

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

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



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**TRATAMENTO DO MOVIMENTO OSCILATÓRIO
UTILIZANDO O ENSINO HÍBRIDO: UMA PROPOSTA
PARA O ENSINO MÉDIO**

LAÉRCIO FERMINO DE TOLEDO JÚNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. JAMES ALVES DE SOUZA

Sorocaba - SP
Abril de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**TRATAMENTO DO MOVIMENTO OSCILATÓRIO
UTILIZANDO O ENSINO HÍBRIDO: UMA PROPOSTA
PARA O ENSINO MÉDIO**

LAÉRCIO FERMINO DE TOLEDO JÚNIOR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. James Alves de Souza

Sorocaba - SP
Abril de 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Laércio Fermino de Toledo Júnior, realizada em 19/02/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. James Alves de Souza (UFSCar)

Prof. Dr. Renato Fernandes Cantão (UFSCar)

Prof. Dr. Neilo Marcos Trindade (IFSP)

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

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Laércio Fermino de, Toledo Júnior

Tratamento do movimento oscilatório utilizando o ensino híbrido: uma proposta para o ensino médio / Toledo Júnior Laércio Fermino de -- 2021.
144f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): James Alves de Souza

Banca Examinadora: Renato Fernandes Cantão, Neilo Marcos Trindade

Bibliografia

1. Ensino de física. 2. Ensino híbrido. 3. Rotação por estações. I. Laércio Fermino de, Toledo Júnior. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos Affonso, Guilherme, Henrique e Nayara.

AGRADECIMENTO

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

Agradecimentos especiais ao Prof. Dr. James Alves de Souza pelo incentivo e discussões durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço

- Aos meus colegas de curso por terem me ajudado nos momentos mais difíceis;
- Ao Colégio Terra Mater por permitir a realização e aplicação deste trabalho na instituição;
- Aos alunos: Bruna, Ketillin, Laura, Luiza, Rafael e Pietra que me ajudaram a desenvolver a prática deste trabalho;
- Ao amigo Mauro pela força, ensinamento e pela amizade;
- Ao amigo Orlando pelo papo, risadas e caronas para rodoviária;
- Aos colegas do curso que em muito me ajudaram;
- Ao Prof. Ricardo que me ajudou na filmagem dos pêndulos e pela força e motivação.
- Ao estudante Mateus Biondo pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

DEUS, muito obrigado pela oportunidade.

"Todas as verdades são fáceis de entender uma vez descobertas.

O caso é descobri-las."

Galileu Galilei

RESUMO

TOLEDO JR., Laercio Fermino. Tratamento do Movimento Oscilatório utilizando o Ensino Híbrido: Uma Proposta para o Ensino Médio. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2021.

O mundo vem passando por grandes transformações ocasionadas pelo intenso avanço tecnológico, referido hoje como Mundo 4.0 e, principalmente, pela pandemia do Novo Coronavírus (COVID-19). O afastamento social nos faz repensar o papel de ser professor e de como ensinar Física. Por outro lado, temos estudantes chamados de “nativos digitais” que estão totalmente inseridos nas tecnologias que o Mundo 4.0 proporciona. Neste trabalho utilizamos o modelo de rotação por estações, que faz parte da metodologia do Ensino Híbrido, para trabalhar o tema movimento oscilatório no ensino médio. Devido a pandemia de COVID-19 tivemos que adaptar a proposta para o ensino completamente remoto utilizando a ferramenta on-line *Google Forms* e Tecnologias Digitais da Informação e da Comunicação (TDIC) aliados à experimentação, como uma possibilidade de aprendizagem significativa. Nosso produto educacional consiste de três estações, em que na primeira exploramos o movimento de um pêndulo simples utilizando um simulador da plataforma PhET, na segunda analisamos teoricamente o movimento de um pêndulo ideal para obtenção de uma expressão matemática que nos permitiu determinar a aceleração da gravidade local e na terceira exploramos uma atividade experimental em que o aluno montou o seu próprio pêndulo com materiais de baixo custo e analisou o seu movimento através de vídeo análise com o software *Tracker*. Nosso principal objetivo nesta estação foi fazer com que o aluno verificasse que o sistema real é descrito por um movimento amortecido, devido à dissipação de energia deste, para comparar os resultados obtidos com o modelo teórico estudado para o caso ideal, em que é observado um movimento harmônico simples. A proposta foi aplicada para um total de 60 alunos do ensino médio de duas escolas diferentes, em quatro aulas com duração de cinquenta minutos cada uma. Antes de apresentar as estações aos alunos, eles responderam um questionário diagnóstico para mapearmos o conhecimento prévio dos mesmos com relação ao tema discutido para darmos melhor direcionamento ao trabalho. A aplicação do produto educacional foi finalizada com um questionário de opinião sobre a metodologia utilizada. A proposta foi muito bem recebida pelos alunos e a metodologia foi muito útil para trabalharmos de maneira satisfatória o tema proposto, relacionando a Física com o cotidiano dos alunos, e para trabalhar competências e habilidades através do uso de softwares, vídeos, experimentos, escrita e trabalho em grupo, mesmo em um contexto completamente remoto.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ensino Híbrido. Rotação por Estações. Movimento Oscilatório. Pêndulo Simples.

ABSTRACT

TOLEDO JR., Laercio Fermino. Study of Oscillatory Motion using Blended Learning Approach: A Proposal for High School. 2021. Master's Thesis (Master's Degree in Physics Teaching) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2021.

The world has been going through great transformations caused by the intense technological advance, referred now as World 4.0 and, mainly, by the pandemic of the Coronavirus Disease (COVID-19). Social withdrawal makes us rethink the role of being a teacher and how to teach Physics. On the other hand, we have students called “digital natives” who are fully inserted in the technologies that the World 4.0 provides. In this work we use the station rotation blended learning model to introduce oscillatory motion in High School. Owing the COVID-19 pandemic, we had to adapt the proposal for completely remote learning using online tools, such as the Google Forms and Digital Information and Communication Technology (DICT) combined with experimentation, as a possibility of meaningful learning. Our educational product consists of three stations, where in the first we explore the motion of a simple pendulum using a simulator of the PhET platform. In the second station we theoretically analyze the motion of an ideal pendulum to obtain a mathematical expression that allowed us to determine the local gravity and in the third station we explore an experimental activity in which the student assembled his own pendulum with low-cost materials and analyzed its movement through video analysis with the Tracker software. Our main objective at the third station was to make the student verify that the real system is described by a damped motion, due to energy dissipation, to compare the results obtained with the theoretical model studied for the ideal case, in which a simple harmonic motion is observed. The proposal was applied to a total of 60 high school students from two different schools, in four classes lasting fifty minutes each. Before presenting the stations to the students, they answered a diagnostic questionnaire for the teacher mapping their prior knowledge regarding the topic discussed and give a better direction to the work. The application of the educational product ended with an opinion questionnaire asking for information about the methodology used. The proposal was very well received by the students and the methodology was very useful for us to work satisfactorily on the proposed theme, relating Physics to the students' daily lives, and to work skills and abilities through the use of software, videos, experiments, writing and group working, even in a completely remote context.

Keywords: Physics Teaching. Station Rotation Blended Learning Model. Oscillatory Motion. Simple Pendulum.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Ilustração dos modelos do Ensino Híbrido. 9
- Figura 2: Tela do simulador Laboratório do Pêndulo da plataforma PhET, mostrando várias funcionalidades como cronômetro, o vetor da força restauradora, o período de oscilação e parâmetros livres para serem ajustados como o comprimento do fio, o valor da massa suspensa, o valor da gravidade, atrito, entre outros..... 22
- Figura 3: Área de trabalho do software *Tracker* obtida durante a vídeo análise de um dos pêndulos simples montados neste trabalho. À direita na parte superior é mostrado o gráfico das oscilações amortecidas da massa do pêndulo, situada no centro da imagem. Na parte inferior, também à direita, é mostrada a tabela gerada pelo *Tracker* contendo algumas informações do sistema como o tempo de oscilação, a posição e a velocidade da massa oscilante. 24
- Figura 4: 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}). 31
- Figura 5: (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..... 33
- Figura 6: (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} 34
- Figura 7: (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. 35
- Figura 8: Energia potencial $U(x)$ de um sistema arbitrário em movimento unidimensional.... 36
- 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 , sua projeção $L \cos(\theta)$ no eixo-y, o arco s percorrido pelo corpo de massa m e h a altura do mesmo em relação à posição de equilíbrio estável $x = 0$. A tração do fio é dada por $\vec{T} = -\vec{P}_r$ 38

Figura 10: Deslocamento da massa de um pêndulo amortecido em função do tempo, obtido da equação (18). Note que a amplitude do movimento vai diminuindo com o tempo como $A_0 e^{-\frac{b}{2m}t}$.	41
Figura 11: Representação do modelo de rotação por estações utilizado neste trabalho.	42
Figura 12: Página de login do Formulários Google.	44
Figura 13: Página inicial do Formulário Google com os links para iniciar um formulário.	45
Figura 14: (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.	45
Figura 15: Janela de configurações do Formulários Google. (A) Configurações do usuário final. (B) Configuração relacionada à pontuação e <i>feedback</i> do formulário. (C) Configuração de progresso para indicar o andamento do preenchimento do questionário pelo usuário final.	46
Figura 16: Seção com as informações sobre a Estação 1.	49
Figura 17: Ilustração da planilha <i>Aceleração e Coeficiente</i> 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 <i>Tracker</i> . (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 <i>Tracker</i> .	53
Figura 18: (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 <i>Google Maps</i> indicando a latitude local.	53
Figura 19: (A) Indicamos onde encontrar o valor da amplitude inicial $x(m)$ em $t = 0$ na tabela gerada pelo <i>Tracker</i> , (B) é mostrado o ângulo inicial fornecido pelo <i>Tracker</i> e em (C) é mostrada a taxa de quadros do vídeo a ser analisado.	54
Figura 20: Tabela gerada pelo <i>Tracker</i> , a qual fornece os valores do período $t(s)$, da amplitude $x(m)$ e da frequência angular $\omega(s^{-1})$ do pêndulo.	55
Figura 21: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para a questão 1 do questionário <i>Diagnóstico</i> , com 12 alunos da <i>Escola A</i> e 48 alunos da <i>Escola B</i> .	58
Figura 22: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para a questão 3 do questionário <i>Diagnóstico</i> , com 12 alunos da <i>Escola A</i> e 48 alunos da <i>Escola B</i> .	59

Figura 23: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para a questão 5 do questionário Diagnóstico, com 12 alunos da <i>Escola A</i> e 48 alunos da <i>Escola B</i>	60
Figura 24: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para as questões desafio da estação 1. Na parte superior a resposta correta é Alasca e na parte inferior, Cairo. No total 12 alunos da <i>Escola A</i> e 48 alunos da <i>Escola B</i> responderam as questões.	62
Figura 25: Cálculo desenvolvido por um grupo de alunos para responder à questão desafio da estação 2, sobre a Física do Pêndulo.	64
Figura 26: Pêndulos simples utilizados para vídeo análise de seu movimento. Em (A) mostramos um pêndulo feito com uma bolinha de aço. Este foi utilizado pelos grupos 1 e 3 da <i>Escola A</i> . O pêndulo de bolinha de ping pong (B) foi utilizado pelo grupo 2 da <i>Escola A</i> . Os pêndulos (C) e (D), feitos com garrafinha PET e chumbada de pesca, respectivamente, foram montados por nós e fornecidos aos alunos da <i>Escola B</i>	66
Figura 27: Exemplos de vídeo análises do movimento de dois pêndulos simples realizadas pelos estudantes da <i>Escola A</i> , imagem superior, e <i>Escola B</i> , imagem inferior. Do lado direito de cada imagem é apresentada, na parte superior, o gráfico da amplitude de oscilação do pêndulo em função do tempo e uma tabela, na parte inferior, contendo as variáveis tempo (s), posição (m) e frequência angular (s^{-1}) do pêndulo.	67
Figura 28: Exemplos de planilhas preenchidas pelos estudantes das <i>Escolas A</i> , superior, e <i>Escola B</i> , inferior. As duas planilhas foram preenchidas através da vídeo análise do pêndulo feito com uma bolinha de aço e com uma garrafinha PET, como apresentado na figura 27.	68
Figura 29: Porcentagem de alunos das <i>Escolas A</i> e <i>B</i> que mais gostaram das estações 1, 2 e 3 do nosso produto educacional.	71
Figura 30: Porcentagem de alunos das <i>Escolas A</i> e <i>B</i> mostrando as estações que os alunos mais gostaram.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Plano de aula organizado pela professora Flavia Moura com as informações das estações do Ensino Híbrido.	13
Tabela 2: Informações sobre a organização dos espaços de cada estação.....	14
Tabela 3: Orientações sobre a avaliação da aprendizagem.	16
Tabela 4: Valores do comprimento e da massa de cada um dos pêndulos utilizados pelos alunos das <i>Escolas A e B</i>	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM – *Additive Manufacturing*

BNCC – *Base Nacional Comum Curricular*

EUA – *Estados Unidos da América*

GPS – *Global Positioning System*

IBECC – *Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura*

IdC – *Internet das Coisas*

MNPEF – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

PhET – *Physics Education Technology Project*

TDIC – *Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação*

FG – *Formulários Google*

COVID-19 – *Doença do Coronavírus (Coronavirus Disease) desencadeada no ano de 2019*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA E JUSTIFICATIVA	7
2.1 O ENSINO HÍBRIDO	7
2.1.1 Definição de Ensino Híbrido	8
2.1.2 Modelos do Ensino Híbrido	9
2.1.3 Plano de Aula	12
2.2 A IMPORTÂNCIA DAS TDIC	18
2.2.1 Uso dos simuladores da Plataforma PhET no Ensino de Física	22
2.2.2 Uso do Software <i>Tracker</i> no Ensino de Física	23
2.3 EXPERIMENTAÇÃO EM SALA DE AULA.....	25
CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
3.1 O QUE É UM PÊNDULO?.....	29
3.2 O PÊNDULO SIMPLES E O MOVIMENTO HARMÔNICO	31
3.2.1 Movimento Harmônico Amortecido	40
CAPÍTULO 4 - PREPARAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	42
4.1 FORMULÁRIOS GOOGLE	43
4.2 QUESTIONÁRIOS	47
4.3 ESTAÇÕES	48
4.3.1 Estação 1 – Simulador PhET	48
4.3.2 Estação 2 – A Física do Pêndulo	50
4.3.3 Estação 3 – Sistema Amortecido	51
CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	57
5.1 AULA 1 – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO E ESTAÇÃO 1	57
5.1.1 Questões e Respostas do Questionário Diagnóstico	58
5.1.2 Questões e Respostas da Estação 1 – Simulador PhET	61
5.2 SALA DE AULA INVERTIDA – ESTAÇÃO 2	63
5.2.1 Questões e Respostas da Estação 2 – Física do Pêndulo	63
5.3 AULA 2 – ESTAÇÃO 3 - AMORTECIMENTO	64

5.3.1 Montagem do Pêndulo Simples	65
5.3.2 Vídeo Análise Utilizando o Software <i>Tracker</i>	66
5.3.3 Encontrando a Aceleração da Gravidade e o Coeficiente de Amortecimento	68
5.3.4 Questões e Respostas da Estação 3.....	69
5.4 AULAS 3 E 4 – PROFESSOR.....	70
5.5 QUESTIONÁRIO FINAL.....	70
5.5.1 Respostas do Questionário Final.....	70
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE: PRODUTO EDUCACIONAL.....	80
ANEXO A: QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	106
ANEXO B: ESTAÇÃO 1 – SIMULADOR PHET.....	108
ANEXO C: ESTAÇÃO 2 – A FÍSICA DO PÊNDULO	116
ANEXO D: ESTAÇÃO 3 – SISTEMA AMORTECIDO.....	123

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Atualmente estamos passando por duas grandes transformações. A primeira delas é a presença da tecnologia do “Mundo 4.0”. Podemos, por exemplo, controlar a luminosidade de ambientes residenciais utilizando um aplicativo de celular, construir objetos utilizando uma impressora 3D, ou mesmo, realizar o plantio de uma lavoura utilizando máquinas controladas por GPS (*Global Positioning System*). Logo, é um mundo totalmente cercado pela tecnologia. Em sua dissertação de mestrado, Carvalho (2019) listou as tecnologias usadas nas fábricas inteligentes pertinentes ao “Mundo 4.0” como “[...] pode-se citar os aplicativos baseados em nuvem, *big data analytics*, robótica inteligente, simulação integrada da produção de produtos e *Additive Manufacturing* (AM) [...]”. (CARVALHO, 2019, p. 59).

A segunda transformação, denominada “Novo Normal”, está condicionada ao novo coronavírus (COVID-19) que vem afetando, entre muitas outras coisas, as relações sociais e a educação, trazendo mudanças significativas no comportamento da humanidade ocasionando uma realidade bastante diferente do que era antes do início da pandemia. Em relação às escolas, foi necessário realizar mudanças, de maneira emergencial, nas metodologias de ensino e utilizar recursos tecnológicos para substituir as aulas presenciais que passaram a ser realizadas em *home office*. Ao professor coube buscar novas formas de atuação, novas ferramentas tecnológicas, novas metodologias para manter o estudante motivado a continuar os seus estudos. Neste momento, o Ensino Híbrido, o uso das TDIC e a experimentação aparecem como importantes alternativas para auxiliar o professor no processo ensino-aprendizagem na disciplina de Física. Bordin e colaboradores (2020) indicam uma das ferramentas desta transformação como: “No contexto educacional, as propostas dão ênfase ao ensino remoto e, no caso da disciplina de física, é importante buscar formas de possibilitar acesso a aulas com viés experimental.” (BORDIN *et al.*, 2020, p. 147).

Até o início da década de 1980, onde o acesso aos computadores e celulares era raro, havia estudantes que necessitavam da figura do professor como um “repassador” de conteúdos. Segundo Moran, “os métodos tradicionais, que privilegiam a transmissão de informações pelos professores, faziam sentido quando o acesso à informação era difícil”. (MORAN, 2015, p. 16). Neste sistema formal de ensino, o estudante é um reproduzidor dos conceitos vistos em sala de aula. Segundo Mizukami este sistema “é um ensino caracterizado por se preocupar mais com a variedade e quantidade de noções/conceitos/informações que a formação do pensamento reflexivo”. (MIZUKAMI, 1986, p. 14).

O papel do professor, neste contexto, é o de ser o detentor do conhecimento utilizando a lousa e o giz para repassar suas teorias. A relação com os estudantes é sempre vertical e longitudinal. Mizukami diz: “O professor já traz o conteúdo pronto e o aluno se limita, passivamente, a escutá-lo.” (MIZUKAMI, 1986, p. 15).

O estudante de hoje é muito diferente deste que acabamos de citar, pois possui contato direto com as novas tecnologias. Muitos estudantes possuem acesso a um smartphone, a um computador ou mesmo a um tablet e, por este motivo, têm a oportunidade de aprender a qualquer instante, ou local, os conteúdos dos diversos componentes curriculares. Estes estudantes não são atraídos, geralmente, pelo sistema formal de ensino, pois a rede mundial de computadores com seus simuladores e outros aplicativos educacionais são bem mais interessantes. Portanto, a tecnologia está mudando a forma do ensino e da aprendizagem cabendo à escola organizar esta transformação. Segundo Moran, o uso da tecnologia possibilita “o ensinar e o aprender acontecendo numa interligação simbiótica, profunda, constante entre o que chamamos mundo físico e mundo digital”. (MORAN, 2018, p. 16). E, neste aspecto, a metodologia do Ensino Híbrido se encaixa de uma forma muito satisfatória.

O Ensino de Física é uma área de pesquisa em educação relativamente recente (GASPAR, 2004). Segundo Nardi (NARDI, 2005), no início da década de 1950 deu-se o marco inicial da pesquisa no ensino de Ciências com a criação do IBICC (Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura) e as primeiras inovações educacionais, proporcionando projetos de apoio às escolas como kits de montagens experimentais, feira de ciências, museus e clubes de ciências. Podemos definir que eram estas as tecnologias educacionais daquele momento. Estamos completando um pouco mais de meio século na busca efetiva para transpor à sala de aula o conhecimento construído pela física. Segundo Gaspar, “nesse curto período de tempo surgiram textos de notável qualidade e formou-se um grande acervo de conjuntos experimentais eficientes, acessíveis, fruto de exaustiva reflexão e pesquisa”. (GASPAR, 2004, p. 1).

Do início das primeiras pesquisas no Ensino de Física até os dias de hoje o mundo sofreu várias transformações sociais, econômicas, humanitárias e, principalmente, a evolução da tecnologia, fazendo o mundo passar por diversas mudanças de paradigmas. Tanto a escola quanto o professor e o estudante fazem parte desta nova transformação digital, através do contato, direto ou indireto, com as tecnologias atuais. A BNCC (Base Nacional Comum Curricular), em competências gerais da educação básica orienta que o estudante deve:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva. (BRASIL, 2017, p. 9).

