

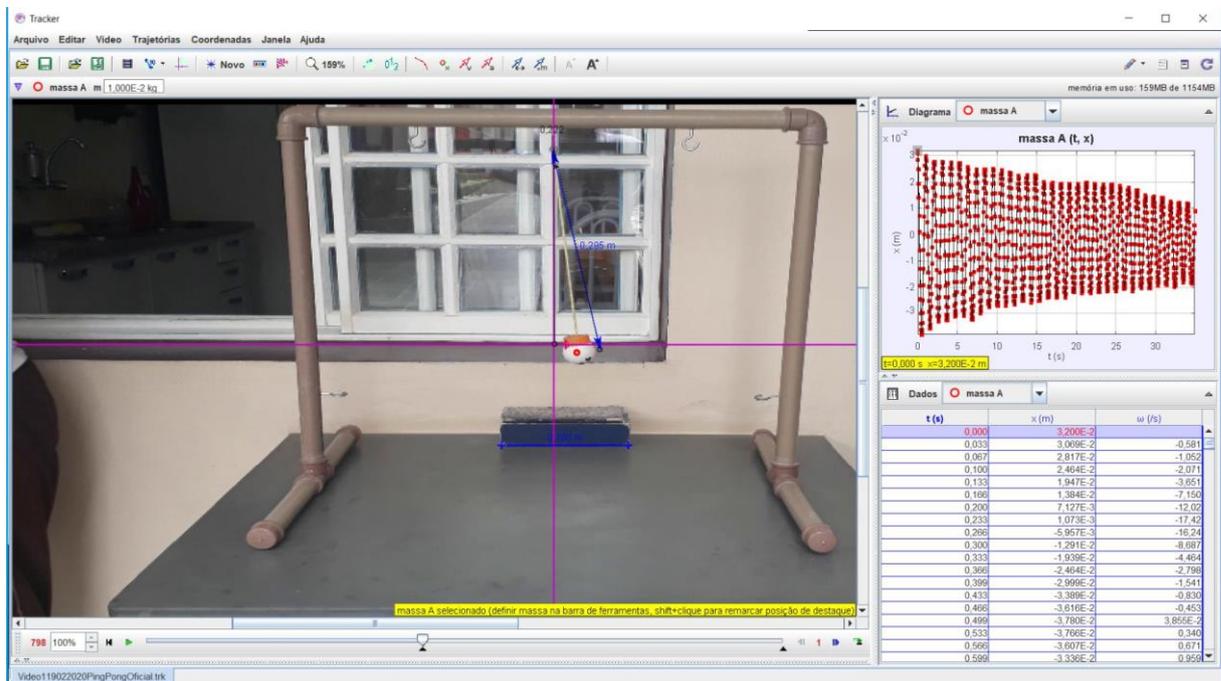
PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufisf** Sorocaba

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

ROTAÇÃO POR ESTAÇÕES PARA O TRATAMENTO DO MOVIMENTO OSCILATÓRIO NO ENSINO MÉDIO



L. F. de Toledo Júnior e J. A. Souza

Sorocaba - SP
Abril de 2021

Prefácio

O afastamento social decorrente da pandemia do Novo Coronavírus (COVID-19) nos fez repensar, no ano de 2020, o papel de ser professor e de como ensinar Física. Nós, professores e alunos, tivemos que reaprender a nos relacionarmos através de ferramentas digitais adaptando conteúdos, avaliações e o tempo de aula em um contexto completamente remoto para que o ensino, de maneira geral, não parasse.

Neste sentido, preparamos este produto educacional para auxiliar o professor nos novos desafios que o ensino remoto oferece no que concerne o ensino de Física. Nós tentamos conciliar a matemática, através da modelagem de um sistema simples, a experimentação e o uso de Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação (TDIC) para obter o melhor rendimento possível dos alunos neste novo cenário, utilizando o movimento oscilatório como tema norteador da proposta. Para realizar o gerenciamento das atividades remotas nós utilizamos o Formulários Google (*Google Forms*).

Para a personalização da aprendizagem dos alunos e transmissão do conteúdo nós optamos pelo modelo de *Rotação por Estações* que faz parte da metodologia do *Ensino Híbrido*. Este teve que ser adaptado, naturalmente, para o ensino remoto. Nosso material didático consiste de três estações: na *primeira estação* exploramos o movimento de um pêndulo simples utilizando um simulador da plataforma PhET; na *segunda estação* analisamos teoricamente o movimento de um pêndulo ideal para obtenção de uma expressão matemática que permita a determinação da aceleração da gravidade local; na *terceira estação* uma atividade experimental, composta pela montagem de um pêndulo simples utilizando materiais de baixo custo, é explorada para ser conduzida pelo próprio aluno em sua residência. Nesta o aluno poderá analisar o movimento do pêndulo através de vídeo análise com o software *Tracker*.

Com este material o aluno poderá verificar vários conceitos como movimento harmônico simples e amortecido comparando sistemas ideais e reais com boa aproximação, relacionando a Física estudada na escola com o seu cotidiano, além de poder trabalhar competências e habilidades através do uso de softwares, vídeos, experimentos, escrita e trabalho em grupo.

Pretendemos, portanto, auxiliar e incentivar os professores a implantarem a metodologia do Ensino Híbrido, motivá-los a utilizar as TDIC e outras ferramentas que possam promover a melhoria do ensino de Física mesmo em um contexto completamente remoto.

Para dúvidas ou informações adicionais, envie um e-mail para
proflaerciojunior@gmail.com

Os autores.

Este material foi produzido no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da
Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba (PROFIS-So)
Sorocaba, abril de 2021

SUMÁRIO

1. FORMULÁRIOS GOOGLE	1
2. CONTEÚDO DE FÍSICA	5
2.1. O que é um Pêndulo?	5
2.2. O Pêndulo Simples e o Movimento Harmônico	7
2.2.1. Movimento Harmônico Amortecido	13
3. QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	15
4. ESTAÇÕES	15
4.1. Estação 1 – Simulador PhET	15
4.2. Estação 2 – A Física do Pêndulo.....	17
4.3. Estação 3 – Sistema Amortecido	18
REFERÊNCIAS	24
ANEXO A: QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	25
ANEXO B: ESTAÇÃO 1 – SIMULADOR PHET	27
ANEXO C: ESTAÇÃO 2 – A FÍSICA DO PÊNDULO	35
ANEXO D: ESTAÇÃO 3 – SISTEMA AMORTECIDO.....	42

1. FORMULÁRIOS GOOGLE

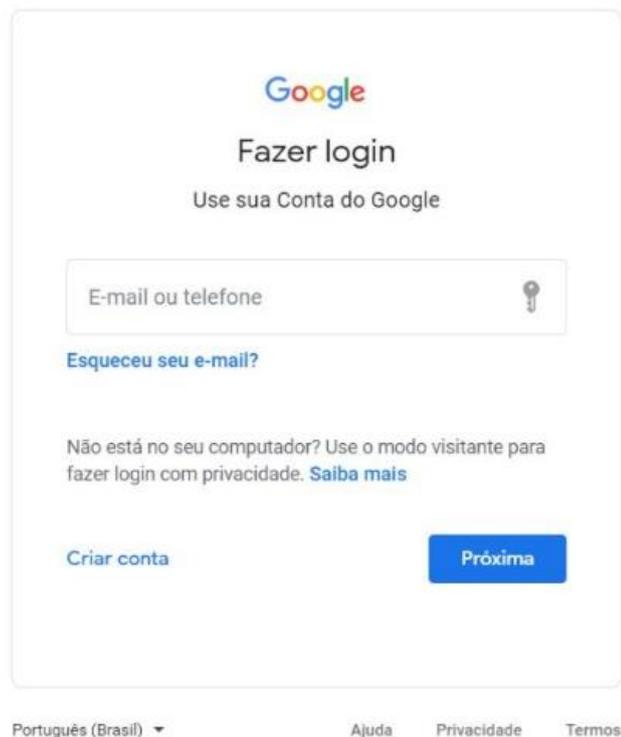
Todas as atividades propostas neste produto educacional foram postadas na plataforma gratuita *Formulários Google*, para que a mesma seja aplicada remotamente.

O *Formulários Google (FG)* ou *Google Forms* é uma ferramenta gratuita utilizada para elaboração de formulários on-line. Com esta é possível coletar e organizar informações através dos dados obtidos dos formulários. A ferramenta permite a criação de formulários para vários tipos de pesquisas, inscrições para eventos, enquetes, coleta de e-mail, questionários ou realização de provas a distância (GOOGLE, 2020), o que é muito útil neste momento de pandemia do Coronavírus (COVID-19). O FG possui várias opções para personalização do formulário, inclusive com modelos prontos, permitindo a inclusão de imagens, vídeos, opções de perguntas de múltipla escolha à listas suspensas, adição de novos títulos ou seções, permitindo um visual muito interessante. A interação com o usuário é bem flexível e os formulários podem ser preenchidos através de um computador, tablet ou smartphone.

Após confeccionados, os formulários podem ser enviados por e-mail através de um link ou incorporado em uma página da internet ou mesmo compartilhado nas páginas do Facebook ou Twitter. As respostas dos formulários são catalogadas de forma organizada e automática com informações e dados inseridos no gráfico em tempo real. Há ainda as opções de *Feedback* para respostas certas ou erradas, envio de e-mail com a pontuação das questões, notificações de novos formulários preenchidos, possibilidade de download ou impressão das respostas.

A escolha do FG para o desenvolvimento deste trabalho se deu em função de ser gratuita, ideal para escolas que ainda não tem uma plataforma digital, por ser de fácil manuseio e configuração, permitir várias opções de respostas e facilitar a aquisição de dados fornecidos pelo formulário preenchido pelo estudante. Todas estas características podem contribuir para nortear a personalização do aprendizado dos alunos. O uso do FG também pode contribuir significativamente para melhorar o trabalho remoto do professor, cada vez mais presente nas escolas, devido a pandemia de COVID-19.

Para construir um formulário na plataforma FG não é necessário conhecer linguagens computacionais, este pode ser feito de modo simples e rápido. Para iniciar é necessário ter uma conta *G-mail* para efetuar o *login* na tela inicial da plataforma, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1: Página de login do Formulário Google.

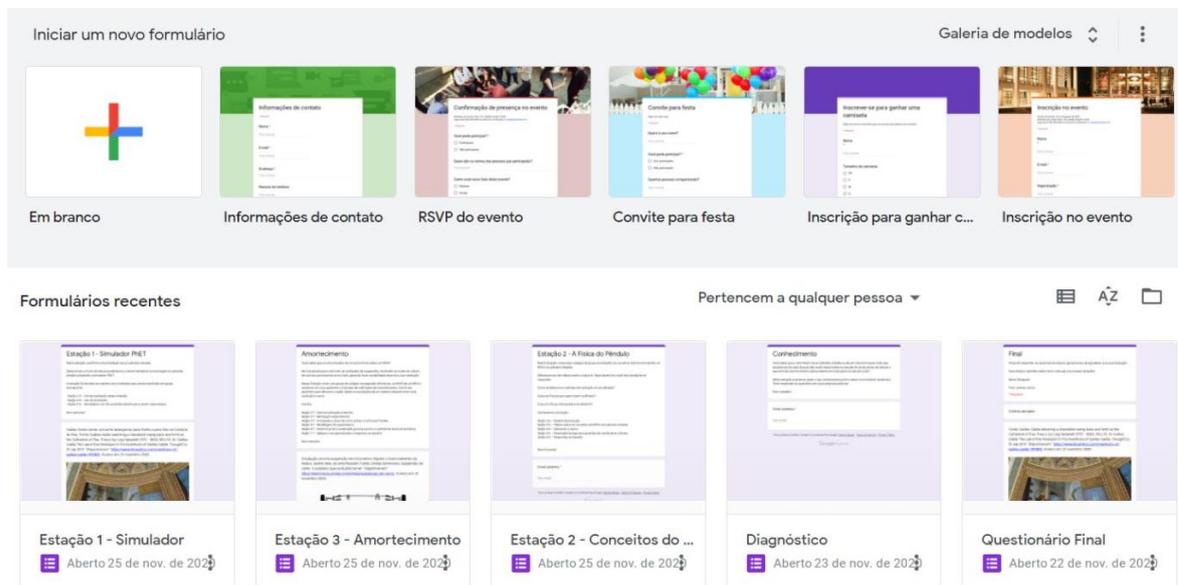
Fonte: Elaborado pelo autor.

Feito o *login*, aparecerá a página inicial da plataforma com os links para iniciar um formulário em branco, ou outros modelos da galeria, e os formulários utilizados recentemente (figura 2). Feita a opção, clique no modelo escolhido para iniciar a construção das questões e informações do novo formulário.

A tela do formulário é iniciada com uma seção e uma questão, mostrando campos para serem preenchidos e ferramentas para personalizar o layout, visualizar como está a estrutura do formulário, configurações, botão para enviar o formulário e outras opções, como realizar download ou impressão do modelo construído. Na figura 3 são apresentadas cada uma destas opções.

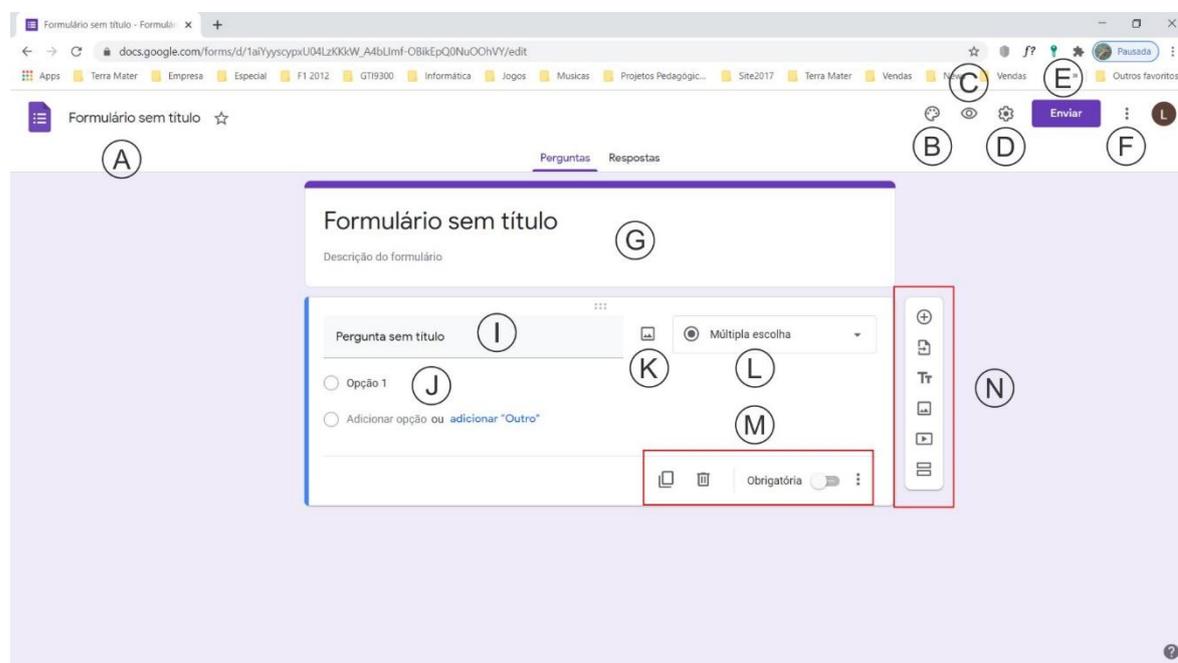
O formulário utilizado na nossa proposta foi construído com o layout básico. Apresentamos a seguir os campos principais do formulário, deixando as personalizações por conta do leitor. Inicialmente é necessário criar um nome para o formulário. Para isso, é só clicar sobre a opção *Formulário sem título* no canto superior esquerdo (figura 3 A) e digitar um nome arbitrariamente. O segundo passo é fazer algumas configurações do formulário clicando em configurações (figura 3 D).

