriores) e complete a tabela 2.

Calcule os períodos e as frequências [(1) e (2)] nos dois casos e compare seus resultados.

Para uma melhor precisão do ângulo que será solto o pêndulo, sugere-se utilizar um transferidor para posicionar com uma melhor exatidão a posição que soltar o pêndulo

Figura-04: Imagem aproximada do *fotogate*, juntamente com o transferidor para determinar a posição que se deve soltar o pêndulo.



Fonte: Acervo do autor

Tabela 1: Valores dos períodos coletados no software *AUDACITY*, para a configuração de $\theta = 10^\circ$

l (m)	Período 1 (s)	Período 2 (s)	Período 3 (s)	Período 4 (s)	Período 5(s)	Média do Período (s)

Tabela 2: Valores dos períodos coletados no software *AUDACITY*, para a configuração de $\theta = 30^\circ$

l (m)	Período 1 (s)	Período 2 (s)	Período 3 (s)	Período 4 (s)	Período 5(s)	Média do Período (s)

Agora, tendo a média dos períodos e sabendo que $f = \frac{1}{T}$, onde f é a frequência e T o período, encontre o valor para a frequência para os dois ângulos, como mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Valores dos Períodos e Frequência para os ângulos $\theta = 10^\circ$ e $\theta = 30^\circ$

Período ($\theta = 10^\circ$) =	Frequência ($\theta = 10^\circ$) =
Período ($\theta = 30^\circ$) =	Frequência ($\theta = 30^\circ$) =

Faça uma comparação dos resultados obtidos e acrescente aqui:

Agora, utilizando-se da equação (3), encontre o valor da aceleração da gravidade local. Para isso, mantenha constante o valor de ℓ e abandone o pêndulo de aproximadamente 10° , em relação a horizontal, cinco vezes e complete a tabela abaixo.

Tabela 4: Valores dos Períodos e gravidade para os 5 eventos.

Eventos	Período (s)	g (m/s^2)
1		
2		
3		
4		
5		

Dos resultados encontrados, registre o mínimo e máximo da aceleração gravitacional local e calcule a média aritmética:

Tabela 5: Tratamento matemático dos dados coletados

	Mínimo	Máximo	Média
Aceleração (m/s^2)			

Após calcularmos a gravidade por meio do experimento do *fotogate* e o pêndulo, podemos comparar o valor da aceleração gravitacional conforme o artigo e o valor da aceleração gravitacional encontrado durante a realização do experimento do *fotogate*:

Tabela 6: Tabela comparando o valor da gravidade encontrada no artigo e o valor calculado pelo experimento do *fotogate*.

Aceleração gravitacional (artigo)	
Aceleração gravitacional (experimento)	

Faça uma pequena conclusão do seu experimento e registre aqui.

Questões Prévias:

- 1) Caso o comprimento de um pêndulo seja aumentado, o que ocorre com seu período? E se ele fosse encurtado, o que ocorreria? O que motivou sua resposta?
- 2) Quais fatores modificam o período de um pêndulo? O que motivou sua resposta?

Resultados

Seguindo as etapas descritas na metodologia, a seguir serão expostos os resultados para este experimento:

Cidade/localidade da pesquisa: Alfenas, Minas Gerais

Altitude: 882 m

Latitude: 21° 25' 46''Sul

Aceleração gravitacional do local (conforme o artigo): $g = 9,7836 \text{ m/s}^2$

Para este experimento optamos por um comprimento do fio $l = 0,5 \text{ m}$, o artefato foi montado na cozinha onde utilizamos a mesa para colocar o suporte do palito com a bolinha e colocamos o *fotogate* no chão para coletarmos os dados, conforme mostra a figura 03.

Seguindo a etapa 3, temos os seguintes resultados em tabela:

Tabela 7: Resultados dos valores dos períodos coletados no software *AUDACITY*, para a configuração de $\theta = 10^\circ$

$l \text{ (m)}$	Período 1 (s)	Período 2 (s)	Período 3 (s)	Período 4 (s)	Período 5 (s)	Média do Período (s)
$0,5 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,433	1,420	1,447	1,433	1,447	1,4360

Fonte: Acervo da autora.

Tabela 8: Resultado dos valores dos períodos coletados no software *AUDACITY*, para a configuração de $\theta = 30^\circ$

l (m)	Período 1 (s)	Período 2 (s)	Período 3 (s)	Período 4 (s)	Período 4 (s)	Média do Período (s)
$0,5 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,499	1,463	1,486	1,460	1,460	1,4736

Fonte: Acervo da autora.