Como já mencionado, o estudante tem contato com a rede mundial de computadores utilizando smartphones, tablets ou computadores, o que proporciona novas formas de interação com respostas cada vez mais rápidas, diferente dos modos de dizer e argumentar da vida escolar tradicional (BRASIL, 2017).

Estudos comprovam que as escolas brasileiras estão se adaptando para dar os primeiros passos nesta transformação e, neste sentido, a educação precisa ser muito mais flexível, híbrida, digital, ativa e diversificada (MORAN, 2018). Esta é a principal motivação do presente trabalho.

Uma outra metodologia interessante é a atividade experimental no Ensino de Física. Segundo Gaspar (2003), as montagens experimentais possuem três vantagens em relação às aulas apenas teóricas:

“A primeira está na quase certeza de que, durante a atividade experimental, todos os estudantes vão discutir as mesmas ideias e tentar responder às mesmas perguntas, sendo uma das condições essenciais para uma interação social.” (GASPAR, 2003, p. 24). Caso a montagem experimental seja bem planejada, bem executada e os estudantes entendam as questões propostas, será uma grande oportunidade de concretizar os conceitos físicos envolvidos em tal experiência.

“A segunda vantagem da atividade experimental sobre a teórica está na riqueza da interação social que ela desencadeia.” (GASPAR, 2003, p. 25). Em uma montagem experimental não é possível desprezar os fatores ambientais como temperatura, pressão atmosférica, luminosidade, atritos e imprevistos do próprio experimento. Todos esses fatores podem ser objetos de questionamentos que enriquecem a interação social.

“A terceira vantagem da atividade experimental se refere ao maior envolvimento do estudante, pois ele dificilmente arrisca previsões quanto ao resultado de atividades teóricas.” (GASPAR, 2003, p. 25). Uma montagem experimental simples, como a queda livre de duas bolinhas de massas diferentes, por exemplo, poderá abrir momentos de questionamentos e a participação efetiva dos estudantes no que se refere à comparação entre a teoria proposta e os respectivos resultados experimentais obtidos.

Como descrito, as montagens experimentais possuem uma forma muito interessante do estudante ser o protagonista do seu aprendizado. Entretanto, em face dos altos custos dos equipamentos de laboratórios tradicionais, muitas escolas não têm condições de adquiri-los, ou mesmo, um local físico apropriado para montagens destes equipamentos. Uma das propostas para amenizar esta dificuldade é desenvolver experimentos de baixo custo. Além de serem mais econômicos, um pêndulo simples construído com uma garrafinha PET e um pedaço de barbante, por exemplo, custa menos de 0,5% do valor de um equipamento industrializado e ainda tem a vantagem de fazer com que o estudante participe da montagem e desenvolvimento do experimento. Segundo Gaspar, a principal vantagem da produção do material pelos estudantes, além da motivacional, é que eles terão a oportunidade de saber como funciona o equipamento construído (GASPAR, 2003), proporcionando momentos únicos de aprendizado. Na nossa proposta utilizaremos a experimentação na análise do movimento oscilatório de um pêndulo simples, cuja montagem é realizada pelos próprios alunos.

O ensino mediado pelas Tecnologias de Informação e Comunicação (TDIC) também tem ocupado um lugar de destaque no Ensino de Física. Uma das vantagens é que o estudante tem contato direto com o Mundo 4.0. No caso específico de uma vídeo análise de um experimento com o uso de algum software o estudante necessita do seu próprio smartphone para filmagem do experimento e de um computador para realizar a análise dos dados. Neste trabalho nós contemplamos o uso de TDIC a partir da análise do movimento oscilatório do pêndulo através do software *Tracker*.

Um estudo feito por Lenz *et al.* (2017) demonstrou que o uso do *Tracker* no Ensino de Física é promissor por conta do baixo custo, da sua versatilidade e do interesse que desperta nos estudantes. Com o uso do *Tracker* é possível fazer uma análise da evolução temporal, das grandezas físicas e das condições reais do experimento sem a necessidade de instalações de sensores dos kits didáticos, proporcionando um tempo operacional muito maior para o estudante pensar nas hipóteses e conclusões do experimento. O trabalho descrito por Pereira (2017) mostra como o *Tracker* pode possibilitar uma aprendizagem significativa. Ele realizou diversos vídeos com os principais movimentos que o estudante realiza em seu cotidiano. As situações

filmadas foram: o andar devagar e depois correndo, movimento no skate e andando de bicicleta. Ao iniciar este trabalho foi realizada uma avaliação diagnóstica sobre os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conceitos envolvidos nas situações. Nesta ocasião duas situações chamaram nossa atenção, pois em nenhuma questão o índice de acertos foi maior que 50% e, a segunda, que muitos estudantes indicavam a alternativa “não sei responder”. Ao término do experimento foi realizada uma segunda avaliação diagnóstica que comprovou um aumento significativo de acertos das questões e o declínio da alternativa “não sei responder” (PEREIRA, 2017).

Outra importante ferramenta relacionada às TDIC são os simuladores virtuais, como os desenvolvidos e disponibilizados na plataforma PhET (*Physics Education Technology Project*) da Universidade do Colorado (EUA). Segundo Carraro (2016), o uso destes simuladores como recurso didático no Ensino de Física pode contribuir significativamente para a aprendizagem dos conteúdos físicos, pois estes agem como facilitadores e motivadores no processo de ensino aprendizagem. Os simuladores PhET são baseados em uma extensa pesquisa educacional envolvendo os estudantes por meio de um ambiente intuitivo e semelhante a um jogo, onde o aprendizado ocorre por meio da exploração e descoberta (PHET, 2002). Em suas simulações são mostrados fenômenos e conceitos que muitas vezes não são possíveis de serem realizados em montagens experimentais dentro de um laboratório escolar. Segundo Tavares (2008), a simulação possibilita ao estudante observar muitos fenômenos que poderiam demorar muito tempo para serem realizados em um laboratório didático. Esta também permite repetir a observação caso o estudante não tenha compreendido alguma etapa da mesma.

Em sua dissertação de mestrado, Carvesan (2016) fez uso do Ensino Híbrido para conceituar fenômenos ondulatórios. Ele mesclou os modelos *Laboratório Rotacional* e *Rotações por Estações* elaborando três estações onde os estudantes deveriam desenvolver as atividades propostas em cada uma delas. Na *Estação A* os estudantes realizaram uma pesquisa com o simulador *Fenômenos Ondulatórios* da plataforma *PhET*, na *Estação B*, responderam algumas questões adaptativas e, na *Estação C*, o encontro com o professor para sanar as dúvidas que surgiram nas duas outras estações. Após a realização das atividades e a coleta de questionários para conclusão, surgiram várias colocações interessantes,

A utilização de uma metodologia híbrida foi um divisor de águas, uma vez que se trata de uma metodologia inovadora, conseguiu inserir de fato o estudante no processo de aprendizagem, tirando-o do estado de passividade e atribuindo-lhe um papel fundamental na construção do seu próprio conhecimento. Ao se colocar diferentes sujeitos, que apresentam diferentes personalidades, em uma mesma atividade oferecemos a eles uma possibilidade

de acordo com sua individualidade e fazendo uso de suas habilidades, de construir o próprio caminho para aprender. O professor é fundamental no processo de construção dos estudantes como seres críticos, que questionem, discutam e correlacionem as informações ao seu redor, abandonando a postura de reprodutores. (CAVERSAN, 2016, p. 128 e 129).

Nosso produto educacional é composto de um material didático que consiste da combinação do método da experimentação, das TDIC e do Ensino Híbrido para explicar o movimento oscilatório de maneira geral, tendo como objeto norteador um pêndulo simples. A escolha deste tema foi feita pelo fato do movimento oscilatório estar presente em diversos sistemas físicos, tanto na natureza quanto no dia a dia dos estudantes e também pela montagem experimental sugerida ser de baixo custo, favorecendo o desenvolvimento do experimento pelos alunos tanto presencialmente quanto remotamente. Para a aplicação remota do produto fizemos uso de ferramentas digitais e das estações híbridas para o estudante se tornar protagonista do seu conhecimento e o ensino tornar-se personalizado. A proposta foi muito bem recebida pelos alunos, podendo ser aplicada através do ensino híbrido, ou seja, parte presencial e parte remota, e também em um contexto completamente remoto, devido à necessidade imposta pela pandemia de COVID-19.

Capítulo 2

REVISÃO DA LITERATURA E JUSTIFICATIVA

Nos dias atuais, em função da pandemia do Novo Coronavírus (COVID-19), o mundo está passando por mais um momento de transformação. Com a necessidade do afastamento social fomos obrigados a ficar em casa e vivenciar um “Novo Normal”. Não foi exclusividade ou privilégio de alguns, afetou-se todas as esferas e setores da sociedade que, de uma hora para outra, ficou sem saber como agir em determinadas situações.

Na área da educação não foi diferente. Estudantes e professores foram obrigados a se transformarem e se adaptarem de maneira emergencial ao “Ensino Remoto”. Para se adequar a esta nova realidade foi necessário pensar em estratégias de ensino-aprendizagem que viabilizassem a continuidade do aprendizado dos estudantes. Neste contexto, abordamos neste trabalho os conceitos físicos do movimento oscilatório através do ensino híbrido utilizando TDIC e experimentação, adaptados para serem trabalhados remotamente.

2.1 O ENSINO HÍBRIDO

O significado da palavra *Híbrido* em um dicionário, pertinente a área da educação, é “*Que ou o que tem elementos diferentes em sua composição.*” (PRIBERAM). No livro de Bacich, José Moran define que “[...] a educação sempre foi misturada, híbrida, sempre combinou vários espaços, tempos, atividades, metodologias e públicos.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 27).

As novas tecnologias têm proporcionado mudanças no processo *ensino-aprendizagem* tornando o ensino mais dinâmico e personalizado. O estudante tem a oportunidade de definir onde, como e de que forma buscar o seu aprendizado. E nesse sentido, o uso em conjunto das TDIC, das metodologias ativas e do ensino formal podem gerar bons frutos em seu aprendizado. Dessa forma, o Ensino Híbrido passa a ser o norteador de uma inovação disruptiva, rompendo com o estabelecido e melhorando o existente.

2.1.1 Definição de Ensino Híbrido

Ensino Híbrido, ou *Blended Learning*, vai muito além do uso das tecnologias pois, além de propor uma interação entre o mundo on-line e o presencial, está focado na personalização individual da aprendizagem. Segundo Bacich,

[...] a expressão Ensino Híbrido está enraizada em uma ideia de educação híbrida, em que não existe uma forma única de aprender e na qual a aprendizagem é um processo contínuo, que ocorre de diferentes formas, em diferentes espaços. (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 43).

Em uma pesquisa realizada em 2010 com mais de 80 escolas e 100 educadores, Christensen (2013) define, na perspectiva dos estudantes, que:

O ensino híbrido é um programa de educação formal no qual um aluno aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino *online*, com algum elemento de controle do estudante sobre o tempo, lugar, modo e/ou ritmo do estudo, e pelo menos em parte em uma localidade física supervisionada, fora de sua residência. (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013, p. 7).

Vemos então que o Ensino Híbrido é uma mistura do ensino on-line com o ensino presencial, aproveitando-se o que tem de melhor nos dois ambientes de forma a personalizar o aprendizado do estudante. O Ensino Híbrido permite ao estudante aprender em qualquer lugar, em qualquer tempo, de qualquer forma e em qualquer ritmo, tornando a sala de aula um local para sanar dúvidas e efetivar o aprendizado junto com o professor e seus colegas. Segundo Bacich (2015),

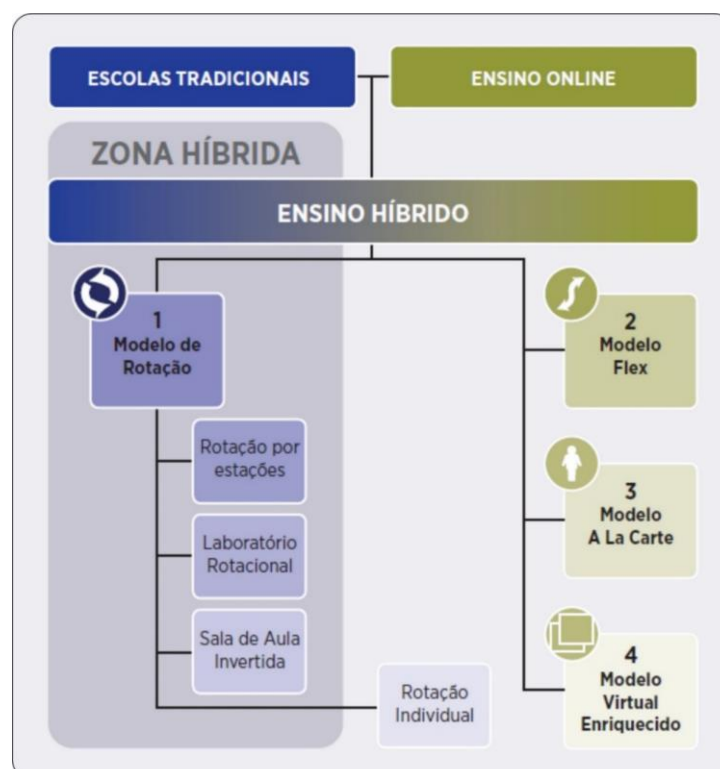
O aluno estuda o material em diferentes situações e ambientes, e a sala de aula passa a ser o lugar de aprender ativamente, realizando atividades de resolução de problemas ou projetos, discussões, laboratórios, entre outros, com o apoio do professor e colaborativamente com os colegas. (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 17).

É sabido que cada estudante aprende em um ritmo diferente, que tem mais facilidade neste ou naquele conteúdo programático. Isto quer dizer que cada ser humano é capaz de apreender desde que lhe seja oferecido condições e recursos adequados para isto (ROGERS, 2001). Também é sabido que as aulas centradas apenas na transmissão de conhecimento, modelo tradicional de ensino, não favorecem a todos os estudantes, o que difere do Ensino Híbrido, que está baseado na personalização do ensino, ou seja, o estudante passa a ser o centro do processo do ensino-aprendizagem e o professor passa a ser um mediador e consultor do aprendiz (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015).

2.1.2 Modelos do Ensino Híbrido

Segundo Christensen (2013) e colaboradores, o Ensino Híbrido possui quatro modelos de ensino que seguem o padrão de uma inovação híbrida (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013). Os modelos que estão na zona híbrida possuem, ao mesmo tempo, tecnologias do ensino tradicional e digital. No diagrama da figura 1 são destacados tais modelos.

Figura 1: Ilustração dos modelos do Ensino Híbrido.



Fonte: (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013, p. 28).

No *Modelo de Rotação* o estudante reveza entre as duas modalidades de ensino, tradicional e on-line, sendo obrigatório que pelo menos uma destas estações seja on-line. O roteiro pode ser fixo ou aleatório, conforme os objetivos elaborados pelo professor. Neste modelo as tarefas são desenvolvidas em pequenos grupos de estudantes ou mesmo a sala completa. São várias as atividades propostas como a produção textual, leitura de textos, discussões, tutoria individual e o uso das TDIC, onde a presença do professor nem sempre é necessária para o desenvolvimento das atividades. O *Modelo de Rotação* comporta quatro submodelos:

- *Rotação por estações*: é aquele em que os estudantes revezam as estações criadas dentro da sala de aula, sendo que pelo menos uma delas é on-line. Os estudantes são divididos em grupos de trabalho e ocupam uma das estações conforme critérios adotados pelo professor. Ao final do rodízio, o professor sintetiza o conteúdo visto através de uma roda de conversa com o grupo todo. Com os resultados obtidos das atividades realizadas por cada estudante, o professor terá condições de personalizar o aprendizado em função das dificuldades apresentadas pelos estudantes em cada estação. Segundo Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2015, p. 47), “de maneira geral, a *rotação por estações* é um dos modelos mais utilizados por professores que optam por modificar o espaço e a condução de suas aulas”.

- *Laboratório Rotacional*: neste modelo os estudantes revezam entre a sala de aula e um laboratório, podendo ser de informática ou de ensino como o laboratório de física. Existe a obrigatoriedade de que cada estudante, de forma autônoma, esteja com acesso a um computador, tablet ou smartphone. Os estudantes são orientados a desenvolverem as atividades e são acompanhados por um professor tutor. Segundo Bacich e Moran (2015, p. 46), “esse modelo é sugerido para potencializar o uso dos computadores em escolas que contam com laboratórios de informática”.

- *Sala de Aula Invertida*: é o modelo onde o estudante realiza o contato com a teoria, de forma on-line, fora do ambiente escolar. A sala de aula passa a ser um local para discussões, resolução de atividades ou outras propostas. O aprimoramento deste modelo se dá com a proposta de descoberta e investigação de um fenômeno antes de ser explicada a teoria. São oferecidos leitura de textos, vídeos, etc., para que o estudante tenha condições de realizar as atividades propostas. Alguns estudos sugerem que os estudantes estão mais bem preparados para compreender e apreciar a elegância de uma teoria, ou princípio, ao explorar primeiro o domínio e depois a teoria (SCHNEIDER; BLIKSTEIN; PEA, 2013).

- *Rotação Individual*: Diferentemente das outras estações, a atividade proposta é de personalização com atividades individuais onde o estudante não necessita passar por todas as

estações ou modalidades. O aspecto de avaliação deve estar presente pois, segundo Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2016, p. 48), “a elaboração de um plano de rotação individual só faz sentido se tiver como foco o caminho a ser percorrido pelo estudante de acordo com suas dificuldades ou facilidades”.

O *Modelo Flex* está focado totalmente no ensino on-line. O planejamento das atividades é feito de forma personalizada para cada estudante e o professor fica presente para sanar as dúvidas. Neste modelo é possível agrupar estudantes de outras salas, ou mesmo, de outros anos. “Esse modelo, apesar de ser considerado uma possibilidade metodológica, é tido como *disruptivo* e propõe uma organização de escola que não é comum no Brasil”. (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 49).

No modelo *A La Carte* o estudante participa de cursos on-line, com o professor também on-line e, ao mesmo tempo, tem contato com a modalidade tradicional. É um modelo personalizado e dirigido para alcançar os objetivos propostos pelo professor. Neste “o estudante é responsável pela organização dos seus estudos.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 49).

Por fim, o *Modelo Virtual Enriquecido* proporciona ao estudante dividir seu tempo de aprendizado, com conteúdos e atividades on-line, entre os espaços físicos da escola e o ensino remoto. Não há a necessidade do estudante frequentar a escola todos os dias. “Assim como o modelo *a la carte*, o modelo *virtual enriquecido* também é considerado disruptivo, porque propõe uma organização da escola básica que não é comum no Brasil.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 49).

Uma composição interessante de *Ensino Híbrido* é a união dos modelos *Rotação por Estações*, *Laboratório Rotacional* e *Sala de Aula Invertida*. Segundo Christensen, Horn e Staker (2013, p. 29), “os modelos de Rotação por Estações, Laboratório Rotacional e Sala de Aula Invertida trazem a solução híbrida que combina a sala de aula tradicional com o ensino online”. Ainda, segundo estes autores, esta estrutura satisfaz os pilares do Ensino Híbrido que são:

1. Ela apresenta uma combinação integracional do velho e do novo [...].
2. Ela é desenhada, em grande parte, com foco nos alunos existentes que aprendem tópicos centrais da educação formal em salas de aula tradicionais [...].
3. Ela preserva a função da sala de aula tradicional porque mantém os alunos em seus assentos na sala de aula por um número pré-determinado de minutos [...] se aproveita do ensino online para sustentar a sala de aula tradicional ao ajudá-la a obter melhores resultados [...].
4. Ela não é notavelmente mais simples ou intuitiva que o sistema existente [...] ela parece exigir todo o conhecimento, o saber-fazer do modelo

tradicional *mais* a nova habilidade na gestão dos dispositivos digitais [...]. (CHERISTENSEN; HORN; STAKER, 2013, p. 29).

2.1.3 Plano de Aula

O planejamento faz parte do nosso cotidiano. Planejamos o nosso dia de trabalho, nosso projeto de vida e de conquistas, entre outras situações. Para desenvolver a metodologia do Ensino Híbrido é necessário um planejamento que norteará o desenvolvimento da sequência didática. Segundo Vasconcellos (2000, p. 43),

[...] planejar é elaborar o plano de intervenção na realidade, aliando às exigências de intencionalidade de colocação em ação, é um processo mental, de reflexão, de decisão, por sua vez, não uma reflexão qualquer, mas grávida de intenções na realidade.