Figura 2: Página inicial do Formulário Google com os links para iniciar um formulário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3: (A) Tela do Formulário Google indicando os campos a serem preenchidos e as ferramentas para personalizar o layout (B), visualizar como está a estrutura do formulário (C), configurações (D), botão para enviar o formulário (E) e outras opções de F a N descritas na própria página.

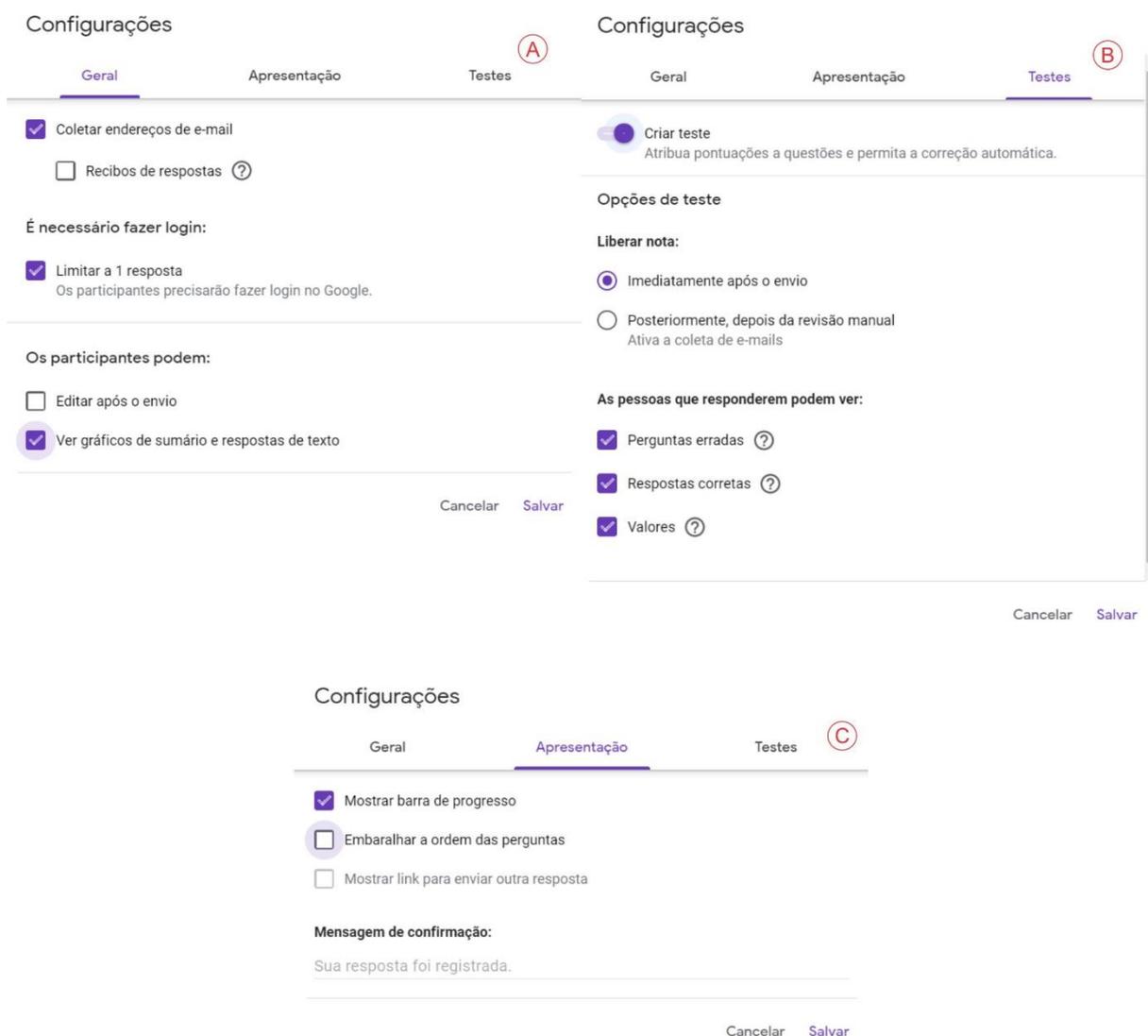


Fonte: Elaborado pelo autor.

A configuração *Geral* diz respeito ao usuário que preencherá o formulário, veja figura 4 (A). Deixamos selecionados os itens *coletar o endereço de e-mail* para poder enviar um feedback aos alunos sobre as informações obtidas ou agradecer a participação dos mesmos,

limitar a 1 resposta e ver gráficos de sumário e respostas de texto para que o usuário, ao final de tudo, possa ter um retorno imediato do seu desempenho.

Figura 4: Janela de configurações do Formulários Google. (A) Configurações do usuário final. (B) Configuração relacionada à pontuação e *feedback* do formulário. (C) Configuração de progresso para indicar o andamento do preenchimento do questionário pelo usuário final.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A configuração *Teste*, figura 4 (B), está relacionada à pontuação e ao feedback do formulário. Selecionamos os seguintes itens: *Criar teste*, para atribuição de pontos de cada questão e para que a correção do formulário seja automática; *Liberar nota*, para enviar imediatamente o resultado obtido pelo usuário final; *Perguntas erradas*, *Perguntas corretas* e *Valores* que indicam, respectivamente, as respostas incorretas, as certas e o total de pontos obtidos no respectivo formulário. Por fim, na configuração *Apresentação* (figura 4 C) deixamos

selecionado apenas o item *Mostrar barra de progresso* para indicar o andamento do preenchimento do questionário pelo usuário final. Após realizadas, as configurações devem ser salvas. Para isso basta clicar no botão *Salvar* e o formulário estará pronto para ser utilizado como uma avaliação, por exemplo.

A construção do questionário pode ser feita de maneira simples. Na seção inicial, figura 3 (G), no campo *Formulário sem título* é inserido o nome do formulário que será visto pelo usuário final e, no campo *Descrição do formulário*, podem constar orientações para o seu preenchimento. A questão deverá ser preenchida no campo *Pergunta sem título*, figura 3 (I), e as opções de respostas são definidas pela lista suspensa *Múltipla Escolha* (figura 3 L). A lista oferece várias opções de formatação como *resposta curta*, *parágrafo*, *múltipla escolha*, *caixa de seleção* entre outros. Caso não tenha escolhido as duas primeiras opções, será necessário digitar as alternativas na caixa *Opção 1*, figura 3 (J). Existem ainda as opções de *Duplicar a pergunta*, *Deletar a pergunta* e torná-la *Obrigatória*. Estas opções estão ilustradas na figura 3 (M). Feito isso a primeira questão do formulário estará pronta e salva, pois a plataforma realiza este procedimento automaticamente para qualquer modificação feita no formulário. Para inserir uma nova questão, basta clicar no símbolo (+), que está dentro de uma circunferência conforme indicado na figura 3 (N) e iniciar todo o processo novamente.

2. CONTEÚDO DE FÍSICA

Nesta seção são abordados os conceitos de Física relacionados ao estudo do movimento oscilatório utilizando um pêndulo simples e que podem ser tratados com o nosso produto educacional.

2.1. O que é um Pêndulo?

Um pêndulo é um sistema constituído de um corpo de massa m suspenso por um fio de comprimento L , inextensível e massa desprezível preso em um ponto fixo (PF) de forma que possa oscilar livremente sob a influência da gravidade. A palavra pêndulo é derivada do latim “*pendulus*”, que significa “pendurado”. Pêndulos foram utilizados em muitas aplicações científicas históricas, desde a medição do tempo e dos efeitos da gravidade à demonstração do movimento rotacional da Terra, e ainda hoje são utilizados em várias aplicações tecnológicas

como em relógios, sistemas de alarmes de carro, instrumentos sismográficos, etc. Existem diferentes tipos de pêndulos como o pêndulo simples, o pêndulo cônico, o pêndulo de Foucault, o pêndulo físico, o pêndulo dublo, o pêndulo de torção, entre outros.

Um pêndulo simples é um pêndulo ordinário, cujo movimento de oscilação é confinado a um único plano. Apesar de seu movimento ser visivelmente desenvolvido em duas dimensões através de um arco, este possui apenas um grau de liberdade. Este pêndulo é usualmente utilizado para fins didáticos para o cálculo da aceleração da gravidade da Terra através da medida do seu período de oscilação, considerando o regime de pequenas oscilações. Neste trabalho exploramos o movimento oscilatório utilizando como experimento um pêndulo simples.

Um pêndulo cônico possui a mesma configuração de um pêndulo simples, diferenciando-se apenas na maneira como a massa suspensa se movimenta. Em vez de balançar para a frente e para trás, a massa de um pêndulo cônico descreve uma trajetória circular a uma velocidade constante, com o fio que sustenta a massa traçando a figura de um cone com vértice no ponto fixo. Este foi estudado pela primeira vez pelo cientista inglês Robert Hooke em torno de 1660 como um modelo para movimentos orbitais de planetas. Posteriormente, em 1673, o seu movimento foi explorado por Christiaan Huygens, que calculou o seu período de oscilação utilizando o conceito de força centrífuga. Mais tarde este foi utilizado como elemento de cronometragem em relógios mecânicos e outros dispositivos.

O pêndulo de Foucault é composto por uma massa relativamente grande suspensa por um fio longo de maneira que o seu plano de oscilação não é confinado a uma direção particular como no pêndulo simples, ou seja, apesar deste também oscilar em duas dimensões, ele possui dois graus de liberdade. Este pêndulo foi primeiramente desenvolvido por Jean Bernard Leon Foucault em 1851, utilizando o mesmo como a primeira demonstração do movimento de rotação da Terra sem a necessidade de observações astronômicas.

Um pêndulo físico consiste de qualquer corpo rígido que oscila como um pêndulo em torno de um eixo horizontal fixo que passa por qualquer ponto do corpo que não seja o seu centro de massa. Um exemplo típico deste tipo de pêndulo é um quadro pendurado por um único ponto fixo na parede e colocado para oscilar. Neste caso o pêndulo não pode ser modelado como uma massa pontual presa na extremidade de um fio. Isso significa que a sua distribuição de massa precisa ser levada em conta para a análise do seu movimento. A força gravitacional age no centro de massa do sistema, fornecendo a força restauradora que faz com que o objeto oscile. Um pêndulo físico pode ser utilizado, por exemplo, para descrever a dinâmica de corpos

rígidos através dos conceitos de torque, momento angular e momento de inércia, os quais são muito importantes para entender outras áreas da física.

O pêndulo duplo é formado por dois pêndulos simples, um acoplado ao outro. Este pêndulo é um excelente exemplo de sistema físico que pode exibir comportamento caótico e isso pode ser muito interessante para fins didáticos, uma vez que no mundo real nós estamos cercados por sistemas caóticos. O exemplo mais famoso deste tipo de sistema é o clima. Adicionalmente, este também pode descrever movimentos previsíveis em uma longa escala de tempo através dos modos normais de oscilação.

O pêndulo de torção, também conhecido como balança de torção, consiste de um disco suspenso por um fio preso no centro do mesmo. O seu movimento é caracterizado pela torção do fio, que provoca um torque restaurador, causando a rotação do disco. Dizemos que este pêndulo executa oscilações torcionais em uma frequência fixa, dependendo apenas do torque do fio, que é constante, e do momento de inércia do disco. O pêndulo de torção é um instrumento excepcionalmente sensível na determinação de uma quantidade variada de fenômenos naturais, como a lei da repulsão eletrostática, fornecendo também os meios para medir precisamente algumas das constantes fundamentais da física, como a constante gravitacional.

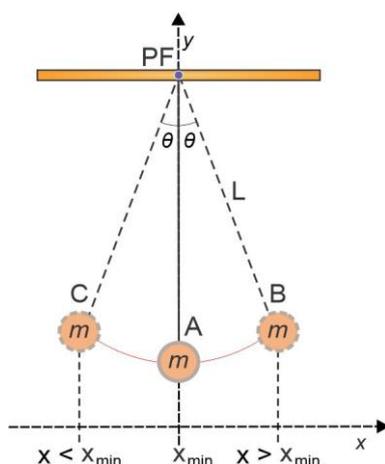
Pelo movimento e a configuração do pêndulo de torção, nota-se que a palavra pêndulo remete a uma situação mais geral que uma massa pendurada executando um movimento periódico sob o efeito da gravidade. Os diferentes tipos de pêndulos que podem ser criados mostram que outras formas de força restauradora podem surgir. Este movimento periódico, caracterizado por um período e uma frequência bem definidos, e que pode ser observado em uma variedade de sistemas oscilatórios é chamado de *Movimento Harmônico*. Este foi explorado em nosso trabalho utilizando-se apenas um pêndulo simples.

2.2. O Pêndulo Simples e o Movimento Harmônico

Um pêndulo simples, ou pêndulo plano, possui a mesma configuração que foi dada na seção anterior quando definimos o que é um pêndulo, veja figura 5.

Supondo que o fio que sustenta o corpo de massa m permaneça sempre esticado e seja inextensível, a distância entre o ponto de apoio (PF) e a massa será sempre dada pelo comprimento L do fio. Na execução de seu movimento, a massa se desloca de um ângulo θ em relação a sua posição inicial dada por x_{min} .