Podemos também encontrar o valor para a frequência para os dois ângulos, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Valores dos Períodos e Frequência para os ângulos $\theta = 10^\circ$ e $\theta = 30^\circ$

Período ($\theta = 10^\circ$) = 1,4360 s	Frequência ($\theta = 10^\circ$) = 0,6964 s ⁻¹
Período ($\theta = 30^\circ$) = 1,4736 s	Frequência ($\theta = 30^\circ$) = 0,6786 s ⁻¹

Fonte: Acervo da autora.

Comparação entre os resultados:

Como podemos observar, os valores são próximos, mas ao analisar criteriosamente, há pequenas diferenças nos valores dos períodos coletados com o ângulo de 10° e 30° , sendo que para ângulos maiores o tempo é um pouco maior. Quando colocamos um ângulo de 30° , e o pêndulo começa a descrever um movimento circular maior, a excentricidade da elipse diminui. E com ângulos pequenos (10°), a excentricidade é maior, com valores próximos a 1.

Utilizando-se da equação (3), encontramos o valor da aceleração da gravidade local. O pêndulo foi abandonado de aproximadamente 10° por 5 vezes e o valor de l foi mantido. Para encontrar a aceleração gravitacional, rearranjamos a equação 3 e isolamos o g :

$$g = l \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

Tabela 10: Resultado para os valores dos Períodos e gravidade para os 5 eventos.

Eventos	Período (s)	g (m/s ²)
1	1,433	9,6125
2	1,420	9,7833
3	1,447	9,4274
4	1,433	9,6125
5	1,421	9,7755

Fonte: Acervo da autora.

Tabela 11: Resultado do tratamento matemático dos dados coletados

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Aceleração (m/s ²)	9,4274	9,7833	9,6422	0,1308

Fonte: Acervo da autora.

- **Cálculo da Média**

Para calcular a média usamos a seguinte equação:

$$(\bar{x}) = \frac{\sum x_i}{n}$$

Onde x_i é o valor individual

$$\bar{x} = \frac{9,6125 + 9,7833 + 9,4274 + 9,6125 + 9,7755}{5} = \frac{48,2112}{5} = 9,6422$$

- **Cálculo do Desvio Padrão**

Para calcular o desvio padrão utilizamos a seguinte equação:

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Onde x_i é o valor individual, \bar{x} a média dos valores e n o número de valores.

$$Dp = \sqrt{\frac{(9,6125 - 9,6422)^2}{5} + \frac{(9,7833 - 9,6422)^2}{5} + \frac{(9,4274 - 9,6422)^2}{5} + \frac{(9,6125 - 9,6422)^2}{5} + \frac{(9,7755 - 9,6422)^2}{5}}$$

$$Dp = \sqrt{\frac{(-0,0297)^2}{5} + \frac{(0,1411)^2}{5} + \frac{(-0,2148)^2}{5} + \frac{(-0,0297)^2}{5} + \frac{(0,1333)^2}{5}}$$

$$Dp = \sqrt{\frac{0,00088209}{5} + \frac{0,01990921}{5} + \frac{0,04613904}{5} + \frac{0,00088209}{5} + \frac{0,01776889}{5}}$$

$$Dp = \sqrt{0,000176418 + 0,003981842 + 0,009227808 + 0,000176418 + 0,003553778}$$

$$Dp = \sqrt{0,017116264}$$

$$Dp = 0,13082914$$

Tabela 12: Resultado para o valor da aceleração gravitacional local, calculado por meio do experimento e seu respectivo erro

Aceleração gravitacional do local (m/s^2)	$9,6422 \pm 0,1308$
Erro (e) percentual*	1,445%

Fonte: Acervo da autora.

Cálculo do erro em percentual

Para o cálculo do erro percentual utilizamos a seguinte equação:

$$e = \left(\frac{|g - \bar{g}|}{|g|} \cdot 100 \right) \%$$

Sendo $g = 9,7836 m/s^2$ a aceleração gravitacional do local onde o experimento foi realizado e o $\bar{g} = 9,6422 m/s^2$ a aceleração média encontrada nos 5 eventos realizados.

$$e = \left(\frac{|9,7836 - 9,6422|}{|9,7836|} \cdot 100 \right) \% = \left(\frac{|0,1414|}{|9,7836|} \cdot 100 \right) \% = (0,01445276 \cdot 100) \% \approx 1,445\%$$

Calculado a gravidade por meio do experimento do *fotogate* e o pêndulo, foi realizado uma comparação do valor da aceleração gravitacional local estabelecido na literatura (artigo) e o valor encontrado durante o experimento:

Tabela 13: Resultado da comparação do valor da gravidade encontrada no artigo e o valor calculado pelo experimento do *fotogate* e pêndulo.