O plano de aula consiste em efetivar o planejamento no dia a dia. É o porquê ensinar, o que ensinar, como ensinar, quais recursos didáticos e o como tentar verificar a aprendizagem. De acordo com Vasconcellos (1995, p. 124) o plano de aula “é a proposta de trabalho do professor para uma determinada aula ou conjunto de aulas. Corresponde ao nível de maior detalhamento e objetividade do processo de planejamento. É o ‘que fazer concreto’ ”.

Lilian Bacich e colaboradores (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015) criaram um grupo de experimentação em Ensino Híbrido. Após uma seleção, foram escolhidos alguns professores que desenvolveram alguns planos de aula com foco na aplicação do Ensino Híbrido. Posteriormente, em seu livro, a própria autora descreveu alguns dos planos de aula aplicados por estes professores. Escolhemos um destes planos para exemplificar a aplicação do modelo Rotação por Estações. O plano de aula foi elaborado e desenvolvido pela professora Flávia Moura com o objetivo de proporcionar ao estudante o reconhecimento dos números inteiros, suas representações e ordenações. Na tabela 1 é mostrado o plano de aula com a escolha do modelo, objetivos e conteúdos. A organização dos espaços e das estações são apresentados na tabela 2 e os critérios de avaliação e os papéis do aluno e do professor na tabela 3.

Tabela 1: Plano de aula organizado pela professora Flavia Moura com as informações das estações do Ensino Híbrido.

Plano de Aula			
Nome do Professor	Flávia Moura	Disciplina	Matemática – 7º. Ano
Duração da Aula	100 minutos	Número de Alunos	32
Modelo Híbrido	(X) Rotação por Estações	() Laboratório rotacional	() Rotação individual
	() Sala de aula invertida	() Flex	
Objetivo da aula	Reconhecer os números inteiros, suas diferentes representações e suas formas de ordenação.		
Conteúdo(s)	Números inteiros: reconhecimento e relação de ordem.		
O que pode ser feito para personalizar?	O aluno pode realizar diversas atividades no seu tempo mesmo estando em grupo. As atividades propostas nas estações exploram diversas habilidades, como leitura e produção textual, trabalhos manuais e uso de tecnologias, bem como promovem a relação interpessoal.		
Recursos (Entende-se por recursos tudo aquilo que o professor precisará para desenvolver sua aula, p. ex, equipamentos tecnológicos, programas de computador, livros, cartolinas, site, jogos, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Notebooks equipados com fones de ouvido • Conexão com a internet • Folhas de papel almaço, lápis, borracha, cartolina colorida, régua, tesoura, cola, lápis de cor • Livro didático • Jogo <i>on-line: Number Balls</i> (o jogo consiste em clicar nas bolas que contém números inteiros relativos, em ordem crescente, no menor tempo possível). Disponível em: http://www.sheppardsoftware.com/mathgames/numberballs/numberballsAS2.htm • Plataforma Khan Academy: vídeo <i>Ordenação de números negativos</i>. Disponível em: https://pt.khanacademy.org 		

Fonte: (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 151 e 152).

Tabela 2: Informações sobre a organização dos espaços de cada estação.

Organização dos espaços				
Espaços	Atividade	Duração	Papel do Aluno	Papel do Professor
<p>Sala de Aula <i>Estação</i> <i>Khan Academy:</i> Alunos sentados individualmente. Um notebook equipado com fone de ouvido para cada aluno.</p>	<p>Assistir a um vídeo que ensina a relação de ordem no conjunto Z. (Disponível na plataforma Khan Academy ou no <i>link</i> https://www.youtube.com/watch?v=D1NEwIRLYJ0 e exercícios em https://pt.khanacademy.org/math/arithmetic/absolutevalue/add-subnegatives/e/ordering_negative_numbers.)</p>	<p>25 minutos</p>	<p>Alunos acessam a plataforma Khan Academy e assistem ao vídeo <i>Ordenação de números negativos</i>. Devem registrar no caderno as informações que julgarem importantes. Quem terminar as anotações no caderno faz os exercícios relativos a esse vídeo, disponíveis também na plataforma e com mesmo nome do vídeo.</p>	<p>Orientar o uso da tecnologia, estimular a colaboração entre os colegas e tirar dúvidas. O professor deve acompanhar o registro das informações no caderno, observando e avaliando se o aluno compreendeu o conteúdo.</p>
<p>Sala de aula <i>Estação Game:</i> Alunos sentados individualmente. Um notebook para cada estudante.</p>	<p>Comparar e ordenar números inteiros ao jogar <i>Number balls</i>.</p>	<p>25 minutos</p>	<p>Alunos acessam o <i>link</i> do jogo e praticam a relação de ordem entre os números positivos e os negativos.</p>	<p>Orientar o uso da tecnologia, estimular a colaboração entre os colegas. O jogo é intuitivo, exigindo pouca disponibilidade do professor.</p>

(CONTINUA)

Organização dos espaços				
Espaços	Atividade	Duração	Papel do Aluno	Papel do Professor
<i>Sala de aula</i> Estação Registrando <i>Alunos sentados em duplas.</i>	Produzir um resumo sobre a comparação entre números positivos e negativos.	25 minutos	Pegam o livro no armário, leem o capítulo <i>O conjunto dos números inteiros</i> e, em duplas, Produzem um texto explicando como é estabelecida a relação de ordem entre tais números.	Orientar a construção dos resumos, explicando aos alunos a importância de utilizar um discurso próprio e enfatizando a diferença entre escrever e transcrever.
<i>Sala de aula</i> Estação Reta <i>Alunos sentados em grupo.</i>	Confeccionar uma reta numerada em Z.	25 minutos	Usando recorte de papéis coloridos e folha de cartolina os alunos devem produzir uma reta numerada do conjunto Z. Ao final, colar no mural da sala.	Orientar a construção da reta, estimular a colaboração entre os colegas e tirar dúvidas.

Fonte: (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 152-154).

Tabela 3: Orientações sobre a avaliação da aprendizagem.

Avaliação			
<i>O que pode ser feito para observar se os objetivos da aula foram cumpridos?</i>	Além de avaliar o aluno durante as atividades por meio da observação de sua participação e desenvolvimento nas atividades, o professor avalia as produções feitas individualmente e em grupo.	<i>Aluno</i>	<i>Professor</i>
		<i>Como foi sua avaliação da aula? (Aspectos positivos e negativos)</i>	-
<i>Recursos de personalização pós-avaliação (opcional)</i> A partir dos dados coletados sobre o aprendizado do aluno nesta aula, será possível personalizar melhor a seguinte.	Poderá utilizar os dados gerados pela plataforma Khan Academy e a construção da reta de números inteiros para avaliar e personalizar a aula seguinte.		

Fonte: (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. ?)

Pode-se observar que o plano de aula elaborado pela professora mescla as metodologias tradicional, com o uso da sala, e on-line, como vídeos e *games*, caracterizando assim o Ensino Híbrido.

Na primeira estação, *Khan Academy*, foi utilizada a plataforma de mesmo nome para que os estudantes assistissem ao vídeo e depois fizessem as questões sobre os números inteiros. Segundo Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2015), o facilitador desta estação são exercícios semelhantes aos desenvolvidos durante a apresentação do vídeo possibilitando ao professor ficar mais livre para rodar entre os grupos observando os estudantes nas demais atividades. Outra facilidade foi que, após assistirem ao vídeo, os estudantes podiam sanar suas dúvidas com os seus pares. Por fim, como a plataforma *Khan Academy* é adaptativa, o professor teve a possibilidade de verificar os acertos e os equívocos cometidos pelos estudantes e, de posse destes dados, elaborar a personalização individual da aprendizagem. Outro aspecto interessante, apontado pelos autores, foi a realização de anotações sobre o que os estudantes observaram durante a apresentação do vídeo. “É fundamental que eles saibam interagir de modo autônomo com a tecnologia, selecionando informações relevantes daquilo que pesquisam na internet.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 154).

Na estação *game* foi utilizado o jogo animado *Number Balls*, hospedado na plataforma *sheppard software*, para o estudante ordenar os números inteiros e, desta forma, proporcionar a possibilidade de uma aprendizagem através do lúdico. “A vantagem do lúdico é aumentar o engajamento das crianças nas atividades, já que elas possuem bastante curiosidade e costumam gostar de atividades no computador.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 155). Por ser intuitivo, esta estação possibilita uma maior liberdade ao professor para poder atender aos outros grupos de estudantes que estão nas demais estações.

Os estudantes também tiveram a oportunidade de elaborar uma produção textual sobre o assunto visto em sala de aula. Na estação *Registrando* os estudantes leram um capítulo do material didático que descrevia sobre os números inteiros. Concluída a leitura e, em pares, realizaram um resumo dos principais tópicos do conteúdo. Segundo os autores, a elaboração do material em pares possibilitou discussões sobre os principais tópicos e, este, a construção coletiva do saber. “Assim, os alunos desenvolvem suas habilidades de argumentação, produção textual, leitura e também de relacionamento com os colegas.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 155).

A última estação recebeu o nome de *Reta*. Nela os estudantes, em grupos de oito participantes e utilizando os materiais contidos na própria estação, construíram uma reta numérica de cartolina representando os números inteiros. O objetivo desta estação era de

desenvolver no estudante o trabalho coletivo, a capacidade de organização social e a construção coletiva do conhecimento (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015).

Neste plano de aula observa-se diferentes estratégias e formas distintas de trabalho embora todas utilizando o mesmo assunto que era a ordenação dos números inteiros. “Com essas diversas formas de ensino, buscou-se oportunizar o desenvolvimento de diferentes habilidades além daquelas que devem ser construídas e desenvolvidas em relação ao conteúdo do currículo.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 155).

Sobre a avaliação, segundo os autores, o importante é que o professor corrija as atividades elaboradas pelos estudantes e, além disso, “note o engajamento dos estudantes nos grupos durante todas as rotações, observando o envolvimento geral e individual de cada um deles.” (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015, p. 155).

A pesquisadora Bacich, durante sua palestra sobre Ensino Híbrido (BACICH, 2016), relatou os resultados da sua pesquisa sobre os estudantes e professores em torno do Ensino Híbrido. Para o primeiro, o aprendizado é diferente, personalizado, aprendem “a aprender” de forma autônoma, descubrem suas dificuldades e, em caráter social, como se relacionar com os trabalhos realizados em grupo com os demais estudantes da sala. Para o professor, ocorre a mudança de postura, passando de um “reprodutor de conceitos” para um facilitador, mentor, parceiro do aprendizado do estudante com suas observações, acompanhamentos, feedbacks e sistematização para verificar o aprendizado do estudante.

Neste trabalho optamos pela metodologia de rotação por estações em um primeiro momento, mas esta teve que ser adaptada para o ensino completamente remoto devido a pandemia de COVID-19.

2.2 A IMPORTÂNCIA DAS TDIC

As transformações que o Mundo 4.0 está proporcionando em nosso cotidiano afetam a nossa maneira de pensar, agir e viver. Nesse novo mundo estamos cercados pela tecnologia que evolui a todo instante. O que víamos há 20, 30 ou 40 anos atrás, nos desenhos animados ou filmes de ficção, hoje se tornou realidade. Estamos em contato com residências inteligentes, carros com controle remoto, televisões Smart que funcionam com apenas um comando de voz, impressoras 3D, robôs autônomos, computação na nuvem entre outras tecnologias. Neste novo momento é raro um estudante não possuir ou deixar de ter contato com computadores,

notebooks, tablets e smartphones. Estes estudantes, usualmente chamados de *Nativos Digitais*, fazem parte de redes sociais, acompanham notícias, utilizam simuladores, trocam fotos pelos aplicativos de mensagens e realizam pesquisas sobre novos assuntos que ampliam o seu conhecimento sobre determinado componente curricular. Entretanto, são estudantes que necessitam de orientação para este novo cenário e a escola tem o dever de proporcionar este novo aprendizado de forma crítica.

A BNCC orienta na competência geral número cinco que o estudante deve:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva. (BRASIL, 2017, p. 9).

Desta forma, a BNCC contempla o uso das TDIC para o desenvolvimento de competências e habilidades relacionadas a *Cultura Digital* com o seu uso de forma crítica e responsável tanto na forma transversal, presente em todos os componentes curriculares, quanto de forma direcionada, com o uso das novas tecnologias, recursos e linguagens digitais.

Na competência específica número 3 da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio o estudante deve:

Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (BRASIL, 2017, p. 553).

Como habilidade, esta prevê que o estudante possa,

Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural. (BRASIL, 2017, p. 559).

A inclusão das TDIC na prática docente busca promover uma aprendizagem mais significativa dos componentes curriculares, alinhando o processo de ensino-aprendizagem à

realidade do estudante despertando, desta forma, o interesse e o engajamento nos conteúdos a serem estudados. São várias as ferramentas a serem utilizadas na implantação do uso das TDIC incluindo hipertextos, *podcast*, vídeos, simuladores, fóruns, softwares entre outros. A qualidade do ambiente de aprendizagem pode ser melhorada drasticamente com o uso de tecnologias da informação (PAPERT, 1994; MELO, 2017).

A utilização das TDIC no Ensino de Física possibilita um potencial para uma aprendizagem significativa. Para Moreira (1999), a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos ou preposições relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. De fato, a introdução das TDIC no ambiente escolar pode proporcionar uma aprendizagem ativa conforme alguns pesquisadores confirmam. Loureiro (2019) define, em sua pesquisa bibliográfica para investigar se as TDIC estão inseridas como recursos didáticos, que ao utilizar as TDIC nas aulas é possível desmistificar a física como uma disciplina difícil, de maneira que o estudante perceba que a física está intimamente ligada com a sua realidade, facilitando uma aprendizagem significativa.

Pires e Veit (2006), em seu trabalho sobre a implantação do uso das TDIC visando ampliar a interação entre estudante-conhecimento-professor, desenvolveu um site sobre gravitação e temas afins. Foram utilizados hipertextos, simulações interativas, fórum de discussão, diário de bordo e e-mail. Como resultado, conseguiram viabilizar a proposta de aumentar a carga horária das aulas de física e

[...] nas contribuições dos estudantes nos Fóruns de Discussão, 67% se envolveram no projeto e 82% expressaram serem favoráveis a esta proposta de aprendizagem de física [...].

[...] que estes resultados sugerem que conseguimos motivar significativamente os estudantes, o que é essencial segundo Ausubel e Novak para atingir uma aprendizagem significativa.

O professor da turma afirma que, apesar da implantação da experiência didática ter ocorrido apenas no último mês de aula [...] os estudantes ficaram envolvidos muito mais do que em outras disciplinas que mantiveram a forma tradicional de ensino (PIRES; VEIT, 2006, p. 247).

A utilização de vídeos também faz parte do rol de ferramentas TDIC. Na pesquisa realizada por Silva, Pereira e Arroio (2017, p. 52), sobre o uso da plataforma YouTube e os motivos que levam o estudante a buscar este caminho para seus estudos, eles afirmam que “não podemos negar que os vídeos têm desempenhado um papel importante na formação dos estudantes a partir da segunda metade do século XXI”. Para estes autores, a relação sala de aula real e o ambiente virtual de estudos com a utilização de vídeos educacionais encontrados na plataforma, pode provocar uma estratégia para o ensino de ciências de tal forma que o estudante

se reconheça como participante ativo, protagonista, do processo de ensino-aprendizagem. A utilização da plataforma permite ao aprendiz, a administração do tempo de estudos e a possibilidade de assistir novamente para um entendimento melhor do conteúdo que está sendo estudado. Para os autores,

Essas justificativas são plausíveis e sustentam a ideia de que os vídeos com fins educacionais disponibilizados no *YouTube* também são responsáveis diretamente pelo processo de ensino e aprendizagem. (SILVA; PEREIRA; ARROIO, 2017, p. 52).

Outra ferramenta interessante relacionada às TDIC é a *gamificação*. Segundo Bomfoco e Azevedo (2012), os jogos eletrônicos podem proporcionar experiências enriquecedoras, tornando-se também importante auxílio na aprendizagem tanto na escola como fora dela. Com a utilização da *gamificação* pode-se trabalhar narrativa, sistema de feedback, sistema de recompensas, conflito, cooperação, competição, objetivos e regras claras, níveis, tentativa e erro, diversão, interação, interatividade, entre outros (FARDO, 2013). Em uma experiência realizada por Oliveira e Nascimento (2020) utilizando a *gamificação*, seus estudantes desenvolveram um comportamento mais ativo, colaborativo, aumentando a motivação e o engajamento no processo de aprendizagem. Para isso, foi utilizada a plataforma *Classcraft* para desenvolver o conteúdo de eletromagnetismo com os estudantes do terceiro ano do Ensino Médio.

A plataforma *Classcraft* é um *game* de RPG educacional e gratuito onde professores e alunos jogam juntos em torno de um determinado conteúdo curricular. O objetivo da *Classcraft* é tornar a escola mais relevante e significativa promovendo habilidades cognitivas não curriculares como a colaboração, a empatia, liderança, comunicação e autoexpressão, que serão requisitos básicos para o estudante enfrentar o futuro mercado de trabalho (CLASSCRAFT, 2013).

Observando as experiências relatadas podemos dizer que o uso das TDIC pode promover uma aprendizagem significativa aos estudantes da era digital, pois utilizam objetos que fazem parte do seu cotidiano, ou seja, aproveita-se o que ele já tem de domínio, de modelos, de esquemas indo de encontro com a ideia de Moreira sobre a aprendizagem significativa,

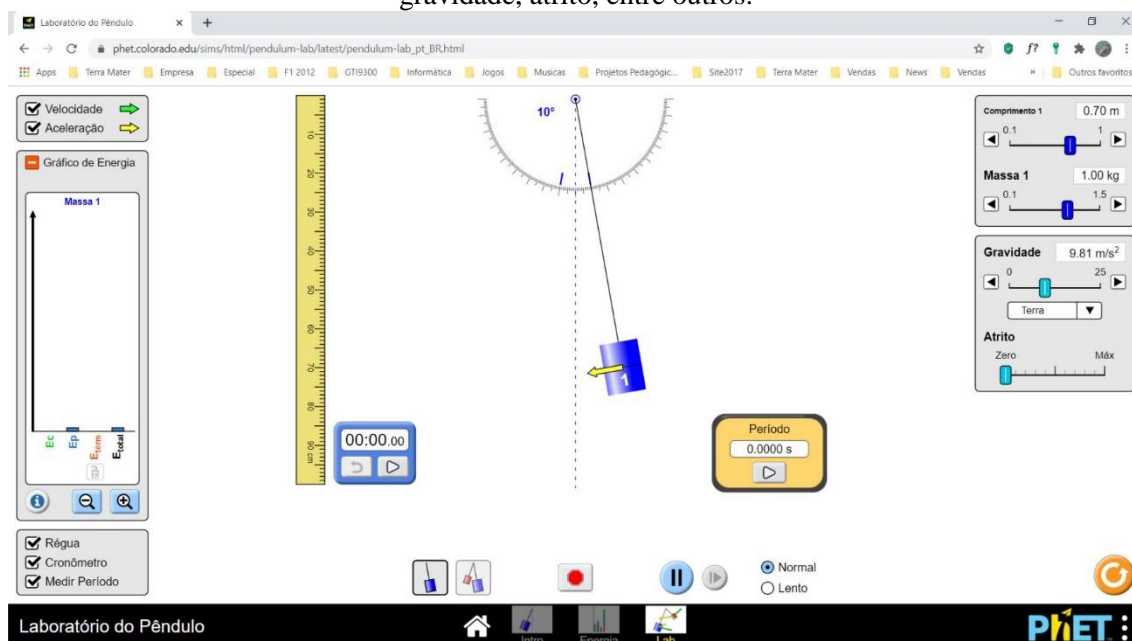
Resumindo, o aluno aprende a partir do que já sabe. É a estrutura cognitiva prévia, ou seja, conhecimentos prévios (conceitos, proposições, ideias, esquemas, modelos, construtos, ...) hierarquicamente organizados, a principal variável a influenciar a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. (MOREIRA, 2010, p. 18).

2.2.1 Uso dos simuladores da Plataforma PhET no Ensino de Física

Neste trabalho faremos uso de ferramentas que contemplam o conceito das TDIC. A primeira a ser utilizada é um simulador denominado *Laboratório do Pêndulo* (Figura 2) desenvolvido pela plataforma PhET (*PhET Simulações Interativas*). Tavares cita:

O uso desta tecnologia vem ganhando espaço dentro do Ensino de Física, pois pode fazer o papel de um laboratório didático tradicional que, em algumas escolas, esta realidade não existe. Segundo Tavares, quando um objeto se move o olhar que temos é sobre o movimento em si e não pelas causas que o fizeram entrar em movimento. Em um simulador temos a possibilidade de incluir vetores que representam, por exemplo, as forças atuantes e que ocasionam uma modificação no estado do objeto, permitindo assim uma análise mais concreta e empírica do modelo experimental e, desta forma, possibilitando a oportunidade de uma aprendizagem significativa do estudante. (TAVARES, 2008, p. 102).