Figura 5: Representação de um pêndulo simples com uma massa m suspensa por um fio inextensível de comprimento L se deslocando de um ângulo θ em relação ao ponto de equilíbrio estático A (x_{min}).



Fonte: Elaborado pelo autor.

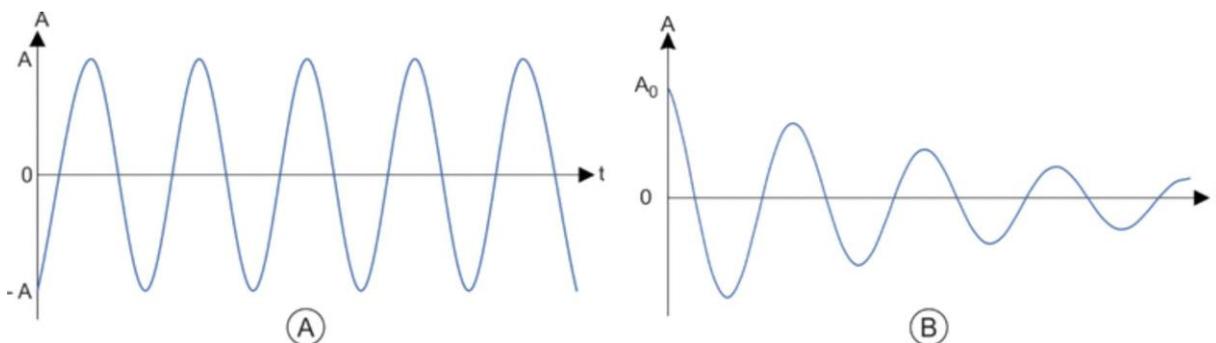
Nesta configuração que estamos apresentando o pêndulo simples é um sistema ideal, pois não estamos considerando nenhuma dissipação de energia ocasionada pelo atrito do ar, pela fricção no PF , produção de som, etc. Isso significa que a energia total do sistema, ou seja, sua energia mecânica, se conserva ao longo do tempo, fazendo com que o movimento do corpo m fique oscilando por tempo indeterminado mantendo sempre a mesma amplitude, frequência e período. Nesta situação, temos o que chamamos de *Movimento Harmônico Simples (MHS)*.

Se considerarmos alguma dissipação neste sistema, devido ao atrito do ar, por exemplo, dizemos que o movimento do pêndulo se torna amortecido, pois em algum momento ele cessará o seu movimento. Nesta nova configuração a energia do sistema não será mais conservada como no caso anterior, ou seja, a energia inicial do sistema vai sendo dissipada pela sua conversão em outras modalidades, ocasionando aumento da temperatura em alguns pontos do sistema e até mesmo som. Como a energia inicial do sistema é limitada, o sistema irá parar na sua posição de equilíbrio estável x_{min} , quando toda essa energia tiver sido dissipada (convertida).

Na figura 6 são apresentados dois gráficos da amplitude A do movimento do pêndulo em função do tempo t , mostrando que para o sistema ideal (figura 6 A) a evolução do mesmo se dá com uma amplitude constante, uma frequência e conseqüentemente um período bem definido. Como já descrito, neste caso temos um MHS. Já na figura 6 (B) nota-se que a amplitude do movimento diminui com o tempo, deixando evidente que existe dissipação de energia. Este movimento é classificado usualmente como um *Movimento Harmônico Amortecido (MHA)*. O MHA está presente no nosso cotidiano como no caso de uma criança ao receber um impulso em um balanço ou quando puxamos um galho de árvore e o soltamos.

Nestes dois exemplos o sistema, balanço ou galho, irá oscilar até cessar o seu movimento, como no gráfico da figura 6 (B).

Figura 6: (A) MHS - Sistema ideal sem dissipação de energia e com a amplitude constante durante o tempo. (B) MHA - Sistema amortecido, onde a amplitude vai diminuindo em função do tempo.



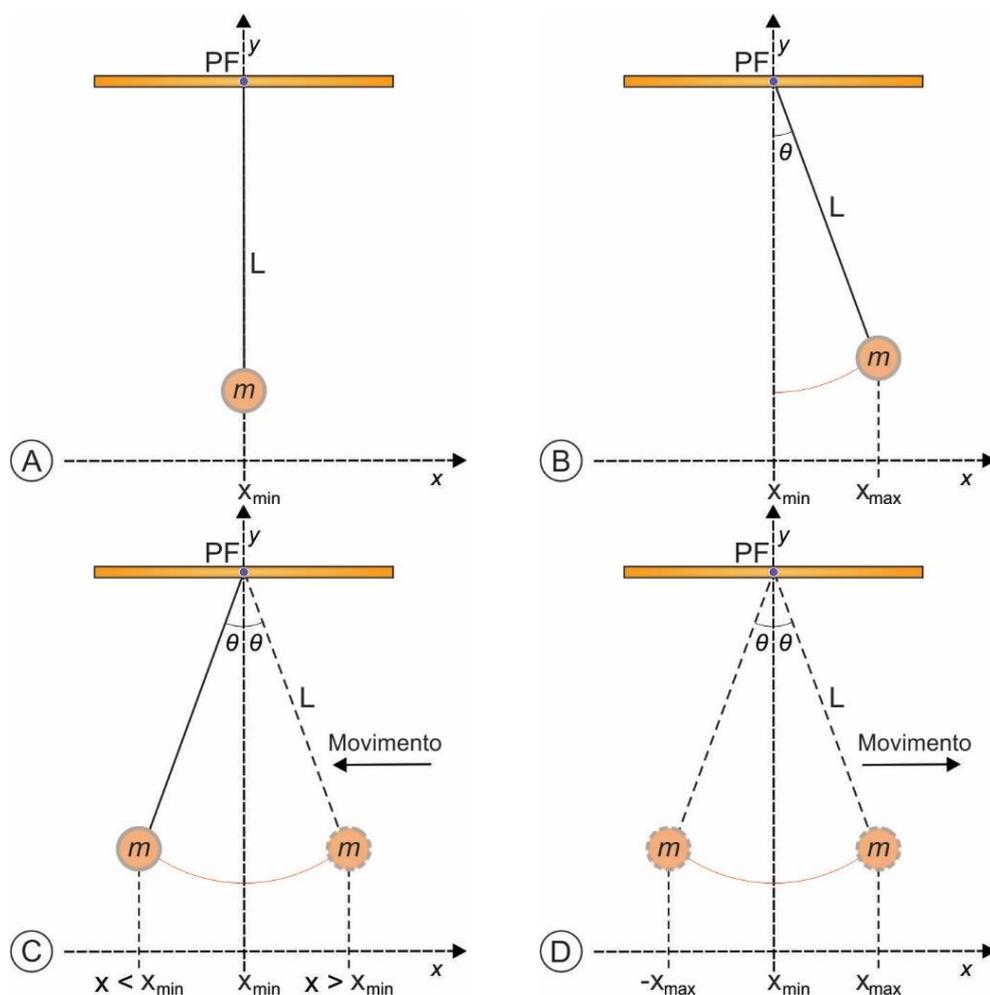
Fonte: Elaborado pelo autor.

Experimentalmente, como no caso do pêndulo simples, sempre observaremos o MHA em vez da situação ideal dada pelo MHS, a não ser que o sistema seja forçado, para compensar a dissipação de energia. Contudo, se colocarmos o pêndulo para oscilar no regime de pequenas oscilações, considerando um corpo de material denso, como uma chumbada de pesca ou uma bolinha de rolamento feita de aço, por exemplo, de modo que o atrito do ar não interfira significativamente em seu movimento, as oscilações do pêndulo terão um período bem definido por um longo intervalo de tempo, de maneira que podemos considerar que o pêndulo executa um MHS neste intervalo de tempo. Esta é a consideração experimental que fazemos para utilizar a aproximação dos resultados obtidos teoricamente para o pêndulo ideal, em comparação com os mesmos obtidos experimentalmente.

Para iniciar um movimento oscilatório é necessário um impulso ou um puxão, ou seja, as oscilações são iniciadas quando o sistema é perturbado, fazendo com que o mesmo saia de sua posição de equilíbrio estável (TIPLER, 1995). Essa posição é muito importante, porque um sistema oscilatório sempre tende a retornar à mesma quando toda sua energia é dissipada. Isso significa que o ponto de equilíbrio estável desse tipo de sistema é o ponto de menor energia possível. Isso justifica também o fato de um sistema oscilante, como a massa m do pêndulo formando um ângulo com a vertical, realiza o seu movimento em torno da sua posição de equilíbrio estável. Na figura 7 são apresentadas diferentes posições de um pêndulo durante o seu movimento oscilatório.

Daqui para frente os deslocamentos máximos de m , dados por x_{max} e $-x_{max}$ na figura 7, serão substituídos por A e $-A$, respectivamente. O valor de $x = A$ é a amplitude do movimento do pêndulo.

Figura 7: (A) Pêndulo na posição de equilíbrio estável x_{min} . (B) Pêndulo na posição $x > x_{min}$ formando um ângulo θ com a vertical localizada em x_{min} . (C) Pêndulo se deslocando da posição $x > x_{min}$, passando pela posição de equilíbrio estável e chegando à posição $x < x_{min}$. A amplitude do movimento é dada pelo valor máximo de x , denotada nesta figura por x_{max} .



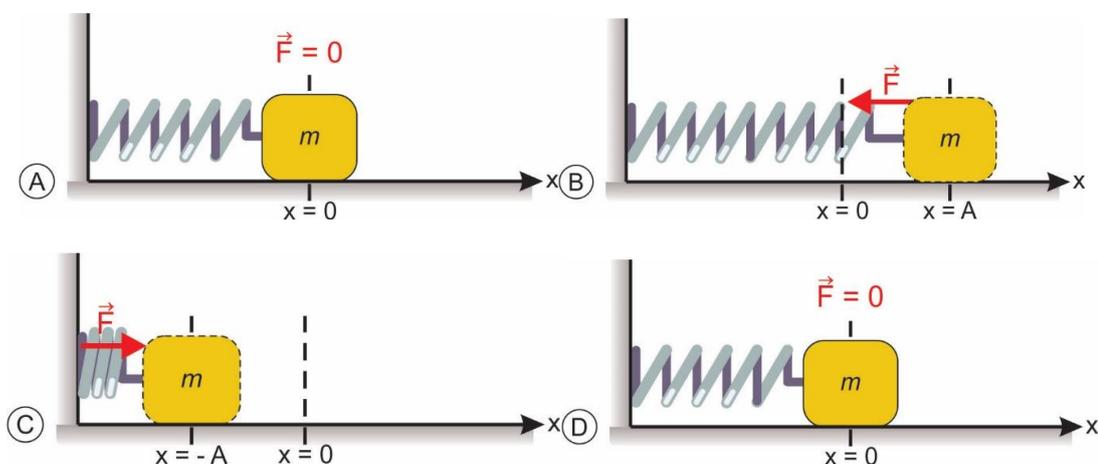
Fonte: Elaborado pelo autor.

A tendência do pêndulo realizar o movimento oscilatório ocorre devido a ação de uma força, chamada de força restauradora. Esta recebe este nome porque ela está sempre agindo no corpo de massa m no sentido de restaurar a sua posição de equilíbrio estável. Antes de identificarmos esta força no pêndulo vamos fazer uma análise de um sistema massa-mola, que é semelhante ao pêndulo e também possui apenas um grau de liberdade, neste caso dado pelo deslocamento x . Escolhemos analisar primeiramente este sistema porque ele é mais simples,

uma vez que o vetor força que age no corpo de massa m está na mesma linha de movimento deste, como ilustrado na figura 8. No caso do pêndulo a força restauradora será dada por uma projeção da força peso, com dependência do ângulo θ .

A partir do momento em que um corpo de massa m preso à mola de constante k é deslocado da sua origem, $x = 0$, até sua amplitude $x = A$, a força restauradora está agindo sobre ele tentando restaurar o corpo à sua posição de equilíbrio estável, ou de menor energia, $x = 0$. A origem desta força restauradora neste sistema é devido a mola. Na posição $x = 0$ a força é nula e nas amplitudes $x = \pm A$ ela é máxima. De maneira geral, em sistemas oscilatórios a força restauradora é sempre contrária ao deslocamento do corpo no qual a força está agindo, como ilustrado nas figuras 8 (B) e 8 (C).

Figura 8: (A) Corpo de massa m preso a uma mola, localizado na sua posição de equilíbrio estável ($x = 0$) em que $\vec{F} = 0$. (B) Corpo deslocado até a posição $x = A$ com a força restauradora atuando na mesma direção e sentido contrário de seu movimento. (C) Após ser abandonado o corpo se desloca até o ponto $x = -A$, passando pela posição de equilíbrio estável, oscilando livremente sob a ação da mola. A força \vec{F} restauradora sempre atua sobre o corpo no sentido contrário de seu movimento. (D) Corpo retornando ao ponto de equilíbrio estável.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando $x_0 = 0$, como no exemplo da figura 8, a forma da força restauradora de um sistema massa-mola que realiza um MHS obedece a lei de Hooke dada por:

$$F(x) = -kx, \tag{1}$$

em que $k > 0$. É possível demonstrar que esta lei é mais geral, sendo uma boa aproximação para qualquer sistema que realiza um movimento oscilatório no regime de pequenas oscilações. É por esta razão que a lei de Hooke e consequentemente o tão famoso oscilador harmônico simples são tão importantes na Física.

Vamos considerar o sistema massa-mola apresentado na figura 8 para entender melhor o significado da equação (1). Neste sistema a constante $k > 0$ se refere às propriedades da mola. Como esta constante é positiva, a força que a mola exerce sobre a massa é sempre na direção contrária ao movimento desta, isso é justificado pelo sinal negativo na lei de força. É por isso que esta força é chamada de restauradora, pois tem a função de restaurar a posição de equilíbrio estável do sistema, neste caso $x = 0$.

A posição $x(t)$ da massa m com relação ao tempo é obtida pela resolução da equação diferencial dada pela segunda lei de Newton para massa constante, $F = ma$, de maneira que:

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi), \quad (2)$$

sendo A a amplitude do movimento, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ a frequência angular das oscilações livres do sistema massa-mola e ϕ é chamada de fase inicial. É interessante notar que a expressão para ω_0 é geral e pode ser utilizada para qualquer sistema oscilatório se movendo no regime de pequenas oscilações.