Aceleração gravitacional (artigo)	$g = 9,7836 \text{ m/s}^2$
Aceleração gravitacional (experimento)	$g = (9,6422 \pm 0,1308) \text{ m/s}^2$

Fonte: Acervo da autora.

Atividade Complementar (Extra):

No Excel, foi construído o gráfico de T^2 (s^2) em função de l (m).

Para construção do gráfico, fixamos um ângulo $\theta = 10^\circ$, e variamos o comprimento do fio l de 10 em 10 centímetros e por meio do software *AUDACITY*, coletamos os valores do período para cada evento e calculamos o valor do período ao quadrado. Os dados obtidos se encontram na tabela 14.

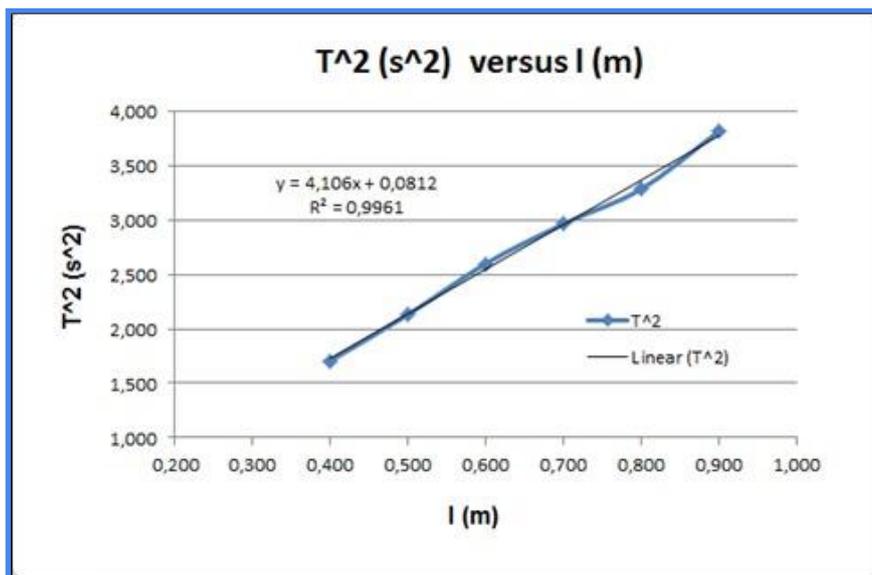
Tabela 14: Valores do comprimento, período e do período ao quadrado em 6 eventos diferentes.

l (m)	T (s)	T^2 (s^2)
$0,4 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,9532	3,81499024
$0,5 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,8124	3,28479376
$0,6 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,7218	2,96459524
$0,7 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,6122	2,59918884
$0,8 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,4598	2,13101604
$0,9 \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$	1,3062	1,70615844

Fonte: Acervo da autora.

Por meio dos dados da tabela 14, construímos um gráfico de l (m) em função de T^2 (s^2), conforme mostra a Figura 5.

Figura-05: Gráfico de $T^2(s^2)$ em função de $l(m)$ para o ângulo fixo $\theta = 10^\circ$.



Fonte: Acervo do autor

Considerações finais

Como podemos observar os resultados, os valores da tabela 13 são muito próximos e se considerarmos o erro, o valor encontrado para a gravidade pelo experimento do *fotogate* está de acordo com o valor descrito na literatura para Alfenas.

É necessário ressaltar que este experimento pode ser facilmente implementado durante as aulas de física no Ensino Médio, pois são materiais de fácil acesso e de baixo custo para o professor, além de ser usado tecnologias de informação e comunicação que valorizam, incorporam e deixa as aulas mais atrativas para os estudantes.

Referências

LOPES, W. **Variação da Aceleração da Gravidade com Latitude e Altitude**, Caderno Brasileiro Ensino Física, v. 25, n. 3:p. 561-568, dez. 2008. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n3p561/8450> Acesso em 05/12/2022.

BARRETO FILHO, B.; XAVIER, C. **Física aula por aula: Mecânica**, 1º ano, 3º edição. São Paulo: FTD, 2016.

BONJORNO, J. R.; CASEMIRO, R. **Física: Mecânica**, 1º ano, 3º edição. São Paulo: FDT, 2016.

Física conceitual [recurso eletrônico] / Paul G. Hewitt; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 12º edição, Porto Alegre: Bookman, 2015.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; Sears e Zemansky. **Física 1: Mecânica**, 12º edição, São Paulo: Ad-Adison Wesley (2008).