Figura 2: Tela do simulador Laboratório do Pêndulo da plataforma PhET, mostrando várias funcionalidades como cronômetro, o vetor da força restauradora, o período de oscilação e parâmetros livres para serem ajustados como o comprimento do fio, o valor da massa suspensa, o valor da gravidade, atrito, entre outros.



Fonte: (PHET, 2019).

O projeto PhET, da Universidade do Colorado Boulder, foi desenvolvido pelo Prêmio Nobel Carl Wieman em 2002. Além de ser gratuita, a plataforma conta com uma quantidade significativa de simulações interativas envolvendo as áreas de Ciências e Matemática. As simulações desenvolvidas pela plataforma baseiam-se em pesquisas na área de educação e são construídas em um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde o estudante desenvolve seu aprendizado

através da pesquisa e da descoberta (PHET, 2002). Através da interação do estudante com a simulação, o projeto proporciona uma conexão com o mundo real demonstrando objetos em movimento, gráficos, grandezas, entre outros, como se a montagem experimental fosse realizada em um laboratório didático tradicional. À medida em que o estudante vai interagindo, alterando medidas, tempo ou outras grandezas, ele recebe um feedback imediato sobre as alterações realizadas na simulação. Isso proporciona investigar as relações de causa e efeito além de respostas a certas questões científicas envolvidas na simulação (PHET, 2002).

As simulações da plataforma PhET podem proporcionar um interesse maior, por parte dos estudantes, nas aulas de Física. Silva e Franco (2020) verificaram a aprovação e o interesse dos estudantes com a utilização das simulações PhET nas aulas de física, tornando a plataforma uma ferramenta motivadora e com grande potencial de aprendizagem.

Carvalho (2019) mostraram que o uso do simulador PhET pode contribuir muito no processo de ensino-aprendizagem com o aumento da motivação dos estudantes em aprender, interagir e cooperar com seus pares, como também, na investigação de novas situações. Eles observaram que os estudantes mostraram ter adquirido uma boa compreensão, a nível qualitativo e quantitativo, do assunto proposto (CARVALHO, 2019).

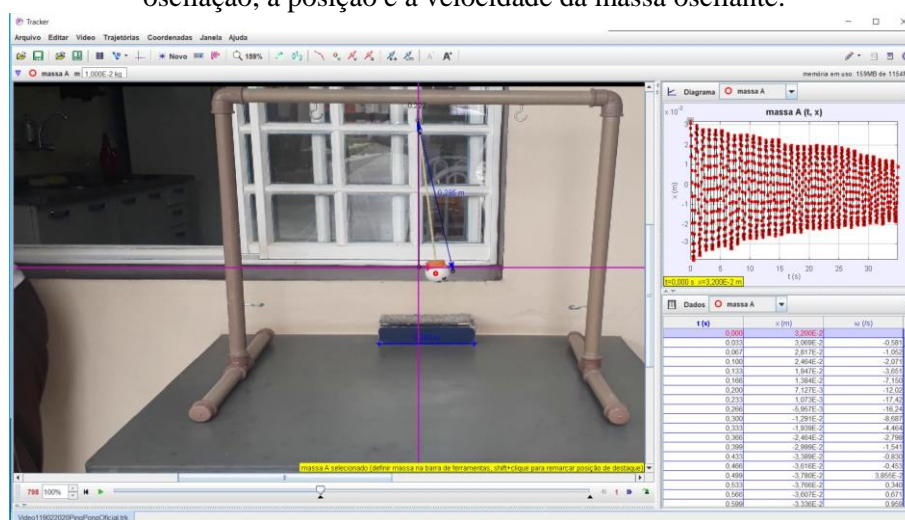
Diante do exposto pode-se concluir que a utilização de simuladores no Ensino de Física pode trazer muitas contribuições ao aprendizado do estudante e possibilitar uma aprendizagem significativa dos conceitos vistos durante a interação com este material. Segundo Moreira, um material potencialmente significativo deve ser relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz e, este, deve estar disposto a aprender (MOREIRA, 1999).

2.2.2 Uso do Software *Tracker* no Ensino de Física

Uma outra ferramenta relacionada às TDIC que utilizamos neste trabalho é o *Software Tracker*. Este foi desenvolvido pelo professor Douglas Brown da faculdade de *Cabrillo College* situada na cidade de Santa Cruz, Califórnia, EUA. Trata-se de uma ferramenta de modelagem e análise de vídeo de experimentos físicos que podem ser filmados por qualquer aluno utilizando um smartphone (TRACKER, 2020). Por ser de código aberto, o *Tracker* é uma excelente ferramenta de aprendizado, podendo complementar até mesmo as aulas em um laboratório didático tradicional dentro de uma escola. Ao fazer uma análise de um vídeo, o *Tracker* cria uma tabela inicial mostrando a evolução temporal em relação aos deslocamentos nas coordenadas horizontal e vertical do movimento de um corpo. Com suas tabelas e gráficos o estudante poderá fazer um estudo sobre várias grandezas físicas envolvidas na montagem

experimental como deslocamento, velocidade, energia cinética, momento linear, frequência angular além de observar os padrões de interferência envolvidos no sistema. A figura 3 mostra um exemplo de vídeo análise de um pêndulo simples utilizado neste trabalho.

Figura 3: Área de trabalho do software *Tracker* obtida durante a vídeo análise de um dos pêndulos simples montados neste trabalho. À direita na parte superior é mostrado o gráfico das oscilações amortecidas da massa do pêndulo, situada no centro da imagem. Na parte inferior, também à direita, é mostrada a tabela gerada pelo *Tracker* contendo algumas informações do sistema como o tempo de oscilação, a posição e a velocidade da massa oscilante.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seu trabalho sobre a utilização do *Tracker* aplicado aos conteúdos de movimento parabólico e a segunda lei de Newton, Bezerra e colaboradores (2012) afirmam que o *Tracker* adiciona qualidade e praticidade às montagens experimentais em relação ao laboratório didático tradicional, pois não são necessários equipamentos caros e complexos. Eles descrevem também que, o tempo necessário para o desenvolvimento do projeto pode ser ajustado aos cinquenta minutos tradicionais de uma aula de Física (BEZERRA JR *et al.*, 2012). Por fim, eles alegam que este ganho de tempo é revertido em observações da evolução temporal e das grandezas físicas envolvidas no experimento.

Na conclusão deste trabalho os autores demonstram que, após o estudante se apropriar do uso do *Tracker*, os mesmos passaram a realizar experimentos fora da sala de aula possibilitando uma interação ainda maior com a disciplina de Física proporcionando, inclusive, o trabalho colaborativo em equipe (BEZERRA JR *et al.*, 2012).

São vários os trabalhos que corroboram com as afirmações de Bezerra *et al.* (2012). O trabalho realizado por Alberton, Souza e Philippsen (2020), por exemplo, tem como proposta

verificar a potencialidade do *Tracker* no ensino-aprendizagem utilizando como conteúdo a queda livre dos corpos.

Cavalcante, Teixeira e Balaton (2016) mostram que o *Tracker* pode ser utilizado também como uma ferramenta auxiliar em outros experimentos que não envolvam apenas a dinâmica de um sistema. Através de um experimento didático de espectroscopia de baixo custo foi possível abordar conceitos físicos ligados à luz e às cores. Para a análise quantitativa eles utilizaram elementos que são ferramentas TDIC, como uma *placa de Arduino*, a linguagem de programação *Scratch for Arduino* e, para análise espectral, o software *Tracker* para determinar o comprimento de ondas envolvidos no experimento.

Estes trabalhos mostram que a utilização do *Tracker* nas aulas de Física pode tornar o aprendizado mais interessante, motivador e com potencial para uma aprendizagem significativa do estudante. Além disso, segundo Bezerra *et al.* (2012), a sua utilização é promissora por conta do baixo custo, da versatilidade e por despertar o interesse dos estudantes devido a dinâmica da aula (BEZERRA JR *et al.*, 2012).

2.3 EXPERIMENTAÇÃO EM SALA DE AULA

A Física é uma ciência que tem, como essência, a experimentação e a observação da natureza para descrever seus fenômenos através de leis e equações matemáticas. Entretanto, as montagens experimentais, como prática pedagógica, nem sempre estão presentes no cotidiano das aulas de Física. Segundo Gaspar, no Brasil, a experimentação nunca chegou a ser uma prática pedagógica rotineira (GASPAR, 2003). São vários os fatores que impedem este trabalho nas escolas brasileiras. Segundo Heck *et al.* (2016, p. 2):

[...] há muitas barreiras impedindo a realização das atividades experimentais nas aulas de física, entre elas, destacam-se: falta de tempo para preparação de plano de aula e conteúdo didático que relaciona teoria e prática; falta de pessoal para manutenção acabando por limitar o acesso a equipamentos mais delicados; falta de equipamentos laboratoriais e/ou materiais; laboratórios com dimensões não adequadas ao número de alunos e ausência de laboratórios presenciais na escola.

Contudo, a experimentação no Ensino de Física vem ganhando espaço, podendo ser vista como uma possível ferramenta para facilitar a aprendizagem significativa do estudante. A experimentação é uma habilidade a ser adquirida conforme indica a BNCC:

Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências (BRASIL, 2017, p. 557).

Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica (BRASIL, 2017, p. 559).

Segundo Moreira e Penido (2009) a experimentação é parte fundamental do processo de investigação, pois a formação de pensamento e atitudes do estudante ocorre durante as atividades investigativas. Galiazzi e colaboradores relatam que na pesquisa realizada por Kerr (1963) os professores indicaram dez motivos para realizarem experimentos em aulas de Física, sendo:

1. estimular a observação acurada e o registro cuidadoso dos dados;
 2. promover métodos de pensamento científico simples e de senso comum;
 3. desenvolver habilidades manipulativas;
 4. treinar em resolução de problemas;
 5. adaptar as exigências das escolas;
 6. esclarecer a teoria e promover a sua compreensão;
 7. verificar fatos e princípios estudados anteriormente;
 8. vivenciar o processo de encontrar fatos por meio da investigação, chegando a seus princípios;
 9. motivar e manter o interesse na matéria;
 10. tornar os fenômenos mais reais por meio da experiência.
- (GALIAZZI *et al.*, 2001, p. 252-253).

É fácil perceber que nesta relação está o estímulo e a observação como norteadores das habilidades tornando a experimentação motivadora da aprendizagem no Ensino de Física. Diante disso, vários pesquisadores vêm trabalhando para difundir o experimento didático no ensino de Física com materiais sofisticados ou de baixo custo ou, ainda, com materiais recicláveis (MOREIRA; PENIDO, 2000).

A experimentação está classificada em três tipos, conforme relata Araújo e Abib (2003). O primeiro tipo é a experimentação *demonstrativa* onde o professor é o personagem central cabendo ao estudante observar, anotar e classificar os fenômenos apresentados. O trabalho realizado por Sales (2019) ilustra a utilização da experimentação demonstrativa. Com um olhar sobre a Física Óptica, o trabalho contou com os seguintes experimentos: Espelho Infinito, Reflexão e Refração da Luz em diferentes formas geométricas e Câmara Escura de Orifício (SALES, 2019). Conforme os conteúdos teóricos eram ministrados, apresentava-se o respectivo experimento, da forma exata como deve ser uma experimentação demonstrativa. Com os resultados da pesquisa, Sales (2019) concluiu que os estudantes ficaram mais motivados e

estimulados em aprender ou revisar os conteúdos por um método diferente e foram mais atuantes com a construção do conhecimento deixando de ter uma atuação passiva.

Enfim, é seguro afirmar que o uso da experimentação nas aulas de física auxilia no desenvolvimento da construção do conhecimento científico, melhorando o processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos, aproximando a teoria da prática e a prática do cotidiano dos estudantes (SALES, 2019, p. 41).

A experimentação por *verificação* serve para comprovar ou descobrir leis e é o estudante, com o professor sendo um orientador, quem manipula os equipamentos e desenvolve a montagem experimental (SALES, 2019). Geralmente este tipo de experimentação é realizada após o estudante já ter conhecido os conceitos físicos envolvidos no experimento. A experimentação por verificação foi o método que menos relatos encontramos na literatura. Dentro destes poucos, tem-se o trabalho de Silva e Silva (2016), em que os autores investigaram a importância da experimentação para o Ensino de Física no Ensino Médio, apresentando uma montagem experimental sobre o conceito de pressão atmosférica aos alunos do segundo ano do Ensino Médio.

A partir dos resultados obtidos, os autores observaram que, por mais desmotivados e com grandes dificuldades que os estudantes estivessem com relação à disciplina, após a atividade experimental ocorreu uma mudança positiva e motivacional, a ponto de entender que uma simples montagem de um experimento pode ser usada como técnica para trabalhar os conteúdos da disciplina de Física e proporcionar uma possibilidade de uma aprendizagem significativa (SILVA; SILVA, 2016).

A experimentação por *investigação* é desenvolvida integralmente pelo estudante que usa o experimento para discutir ideias, elaborar hipóteses e compreender os fenômenos observados. Nesta situação o professor tem o papel importante de ser o mediador do conhecimento, interagindo com os estudantes durante o desenvolvimento da montagem experimental (SALES, 2019). O trabalho realizado por Silva Jr. e Coelho (2020) demonstra a possibilidade da experimentação por *investigação* potencializar não somente a dimensão conceitual da aprendizagem, como também, as dimensões procedimental e atitudinal. O desenvolvimento da investigação inicia quando o professor leva para a sala de aula uma montagem experimental contendo um relê ligado a uma lâmpada e o conjunto ligado a uma tomada. Algumas perguntas motivadoras são feitas, como por exemplo: “*Alguém tem noção do que é isso? Nosso objetivo é acender ou apagar a lâmpada sem tirar da tomada. Como a gente poderia fazer?*” (SILVA JR.; COELHO, 2020, p. 64). Este momento é importante pois, a

hipótese é o início da investigação, estimulando e motivando os estudantes a descobrirem o funcionamento do aparato observado.

No trabalho citado são apresentadas constatações bem interessantes e que demonstram o significado pedagógico de uma experimentação investigativa. Em relação às atitudes, a mais evidente foi o trabalho colaborativo entre os estudantes, a qual norteia a construção do saber científico. Esta atividade é coletiva e exige a colaboração entre os participantes do processo (SILVA JR.; COELHO, 2020). Em termos de procedimentos, a elaboração e os testes das hipóteses realizadas pelos estudantes, bem como a realização das interferências conceituais, foram as três categorias que mais sobressaíram. O papel do professor nesta questão é muito importante, pois será ele o mediador das atividades investigativas desenvolvendo um ambiente de aprendizagem aos estudantes e proporcionando um conhecimento interativo entre o pensar, sentir e fazer (SILVA JR.; COELHO, 2020). Em termos conceituais, a relação entre o saber científico e o saber comum foi bem desenvolvida. A hibridização entre estes saberes é importante para que os enunciados abstratos da ciência tenham relação social e pessoal com o estudante para que este tenha um entendimento consciente dos conhecimentos científicos.

Como descrito acima, a experimentação, sendo ela de caráter demonstrativo, de verificação ou de investigação, pode contribuir de maneira significativa para a melhoria do aprendizado de conteúdos de Física. Em nossa proposta, mostramos que a experimentação pode ser utilizada e considerada no processo de ensino e aprendizagem mesmo em um contexto remoto. Experimentos de baixo custo e fácil montagem, como o pêndulo simples, podem ser implementados pelos próprios alunos. A experimentação utilizada em nosso trabalho é do tipo investigativa, pois os alunos montaram o experimento com os materiais que acharam mais convenientes para a sua melhor execução, e também é de verificação, pois o valor da aceleração da gravidade foi calculado a partir do período de oscilação do sistema, o qual foi modelado negligenciando-se o atrito do ar. As divergências observadas no valor da aceleração da gravidade foram conduzidas com o objetivo de fazer com que os alunos enxergassem as limitações deste modelo a partir da observação do amortecimento das oscilações do pêndulo mapeadas com o auxílio do software *Tracker*.

Capítulo 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo 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.

3.1 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

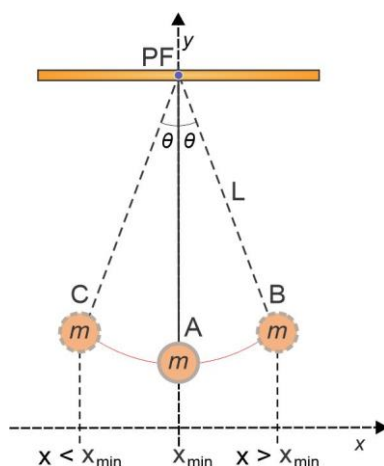
pêndulo executa oscilações torcionais em uma frequência fixa, dependendo apenas do torque do fio, que é constante, e do momento de inércia do disco. O pêndulo de torção é um instrumento excepcionalmente sensível na determinação de uma quantidade variada de fenômenos naturais, como a lei da repulsão eletrostática, 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.

3.2 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 4.

Figura 4: 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.

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} .

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)*.

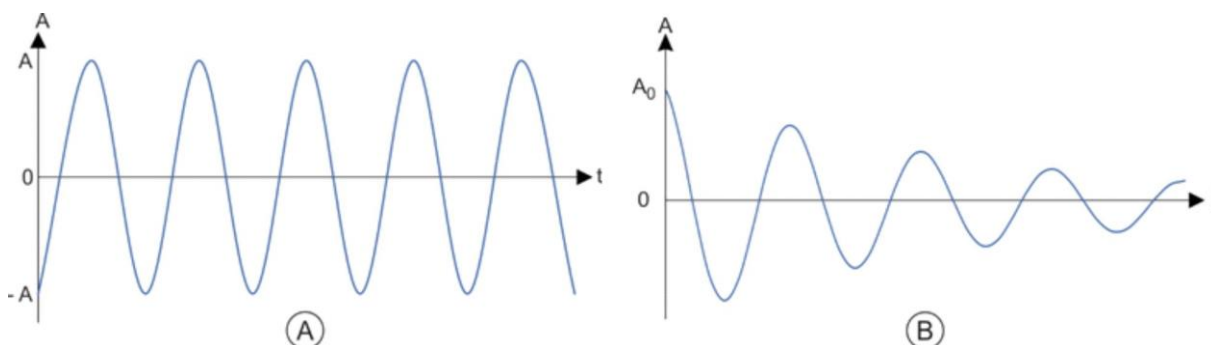
Se considerarmos alguma dissipação neste sistema, devido ao atrito do ar, por exemplo, dizemos que o movimento do pêndulo se torna amortecido, pois em algum momento ele cessará o seu movimento. Nesta nova configuração a energia do sistema não será mais conservada como no caso anterior, ou seja, a energia 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 5 são apresentados dois gráficos da amplitude A do movimento do pêndulo em função do tempo t , mostrando que para o sistema ideal (figura 5A) 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 5B 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 5B.

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.

Figura 5: (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.