Como nós utilizamos o pêndulo simples para a discussão de oscilações em nosso trabalho, vamos determinar a frequência angular das oscilações livres do pêndulo simples. Pela figura 9 tem-se que a força restauradora $P_t = F_p$ do pêndulo simples é dada pela componente tangencial (P_t) da força peso $P = mg$, ou seja,

$$F_p = -mg \sin(\theta). \quad (3)$$

Como estamos analisando o movimento no regime de pequenas oscilações tem-se que $\sin(\theta) \approx \theta$. O valor do ângulo de oscilação pode ser escrito em função do comprimento do arco s que o pêndulo percorre, $\theta = \frac{s}{L}$, de maneira que a equação (3) pode ser escrita como:

$$F_p(s) = -\frac{mg}{L}s = -k_p s, \quad (4)$$

sendo $k_p = \frac{mg}{L} > 0$, a constante do pêndulo. Conseqüentemente, a frequência angular das oscilações livres do pêndulo $\omega_0^{(P)}$ é dada por:

$$\begin{aligned} \omega_0^{(P)} &= \sqrt{\frac{k_p}{m}} = \sqrt{\frac{mg}{mL}} \\ \therefore \omega_0^{(P)} &= \sqrt{\frac{g}{L}}. \end{aligned} \quad (5)$$

A frequência de oscilação real f do pêndulo, que é aquela que medimos no laboratório em Hertz (Hz), é dada por $f = \frac{\omega_0^{(P)}}{2\pi}$ de maneira que,

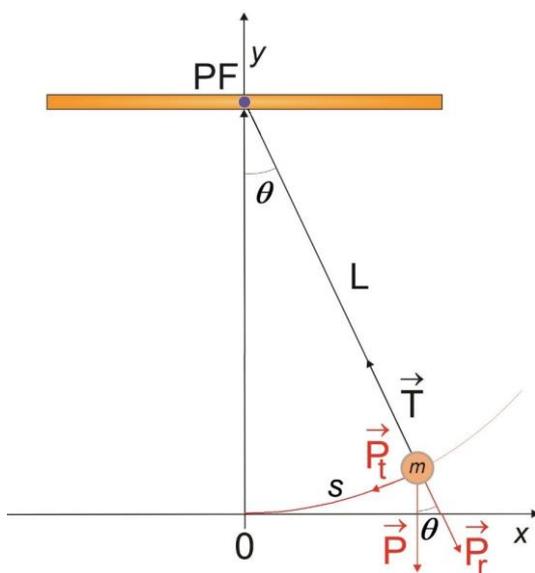
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}. \tag{6}$$

A partir desta expressão o aluno pode estimar o valor da aceleração da gravidade local medindo-se o período de oscilação do pêndulo $T = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ e o comprimento L do fio, ou seja,

$$g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L. \tag{7}$$

Esta é uma boa aproximação se o experimento for preparado de tal forma que o atrito do ar não interfira significativamente no movimento da massa m e que o mesmo seja executado no regime de pequenas oscilações.

Figura 9: Pêndulo simples mostrando a decomposição da força peso \vec{P} para a obtenção da força restauradora do sistema, dada por \vec{P}_t . Os parâmetros apresentados são o comprimento do fio L e o arco s percorrido pelo corpo de massa m em relação à posição de equilíbrio estável $x = 0$. A tração do fio é dada por $\vec{T} = -\vec{P}_r$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.1. Movimento Harmônico Amortecido

Quando um sistema oscilatório real, como um pêndulo simples, entra em movimento, este estará sujeito a ação de forças de amortecimento (\vec{F}_A). Estas são decorrentes do atrito entre o corpo e o ar, o fio e o ar e, também, entre o fio e o ponto fixo onde ele está preso. Estas são

responsáveis pela dissipação da energia mecânica do sistema, fazendo com que a amplitude do movimento diminua até o pêndulo parar totalmente no seu ponto de equilíbrio estável.

Para baixas velocidades, a força amortecedora é considerada empiricamente como sendo proporcional a menos a velocidade do corpo (KELLER, 1997), ou seja,

$$F_A = -bv \tag{8}$$

sendo $b > 0$ a constante ou coeficiente de amortecimento que depende da forma do corpo e do fluido onde ele está imerso. O sinal negativo indica que esta força tem sentido oposto à velocidade do corpo.

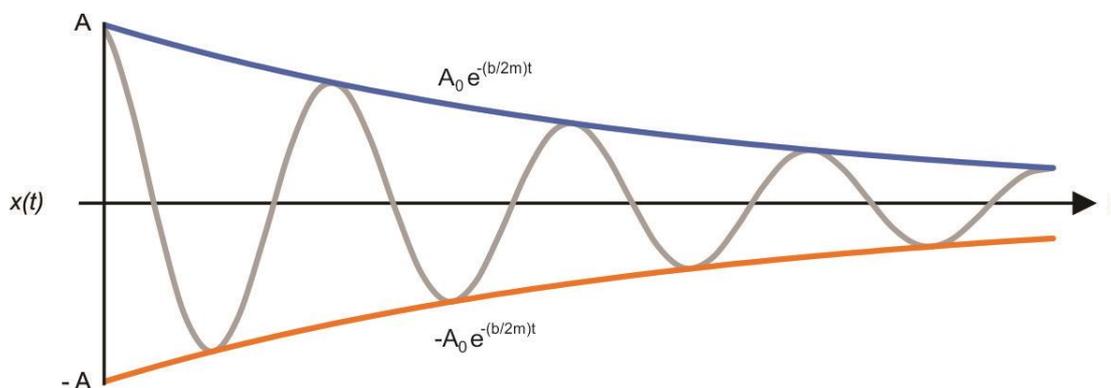
Considerando uma situação em que o amortecimento das oscilações livres do sistema ocorra lentamente, a posição do corpo oscilante em função do tempo pode ser escrita como (TIPLER, 1995):

$$x(t) = A_0 e^{-\frac{b}{2m}t} \cos(\omega t + \phi), \tag{9}$$

sendo $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{b}{2m}\right)^2}$. O termo $A_0 e^{-\frac{b}{2m}t}$ expressa o decaimento da amplitude com o tempo, sendo A_0 a amplitude máxima do pêndulo, ou seja, sua amplitude inicial. Na figura 10 apresentamos o gráfico da equação (9).

A discussão com os alunos ainda pode ser estendida considerando os três tipos de amortecimento existentes, subcrítico, crítico e supercrítico classificados pela relação entre ω_0 e b . No presente caso dado pela equação (9), em que consideramos $\omega_0 > b/2m$, temos o amortecimento subcrítico. Caso o professor ache conveniente, pode-se discutir também oscilações forçadas e o fenômeno da ressonância, considerando exemplos do cotidiano dos alunos.

Figura 10: Deslocamento da massa de um pêndulo amortecido em função do tempo, obtido da equação (9). Note que a amplitude do movimento vai diminuindo com o tempo como $A_0 e^{-(b/2m)t}$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3. QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Antes de apresentar as estações aos alunos, o professor pode optar por mapear o conhecimento prévio dos mesmos em relação ao tema escolhido, movimento oscilatório, utilizando um questionário diagnóstico. Como sugestão disponibilizamos um questionário que pode ser acessado pelo link:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmuO3eEu0-hB0zWXqKIE7Jh9JsWu38U1d4zbEULageec0sTg/viewform>

Como pode ser observado pelo link acima, o questionário diagnóstico sugerido foi confeccionado na plataforma *Formulários Google*.

O questionário foi elaborado com três seções. Na primeira, intitulada com o mesmo nome do questionário, é apresentada uma introdução sobre o movimento oscilatório por meio de algumas perguntas relacionadas ao seu cotidiano e informações sobre o que esperamos que ele desenvolva até o final do questionário. A segunda seção traz uma contextualização sobre o movimento oscilatório mostrando a sua importância e a sua aplicação no dia a dia do estudante, junto com uma imagem ilustrativa do referido movimento. Na última seção, denominada *Atividade Diagnóstica*, são apresentadas as questões para o estudante responder e mostrar o seu conhecimento prévio sobre o movimento oscilatório. Escolhemos a resposta curta como opção de resposta, parágrafo e múltipla escolha. No Anexo A é apresentado todo o conteúdo do questionário Diagnóstico.

A seguir apresentamos os detalhes de cada estação do nosso produto educacional.

4. ESTAÇÕES

Na *Rotação por Estações* o espaço da sala de aula é dividido em vários ambientes e cada um deles é preparado para diferentes práticas de aprendizagem. Um destes deve, obrigatoriamente, fazer uso do ambiente on-line.

4.1. Estação 1 – Simulador PhET

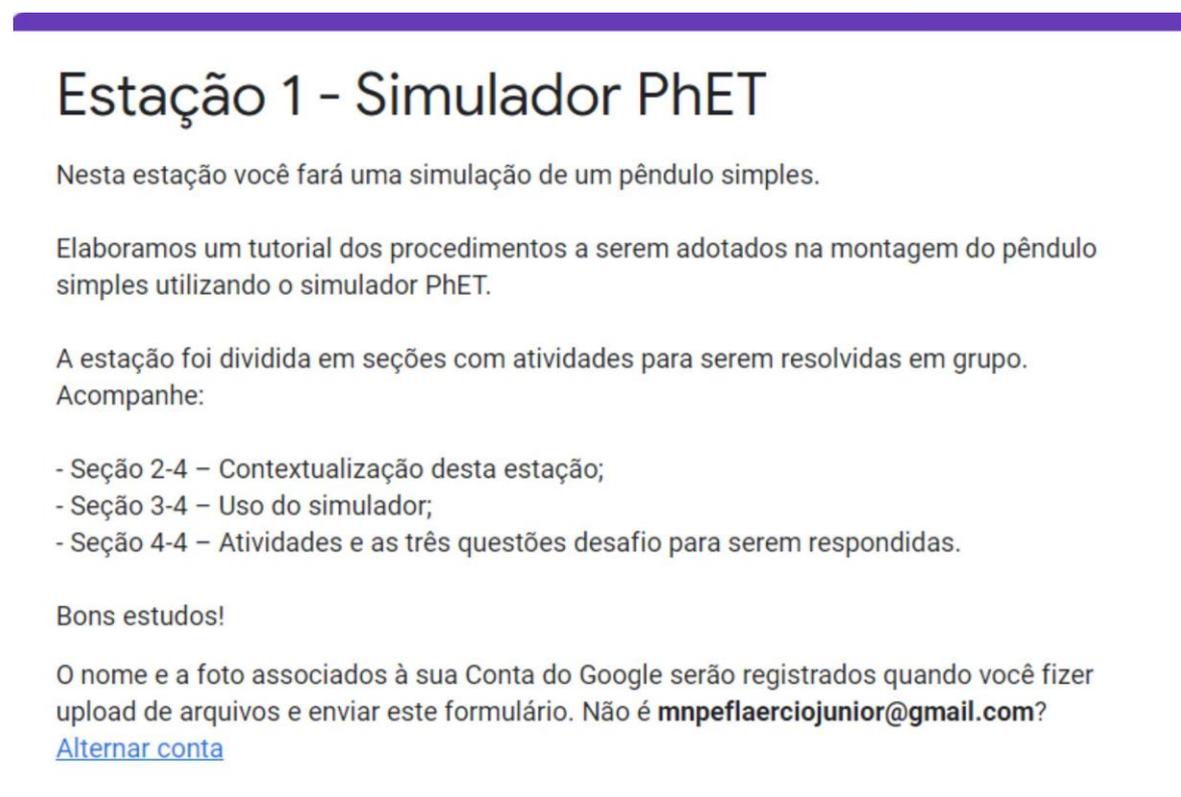
Nesta estação o estudante fará uso do simulador “*Laboratório do Pêndulo*” da plataforma PhET. O conteúdo desta estação pode ser acessado pelo link abaixo ou no Anexo B.

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf6hthpt4Ncta-x-VAkv2I2XZTSAFAM-QwdNTjF-EoGgMuzoQ/viewform>

O objetivo desta estação é proporcionar ao estudante a competência de compreender e utilizar tecnologias digitais e a habilidade de comunicar os seus resultados através de análises, pesquisas e/ou experimentos (BRASIL, 2017).

Esta estação foi elaborada com quatro seções. A primeira contém informações gerais sobre as atividades que o estudante encontrará dentro da estação, veja figura 11, e uma imagem de Galileu Galilei para indicar o contexto histórico da ciência. Na seção dois, *Contextualização*, inserimos o desafio da estação com uma situação problema que o estudante deverá resolver ao término das atividades. O objetivo desta atividade é verificar o aprendizado do estudante sobre o período do pêndulo simples e o conceito de dilatação térmica.

Figura 11: Seção com as informações sobre a Estação 1.



Estação 1 - Simulador PhET

Nesta estação você fará uma simulação de um pêndulo simples.

Elaboramos um tutorial dos procedimentos a serem adotados na montagem do pêndulo simples utilizando o simulador PhET.

A estação foi dividida em seções com atividades para serem resolvidas em grupo. Acompanhe:

- Seção 2-4 – Contextualização desta estação;
- Seção 3-4 – Uso do simulador;
- Seção 4-4 – Atividades e as três questões desafio para serem respondidas.

Bons estudos!

O nome e a foto associados à sua Conta do Google serão registrados quando você fizer upload de arquivos e enviar este formulário. Não é mnpeflaerciojunior@gmail.com?
[Alternar conta](#)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na terceira seção o estudante tem algumas atividades para serem resolvidas com o auxílio do simulador PhET. Foi elaborada uma introdução sobre a utilização de simulações em várias situações do cotidiano como simuladores empresariais, espaciais, têxteis, agrícolas, educacionais e, é claro, os simuladores que são transformados em jogos digitais. Também foi

organizado um tutorial para o estudante aprender a utilizar o simulador e, com suas observações, responder as questões desta seção. Este tutorial pode ser acessado através do link abaixo:

https://drive.google.com/file/d/1mR2uKollS7f1CvyXW2_na8SGMT1zc9_I/view?usp=sharing

A quarta e última seção desta estação é o momento em que o estudante responde às questões do desafio. Além dos conceitos físicos sobre o pêndulo simples, é necessário que o estudante tenha em mente o conceito de dilatação térmica. Os dados fornecidos pelo Formulário Google das respostas dos estudantes formam a base para o professor realizar a personalização do aprendizado propondo ao estudante outros vídeos, textos ou atividades para alcançar o aprendizado.

O papel do estudante nesta estação, de forma individual, é o de realizar a simulação e suas atividades, anotando suas observações teóricas no caderno. O professor deverá orientar sobre o uso do simulador, motivar o estudante no desenvolvimento das atividades e acompanhar as informações obtidas sobre as respostas das atividades para verificar se o estudante compreendeu os conteúdos envolvidos nesta estação.