6.5.1 Questionário avaliativo experimento – Pêndulo Simples

Questionário de avaliação, feita pelos estudantes, referente a intervenção pedagógica com o experimento Pêndulo Simples (SD – 05)

**Obrigatório*

1. A montagem do experimento "Pêndulo Simples " foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil								

2. A execução do experimento "Pêndulo Simples" foi: *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Extremamente fácil	<input type="radio"/>	Extremamente difícil								

3. O experimento "Pêndulo Simples" contribui para sua compreensão sobre Movimento Harmônico Simples. *

Marcar apenas uma oval.

0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Nenhuma contribuição	<input type="radio"/>	Extrema contribuição								

4. Aponte aspectos negativos relacionados a realização do experimento "Pêndulo Simples" em sala de aula. *

5. Aponte aspectos positivos relacionados a realização do experimento "Pêndulo Simples" em sala de aula. *

6. Aponte sugestões para melhorar à realização do experimento "Picket Fence" em sala de aula. *

Observação

Todas as sequências apresentadas anteriormente, total de cinco, foram testadas pela autora e aplicadas durante intervenções pedagógicas em sala de aula. É importante ressaltar, que em escolas em que há uma dificuldade maior de aprendizagem, os experimentos podem ser adaptados à realidade dos estudantes, evitando um tratamento estatístico mais elaborado.

6.6 ARTIGOS E CAPÍTULOS DE LIVRO PRODUZIDOS DURANTE A REALIZAÇÃO DESTA PESQUISA

Esse produto rendeu alguns trabalhos como artigos e capítulo de livro que foram publicados, além de resumos expandidos e apresentações em eventos. A seguir, poder se ver algumas dessas contribuições:

- **Capítulo de Livro:**

Título: O uso de práticas experimentais na formação de professores em tempos de pandemia: uma proposta de ensino que contempla a construção e utilização do *fotogate* para o estudo do movimento. In: Reginaldo Peixoto. (Org.). Formação inicial e continuada de professores: políticas e desafios. 1 edição. CURITIBA: Bagai, 2020, v. 1, p. 108-120

Disponível em <https://doi.org/10.37008/978-65-87204-37-6.02.9.20>. Acessado: 26/08/2022

- **Trabalhos publicados em anais de congressos:**

Título: O uso da modelagem matemática para desenvolver e validar um aparato experimental em aulas de Física na Engenharia. In: VIII Semana de Engenharia do Maranhão, 2020, São Luís-MA. ISBN: 978-65-88243-23-7

Disponível em <https://www.even3.com.br/anais/viiiisengema/270744-o-uso-da-modelagem-matematica-para-desenvolver-e-validar-um-aparato-experimental-em-aulas-de-fisica-na-engenharia/>. Acessado: 26/08/2022

Título: Uso da modelagem matemática para o desenvolvimento e validação de um aparato experimental para aulas de Física. In: Congresso Internacional de Educação e Tecnologias / Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância, 2020, São Carlos. CIET:EnPED:2020.

- **Resumos expandidos:**

Título: O uso de sequências didáticas para aprimorar e validar um *fotogate* de baixo custo. In: VI Simpósio Integrado Unifal - Universidade, Ciência e Sociedade, 2020, Alfenas.

Disponível em: <https://sistemas.unifal-mg.edu.br/app/caex/comum/paginas/consultaAnais.php?preae=4780>. Acessado em 26/08/2022.

- **Apresentações de trabalhos:**

Título: O uso de sequências didáticas para aprimorar e validar um *fotogate* de baixo custo. 2020. VI Simpósio Integrado Unifal - Universidade, Ciência e Sociedade, 2020, Alfenas.

Título: Uso da modelagem matemática para o desenvolvimento e validação de um aparato experimental para aulas de Física. Congresso Internacional de Educação e Tecnologias / Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância, 2020, São Carlos.

Título: O ensino de Física através de práticas experimentais com aparatos de baixo custo: o uso do *fotogate* na abordagem de fenômenos relacionados ao movimento. I Encontro do MNPEF, Departamento de Física da Universidade Federal de Alfenas, 2021.

- **Premiação de melhores trabalhos:**

Menção honrosa na categoria apresentação de trabalho oral:

Título: O ensino de Física através de práticas experimentais com aparatos de baixo custo: o uso do *fotogate* na abordagem de fenômenos relacionados ao movimento. I Encontro do MNPEF, Departamento de Física da Universidade Federal de Alfenas, 2021.