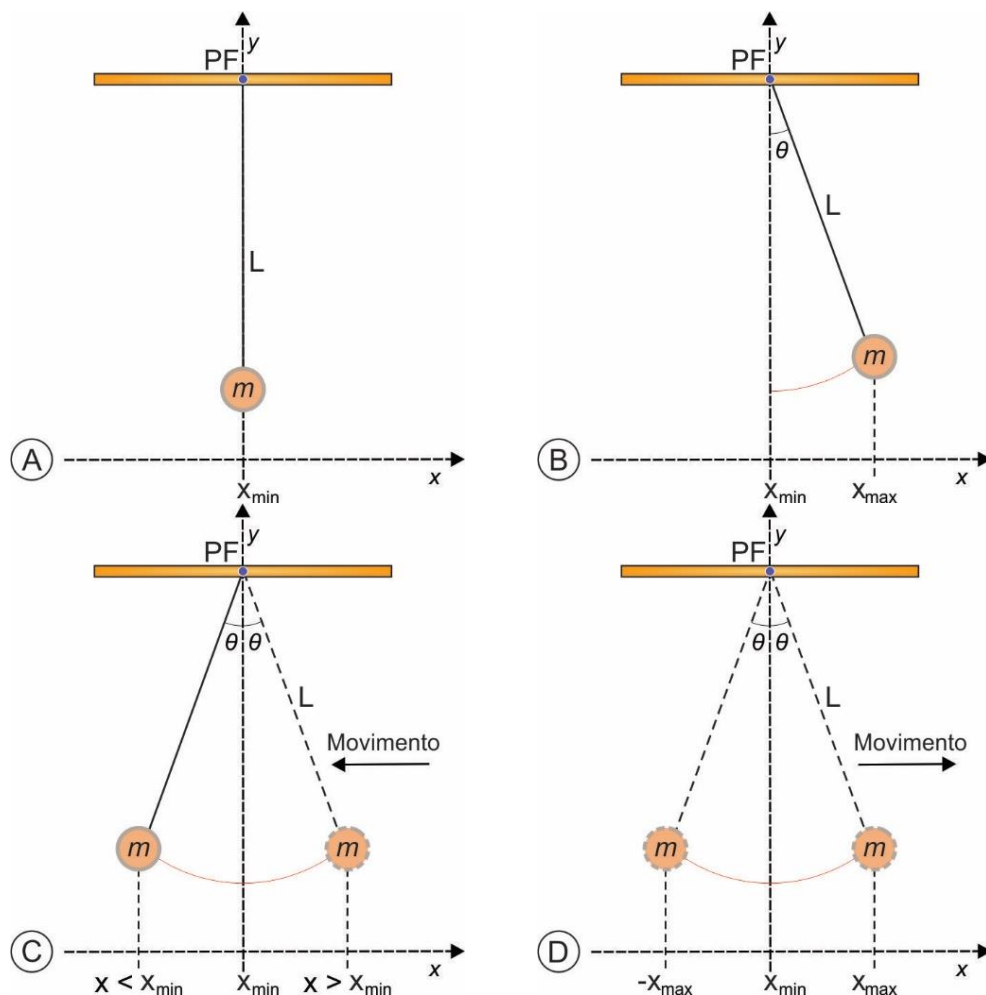
Fonte: Elaborado pelo autor.

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 6 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 6, serão substituídos por A e $-A$, respectivamente. O valor de $x = A$ é a amplitude do movimento do pêndulo.

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 7. No caso do pêndulo a força restauradora será dada por uma projeção da força peso, com dependência do ângulo θ .

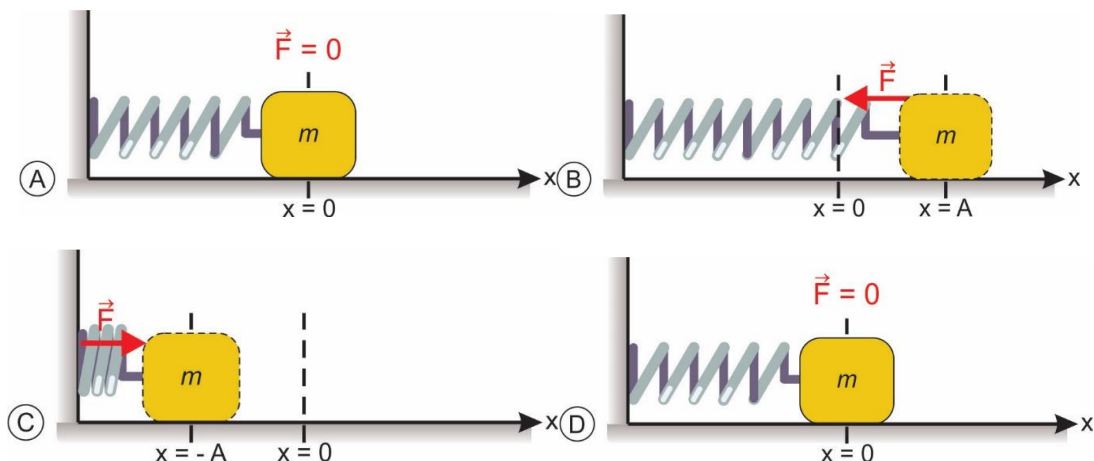
Figura 6: (A) Pêndulo na posição de equilíbrio estável x_{min} . (B) Pêndulo na posição $x > x_{min}$ formando um ângulo θ com a vertical localizada em x_{min} . (C) Pêndulo se deslocando da posição $x > x_{min}$, passando pela posição de equilíbrio estável e chegando à posição $x < x_{min}$. A amplitude do movimento é dada pelo valor máximo de x , denotada nesta figura por x_{max} .



Fonte: Elaborado pelo autor.

A 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 7B e 7C.

Figura 7: (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.

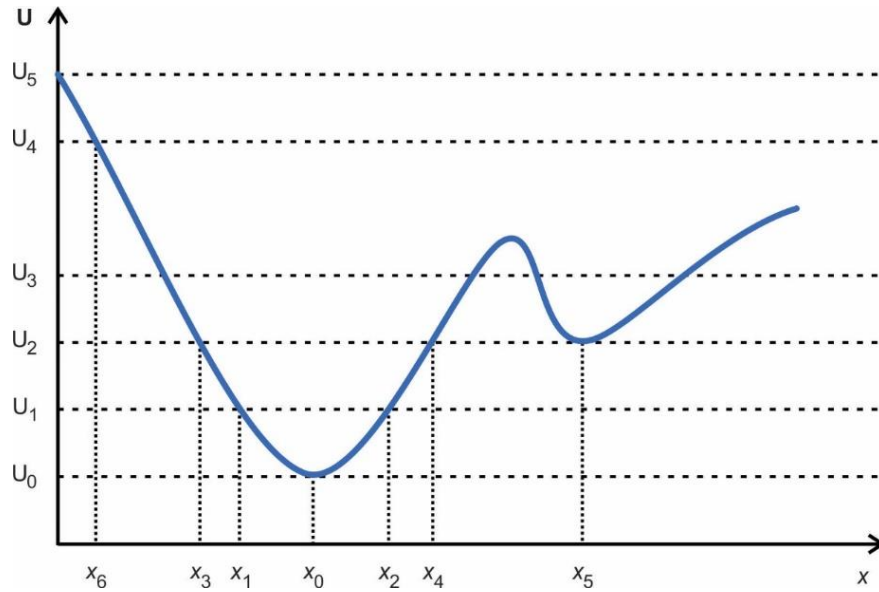


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para obtermos a forma da força restauradora de um sistema que realiza um MHS, como no caso das pequenas oscilações executadas por um sistema massa-mola ou um pêndulo simples, vamos considerar um potencial arbitrário, como o apresentado na figura 8, e ver como este se parece em torno de um mínimo local. Este é um local interessante para se analisar, porque qualquer sistema tende a permanecer próximo a estados de mínima energia independentemente do potencial que tenham. Para a função energia representada, observa-se que a menor energia potencial possível (U_0) está localizada no ponto de equilíbrio estável do sistema (x_0), onde o corpo permanecerá em repouso se não for perturbado.

Note pela figura que, se o sistema possuir energia U_1 este pode se mover entre os pontos x_1 e x_2 , sua velocidade decresce e seu movimento inverte o sentido quando o corpo chega nestes extremos. Neste caso os pontos x_1 e x_2 são chamados de *pontos de retorno* do movimento (SYMON, 1996). Com a energia U_2 o corpo se desloca entre os pontos x_3 e x_4 ou ainda poderá ficar em repouso no ponto x_5 , caso o sistema esteja neste estado. Se for fornecida uma energia ainda maior ao sistema, como U_3 , este terá quatro pontos de retorno e para U_4 , o mesmo terá somente um que está localizado em x_6 . Acima de U_5 não haverá ponto de retorno, significando que o sistema se moverá livremente em uma única direção.

Figura 8: Energia potencial $U(x)$ de um sistema arbitrário em movimento unidimensional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando um corpo se move próximo do seu ponto de equilíbrio estável podemos encontrar uma solução aproximada para o seu movimento. A melhor ferramenta para verificar como uma função se parece na vizinhança deste ponto é a série de Taylor. Expandindo $U(x)$ em uma série de Taylor em torno de x_0 , tem-se:

$$U(x) = U(x_0) + (x - x_0) \left(\frac{dU}{dx} \right)_{x=x_0} + \frac{(x - x_0)^2}{2!} \left(\frac{d^2U}{dx^2} \right)_{x=x_0} + \frac{(x - x_0)^3}{3!} \left(\frac{d^3U}{dx^3} \right)_{x=x_0} + \dots \quad (1)$$

Do lado direito da equação (1) o termo $U(x_0)$, constante, é irrelevante e pode ser desprezado, pois deslocar o potencial por uma constante não irá modificar a física do sistema. O segundo termo é zero pelo fato de estarmos analisando o sistema no mínimo $x = x_0$ do potencial, de maneira que $\left(\frac{dU}{dx} \right)_{x=x_0} = 0$. Como estamos trabalhando com x suficientemente próximo de x_0 , os termos $(x - x_0)^n$ para $n \geq 3$, são muito menores do que $(x - x_0)^2$, podendo ser desprezados. Dessa forma a equação (1) fica reduzida a:

$$U(x) \approx \frac{(x - x_0)^2}{2} \left(\frac{d^2U}{dx^2} \right)_{x=x_0} = \frac{1}{2} k(x - x_0)^2, \quad (2)$$

sendo $k = \left(\frac{d^2U}{dx^2} \right)_{x=x_0} > 0$, pois temos um mínimo em $x = x_0$. Como estamos trabalhando em apenas uma dimensão, a força aplicada no sistema pode ser escrita como $F(x) = -\frac{dU(x)}{dx}$, ou seja,

$$F(x) = -k(x - x_0). \quad (3)$$

Considerando $x_0 = 0$, por simplicidade, obtemos:

$$F(x) = -kx, \quad (4)$$

em que $k = \left(\frac{d^2U}{dx^2}\right)_{x=0} > 0$. Vemos então que qualquer potencial se parece basicamente com a lei de Hooke para um sistema massa-mola, desde que o movimento seja analisado próximo o suficiente de um mínimo local, ou seja, 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 7 para entender melhor o significado da equação (4). 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, $F = ma$, ou seja,

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -kx(t) \rightarrow \frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{k}{m}x(t) = 0. \quad (5)$$

Vamos fazer uma análise dimensional desta equação. Note que seus dois termos precisam ter dimensão de aceleração, o que significa que a dimensão da razão da constante k da mola pela massa deve ter dimensão de frequência ao quadrado, ou seja, $\left[\frac{k}{m}\right] = \frac{1}{s^2}$. Mais especificamente definimos a frequência angular $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ das oscilações livres do sistema massa-mola.

Diante dos resultados acima, não é difícil concluirmos que, para um potencial geral $U(x)$ a frequência angular pode ser obtida através de,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\left(\frac{d^2U}{dx^2}\right)_{x=x_0}}{m}}, \quad (6)$$

sendo m a massa do sistema em oscilação e $x = x_0$ a posição de equilíbrio estável do sistema.

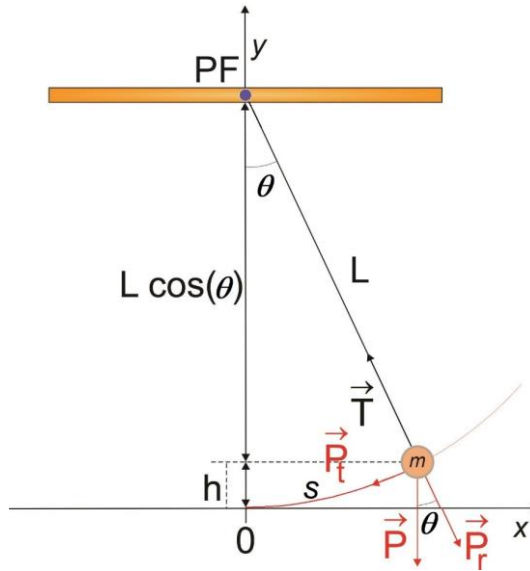
Como nós utilizamos o pêndulo simples para a discussão de oscilações em nosso trabalho, vamos determinar a constante k e a frequência angular das oscilações livres do pêndulo simples. Isso pode ser feito escrevendo-se a força restauradora do pêndulo na forma da lei de Hooke $F(x) = -kx$ ou escrevendo a equação diferencial que fornece a equação de movimento

do pêndulo. Outra alternativa é a partir da determinação da energia potencial do pêndulo, uma vez que $k = \left(\frac{d^2U}{dx^2}\right)_{x=x_0}$.

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,

$$F_P = -mg \text{ sen}(\theta). \quad (7)$$

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 , sua projeção $L \cos(\theta)$ no eixo-y, o arco s percorrido pelo corpo de massa m e h a altura do mesmo 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.

Como estamos analisando o movimento no regime de pequenas oscilações tem-se que $\text{sen}(\theta) \approx \theta$. 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 (7) pode ser escrita como:

$$F_P(s) = -\frac{mg}{L}s = -k_P s, \quad (8)$$

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:

$$\begin{aligned} \omega_0^{(P)} &= \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{mg}{mL}} \\ \therefore \omega_0^{(P)} &= \sqrt{\frac{g}{L}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Para confirmarmos o resultado da equação (9) a partir da energia potencial do pêndulo basta obtermos o valor de k_p . A energia potencial do pêndulo simples é dada pela energia potencial gravitacional. Assumindo que o zero do potencial é dado na posição de equilíbrio estável $x = 0$, quando o pêndulo estiver a uma altura h em relação a este ponto tem-se,

$$U_p = mgh = mgL(1 - \cos(\theta)). \quad (10)$$

Note que $U_p = U_p(\theta)$ e a constante k_p é definida em relação ao deslocamento da massa m , ou seja, $k_p = \left(\frac{d^2U}{ds^2}\right)_{s=0}$. Dessa forma precisamos fazer uma mudança de variável para obtermos k_p para $U_p = U_p(\theta)$. Sendo $\theta = \frac{s}{L}$ tem-se que $U(s) = U(s(\theta))$ de modo que:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{d\theta} &= \frac{dU}{ds} \frac{ds}{d\theta} = \frac{dU}{ds} L \rightarrow \frac{d^2U}{d\theta^2} = \frac{d^2U}{ds^2} \frac{ds}{d\theta} L = L^2 \frac{d^2U}{ds^2} \\ \therefore \frac{d^2U}{ds^2} &= \frac{1}{L^2} \frac{d^2U}{d\theta^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Logo,

$$k_p = \frac{1}{L^2} \left(\frac{d^2U_p}{d\theta^2} \right)_{\theta=0}. \quad (12)$$

Pela equação (10), $\left(\frac{d^2U_p}{d\theta^2}\right)_{\theta=0} = mgL \cos(0) = mgL$, o que nos fornece $k_p = \frac{mg}{L}$, confirmando o resultado obtido anteriormente.

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,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}. \quad (13)$$

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,

$$g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 L. \quad (14)$$

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.

3.2.1 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,

$$F_A = -bv \rightarrow F_A = -b \frac{dx}{dt}, \quad (15)$$

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.

Logo, a equação diferencial que determina o movimento do oscilador amortecido torna-se:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} &= -kx - b \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx &= 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Para o sistema amortecido adotaremos a frequência das oscilações livres como sendo ω_0 . Dessa forma a equação (16) pode ser escrita como:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0, \quad (17)$$

sendo $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$. Considerando o caso em que o coeficiente de amortecimento b/m é menor que a frequência de oscilação livre do pêndulo ω_0 , de maneira que a amplitude de oscilação do pêndulo diminua lentamente, a solução da equação (17) pode ser escrita como (TIPLER, 1995):

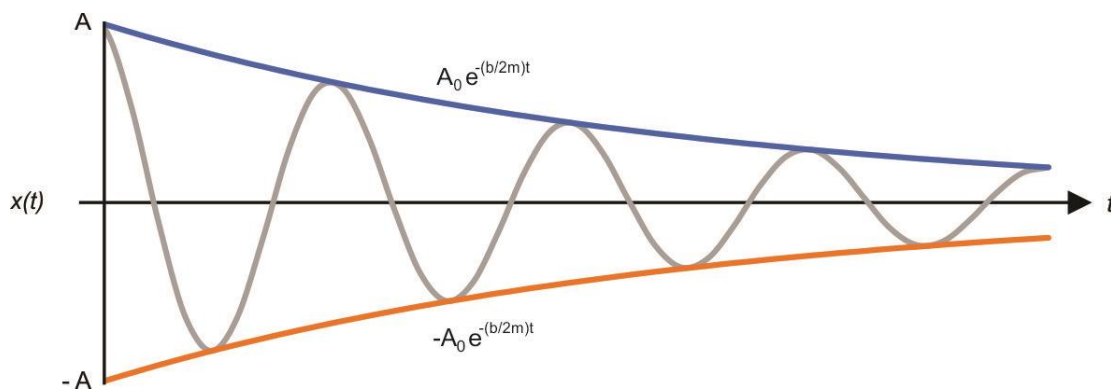
$$x(t) = A_0 e^{-\frac{b}{2m}t} \cos(\omega t + \phi), \quad (18)$$

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 (18).

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 (18), 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 (18). Note que a amplitude do movimento vai diminuindo com o tempo como $A_0 e^{-(b/2m)t}$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Capítulo 4

PREPARAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo apresentamos e discutimos como o nosso produto educacional e a nossa sequência didática sugestiva para a aplicação deste foram propostos, com foco no conteúdo destinado aos estudantes do segundo ano do Ensino Médio. Como discutido anteriormente, o tema que será tratado é o movimento oscilatório a partir da experimentação com um pêndulo simples com o uso do simulador PhET e vídeo análise através do *Tracker*. A metodologia que será empregada durante a aplicação será o *Ensino Híbrido* e será utilizado o modelo de *rotação por estações*. Elaboramos um total de quatro estações: *Simulador PhET*, *Conceitos do Pêndulo*, *Amortecimento* e *Professor*, representadas no fluxograma da figura 11.

Figura 11: Representação do modelo de rotação por estações utilizado neste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estas estações, com suas respectivas orientações e questionamentos, foram postadas na plataforma gratuita *Formulários Google*, para que a proposta seja aplicada remotamente. Além das estações, elaboramos um questionário *Diagnóstico*, com o objetivo de nos orientar sobre o conhecimento prévio do estudante em relação ao movimento oscilatório e um *Questionário Final*, para coletarmos a opinião dos estudantes sobre a metodologia proposta. Ambos os questionários foram postados na plataforma *Formulários Google*.

Pretendemos com esta proposta proporcionar ao estudante a possibilidade de uma aprendizagem significativa, para que este seja protagonista do seu aprendizado.

4.1 FORMULÁRIOS GOOGLE

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 a 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.

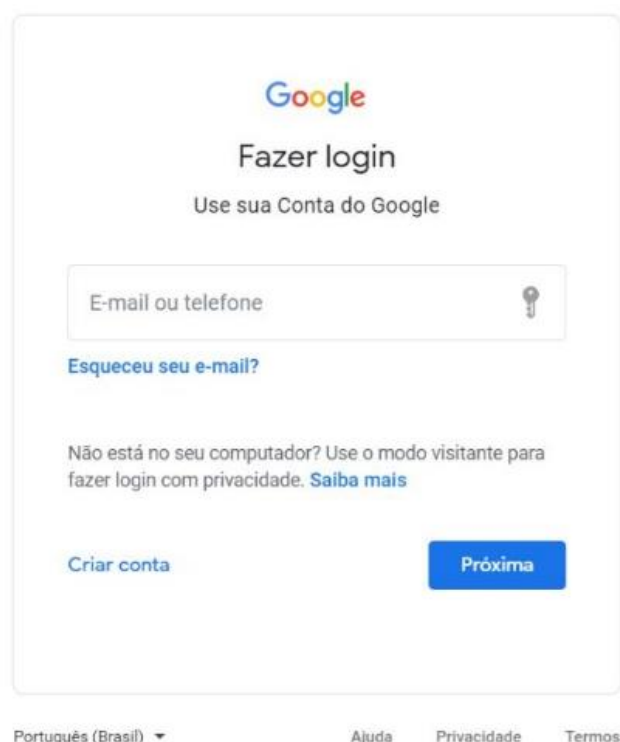
Após confeccionados, os formulários podem ser enviados por e-mail através de um link ou incorporado em uma página da internet ou mesmo compartilhado nas páginas do Facebook ou Twitter. As respostas dos formulários são catalogadas de forma organizada e automática com informações e dados inseridos no gráfico 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 12.

Figura 12: Página de login do Formulários Google.



Fonte: Elaborado pelo autor.