4.2. Estação 2 – A Física do Pêndulo

Nesta estação, com seis seções, o estudante conhecerá os conceitos teóricos envolvidos no movimento de um pêndulo simples e o que faz com que o mesmo seja um MHS. Esta pode ser acessada pelo link abaixo ou no Anexo C:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScfRy7nbvDo4QqRqj1VTXJe5RfWuG1UyuQEJUbbHTDaHXiVLw/viewform>

Na primeira seção são relacionadas as atividades a serem desenvolvidas na estação contendo, também, três perguntas motivadoras: *Como se determina o período de oscilação de um pêndulo? Quais as Forças que agem sobre o pêndulo? O que é a força restauradora do pêndulo?* A seção dois tem o desafio da estação que descreve o *pêndulo de Foucault*, demonstrado pela primeira vez em 1851, no Pantheon de Paris, por Jean Bernard Léon Foucault. Este é contextualizado na pergunta desafio desta estação como segue: *Como provar, teoricamente, que o pêndulo de Foucault possui um período de aproximadamente 16 s?* Esta pergunta deve ser respondida após a realização de todas as atividades da estação.

Na seção três são disponibilizados para o estudante três vídeos sobre os conceitos teóricos relacionados com o pêndulo simples e o MHS. Estes vídeos fornecerão a base para o estudante resolver as atividades da estação. Na seção quatro o estudante responderá às questões motivadoras da primeira seção, que servirão para verificar o aprendizado do estudante. Na seção cinco aplicamos seis questões, no nível dos grandes vestibulares e do Exame Nacional do

Ensino Médio (ENEM) para verificar se o estudante reconhece e consegue aplicar os conceitos sobre o MHS e o pêndulo simples estudados na estação. Por fim, na seção seis, o estudante deve resolver o desafio da estação em uma folha de papel, fotografá-la e postá-la na página da seção na plataforma *Formulários Google*.

O papel do estudante nesta estação, de forma colaborativa, é o de assistir às vídeo aulas, desenvolver um mapa mental sobre os conceitos físicos do MHS e do pêndulo simples e realizar as atividades da estação. É necessário que o professor oriente os alunos sobre a proposta da estação e verifique, durante e ao final das atividades, as dúvidas que eles possam ter nesta estação.

4.3. Estação 3 – Sistema Amortecido

Nesta estação o estudante terá contato com um sistema físico natural, ou seja, que foge dos sistemas teóricos considerados como ideais. O intuito é fazer com que ele perceba que o movimento de um pêndulo simples, também presente em outros sistemas físicos em seu cotidiano, é um movimento amortecido devido à dissipação de energia do sistema. Para isso, o estudante realizará a atividade experimental de montar um pêndulo simples de baixo custo e, auxiliado pelo software *Tracker*, realizar a vídeo análise deste experimento para determinar o valor do *coeficiente de amortecimento* do sistema. Este experimento também fornecerá meios para o estudante comparar o valor da aceleração da gravidade local com o valor obtido por ele em seu trabalho. Com esta estação é esperado que os alunos desenvolvam algumas habilidades e competências como, investigação, reflexão, análise crítica, imaginação e criatividade para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2017).

Esta estação pode ser acessada pelo link abaixo ou no Anexo D:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfoio8cYhhB5Rxokp4zlOzrKTuLkVpDLrvywsMixMH2Csi1Q/viewform>

As atividades desta estação foram divididas em sete seções, sendo a primeira, com as informações gerais e uma pergunta motivadora: *Você sabia que um amortecedor de um automóvel realiza um Movimento Harmônico Amortecido (MHA)?* Os estudantes deverão ser divididos em grupos para, de forma colaborativa, desenvolver as atividades propostas.

O desafio desta estação, descrito na seção dois, remete o estudante ao seu dia a dia, visando contextualizar a questão a ser respondida. Utilizamos uma brincadeira infantil, o balançar em um balanço de parque de diversões, para que o estudante possa, depois de realizar

as atividades da estação, descrever a diminuição da amplitude do movimento oscilatório do balanço e o parâmetro que ilustra esta diminuição.

Na seção três propomos a construção de um pêndulo simples caseiro com materiais de baixo custo e que estão presentes no dia a dia do estudante. Este será utilizado para a vídeo análise com o *Tracker*. Elaboramos o vídeo chamado *Sugestão de Montagem do Pêndulo*, disponível na plataforma *YouTube* (Anexo D), para mostrar os materiais necessários e a montagem de um pêndulo simples. Para finalizar a seção o estudante deverá postar uma foto da montagem experimental construída pelo grupo.

Na seção cinco o estudante deverá fazer uma filmagem do pêndulo simples que ele construiu na seção anterior para realizar a vídeo análise no software *Tracker*. Mostramos, também como instalar e manipular o software *Tracker* utilizando o vídeo *Tutorial de Vídeo análise com o Tracker / Básico* do grupo de estudos dedicado ao ensino e à divulgação científica *Labinov* (MIRANDA, 2017). Dentre os vídeos pesquisados, escolhemos este por ser objetivo e usar uma linguagem que facilita muito o entendimento sobre o uso do *Tracker*. Para ajudar na modelagem do experimento montado pelo grupo de alunos, elaboramos o vídeo *Dicas de Modelagem com o Tracker*. Este vídeo mostra algumas dicas mais específicas sobre a manipulação do *Tracker* que o vídeo anterior não fornece. Ao término da modelagem o estudante deverá postar um arquivo, salvo no *Tracker*, e postar como atividade concluída da seção. É necessário tomar cuidado com o vídeo do experimento, pois, apesar do *Tracker* ser bem preciso na análise de experimentos, se a filmagem do experimento não for realizada com um smartphone, ou outra filmadora, paralela ao plano do movimento do pêndulo, os valores da posição, velocidade, frequência angular, entre outros, informados pelo *Tracker* não serão condizentes com a realidade. Para resolver esta situação é necessário a aplicação do filtro *perspectiva* encontrado no próprio software. No vídeo *Dicas de Modelagem com o Tracker* mostramos como aplicar este filtro.

Para realizar as atividades da seção 6, que são determinar a aceleração da gravidade local e o coeficiente de amortecimento do experimento elaborado pelo grupo de alunos, desenvolvemos uma planilha para facilitar o trabalho técnico, com relação aos cálculos matemáticos. A planilha *Aceleração e Coeficiente* pode ser acessada pelo link:

<https://drive.google.com/file/d/1u59CWDmSmOGx1gTu9AAj9GGQNw8NLXuO/view?usp=sharing>

Na planilha existem algumas tabelas, veja figura 12, que deverão ser preenchidas pelos estudantes seguindo as seguintes orientações:

A primeira tabela é a *Localização* (figura 12 A). Nela o estudante deverá inserir o nome da cidade em que a escola que ele estuda pertence e os respectivos valores de altitude e latitude. Para encontrar o valor da altitude utilizamos o aplicativo *Barômetro* (figura 13 A) desenvolvido pela DS Software e disponível pelo link:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.discipleskies.android.dsbarometer&hl=pt_BR&gl=US

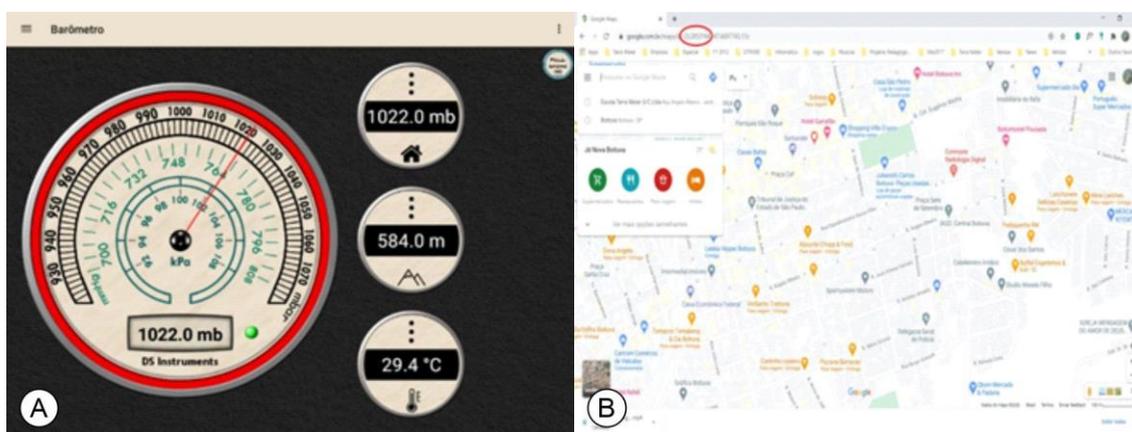
O seu uso é bastante simples, basta acioná-lo através do smartphone em que ele está instalado. Em poucos segundos ele informa a pressão atmosférica local em milibares (mb), a altitude em metros (m) e a temperatura ambiente em grau Celsius (°C). Para encontrar o valor da latitude, em graus (°), utilizamos o *Google Maps* instalado no smartphone, veja figura 13 (B).

Figura 12: Ilustração da planilha *Aceleração e Coeficiente* indicando os campos a serem preenchidos. (A) Tabela de localização da escola. (B) Informações sobre o pêndulo simples e do seu movimento. (C) Coleta dos valores do período, amplitude e frequência angular obtidos com o *Tracker*. (D) Valores encontrados para a aceleração da gravidade e o coeficiente de amortecimento. (E) Informações sobre o preenchimento da planilha. (F) Espaço para colar os dados copiados do *Tracker*.

Localização			Medidas Tracker				Resultados			M	N	O	P		
1	Cidade		N	T	A	ω'	$g (m/s^2) - Tracker$	#DIV/0!	massa_A						
2	Altitude (m)	(A)	1				$g (m/s^2) - Teórica$	9,7803	t	x	ω				
3	Latitude (°)		2				Discordância	#DIV/0!				(F)			
4			3				(b) Amortecimento (kg/s)	#DIV/0!							
5			4			(C)	Amortecimento Crítico (kg/s)	#DIV/0!							
6	Informações do Pêndulo		5				Não esqueça de transformar os valores do período, amplitude e frequência angular, obtidos pela tabela do Tracker, em decimal. Para encontrar os valores da aceleração da gravidade e do coeficiente de amortecimento é necessário o preenchimento completa da tabela Medidas Tracker								
7	Qt de Períodos	10	6												
8	Amplitude Inicial (m)		7												
9	Massa do Pêndulo (kg)		8												
10	Comprimento do Pêndulo (m)	(B)	9												
11	Taxa de Quadros (FPS)		10												
12	Ângulo Inicial (Rad)														

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13: (A) Ilustração do aplicativo *Barômetro* que foi utilizado para encontrar o valor da altitude da cidade em que a escola do aluno pertence. (B) Página do *Google Maps* indicando a latitude local.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela *Informações do Pêndulo*, figura 12 (B) serão inseridos os valores dos parâmetros do pêndulo simples desenvolvido pelo grupo de alunos e algumas informações obtidas com o *Tracker*. O valor da quantidade de períodos (*Qt de Períodos*) é fixo e representa o número de períodos a ser coletado na tabela fornecida pelo *Tracker*. O valor da *Amplitude Inicial*, em metros (m), é fornecido pelo software, assim como o *Ângulo Inicial*, em radianos (rad), e a *Taxa de Quadros*, em *frames* por segundo (FPS). Na figura 14 mostramos onde encontrar estes valores no *Tracker*. Os valores da *massa* e do *comprimento* são encontrados com o uso de uma balança e de uma régua, respectivamente.

Figura 14: (A) Indicamos onde encontrar o valor da amplitude inicial $x(m)$ em $t = 0$ na tabela gerada pelo *Tracker*, (B) é mostrado o ângulo inicial fornecido pelo *Tracker* e em (C) é mostrada a taxa de quadros do vídeo a ser analisado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A tabela *Medidas Tracker*, figura 12 (C), deverá ser preenchida com dez valores do *Período*, em segundos (s), da *Amplitude*, em metros (m), e da *Frequência Angular*, em radianos por segundo (rad/s). Estes valores são obtidos pela tabela de dados fornecida pelo *Tracker*

(figura 15). O valor da amplitude fornecida pelo *Tracker* está escrito em notação científica. Para não ocasionar erro de valores na planilha, é necessário transformar este valor para número decimal.

Figura 15: Tabela gerada pelo *Tracker*, a qual fornece os valores do período $t(s)$, da amplitude $x(m)$ e da frequência angular $\omega(s^{-1})$ do pêndulo.

t (s)	x (m)	ω (s ⁻¹)
0,300	-1,291E-2	-8,687
0,333	-1,020E-2	-4,464
0,366	-2,464E-2	0,708
0,399	-2,999E-2	-1,541
0,432	-3,389E-2	-0,830
0,466	-3,616E-2	-0,453
0,499	-3,780E-2	3,855E-2
0,533	-3,766E-2	0,340
0,566	-3,607E-2	0,671
0,599	-3,336E-2	0,959
0,632	-2,965E-2	1,732
0,666	-2,488E-2	2,897
0,699	-1,923E-2	5,486
0,732	-1,284E-2	9,740
0,766	-5,757E-3	13,41
0,799	3,533E-4	14,53
0,832	6,851E-3	11,52
0,866	1,301E-2	6,858
0,899	1,824E-2	4,032

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a tabela *Medidas Tracker* ser preenchida, a tabela *Resultados*, figura 12 (D), fornecerá os valores da aceleração local, *Tracker* e *Teórico*, em metros por segundo ao quadrado (m/s^2), a *discordância* entre os dois valores da aceleração da gravidade e o valor dos *coeficientes de amortecimento* e *amortecimento crítico*, ambos em quilograma por segundo (kg/s). Para determinar a aceleração da gravidade com os dados obtidos pelo *Tracker*, foi utilizada a equação (7) descrita na seção 2.2. Para determinar o valor da aceleração da gravidade teórica, utilizamos a equação descrita no trabalho de Lopes (LOPES, 2008) dada por:

$$g \approx \frac{g_p}{1 + \frac{\beta}{2}} (1 + \beta \text{sen}^2 \lambda) \left(1 - \frac{2z}{R}\right) \tag{10}$$

em que g_p é a aceleração da gravidade padrão medida ao nível do mar e na latitude 45° , β é um fator numérico que leva em conta a rotação terrestre, λ representa a latitude medida em graus, z representa o valor da altitude em metros e R é o valor do raio da Terra.

Para determinar o *coeficiente de amortecimento* é feito o ajuste da equação (9), veja seção 2.2.1, com os dados obtidos com o *Tracker*. Nesta parte da tabela, figura 12 (D),

introduzimos também uma célula para o cálculo do coeficiente de amortecimento crítico (b_C) do sistema em estudo, em que $\omega_0 = b/2m$ (TIPLER, 1995), para os alunos poderem comparar o valor deste com o valor obtido experimentalmente, em que o amortecimento é subcrítico (b_S). Se $b = b_C$ tem-se que:

$$b_C = 2m\omega_0, \quad (11)$$

sendo $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}}$, para o caso do pêndulo. Um exemplo típico de amortecimento crítico é o amortecedor dos carros. Se o professor quiser se estender nessa discussão os valores numéricos para os coeficientes de amortecimento pode ser uma boa oportunidade, uma vez que não é conveniente e nem confortável para um motorista ou passageiro de um carro, que o amortecedor oscile subcriticamente como no caso do pêndulo simples, justificando o porquê de $b_S \ll b_C$.

Ao terminar o preenchimento da tabela, o estudante deve postar o arquivo e resolver as questões da seção sete. Esta seção finaliza a estação contendo questões sobre a montagem experimental, a aceleração da gravidade e o amortecimento.

O papel do estudante nesta estação, também de forma colaborativa, é modelar o experimento que o grupo construiu e encontrar os valores da aceleração da gravidade e do coeficiente de amortecimento além de saber diferenciar os sistemas ideal e o real. O professor deverá orientar sobre a filmagem, o uso do *Tracker* e da planilha. Ao final da estação ele deve verificar as respostas dos alunos para realizar a personalização do aprendizado.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular, Brasília, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 20 Ago. 2020.

GOOGLE, I. Formulários Google. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

KELLER, F. J.; GETTYS, W. E. E SKOVE, M. J. Física: volume 1. Edição 1. São Paulo: Makron, v. 1, 1997.

LOPES, W. Variação da aceleração da gravidade com latitude e altitude. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 25, p. 561-568, Dez. 2008.

MIRANDA, W. Tutorial de videoanálise com o Tracker | Básico, 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=q6RXO226nvI&feature=emb_logo. Acesso em: 22 Nov. 2020.

TIPLER, P. A. Física para cientistas e engenheiros. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 1995.

Anexo A

QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Apresentamos a seguir a estrutura do formulário *Diagnóstico* com as seções e seus respectivos textos e imagens.

Seção 1

Você sabia que o movimento de um pêndulo simples ou de um sistema massa-mola que estudamos em sala de aula são muito importantes no estudo de várias áreas da ciência e que este tipo de movimento está presente em toda parte no nosso dia a dia?

Nesta estação queremos saber o seu conhecimento prévio sobre o movimento oscilatório. Tente responder às questões com suas próprias palavras.

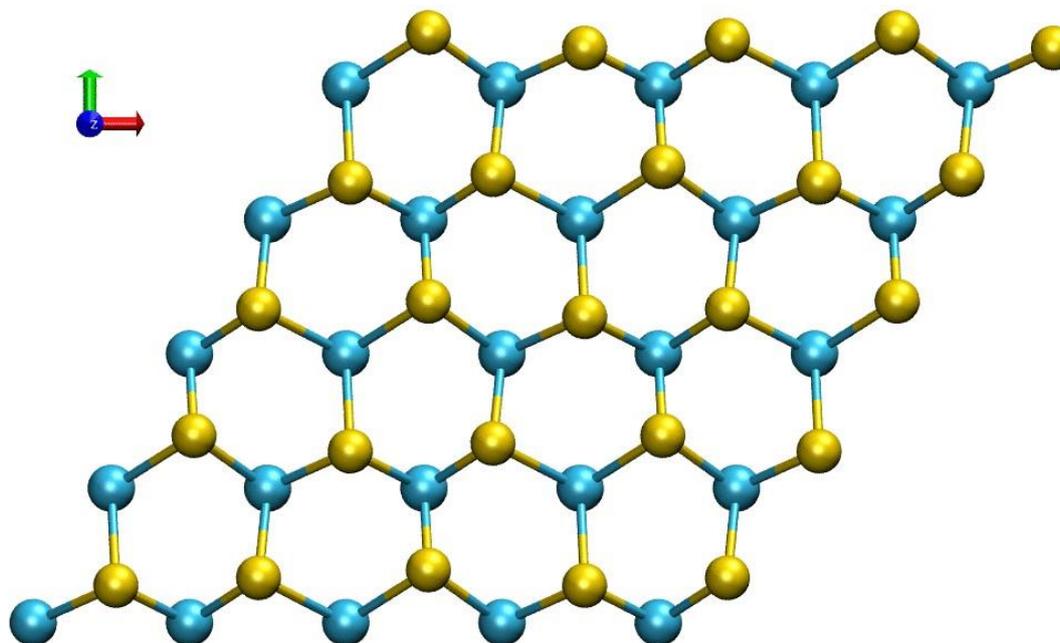
Bom trabalho!

Seção 2

O movimento oscilatório é um movimento periódico, que se repete regularmente em períodos iguais de tempo. A partir dele é possível definir grandezas físicas como o período, a frequência e a amplitude do movimento. Movimentos oscilatórios podem ser observados em toda parte no nosso dia a dia, como em um relógio, em um diapasão, uma corda de violão, um pêndulo, nosso batimento cardíaco, a corrente alternada, o amortecedor de um carro, uma mola, o movimento de um balanço ou de um galho de árvore e até mesmo o movimento das moléculas e partículas que constituem os corpos que vemos, como na ilustração em duas dimensões mostrada abaixo. Para entendermos todos esses fenômenos precisamos indispensavelmente compreender o movimento oscilatório. A descrição desse movimento é necessária até mesmo para o entendimento de ondas, como ondas sonoras, ondas formadas na água e ondas eletromagnéticas, como a luz. Portanto, compreender e descrever bem o movimento oscilatório

é essencial para o desenvolvimento e melhoria de tecnologias e conseqüentemente, do nosso bem estar.

Imagem Ilustrativa da seção: Fonte: ZHU, H. *et al.* In: Cientistas descobrem fônons quirais em um cristal 2D semiconductor. SOARES, N. V. renderBlog. Disponível em: <https://blog.render.com.br/electronica/cientistas-descobrem-fonons-quirais-em-um-cristal-2d-semiconductor/>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Seção 3 – Atividade Diagnóstica

1. Descreva, com suas palavras, o que é um movimento oscilatório.
2. Você conhece um pêndulo simples?
3. O pêndulo simples realiza um movimento oscilatório? Justifique sua resposta.
4. Você já viu um relógio de pêndulo?
5. Além do relógio de pêndulo, existem outros exemplos, no seu dia a dia, que realizam movimentos semelhantes ao pêndulo simples. Cite três exemplos e justifique as suas escolhas.
6. O período de um pêndulo simples é o tempo que ele leva para completar uma oscilação. Na sua opinião, do que depende este tempo de oscilação?
7. O que é um Movimento Harmônico Simples (MHS) e como você o descreveria?
8. O que é um Movimento Harmônico Amortecido (MHA) e como você o descreveria?

Anexo B

SIMULADOR PHET

Apresentamos a seguir a estrutura do formulário *Estação 1* com as seções e seus respectivos textos e imagens.

Estação 1 – Seção 1 – Simulador PhET

Nesta estação você fará uma simulação de um pêndulo simples.

Elaboramos um tutorial dos procedimentos a serem adotados na montagem do pêndulo simples utilizando o simulador PhET.

A estação foi dividida em seções com atividades para serem resolvidas em grupo.

Acompanhe:

- Seção 2-4 – Contextualização desta estação;
- Seção 3-4 – Uso do simulador;
- Seção 4-4 – Atividades e as três questões desafio para serem respondidas.

Bons estudos!

Imagem Ilustrativa da seção: Galileo Galilei vendo um lustre balançando para frente e para trás na Catedral de Pisa. Fonte: [Galileo Galilei watching a chandelier swing back and forth at the Cathedral of Pisa](#). Fresco by Luigi Sabatelli (1772 - 1850). In: Galileo Galilei The Law of the Pendulum in The Inventions of Galileo Galilei, ThoughtCo, BELLYS. M. July 01, 2017. Disponível em: <https://www.thoughtco.com/inventions-of-galileo-galilei-1991872>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Seção 2 – Contextualização

Uma empresa de relógios, localizada no estado de São Paulo, construiu dois relógios de pêndulo. Na sua construção foram utilizados dois tipos de materiais. Para o corpo do relógio foi utilizada madeira de lei e, para o pêndulo e a haste que o prende no ponto fixo, utilizou-se um determinado tipo de metal. Após o relógio ser calibrado com o horário local, cada um deles foi enviado para dois locais diferentes. O primeiro foi enviado à uma cidadezinha do Alasca onde as temperaturas variam entre -29°C , no inverno, e 2°C no verão. O segundo relógio foi enviado para uma outra cidade localizada no Cairo, Egito, onde podem ocorrer picos de temperatura em torno de 45°C . A empresa utilizou os melhores materiais para confeccionar os dois relógios. Depois de alguns dias a empresa recebeu, dos dois clientes, a mesma reclamação: que os relógios não estavam "marcando" os horários locais corretamente. O comentário de um cliente foi "que o relógio atrasava" e, do outro cliente, "que o relógio adiantava".

Desafio

Em qual local ele adiantou?

Em qual local ele atrasou?

Qual o motivo destas duas situações?

Dica: Relembre os conceitos de Termologia!

Imagem Ilustrativa da seção: Ilustração dos locais para onde os relógios de pêndulo foram enviados e suas respectivas temperaturas. Fonte: Figura adaptada de (a) Relógio de Pêndulo. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores/fundo>. (b) Pirâmides do Egito. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores/personagem>. (c) Iglu. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores/fundo>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Seção 3 – Utilizando o Simulador PhET

Nos ambientes virtuais as simulações são utilizadas para práticas de determinadas situações vividas no mundo real. Existem simuladores empresariais, espaciais, têxteis, agrícolas, educacionais e, é claro, os simuladores que são transformados em jogos digitais.

A plataforma PhET, idealizada pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, possui várias simulações educacionais das áreas de ciências e matemática e é uma excelente ferramenta para ampliar os conhecimentos destes componentes curriculares.

Nesta seção você utilizará o Laboratório do Pêndulo para descobrir alguns conceitos importantes sobre o movimento oscilatório.

Disponibilizamos um tutorial para você saber como manusear o simulador e, com suas observações, responder as questões desta seção.

O simulador está disponível em:

https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html

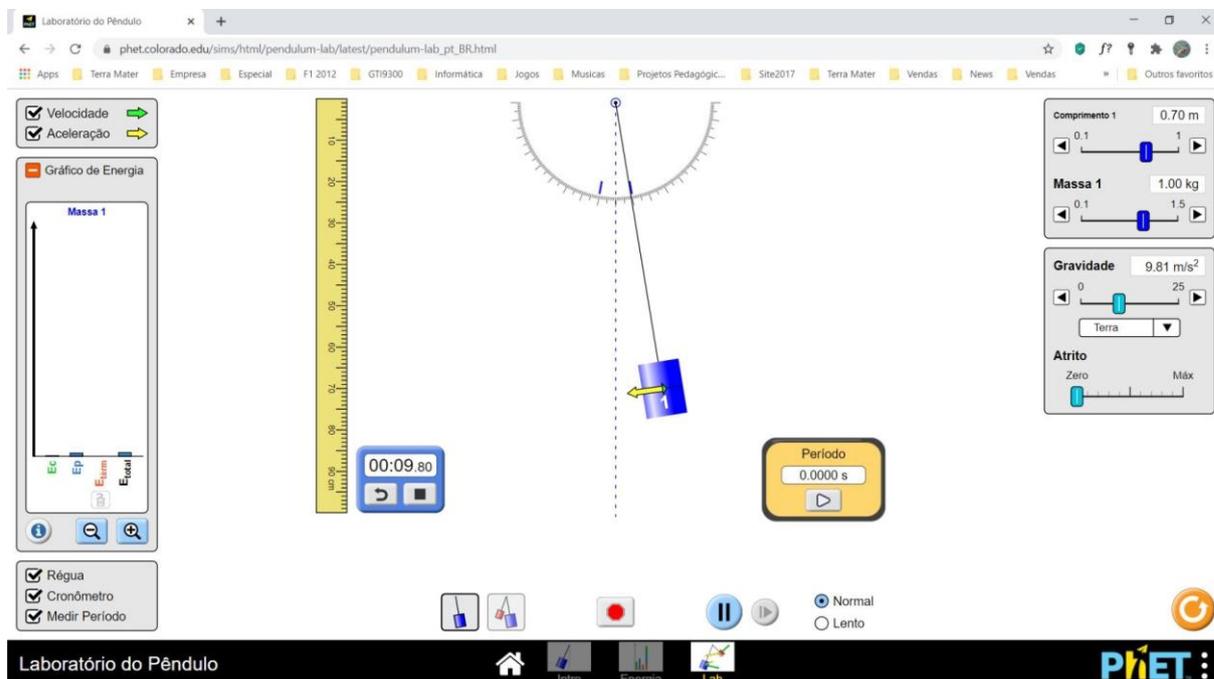
Acesso em: 21 nov. 2020.

Tutorial:

https://drive.google.com/file/d/1mR2uKollS7fICvyXW2_na8SGMT1zc9_I/view?usp=sharing

Boas descobertas!

Imagem Ilustrativa da seção: Ilustração do simulador "Laboratório do Pêndulo" da plataforma PhET. Fonte: PhET. Interactive Simulations for Science and Math. University of Colorado. Laboratório do Pêndulo. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html. Acesso em: 21 nov. 2020.



Simulação 1

Monte a simulação exatamente como descrito no tutorial e responda às questões abaixo.

1. O pêndulo que você simulou na plataforma PhET realiza um movimento oscilatório?
 Sim
 Não

2. Este mesmo pêndulo realiza um movimento periódico? Justifique.

3. Qual o valor do período do pêndulo, em segundos, que você encontrou nesta simulação?

4. Após 5 oscilações, clique novamente no botão do período e espere ele determinar o novo tempo. O valor do período sofreu alteração ou permaneceu o mesmo valor encontrado inicialmente?
 Permaneceu
 Aumentou
 Diminuiu

5. Observando o deslocamento angular do pêndulo, ele permanece constante depois de algumas oscilações sucessivas?
 Sim
 Não

6. No simulador, altere a massa do pêndulo para 1,0 kg e encontre o novo período de oscilação. Nesta nova condição, o valor do período:
 Diminuiu em relação ao período encontrado com o valor da massa anterior
 Permaneceu constante
 Aumentou em relação ao período encontrado com o valor da massa anterior

7. *Print* a tela do seu simulador e poste para conhecermos o seu projeto.