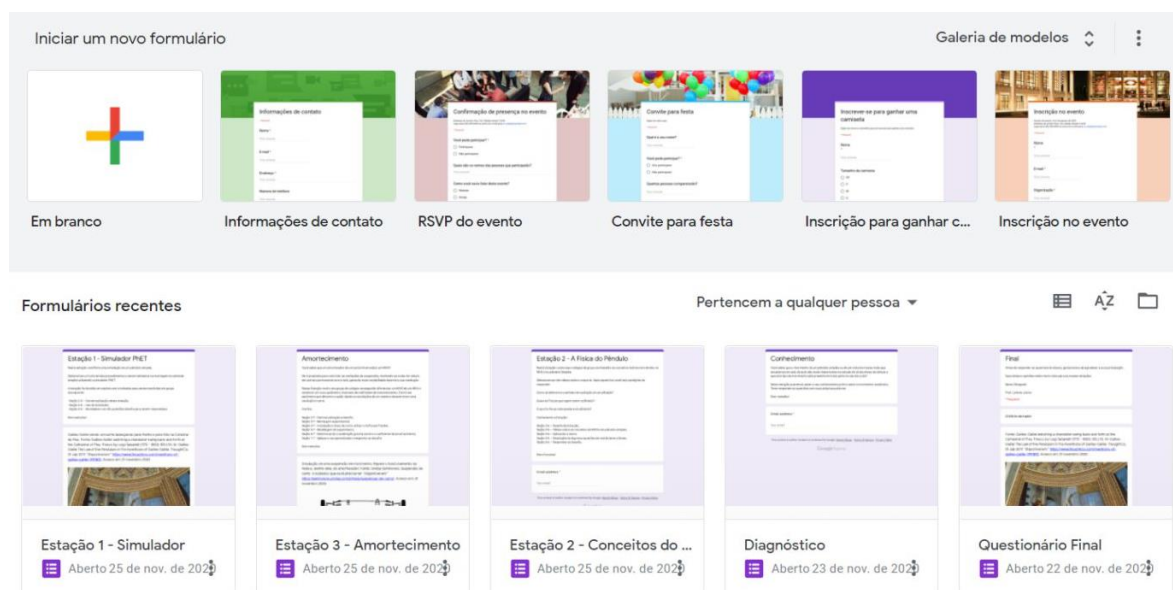
Feito o *login*, aparecerá a página inicial da plataforma com os links para iniciar um formulário em branco, ou outros modelos da galeria, e os formulários utilizados recentemente (figura 13). Feita a opção, clique no modelo escolhido para iniciar a construção das questões e informações do novo formulário.

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 14 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

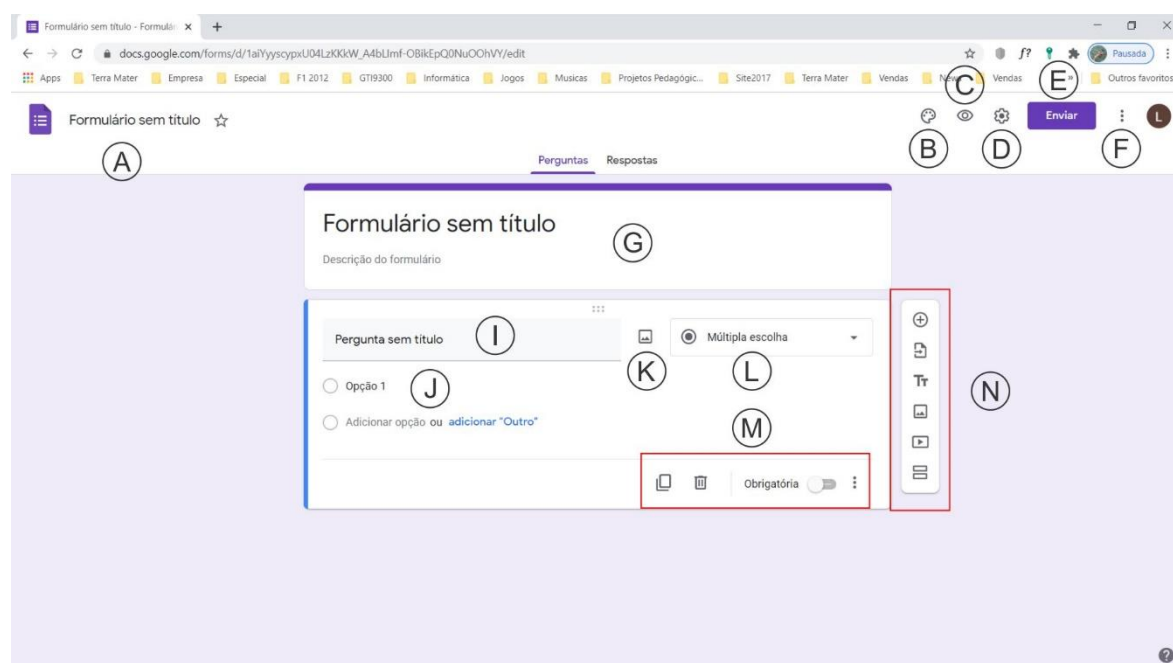
conta do leitor. Inicialmente é necessário criar um nome para o formulário. Para isso, é só clicar sobre a opção *Formulário sem título* no canto superior esquerdo (figura 14 A) e digitar um nome arbitrariamente. O segundo passo é fazer algumas configurações do formulário clicando em configurações (figura 14 D).

Figura 13: Página inicial do Formulário Google com os links para iniciar um formulário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

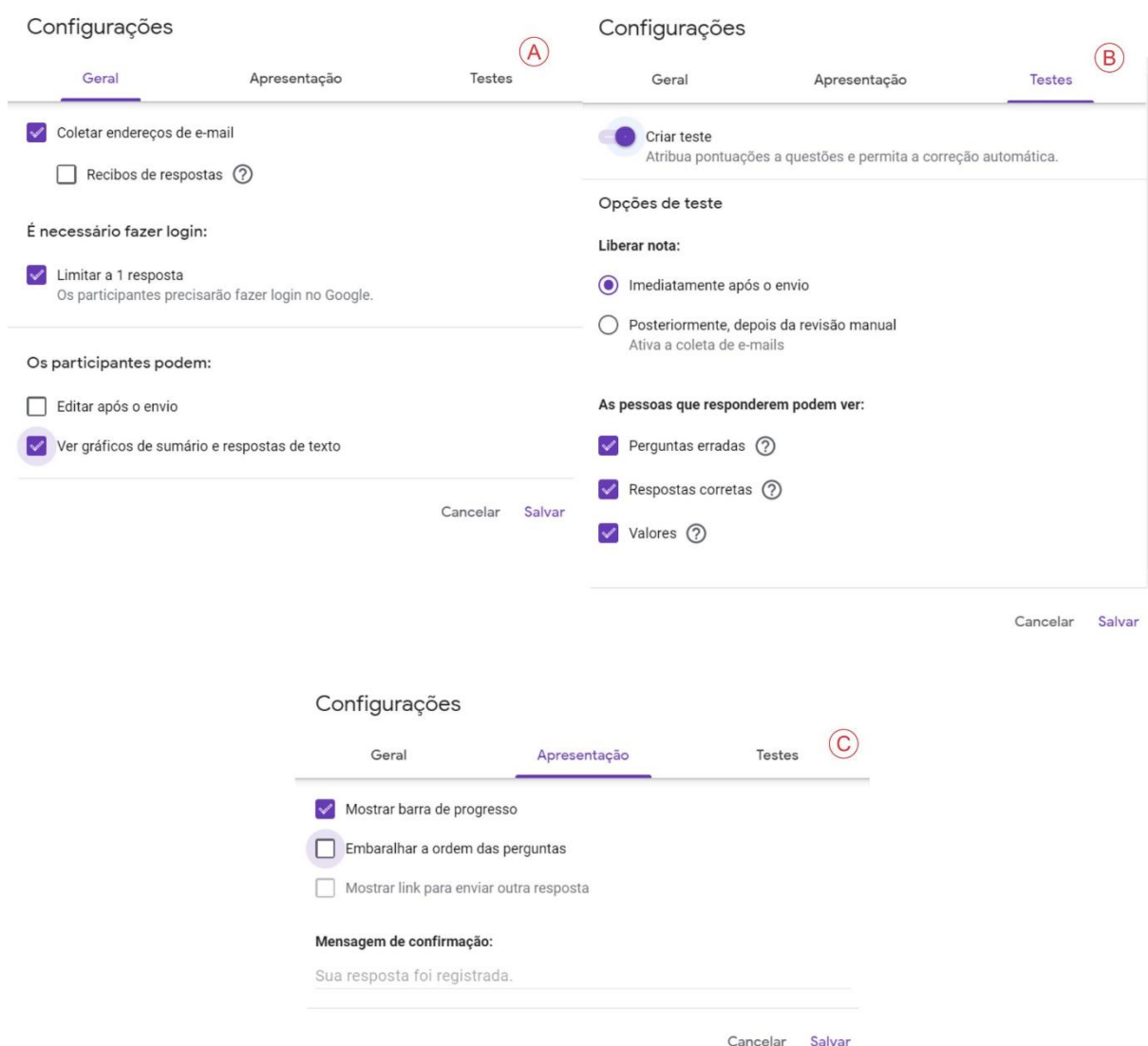
Figura 14: (A) Tela do Formulário Google indicando os campos a serem preenchidos e as ferramentas para personalizar o layout (B), visualizar como está a estrutura do formulário (C), configurações (D), botão para enviar o formulário (E) e outras opções de F a N descritas na própria página.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A configuração *Geral* diz respeito ao usuário que preencherá o formulário, veja figura 15 (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 15: 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 15 (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 15 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 14 (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 14 (I), e as opções de respostas são definidas pela lista suspensa *Múltipla Escolha* (figura 14 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 14 (J). Existem ainda as opções de *Duplicar a pergunta*, *Deletar a pergunta* e torná-la *Obrigatória*. Estas opções estão ilustradas na figura 14 (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 14 (N) e iniciar todo o processo novamente.

4.2 QUESTIONÁRIOS

Foram elaborados dois questionários para a aplicação da nossa proposta. O primeiro é um questionário diagnóstico feito para explorar o conhecimento prévio do estudante em relação ao tema escolhido, movimento oscilatório. Este pode ser acessado pelo link:

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

O segundo é um questionário final e foi elaborado para conhecer a opinião dos alunos sobre a metodologia do Ensino Híbrido e está disponível no link:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSxedeGPt770vhdzNMMyexNzEknXLWBVNyjrhlvtldaEhGoDpsA/viewform>

Como pode ser observado pelos links acima, ambos os questionários foram confeccionados na plataforma *Formulários Google*.

O primeiro 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.

No *Questionário Final* o estudante teve a liberdade para descrever suas observações, sugestões e críticas sobre a metodologia adotada, o Ensino Híbrido. Este questionário foi elaborado com uma seção onde inserimos uma imagem de Galileu Galilei com a frase “O início de Tudo” para referenciar os seus estudos sobre o pêndulo simples.

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

4.3 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.

4.3.1 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 16, 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 16: 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/1mR2uKollS7fICvyXW2_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 Formulários 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.

4.3.2 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/1FAIpQLScfRy7nbvDo4QqRqj1VTXJe5RfWuG1UyuQEJUbHBTDaHXiVLw/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.

4.3.3 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/1FAIpQLSfoio8cYhhB5Rxokp4zlOzzrKTuLkVpDLrvywsMixMH2Csi1Q/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 17, que deverão ser preenchidas pelos estudantes seguindo as seguintes orientações:

A primeira tabela é a *Localização* (figura 17A). 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 18A) desenvolvido pela DS Software e disponível no 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

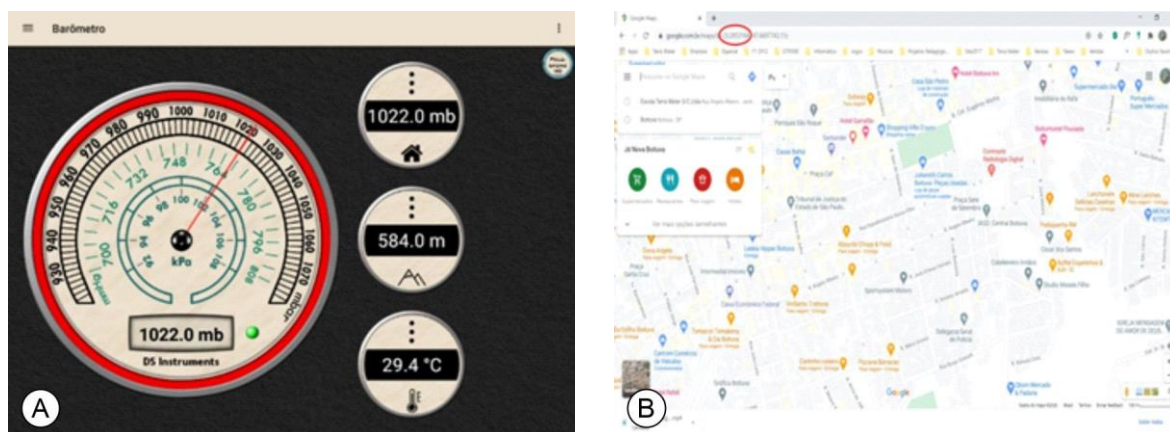
da latitude, em graus ($^{\circ}$), utilizamos o *Google Maps* instalado no smartphone, veja figura 18 (B).

Figura 17: 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 ($^{\circ}$)		2				Discordância	(D) #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.					
7	Qt de Períodos	10	6				Para encontrar os valores da aceleração da gravidade e do coeficiente de amortecimento é necessário o preenchimento completa da tabela Medidas Tracker		(E)			
8	Amplitude Inicial (m)		7									
9	Massa do Pêndulo (kg)	(B)	8									
10	Comprimento do Pêndulo (m)		9									
11	Taxa de Quadros (FPS)		10									
12	Ângulo Inicial (Rad)											

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18: (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.



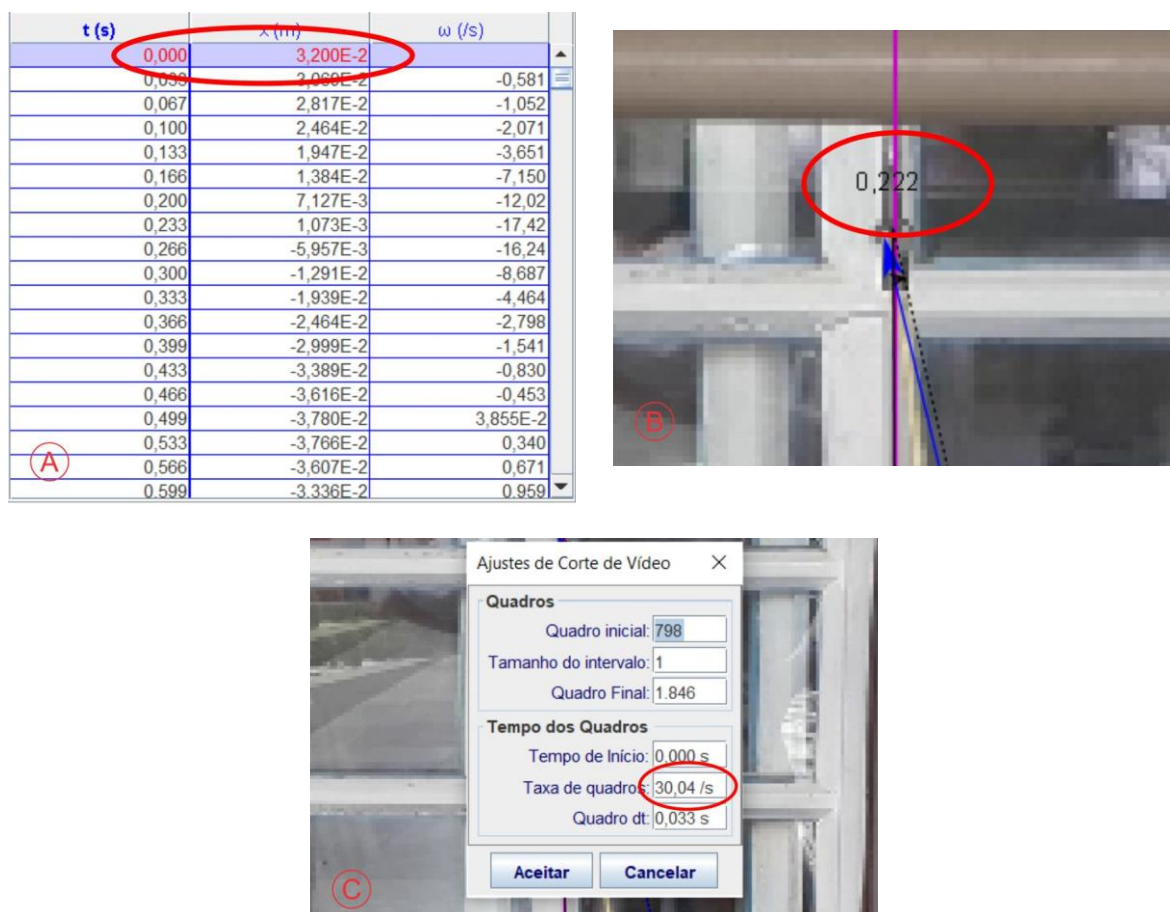
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela *Informações do Pêndulo*, figura 17 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 19 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.

A tabela *Medidas Tracker*, figura 17 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 20). 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 19: (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.

Após a tabela *Medidas Tracker* ser preenchida, a tabela *Resultados*, figura 17 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 (14) descrita no capítulo 3. Para determinar o valor da aceleração da gravidade teórica, utilizamos a equação descrita no trabalho de Lopes (LOPES, 2008) dada por:

$$g \approx \frac{g_p}{1 + \frac{\beta}{2}} (1 + \beta \text{sen}^2 \lambda) \left(1 - \frac{2z}{R}\right) \quad (19)$$

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.

Figura 20: Tabela gerada pelo *Tracker*, a qual fornece os valores do período t (s), da amplitude x (m) e da frequência angular ω (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	0,798
0,399	-2,999E-2	-1,541
0,438	-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.

Para determinar o *coeficiente de amortecimento* foi feito o ajuste da equação (18), veja seção 3.2.1, com os dados obtidos com o *Tracker*. Nesta parte da tabela, figura 17 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:

$$b_c = 2m\omega_0, \quad (20)$$

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.

Capítulo 5

APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto foi aplicado em duas escolas da rede particular de ensino localizadas em uma cidade no interior do Estado de São Paulo para alunos do Ensino Médio. Em uma das escolas, nomeada como *Escola A*, foi possível introduzir parcialmente, devido a pandemia de COVID-19, a proposta do Ensino Híbrido realizando a rotação por estações presencialmente e remotamente, com atividades on-line. Como o ensino presencial não retornou durante a execução das atividades, nós adaptamos a proposta para finalizar a aplicação na *Escola A* e a aplicamos em outra escola, nomeada como *Escola B*, em um contexto totalmente remoto. A *Escola A* é uma escola de pequeno porte e o produto foi aplicado para doze estudantes do terceiro ano. A *Escola B* possui porte médio e a aplicação foi feita em duas turmas do segundo ano, totalizando quarenta e oito alunos. Nas duas escolas o questionário diagnóstico foi respondido individualmente e as estações e o questionário final de forma colaborativa, com os estudantes trabalhando em grupos de quatro integrantes, com o intuito de atingir a socialização do conhecimento, que é uma das vertentes do Ensino Híbrido.

5.1 AULA 1 – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO E ESTAÇÃO 1

Nesta aula foi apresentado o tema e os objetivos a serem atingidos com a aplicação do produto. Em seguida foi solicitado aos estudantes para pensarem e responderem o significado do conceito de movimento oscilatório. Para ajudá-los foi proposta uma atividade de interação com a natureza onde eles observaram o movimento periódico de um galho de árvore sendo

impulsionado pelo vento e compararam a frequência deste movimento com a pulsação do coração deles. Após algumas discussões, foi proposto aos estudantes o preenchimento do questionário *Diagnóstico* com um tempo máximo de dez minutos para sua finalização.

As respostas deste questionário nos permitiram mapear o conhecimento prévio dos estudantes sobre o movimento oscilatório, mostrando informações importantes para comparações futuras e personalizações do aprendizado.

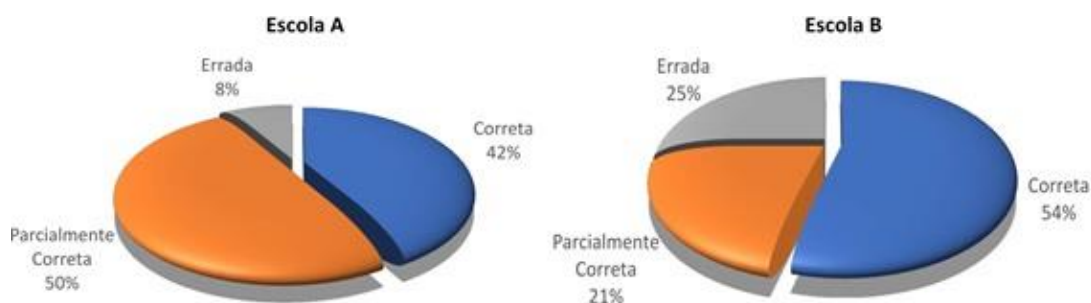
Na maioria dos questionários apresentados aos alunos nós consideramos as respostas como *corretas*, como sendo aquelas esperadas de acordo com as referências utilizadas no material didático, *parcialmente corretas*, se parte das respostas estavam de acordo com o nosso referencial e *incorretas* ou *erradas*, quando as respostas divergiam significativamente do que estava sendo trabalhado e discutido.