Simulação 2

No simulador, diminua o comprimento do pêndulo para 0,5 m, aumente o valor da massa para 1,5 kg e responda as próximas questões.

1. Qual o valor do período do pêndulo simples nesta nova condição?
2. Mantendo o comprimento do pêndulo em 0,5 m e alterando a sua massa para 1,0 kg o período:
 Permaneceu constante
 Aumentou
 Diminuiu

Finalizando

1. O período de movimento de um pêndulo simples depende da sua massa?
 Sim
 Não
2. O período de movimento de um pêndulo simples depende do seu comprimento?
 Sim
 Não

Agora que você já respondeu as questões desta estação, varie todos os parâmetros do simulador que desejar e verifique sua influência no movimento do pêndulo.

Seção 4 – Responda o Desafio

Após ter feito as atividades com a ajuda do simulador, chegou o momento de responder às perguntas do desafio.

Bom trabalho!

Imagem Ilustrativa da seção: Ilustração dos locais para onde os relógios de pêndulo foram enviados e suas respectivas temperaturas. Fonte: Figura adaptada de (a) Relógio de Pêndulo. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores/fundo>. (b) Pirâmides do Egito. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores/personagem>. (c) Iglu. Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores/fundo>. Acesso em: 21 nov. 2020.



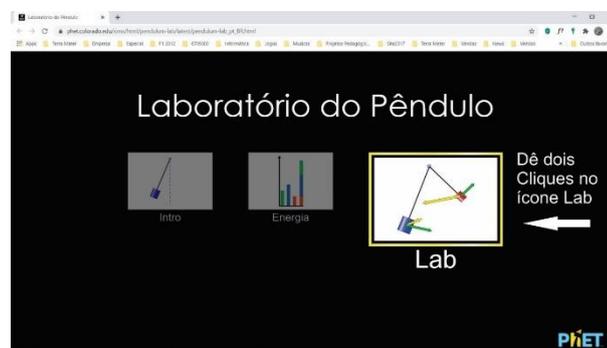
1. Em qual local o relógio de pêndulo adiantou? Justifique a sua resposta.
2. Em qual local o relógio de pêndulo atrasou? Justifique a sua resposta.

Estação 1

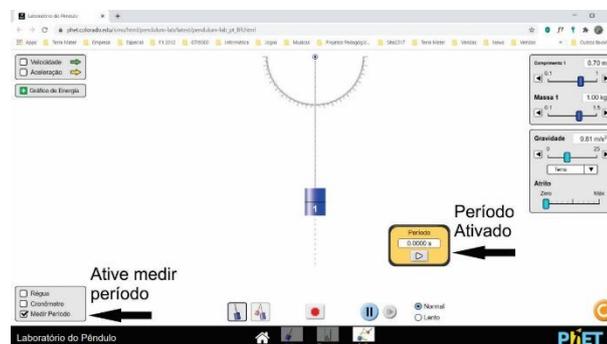
Instruções para o uso do simulador

Para responder às questões desta Estação, siga as instruções abaixo.

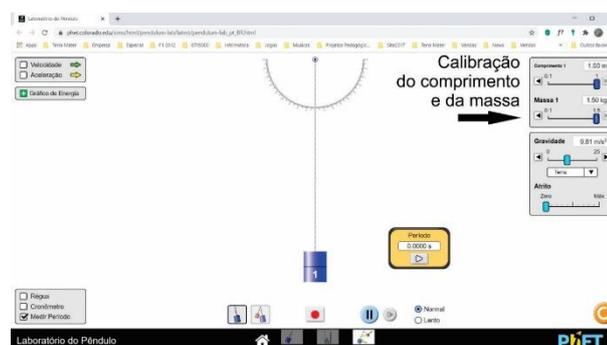
1. Visitar a página do *Laboratório do Pêndulo* na plataforma PhET pelo link:
https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html
2. Dê dois cliques no ícone “Lab”:



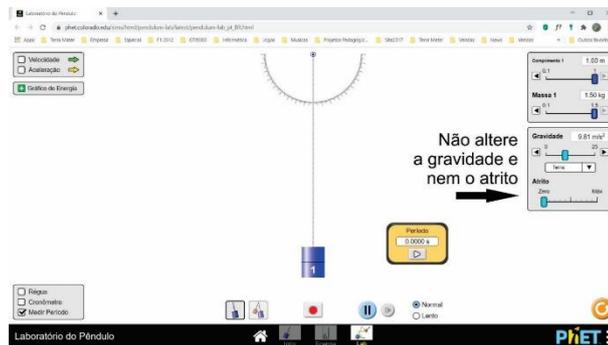
3. Ative o ícone “medir período”. Aparecerá a caixa do período com o tempo inicial.



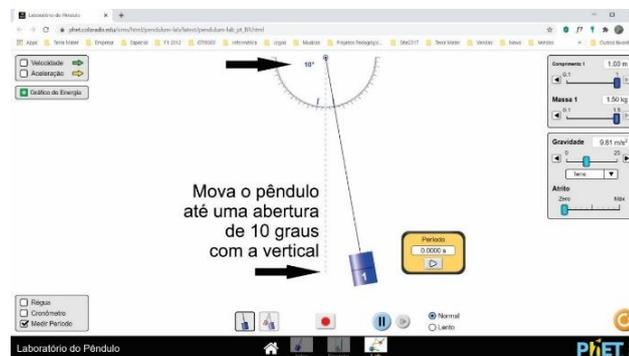
4. Calibre o *comprimento* do pêndulo em 1,0 m e a *massa* para 1,50 kg.



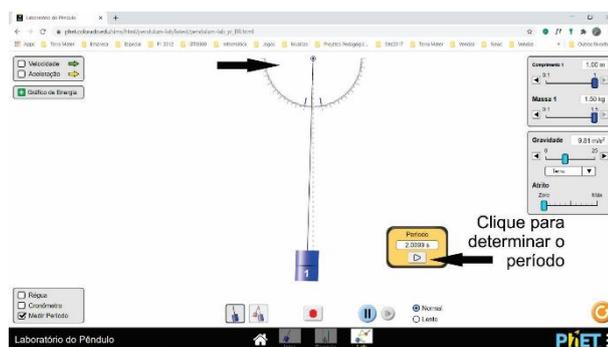
5. Mantenha a *gravidade* no valor de $9,81 \text{ m/s}^2$ e o *atrito* em Zero.



6. Com o botão *esquerdo do mouse* clique no pêndulo e *mova 10° para a direita*. Após mover, *solte* o pêndulo e observe o movimento que ele realiza.



7. Determine o *período* do movimento acionando o *botão do período*.



Bons Estudos!

Anexo C

FÍSICA DO PÊNDULO

Apresentamos a seguir a estrutura do formulário Estação 2 com as seções e seus respectivos textos e imagens.

Estação 2 – Seção 1 – A Física do Pêndulo

Nesta Estação você e seus colegas de grupo conhecerão os conceitos teóricos envolvidos no MHS e no pêndulo Simples.

Selecionamos três vídeos sobre o assunto. Após assisti-los você terá condições de responder:

Como se determina o período de oscilação de um pêndulo?

Quais as Forças que agem sobre o pêndulo?

O que é a força restauradora do pêndulo?

Conhecendo a Estação:

Seção 2-6 – Desafio da Estação;

Seção 3-6 – Vídeos sobre os conceitos do MHS e do pêndulo simples;

Seção 4-6 – Aplicando a teoria;

Seção 5-6 – Resolução de algumas questões de vestibulares e ENEM;

Seção 6-6 – Resolver o desafio.

Bons Estudos!

Seção 2 - Desafio

Em 1851, Jean Bernard Léon Foucault fez a primeira demonstração do seu pêndulo no Pantheon de Paris. Ele construiu um pêndulo com um fio de 67m de comprimento. Uma das extremidades do fio era o ponto fixo do pêndulo e na outra foi fixada uma esfera com

massa de 30 kg. Com esta configuração foi observado um período de oscilação de aproximadamente 16 s. Por estar protegido da ação do clima e do vento no interior do Pantheon, o pêndulo de Foucault oscilava livremente, com pouco amortecimento. Com este experimento Foucault demonstrou que o plano de oscilação do pêndulo rotacionava como consequência do movimento de rotação da Terra. Este foi o primeiro experimento que forneceu uma simples e direta evidência de que a Terra gira em torno do seu próprio eixo. O grande público que prestigiou o evento conseguiu visualizar o movimento através de um círculo graduado posicionado no centro do experimento, tornando a descoberta muito popular por toda a Europa.

Desafio:

1. Como provar, teoricamente, que o pêndulo de Foucault possui um período de aproximadamente 16 s?

Responda esta questão após explorar todas as seções desta estação.

Imagem Ilustrativa da seção: Fonte: GFYCAT. Pêndulo de Foucault. Ciudad de las Artes y las Ciencias. May 22, 2017. GIF disponível em: <https://gfycat.com/brilliantplasticlamb>. Acesso em: 21 nov. 2020.



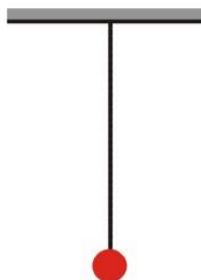
Seção 3 - Teoria

Nesta seção você e seus colegas de grupo devem assistir aos três vídeos para conhecer os conceitos teóricos do MHS e do pêndulo simples.

Para não se perder, faça um resumo sobre cada vídeo assistido.

Bons Estudos!

Imagem Ilustrativa da seção: Fonte: Pêndulo Simples. Multiverso da Física, 30 abril 2017. Disponível em: <https://multiversodafisica.blogspot.com/2017/04/pendulo-simples.html>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Vídeo 1 – MAINARDES, C. [Aprenda o que é o Pêndulo Simples](#): Teoria e exercícios. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IC2FjMUXuY0>. Acesso em: 21 nov. 2020.

Vídeo 2 – BOARO, M. [Pêndulo Simples e Pêndulo Cônico](#). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2o297quncOM>. Acesso em: 21 nov. 2020.

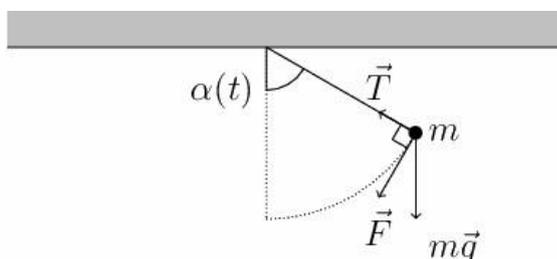
Vídeo 3 - BOARO, M. [Pêndulo Simples e Pêndulo Cônico](#): Exercícios. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sVWPzVtyeCo>. Acesso em: 21 nov. 2020.

Seção 4 – Aplicando a Teoria

Agora que o grupo produtivo já assistiu aos vídeos e conheceram os conceitos físicos aplicados ao MHS e ao pêndulo simples, responda as perguntas iniciais da estação.

Bom trabalho!

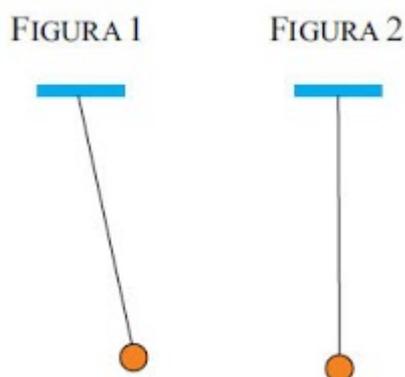
Imagem Ilustrativa da seção: Fonte: GIPHY. [Pêndulo Simples](#). Disponível em: https://giphy.com/gifs/HoHbhPQ9hqepq?utm_source=media-link&utm_medium=landing&utm_campaign=Media%20Links&utm_term=. Acesso em: 21 nov. 2020.



1. Como se determina o período de oscilação de um pêndulo? Justifique.
2. Quais as Forças que agem sobre o pêndulo? Descreva-as.
3. O que é a força restauradora do pêndulo? Identifique-a.

Seção 5 – Questões de Vestibulares e Enem

1. (Fac. de Ciências da Saúde de Barretos-SP) Em 1851, o francês Jean Bernard Foucault realizou uma experiência simples e engenhosa que demonstrou a rotação da Terra. No Panthéon de Paris, ele montou um pêndulo que oscilava com período de aproximadamente 16 segundos. Abandonado da posição mostrada na figura 1, um pêndulo igual ao de Foucault passará pela terceira vez pela posição mostrada na figura 2 após um intervalo de tempo, em segundos, igual a:

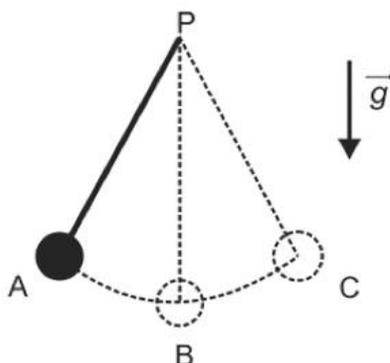


- a) 12.
b) 24.
c) 28.
d) 6.
e) 20.
2. (PUC-PR) Um pêndulo simples oscila, num local onde a aceleração da gravidade é 10 m/s^2 , com um período de oscilação igual a $\pi/2$ segundos. O comprimento deste pêndulo é:
- a) 1,6 m
b) 0,16 m
c) 62,5 m
d) 6,25 m
e) 0,625 m
3. (ENEM) Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que, no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de

temperaturas. Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o(a):

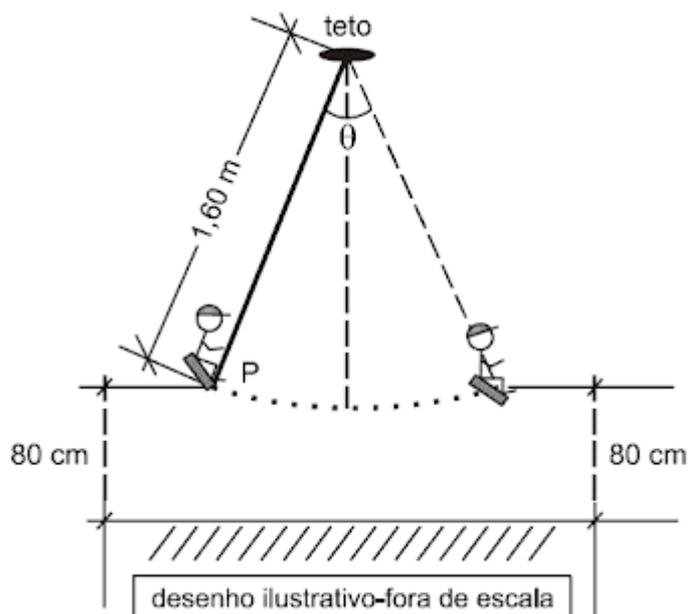
- comprimento da haste seja mantido constante.
- massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
- material da haste possua alta condutividade térmica.
- amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
- energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

4. (FUVEST) O pêndulo de um relógio é constituído por uma haste rígida com um disco de metal preso em uma de suas extremidades. O disco oscila entre as posições A e C, enquanto a outra extremidade da haste permanece imóvel no ponto P. A figura ao lado ilustra o sistema. Adote g como a aceleração local da gravidade. A força resultante que atua no disco quando ele passa por B, com a haste na direção vertical, é:



- nula.
- vertical, com sentido para cima.
- vertical, com sentido para baixo.
- horizontal, com sentido para a direita.
- horizontal, com sentido para a esquerda.

5. (Espcex - Aman) Uma criança de massa 25 kg brinca em um balanço cuja haste rígida não deformável e de massa desprezível, presa ao teto, tem 1,60 m de comprimento. Ela executa um movimento harmônico simples que atinge uma altura máxima de 80 cm em relação ao solo, conforme representado no desenho abaixo, de forma que o sistema criança mais balanço passa a ser considerado como um pêndulo simples com centro de massa na extremidade P da haste. Pode-se afirmar, com relação à situação exposta, que: (Dados: intensidade da aceleração da gravidade $g = 10$ (SI) considere o ângulo de abertura não superior a 10°).



- a) a amplitude do movimento é 80 cm.
- b) a frequência de oscilação do movimento é 1,25 Hz.
- c) o intervalo de tempo para executar uma oscilação completa é de $0,8\pi$ s.
- d) a frequência de oscilação depende da altura atingida pela criança.
- e) o período do movimento depende da massa da criança.

6. (UNESP) Considere um pêndulo simples oscilando, no qual as forças que atuam sobre a massa suspensa são a força gravitacional, a tensão do fio e a resistência do ar. Dentre essas forças, aquela que não realiza trabalho no pêndulo e aquela que realiza trabalho negativo durante todo o movimento do pêndulo são, respectivamente:

- a) a força gravitacional e a resistência do ar.
- b) a resistência do ar e a tensão do fio.
- c) a tensão do fio e a resistência do ar.
- d) a resistência do ar e a força gravitacional.
- e) a tensão do fio e a força gravitacional.

Seção 6 – Resolvendo o Desafio

Chegou o momento de resolver o desafio!

Imagem Ilustrativa da seção: Fonte: TAYLOR. [Using a Pendulum to Prove Earth Rotates](https://taylorsciencegeeks.weebly.com/blog/using-a-pendulum-to-prove-earth-rotates). Science News Blog, August 31, 2018. Disponível em: <https://taylorsciencegeeks.weebly.com/blog/using-a-pendulum-to-prove-earth-rotates>. Acesso em: 21 novembro 2020.



Desenvolva a resolução do desafio em uma folha, fotografe e clique abaixo para postar.

Anexo D

SISTEMA AMORTECIDO

Apresentamos a seguir a estrutura do formulário Estação 3 com as seções e seus respectivos textos e imagens.

Estação 3 – Seção 1 – Amortecimento

Você sabia que um amortecedor de um automóvel realiza um MHA?

Ele é projetado para controlar as oscilações da suspensão, mantendo as rodas do veículo em contato permanente com o solo, gerando maior estabilidade durante a sua condução.

Nessa Estação você e seu grupo de colegas conseguirão diferenciar um MHS de um MHA e conhecer um novo parâmetro chamado de coeficiente de amortecimento. Este é um parâmetro que descreve o quão rápido as oscilações de um sistema decaem entre uma oscilação e outra.

Confira:

Seção 2-7 - Contextualização e desafio;

Seção 3-7 - Montagem experimental;

Seção 4-7 - Instalação e dicas de como utilizar o Software Tracker;

Seção 5-7 - Modelagem do experimento;

Seção 6-7 - Determinando a aceleração gravitacional e o coeficiente de amortecimento;

Seção 7-7 - Aplique o seu aprendizado e responda ao desafio.

Bons estudos.

Imagem Ilustrativa da seção: Simulação de uma suspensão em movimento. Repare o funcionamento da mola e, dentro dela, do amortecedor. Fonte: Unidas Seminovos. Suspensão de carro: 3 cuidados que você precisa ter. Disponível em: <https://seminovos.unidas.com.br/blog/suspensao-de-carro/>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Seção 2 - Contextualização

Você já deve ter se divertido em um balanço de parquinho. Basta sentar-se na cadeirinha e empurrar o seu corpo para trás com os pés e depois se soltar. A partir deste momento você inicia um movimento oscilatório. Se você apenas balançar-se e não aplicar mais nenhuma força para impulsionar o balanço, sua amplitude de oscilação vai diminuindo até parar.

Desafio!

1. Como você descreveria a diminuição do movimento oscilatório do balanço?
2. Existe algum parâmetro que nos permite descrever a diminuição da amplitude deste movimento? Explique.

Complete esta Estação para responder estas duas questões.

Bons Estudos!

Imagem Ilustrativa da seção: Imagem de um balanço de parquinho. Fonte: KIMURA, G. 14 jeitos simples de voltar à infância: 13. Brincar no parquinho. Disponível em: <https://mdemulher.abril.com.br/estilo-de-vida/14-jeitos-simples-de-voltar-a-infancia/>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Seção 3 – Pêndulo Simples Caseiro

Nesta seção demonstramos como montar um pêndulo simples na sua residência. Esta montagem será utilizada para uma modelagem no Software Tracker.

Assista ao vídeo desta seção, monte seu pêndulo simples caseiro e poste uma foto para conhecermos o seu trabalho.

Bom trabalho!

Vídeo mostrando como construir um pêndulo simples caseiro para o estudo do movimento oscilatório.

link: <https://youtu.be/nWEpVPBfnPA>

Monte seu pêndulo simples caseiro, fotografe e depois poste para conhecermos o seu experimento.

Seção 4 – Software Tracker

Nesta seção você conhecerá o software Tracker. Este é um software livre de vídeo análise projetado para ser utilizado no ensino de Física na modelagem e análise de movimentos.

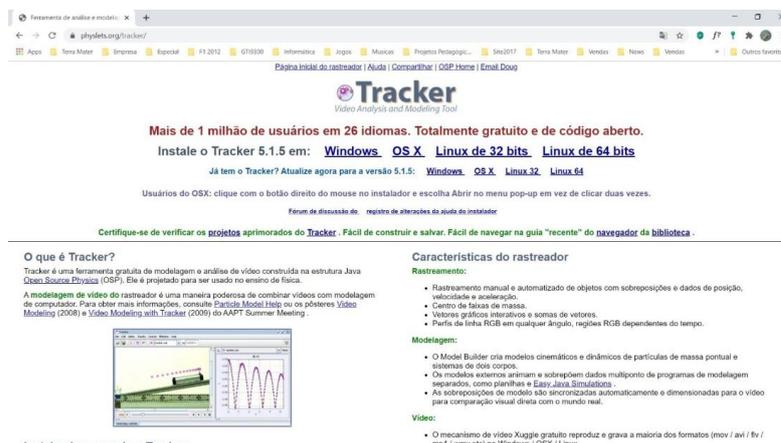
Antes de instalar o Tracker no seu computador, assista ao vídeo: LABINOV. Tutorial de Vídeo análise com o Tracker: Básico. Disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=q6RXO226nVI&feature=emb_logo. Acesso em: 21 nov. 2020

A instalação do programa é requisito para completar esta Estação.

Bom trabalho!

Imagem Ilustrativa da seção: Página da plataforma do Tracker onde você deverá realizar o download do software. Fonte: BROWN, D.; HANSON, R.; CHRISTIAN, W. Tracker: Video Analysis and Modelling Tool. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Seção 5 – Modelagem do Pêndulo Simples

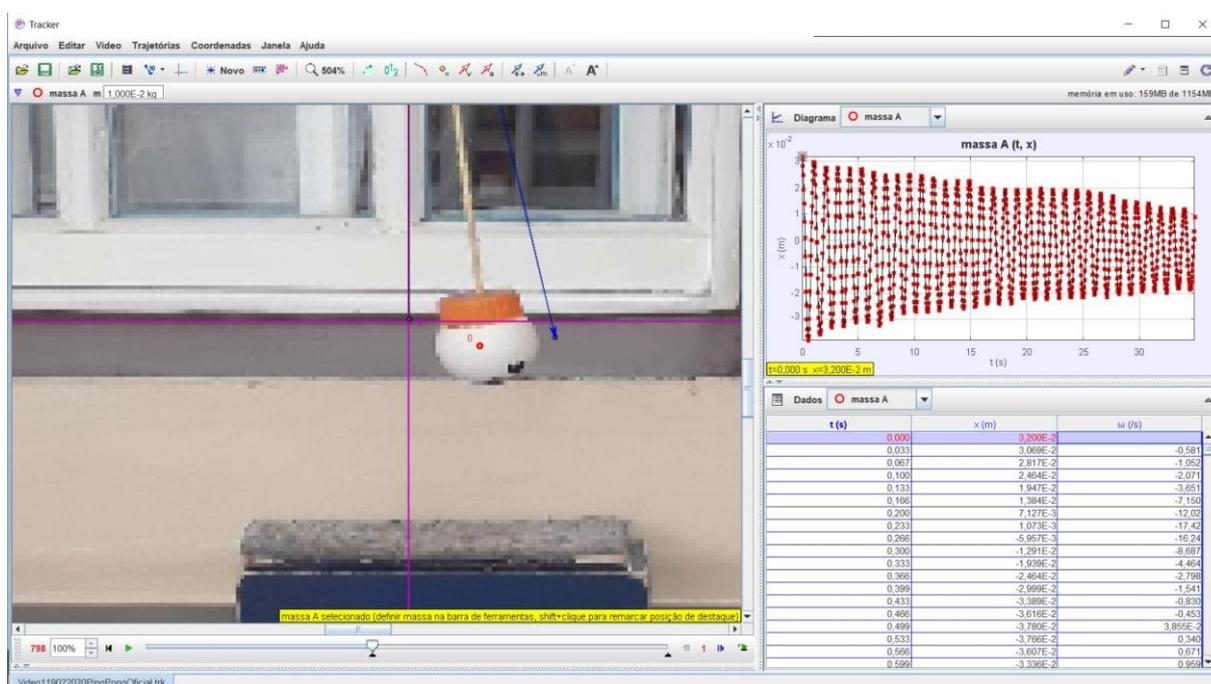
Nesta seção você fará a modelagem da sua montagem experimental no Software Tracker.

Para ajudá-lo, o vídeo desta seção mostra algumas dicas para trabalhar com o Tracker.

Quando terminar, poste o arquivo ZIP da sua modelagem para conhecermos o seu projeto.

Bom Trabalho!

Imagem Ilustrativa da seção: Modelagem feita no Tracker de um pêndulo simples construído com uma bolinha de ping pong. Fonte: Próprio Autor.



Vídeo com dicas sobre a modelagem com o Tracker.

Link: <https://youtu.be/NdSvIzu89gc>

Poste abaixo o arquivo zip da sua modelagem no Tracker.

Seção 6 – Determinando a aceleração da gravidade e o coeficiente de amortecimento.

Nesta seção você determinará a aceleração da gravidade local e o coeficiente de amortecimento do seu experimento.

Faça o download da planilha pelo link:

<https://drive.google.com/file/d/1u59CWDmSmOGx1gTu9AAj9GGQNw8NLXuO/view?usp=sharing>

Assista ao vídeo *Dicas da Planilha* para saber como preencher as células e encontrar os valores da aceleração da gravidade e do coeficiente de amortecimento.

Em seguida, responda as questões da próxima seção.

Bons Estudos!

Imagem Ilustrativa da seção: Experimento que mostra o movimento de um pêndulo simples amortecido. Fonte: De LUCCA, G. F. L. Galileu e o pêndulo simples. Disponível em: <http://fisicaemclasse.blogspot.com/2018/09/o-formato-da-terra-e-seu-movimento-de.html>. Acesso em: 21 nov. 2020.



Dicas para o preenchimento da planilha.

Link:

<https://drive.google.com/file/d/1u59CWDmSmOGx1gTu9AAj9GGQNw8NLXuO/view?usp=>

Seção 7 – Aplique seu Aprendizado

Nesta seção elaboramos algumas questões para saber sobre o desenvolvimento do seu projeto.

Responda todas elas com a ajuda da planilha e da modelagem que você desenvolveu com o auxílio do Tracker.

Não esqueça de responder à questão desafio desta Estação.

Bom trabalho!

Imagem Ilustrativa da seção: Bolinhas que quicam é o segredo do inovador sistema de amortecimento do novo tênis da Nike. Fonte: KÜNSCH, D. Bolinhas que quicam na entressola são o segredo do novo tênis de corrida Nike. Disponível em: <https://dani-se.online/bolinhas-que-quicam-na-entressola-sao-o-segredo-do-novo-tenis-de-corrida-nike/>. Acesso em: 21 nov. 2020.



1. Depois de preencher a sua planilha, poste abaixo para conhecermos mais sobre o seu projeto.
2. Descreva a diminuição do movimento oscilatório do balanço.
3. Faça uma pesquisa sobre os três tipos de amortecimentos existentes definidos de acordo com o valor do coeficiente de amortecimento. Cite um exemplo de cada um deles.
4. Descreva as diferenças entre os movimentos oscilatórios ideais e amortecido.
5. Qual o valor da amplitude inicial do seu experimento?
6. Faça uma pesquisa na internet e observe um gráfico da amplitude de oscilação de um MHS em função do tempo. Em seguida descreva as diferenças em relação ao gráfico da sua montagem experimental.
7. Qual o valor da aceleração da gravidade, em m/s^2 , que você obteve a partir do seu experimento? Este valor é próximo do valor teórico apresentado na tabela?
8. Qual o valor do coeficiente de amortecimento, em kg/s , do seu experimento?
9. O movimento amortecido está presente em todos os sistemas reais que executam movimento oscilatório. Descreva pelo menos 3 exemplos deste tipo de movimento que você observa ou já observou no seu dia a dia.