5.1.1 Questões e Respostas do Questionário Diagnóstico

Na primeira questão do questionário diagnóstico, veja Anexo A, nós pedimos aos alunos para descreverem com suas palavras o que é um movimento oscilatório.

Como resposta correta consideramos qualquer descrição que envolvia um corpo executando um movimento de “vai e vem”, ou um movimento periódico, ou um movimento repetitivo em torno de um ponto ou posição de equilíbrio. Na figura 21 apresentamos a porcentagem de alunos que responderam a questão de forma correta, parcialmente correta e errada para as duas escolas em que foi aplicada a proposta.

Figura 21: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para a questão 1 do questionário *Diagnóstico*, com 12 alunos da *Escola A* e 48 alunos da *Escola B*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Muitos alunos responderam de maneira correta esta questão, com alguns tentando fornecer respostas bem elaboradas como nos exemplos abaixo:

“São oscilações de movimento que necessitam estar em um período de tempo. Esses movimentos seguem um padrão de ida e volta.”

“Movimento oscilatório é um movimento que se repete de forma regular em períodos iguais de tempo.”

“É um movimento que se repete de tempos em tempos. E com ele podemos observar várias grandezas da física.”

Nas respostas parcialmente corretas percebe-se que a maior dificuldade de alguns alunos foi expressar suas ideias através da escrita, utilizando os termos científicos inerentes do assunto que estava sendo trabalhado, como:

“É um movimento realizado por um corpo dentro de um intervalo de tempo.”

“O movimento oscilatório é uma massa de peso que faz movimentos de ida e de volta.”

“De acordo com o que estudamos acredito ser correto dizer que o movimento oscilatório é aquele que proporciona movimentos de ida e volta porém sempre em uma mesma posição.”

Como exemplo de respostas erradas tem-se:

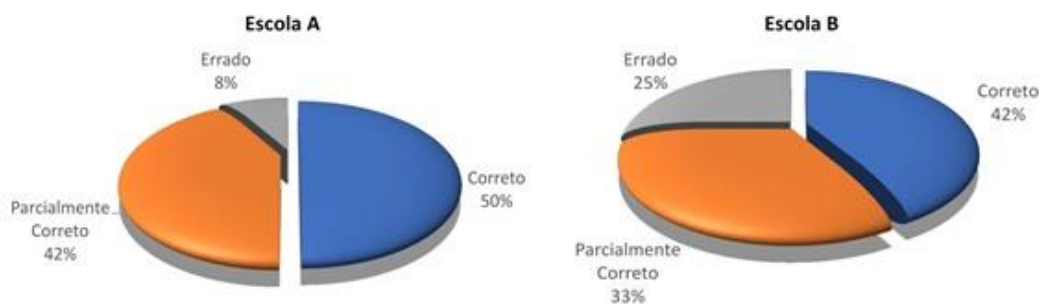
“Movimento contínuo de um objeto (a direção do movimento é indiferente).”

“é quando em um curto período de tempo alguma coisa leva para fazer o movimento.”

“Um movimento que não é igual, ele vai mudando de posição de acordo com o tempo.”

Na questão 3 foi perguntado aos alunos se o pêndulo realiza um movimento oscilatório. O objetivo desta pergunta era o de verificar se o estudante conseguiria relacionar o movimento do pêndulo com o movimento oscilatório descrito na questão 1. A estatística para respostas corretas, parcialmente corretas e erradas foi semelhante ao obtido para a questão 1 em ambas as escolas, veja figura 22, com algumas divergências apenas na forma de expressar as ideias. Isso mostra, de certa forma, que a maioria dos alunos conseguiram relacionar o movimento oscilatório com o movimento executado pelo pêndulo, pois foram os mesmos alunos que responderam de forma incorreta em ambas as questões.

Figura 22: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para a questão 3 do questionário Diagnóstico, com 12 alunos da *Escola A* e 48 alunos da *Escola B*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A identificação do movimento oscilatório em outros sistemas físicos foi feita pelos alunos na questão 5, na qual foram solicitados pelo menos três exemplos deste tipo de movimento observados no cotidiano deles. Veja alguns exemplos de respostas dos alunos:

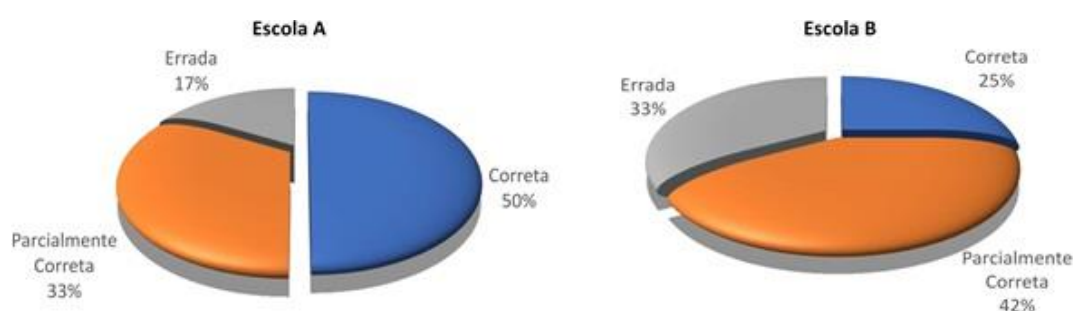
“A corda do violão, o movimento quando puxamos e soltamos uma régua ou mesmo quando balançamos em algum brinquedo como exemplo o próprio balanço. Estes podem ser comparados ao pêndulo pois realizam um movimento oscilatório (ida e volta).”

“Uma roda de carro, por sempre fazer o seu movimento repetitivo.”

“A rotação do planeta Terra, que acontece durante períodos iguais de tempo realizando movimentos iguais; o ponteiro de um relógio, e um ventilador, que faz diversas rotações padronizadas a cada minuto.”

É interessante notar que no segundo e terceiro exemplos descritos acima, os alunos associam de maneira correta o movimento circular do pneu de um carro e a rotação do planeta Terra a um movimento oscilatório. Mesmo estes não sendo caracterizados por um movimento de “vai e vem”, como o do pêndulo, eles perceberam que existe um período de movimento, que é uma das propriedades físicas características do movimento oscilatório. Se analisarmos o movimento de um sistema realizando um movimento circular uniforme e o projetarmos o mesmo em um eixo, veremos um movimento de “vai e vem” como em um pêndulo ou em um sistema massa-mola. Como respostas erradas a maioria dos alunos responderam apenas como “*não me lembro professor*” e “*não sei*”. A porcentagem das respostas para a questão 5 do questionário *Diagnóstico* é apresentada na figura 23 para as duas escolas.

Figura 23: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para a questão 5 do questionário Diagnóstico, com 12 alunos da *Escola A* e 48 alunos da *Escola B*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as questões um pouco mais técnicas, como nas questões 6, 7 e 8, em que é pedido para os alunos identificarem os parâmetros que descrevem o movimento do pêndulo e as

definições de movimento harmônico simples e amortecido, nota-se que os alunos tiveram um pouco mais de dificuldade, por terem pouca familiaridade com tais terminologias.

De maneira geral os alunos participaram ativamente desta atividade, tentando responder todas as questões do questionário *Diagnóstico*, mostrando que a atividade foi muito bem recebida por eles.

5.1.2 Questões e Respostas da Estação 1 – Simulador PhET

Esta estação foi elaborada para o estudante conhecer a relação de dependência do período de oscilação do pêndulo com o seu comprimento e da independência do mesmo com a massa do corpo suspenso, veja Anexo B. Para esta atividade foram formados grupos de trabalho com quatro estudantes e com tempo máximo de trinta minutos para finalizar o preenchimento das questões propostas para esta estação. O início do trabalho se deu com a apresentação da plataforma PhET com o professor fornecendo dicas sobre o manuseio do simulador Laboratório do Pêndulo. Antes de iniciar as atividades, discussões e o preenchimento das questões, o professor apresentou a questão desafio da estação aos alunos e revisou o conceito de dilatação térmica linear dos sólidos.

Como os tutoriais desta estação são bem direcionados e os roteiros de simulação são fortemente estruturados os alunos não tiveram nenhum problema para a execução das atividades e para responder as questões da estação.

A estação foi finalizada com os alunos respondendo as questões do desafio. Para isso eles deveriam relacionar o conceito de dilatação térmica dos sólidos com o aumento ou diminuição do período de oscilação do pêndulo de um relógio devido às mudanças de temperatura impostas ao sistema.

Considerando, por simplicidade, que a aceleração da gravidade (g) possui o mesmo valor no Alasca, no Cairo e em São Paulo, a análise pode ser feita diretamente em relação ao comprimento (L) do pêndulo do relógio, uma vez que o seu período de oscilação é dado por $T = 2\pi\sqrt{L/g}$, veja seção 3.2. No caso de uma diminuição (aumento) de temperatura, L diminui (aumenta) e conseqüentemente o período de oscilação do pêndulo irá diminuir (aumentar) fazendo com que o relógio adiante (atrase) a marcação do horário. Portanto, tomando como referência o clima de São Paulo, o relógio de pêndulo irá adiantar quando for deslocado para o Alasca, devido as baixas temperaturas, e irá atrasar quando estiver no Cairo, onde as

temperaturas são maiores. Na figura 24 apresentamos as respostas dos alunos das duas escolas. Nos gráficos superiores a resposta correta é Alasca e nos inferiores Cairo.

Figura 24: Porcentagem das respostas fornecidas pelos estudantes das duas escolas para as questões desafio da estação 1. Na parte superior a resposta correta é Alasca e na parte inferior, Cairo. No total 12 alunos da *Escola A* e 48 alunos da *Escola B* responderam as questões.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo são apresentados alguns exemplos de respostas certas e erradas que refletem de maneira geral como as respostas dos alunos foram dadas.

- Em qual local o relógio de pêndulo adiantou? Justifique a sua resposta.

“O relógio adiantou na cidade do Alasca, pois com a temperatura muito baixa, houve uma diminuição no pendulo fazendo com que aumentasse a frequência de sua oscilação.”

“O local que adiantou foi no frio. Isso ocorre porque a haste que prende o pêndulo é de metal, portanto ela dilata no calor e contrai no inverno, e o tempo que demora pro pêndulo dar uma volta varia proporcionalmente ao tamanho da haste (quanto maior a haste, mais tempo levará para completar a volta, e vice-versa).”

“Cairo. Porque é onde tem a maior temperatura e conseqüentemente a dilatação é maior.”

- Em qual local o relógio de pêndulo atrasou? Justifique a sua resposta.

“No Cairo, pois a dilatação térmica da haste de metal a faria aumentar de tamanho, aumentando assim o tempo de cada segundo e atrasando o relógio em comparação com um relógio normal.”

“No Egito, o pêndulo se atrasa. Pela temperatura da região ser muito alta ocorre a dilatação do pêndulo devido ao calor. Assim, o pêndulo se dilata e como o período que ele leva para dar uma volta é proporcional ao seu tamanho (comprimento), quando ele se dilata a volta fica mais lenta, deixando o relógio atrasado.”

“Alasca, uma vez que a baixa temperatura contrai o ferro, presente na haste, fazendo com que o comprimento do pêndulo seja menor.”

Note que os alunos que responderam a questão de maneira incorreta não conseguiram fazer a relação entre a dilatação térmica da haste do pêndulo do relógio com o período de oscilação do mesmo, ou seja, eles descreveram apenas o fenômeno térmico.

Ao final desta aula os estudantes receberam o *link* da *Estação 2 – A Física do Pêndulo* para ser desenvolvida como uma sala de aula invertida no prazo de uma semana. Adicionalmente, foi apresentado aos alunos os objetivos a serem alcançados na estação 2. As atividades desta estação também foram elaboradas para os estudantes desenvolverem em grupo.

5.2 SALA DE AULA INVERTIDA – ESTAÇÃO 2

Nesta estação os alunos discutiram a Física envolvida na descrição do movimento do pêndulo, com vídeos direcionados à definição de um pêndulo simples e cônico, movimento harmônico simples e aplicações. Além de questões abertas sobre o tema, os alunos também puderam aplicar o conhecimento adquirido em questões de vestibulares de múltipla escolha. Após estas atividades eles responderam a questão desafio da estação.

A proposta desta estação é que a mesma fosse realizada seguindo o modelo de sala de aula invertida, com o estudante realizando o contato com a teoria e as atividades de forma online, fora do ambiente escolar. Em seguida o professor mediará as discussões e resolução de atividades presencialmente em sala de aula. Esse encontro foi feito remotamente devido à pandemia de COVID-19.

5.2.1 Questões e Respostas da Estação 2 – Física do Pêndulo

Para responder as questões discursivas da estação, relacionadas à determinação do período de oscilação do pêndulo, as forças que agem no mesmo e a identificação da força restauradora deste sistema, veja Anexo C, os alunos não tiveram problemas, pois o material complementar disponível na estação é bem direcionado para tais questões.

Com relação às questões de vestibulares os alunos também mostraram um bom desempenho com mais de 70% de respostas corretas para todas as questões nas duas escolas.

Na questão desafio desta estação os alunos deveriam comprovar o valor do período de oscilação de um pêndulo de Foucault a partir dos dados fornecidos e considerando o valor de $g = 10 \text{ m/s}^2$ para a aceleração da gravidade. Utilizando a equação $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ para o cálculo do período de oscilação do pêndulo de Foucault eles obtiveram $T \approx 16,3 \text{ s}$ em excelente concordância com o valor fornecido na questão, que foi de 16 s. Nesta questão 100% dos grupos de alunos das duas escolas fizeram uma análise satisfatória. Na figura 25 apresentamos um exemplo do cálculo desenvolvido.

Figura 25: Cálculo desenvolvido por um grupo de alunos para responder à questão desafio da estação 2, sobre a Física do Pêndulo.

Desafio = 1.2

Período $T = 16 \text{ s}$,
 $g = 10 \text{ m/s}^2$,
 $L = 67 \text{ m}$

$$T_{\text{PÊNDULO}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$
$$T_{\text{PÊNDULO}} = 2\pi \sqrt{\frac{67}{10}} = 2\pi \sqrt{6,7}$$
$$T_{\text{PÊNDULO}} \approx 2\pi \cdot 2,59$$
$$T_{\text{PÊNDULO}} \approx 5,18 \cdot 3,14$$
$$T_{\text{PÊNDULO}} \approx 16,2652 \text{ s} \approx 16 \text{ s}$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 AULA 2 – ESTAÇÃO 3 - AMORTECIMENTO

A estação 3 foi desenvolvida na segunda aula. Esta foi elaborada para os alunos montarem um pêndulo simples com materiais de baixo custo e realizar a vídeo análise do mesmo com o software *Tracker* para estimar o valor da aceleração da gravidade local e do coeficiente de amortecimento subcrítico do sistema, veja Anexo D. As atividades foram iniciadas com os alunos assistindo aos vídeos da estação sobre a montagem de um pêndulo caseiro, instalação e dicas do software *Tracker* e, por fim, sobre como proceder para realizar o preenchimento da planilha para estimar as propriedades físicas desejadas.

5.3.1 Montagem do Pêndulo Simples

Neste trabalho caberia aos estudantes a montagem de um pêndulo simples utilizando materiais reutilizáveis encontrados em suas residências conforme vídeo elaborado e disponibilizado aos mesmos. Entretanto, devido a pandemia de COVID-19 somente dois dos três grupos da *Escola A* conseguiram desenvolver a montagem experimental. Como já discutido anteriormente, os alunos da *Escola B*, desenvolveram todas as atividades remotamente. Outro fator que dificultou o desenvolvimento das atividades foi a drástica redução da quantidade de aulas durante o ensino remoto, passando de quatro aulas semanais presenciais para apenas uma aula virtual. Apesar das poucas aulas os estudantes tiveram que se adaptar ao “Novo Normal”, houve muito esgotamento em função da quantidade de conteúdos transmitidos em pouco tempo e uma desmotivação considerável dos alunos das duas escolas, pelo fato de eles não poderem se socializar de forma presencial com seus pares ou mesmo fazer outras atividades rotineiras do seu cotidiano.

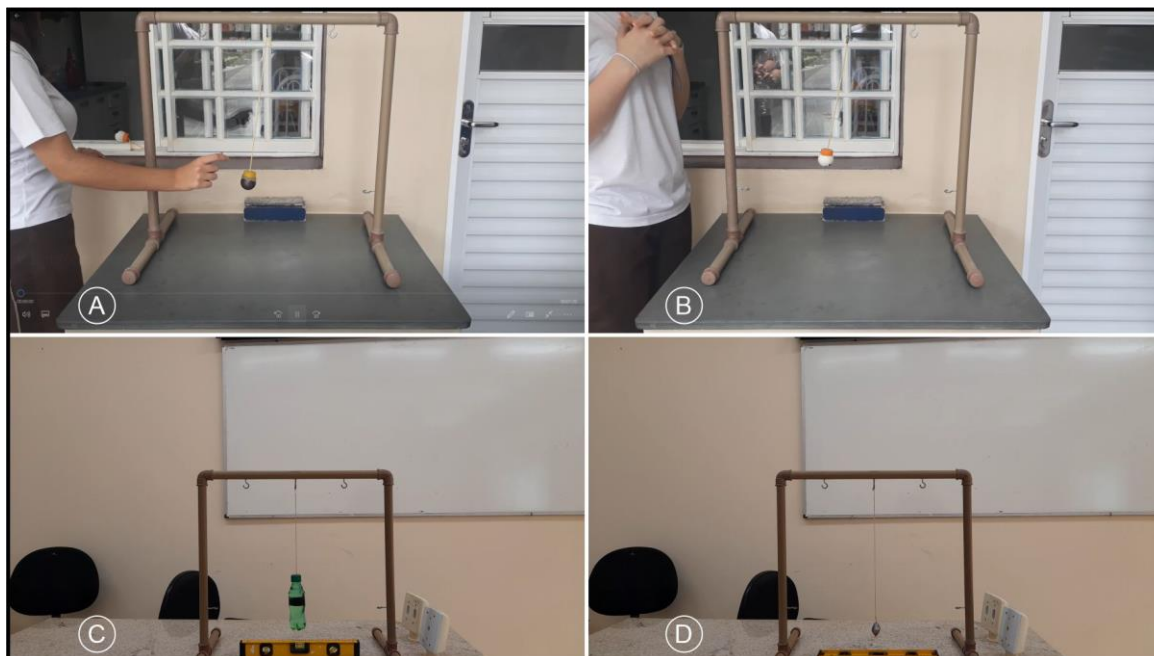
Para dar seguimento à aplicação da nossa proposta, todos os alunos da *Escola A* utilizaram os pêndulos confeccionados pelos dois grupos. O terceiro grupo pôde escolher um dos experimentos para realizar a vídeo análise com o *Tracker*. Na *Escola B*, diante dos vários relatos da impossibilidade de aferir a massa do corpo suspenso do pêndulo, seja por não ter à disposição uma balança na casa dos alunos ou pela impossibilidade dos mesmos de sair de casa para realizar tal medida, optamos por montar dois pêndulos simples para que os estudantes desta escola pudessem desenvolver as atividades desta estação. Na figura 21 apresentamos os pêndulos simples montados pelos alunos da *Escola A*, figuras 21 A e B, e os pêndulos confeccionados por nós, figuras 21 C e D, para auxiliar os alunos da *Escola B*. Na tabela 4 apresentamos os valores do comprimento e da massa dos quatro pêndulos utilizados para desenvolver as atividades desta estação pelos alunos das *Escolas A e B*.

Tabela 4: Valores do comprimento e da massa de cada um dos pêndulos utilizados pelos alunos das *Escolas A e B*.

<i>Pêndulo</i>	<i>Comprimento (m)</i>	<i>Massa (kg)</i>
Bolinha de Aço	0,364	0,237
Bolinha de ping pong	0,295	0,010
Garrafinha Pet	0,350	0,235
Chumbada de pesca	0,420	0,124

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26: Pêndulos simples utilizados para vídeo análise de seu movimento. Em (A) mostramos um pêndulo feito com uma bolinha de aço. Este foi utilizado pelos grupos 1 e 3 da *Escola A*. O pêndulo de bolinha de ping pong (B) foi utilizado pelo grupo 2 da *Escola A*. Os pêndulos (C) e (D), feitos com garrafinha PET e chumbada de pesca, respectivamente, foram montados por nós e fornecidos aos alunos da *Escola B*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

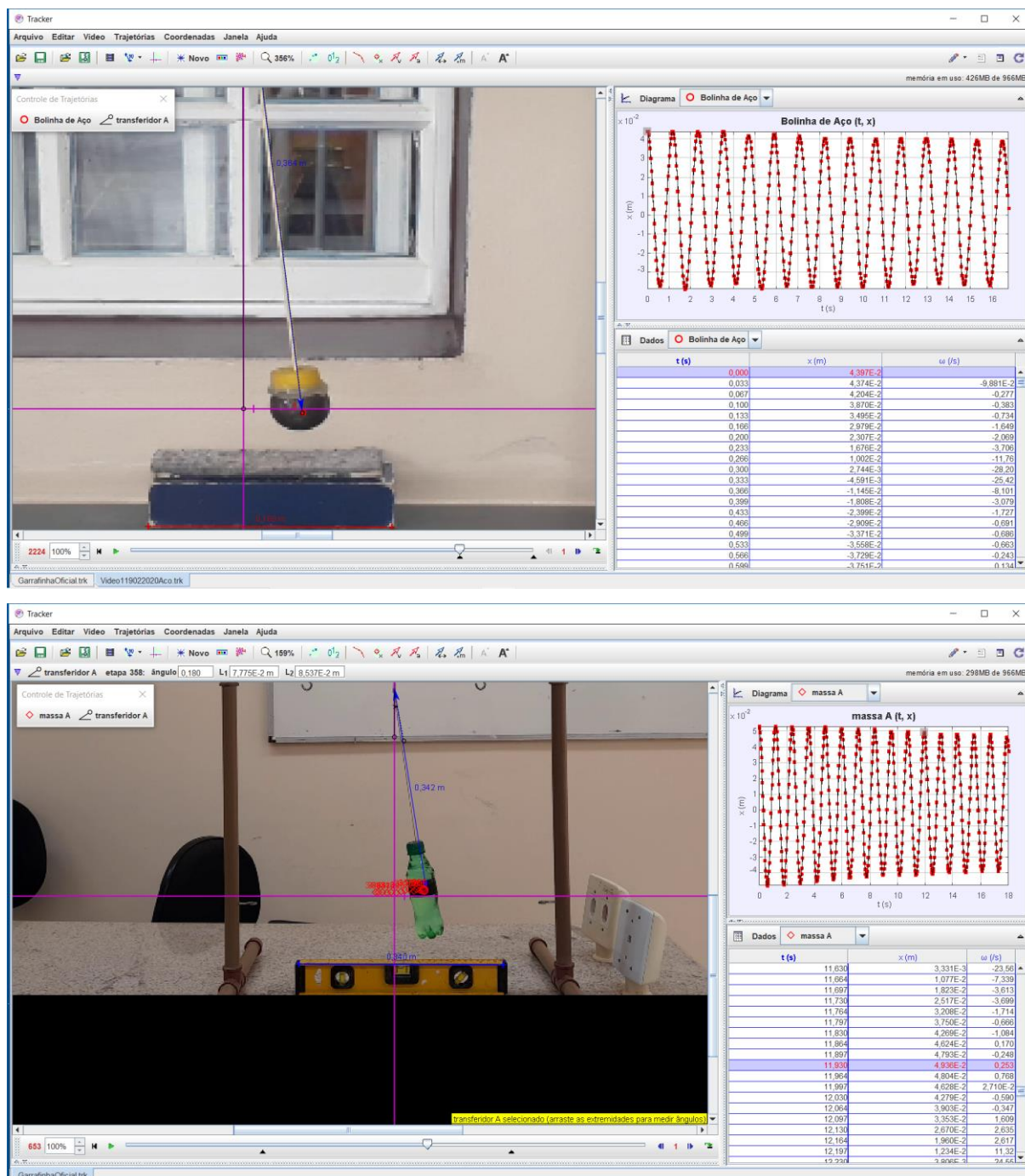
5.3.2 Vídeo Análise Utilizando o Software *Tracker*

Após a montagem dos pêndulos simples foi necessário filmar os mesmos em movimento para a realização da vídeo análise utilizando o software *Tracker*. Apenas dois grupos da *Escola A* desenvolveram esta atividade. O movimento dos pêndulos construídos para os alunos da *Escola B* foram filmados pelo professor no laboratório de física da escola sem a presença dos estudantes.

Para realizar a vídeo análise foi necessário instalar o software *Tracker* em pelo menos um computador de cada grupo de estudantes. Pelo fato de estarmos relacionando os conceitos físicos com a realidade do estudante, muitos ficaram curiosos em trabalhar com o software de forma que a grande maioria instalou em seus respectivos computadores por vontade própria. Na estação foram fornecidos tutoriais de como baixar, instalar e utilizar o *Tracker* para a realização da atividade.

Na figura 27 são apresentados, como exemplo, a área de trabalho do software *Tracker* durante a realização da vídeo análise conduzida pelos alunos das *Escolas A e B*.

Figura 27: Exemplos de vídeo análises do movimento de dois pêndulos simples realizadas pelos estudantes da *Escola A*, imagem superior, e *Escola B*, imagem inferior. Do lado direito de cada imagem é apresentada, na parte superior, o gráfico da amplitude de oscilação do pêndulo em função do tempo e uma tabela, na parte inferior, contendo as variáveis tempo (s), posição (m) e frequência angular (s^{-1}) do pêndulo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.3 Encontrando a Aceleração da Gravidade e o Coeficiente de Amortecimento

Após a vídeo análise dos pêndulos os estudantes foram orientados a realizarem o download da planilha “*aceleração e coeficiente do pêndulo*” e a assistirem ao vídeo explicativo para o seu preenchimento. Para alguns grupos da *Escola B* foi necessário o auxílio do professor para sanar dúvidas sobre como encontrar a amplitude e o período de oscilação do pêndulo. Na figura 28 apresentamos dois exemplos de planilhas preenchidas pelos alunos das *Escolas A* e *B*.

Figura 28: Exemplos de planilhas preenchidas pelos estudantes das *Escolas A*, superior, e *Escola B*, inferior. As duas planilhas foram preenchidas através da vídeo análise do pêndulo feito com uma bolinha de aço e com uma garrafinha PET, como apresentado na figura 27.

Localização		Medidas Tracker				Resultados	
Cidade	Boituva	N	T	A	$\dot{\omega}$	$g (m/s^2)$ - Tracker	9,7878
Altitude	637	1	1,17	0,0441	-0,12	$g (m/s^2)$ - Teórico	9,7864
Latitude	-23,285053	2	2,36	0,0438	0,01	Discordância	-0,0001
Informações do Pêndulo		3	3,53	0,0438	-0,03	(b) Amortecimento	0,0347
Qt de Períodos	10	4	4,73	0,0419	-0,12	Amortecimento Crítico	2,4579
Amplitude Inicial	0,044	5	5,89	0,0425	0,03	<p><i>Não esqueça de transformar os valores do período, amplitude e frequência angular, obtidos pela tabela do Tracker, em decimal.</i></p> <p><i>Para encontrar os valores da aceleração da gravidade e do coeficiente de amortecimento é necessário o preenchimento completa da tabela Medidas Tracker</i></p>	
Massa do Pêndulo	0,237	6	7,06	0,0416	0,08		
Comprimento	0,364	7	8,26	0,0404	-0,01		
Taxa de Quadros	30,040	8	9,42	0,0404	-0,03		
Ângulo Inicial (Rad)	0,120	9	10,62	0,0401	-0,15		
		10	11,78	0,0403	-0,03		

Localização		Medidas Tracker				Resultados	
Cidade	Boituva	N	T	A	$\dot{\omega}$	$g (m/s^2)$ - Tracker	9,7623
Altitude (m)	622	1	1,20	0,0533	0,10	$g (m/s^2)$ - Teórico	9,7865
Latitude (°)	23,303802	2	2,37	0,0529	-0,18	Discordância	0,0025
Informações do Pêndulo		3	3,57	0,0523	0,07	(b) Amortecimento (kg/s)	0,0330
Qt de Períodos	10	4	4,77	0,0529	0,25	Amortecimento Crítico (kg/s)	2,4822
Amplitude Inicial (m)	0,05	5	5,97	0,0516	-0,09	<p><i>Não esqueça de transformar os valores do período, amplitude e frequência angular, obtidos pela tabela do Tracker, em decimal.</i></p> <p><i>Para encontrar os valores da aceleração da gravidade e do coeficiente de amortecimento é necessário o preenchimento completa da tabela Medidas Tracker</i></p>	
Massa do Pêndulo (kg)	0,235	6	7,16	0,0515	0,71		
Comprimento do Pêndulo (m)	0,350	7	8,36	0,0515	0,20		
Taxa de Quadros (FPS)	30,01	8	9,56	0,0498	-0,05		
Ângulo Inicial (Rad)	0,16	9	10,73	0,0497	-0,87		
		10	11,93	0,0494	0,25		

Fonte: Elaborado pelo autor.

As planilhas acima mostram que os resultados obtidos pelos alunos para a aceleração da gravidade foram excelentes, em comparação com o valor teórico obtido pela equação (19) da seção 4.3.3. Consideramos os exemplos acima porque os parâmetros utilizados para o pêndulo feito com uma bolinha de aço de pequena dimensão e com uma garrafinha PET são coincidentemente próximos, pois os alunos que fizeram estes experimentos são de escolas

diferentes. Os resultados obtidos apresentam uma excelente concordância, mostrando a fidelidade do material didático elaborado neste trabalho para a reprodutibilidade de resultados.

É interessante notar também que o valor do coeficiente de amortecimento subcrítico, obtido pelo ajuste da equação (18) da seção 3.2.1, é duas ordens de grandeza menor que o valor esperado para o caso de amortecimento crítico, equação (20) da seção 4.3.3, para as configurações utilizadas. Isso mostra que para observar um amortecimento crítico para os pêndulos confeccionados, seria necessário um meio bem mais viscoso que o ar, no qual observa-se o amortecimento subcrítico com o sistema oscilando por um longo intervalo de tempo até parar completamente.

5.3.4 Questões e Respostas da Estação 3

As perguntas desta estação foram respondidas de maneira bastante satisfatória, com todos os grupos de alunos das duas escolas respondendo 100% das questões corretamente.

Na questão desafio da estação os alunos descreveram a diminuição da amplitude de movimento de um balanço relacionando a mesma com a dissipação de energia que ocorre no sistema. Veja alguns exemplos de respostas:

“O movimento do balanço foi diminuindo em função da força de amortecimento que o sistema possui. Logo, não é um sistema conservativo pois sua energia vai se dissipando em função do tempo.”

“Diferente do MHS, onde o sistema é ideal, nesse caso o balanço perde energia por meio do atrito com o ar, o que chamamos de amortecimento. O ar age como uma barreira para o movimento sucessivo do balanço.”

“Quando um corpo está em movimento, ele sofre a ação de forças dissipativas, entre as quais podemos citar o atrito e a resistência do ar. Essa força exercida pelo ar possui a intenção de restringir o movimento do objeto, isso faz com que o objeto pare posteriormente. Também há o atrito com o suporte do balanço. Em conclusão o movimento do balanço vai parando porque ele perde energia, já que se trata de um movimento com forças dissipativas.”

Observe que alguns alunos até fizeram uma comparação entre o movimento amortecido do balanço e o movimento harmônico simples (MHS), em que não há dissipação de energia.

5.4 AULAS 3 E 4 – PROFESSOR

O ensino híbrido além de proporcionar o protagonismo do estudante permite ao professor personalizar o aprendizado. Ao término das atividades propostas nas três estações, o conjunto de informações coletados auxiliou o professor a direcionar melhor aqueles estudantes que tiveram maiores dificuldades para a realização das atividades. Este direcionamento foi feito através de discussões, recomendação de leitura de textos, vídeo aulas, atividades de pesquisa, mapas mentais entre outros.

5.5 QUESTIONÁRIO FINAL

Neste questionário os alunos tiveram a oportunidade de analisar o ensino híbrido como uma ferramenta didática para o protagonismo e a personalização do aprendizado. Mais uma vez solicitamos a socialização das respostas, com os grupos de estudantes discutindo os prós e contras da proposta para depois preencher o formulário.

5.5.1 Respostas do Questionário Final

Na primeira questão pedimos aos alunos que fizessem críticas ou sugestões para a melhoria das estações de estudo. Os exemplos abaixo refletem de maneira geral as respostas dos alunos.

“Seria interessante, além de recomendar videoaulas, mandar artigos ou livros relacionados ao assunto para se aprofundar nesse conhecimento. Outra coisa interessante seria ter um pequeno resumo para baixar ou ver no fim de cada questionário, para utilizarmos para revisar o conteúdo periodicamente.”

“Na minha opinião está sendo ótimo!!”

“Gostei muito deste novo modo de nos passar a matéria, pois ele é muito completo e explicativo, servindo de resumo para meus estudos... Minha sugestão seria ter uma explicação superficial da matéria que está sendo passada por escrito em todas as estações para anotarmos este "resumo" no caderno.”

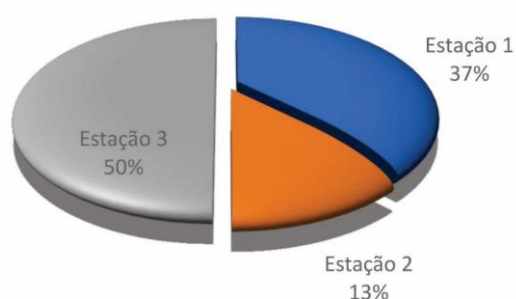
“Eu achei muito bom esse método de aprendizagem e espero ter mais como este.”

“Gostei muito da segunda estação que possuía exercícios sobre o tema, acredito que consegui ter em mente como a teoria se aplica e como posso usar as fórmulas. Então, acho que seria uma boa ideia inserir alguns exercícios de vestibulares nas estações de acordo com o tema.”

Muito alunos acharam conveniente introduzir um resumo, mais materiais complementares e mais exercícios de vestibulares nas estações, para que pudessem treinar mais os conceitos e equações sobre o assunto.

Na segunda questão pedimos aos alunos para descrever a estação que mais gostou de trabalhar justificando suas respostas. A maioria dos alunos acharam a estação 3 a mais interessante, como mostrado na figura 29. Dentre as justificativas apresentadas podemos citar a existência de exercícios de vestibulares, vídeos explicativos e a relação do assunto tratado com sistemas físicos reais.

Figura 29: Porcentagem de alunos das *Escolas A e B* que mais gostaram das estações 1, 2 e 3 do nosso produto educacional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na questão 3 perguntamos qual foi o tempo gasto pelos alunos para a realização das atividades propostas nas estações. A maioria dos alunos relataram ter desenvolvido as atividades de cada estação em torno de uma hora, como mostrado na figura 30. Isso mostra que cada estação pode ser ajustada para ser trabalhada e conduzida em uma aula.

Figura 30: Porcentagem de alunos das *Escolas A e B* mostrando as estações que os alunos mais gostaram.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para finalizar o questionário, perguntamos aos alunos o que eles acharam da metodologia empregada justificando suas respostas. Dentre os alunos respondentes 83% gostaram da proposta e 17% não gostaram. Os exemplos abaixo refletem de maneira geral as respostas fornecidas pelos alunos.

“Gostei muito, pois nos ajuda a ver se realmente aprendemos as matérias explicadas em sala de aula, buscando sempre entender porque erramos, além de nos ajudar a reforçar o que aprendemos, servindo até como ‘um resumo para estudos’.”

“Achei uma metodologia bem interessante, que é como se o professor estivesse nos ensinando sobre a matéria, realizando um questionário aos poucos com os alunos. Além desse questionário servir de nota de participação, seria muito viável para ensinar novos conteúdos a nós, alunos.”

“Eu gostei bastante, pois o professor nos explicava a matéria já nessas estações o que me ajudava a entender mais o assunto e também a conseguir responder as questões feitas, espero que tenha mais aulas como essa.”

“Diferente. Não gostei muito, pois tive mais dificuldade.”

Capítulo 6

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ensino Híbrido, por ser uma metodologia que une o ensino tradicional com o virtual, por poder ser dividida em estações de aprendizagem, permitir ao estudante ser protagonista do seu conhecimento e proporcionar uma personalização do seu aprendizado, neste momento de pandemia mundial, vem ganhando ainda mais notoriedade. Neste trabalho verificamos a potencialidade desta metodologia, aliada à experimentação, em proporcionar o aprendizado do ensino da Física tendo como tema norteador o movimento oscilatório.

A proposta foi aplicada em duas escolas, *Escolas A e B*, sendo necessário quatro aulas em cada escola para a realização das atividades. Em um primeiro momento os alunos ficaram um pouco receosos com a possibilidade de serem protagonistas do seu conhecimento, pois sempre estiveram na presença do ensino tradicional. Apesar disso, os alunos trabalharam de maneira colaborativa em todas as estações propostas, com a maioria desenvolvendo as atividades com motivação. Apesar das poucas aulas foi possível realizar a personalização da aprendizagem dos estudantes remotamente, propondo materiais complementares e ferramentas como novos vídeos, textos, questões extras e até uma revisão matemática com resoluções de alguns exercícios. Com relação ao tema proposto, foi possível verificar que os alunos compreenderam o conceito de período, de força restauradora, movimento harmônico simples e amortecido e conseguiram manipular o simulador *PhET* e o software *Tracker* de maneira bastante satisfatória.

A introdução de questões desafio nas estações foi importante para estimular os alunos a aprenderem através de um processo investigativo, no qual eles tentaram utilizar o que foi fornecido nas próprias estações, nas referências e até mesmo em seu cotidiano para conseguir solucionar o desafio.

O software *Tracker* utilizado para a realização da vídeo análise do movimento do pêndulo mostrou ser uma ferramenta excepcional para o ensino da Física. Com este, foi possível estimar de maneira bastante satisfatória o valor da gravidade local e analisar a amplitude do movimento do pêndulo, o seu período e frequência de uma maneira fácil e rápida.

Em função da pandemia de COVID-19, não foi possível desenvolver as estações em diferentes espaços, presencialmente e on-line, uma vez que a metodologia empregada foi o Ensino Híbrido. Apesar da necessidade de conduzir todas as atividades remotamente, principalmente na *Escola B*, conseguimos introduzir a ideia do método híbrido de ensino mostrando que o aluno pode explorar o mesmo assunto da Física de maneiras diferentes, com vídeos, experimentos, tutoriais, o seu próprio cotidiano e os desafios das estações, proporcionando um processo de aprendizagem e de aquisição de conhecimento contínuos.

REFERÊNCIAS

ALBERTON, P. W.; SOUZA, J. C.; PHILIPPSEN, G. S. Ensino Sobre a Queda dos Corpos por meio do Software Tracker. Revista Experiências em Ensino de Ciências. Cuiabá, v. 15, p. 513 - 525, Ago. 2020.

BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI F. D. MELLO. Ensino Híbrido: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

BACICH, L. Ensino Híbrido: Formação de professores para o uso integrado das tecnologias digitais. [S. L.: s. n.], 2016. I vídeo (47 min) Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HdQ7QTPeHc4>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BACICH, L. e MORAN, J. Aprender e ensinar com foco na educação híbrida. Pátio. Porto Alegre, n. 25, p. 45-47, Jun. 2015.

BEZERRA JR, A. G.; OLIVEIRA, L. P.; LENZ, J. A. e SAAVEDRA, N. Vídeo análise com software livre tracker no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis, v. 29, n. Especial 1, p. 469-490, Set. 2012.

BOMFOCO, M. A. e AZEVEDO, V. B. Os jogos eletrônicos e suas contribuições para aprendizagem na visão de J. P. Gee. RENOTE Novas Tecnologias para Educação. Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 1-9, Dez. 2012.

BORDIN, G. D., PERES, M., LENZ, J. A., BEZERRA JR., A. G. Desafios dos professores durante o distanciamento social devido à pandemia da COVID-19: uma proposta para o ensino de física utilizando videoanálise. Revista Tecnologia e Sociedade, Curitiba, v. 16, n. esp., p. 147-157, 2020.

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.

CARRARO, F. L. O uso dos simuladores virtuais do Phet como metodologia de ensino de eletrônica. In: PARANÁ. Disponível em: Secretaria da Educação e Esporte do Paraná: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_francisco_luiz_carraro.pdf. Acesso em: 9 fev. 2020.

CARVALHO, N. G. Trabalho humano na indústria 4.0: Percepções brasileiras e alemãs dos setores acadêmico e empresarial a respeito do trabalho de pessoas no novo modelo industrial. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2019.

CAVALCANTE, M. A., TEXEIRA, A. C., & BALATON, M. (Maio de 2016). Estudo das cores com Arduino Scratch e Tracker. Física na Escola, São Paulo, v. 14, 27-33.

CAVERSAN, R. H. Explorando o ensino híbrido em Física: uma proposta para o ensino de fenômenos ondulatório utilizando ferramentas multimídias. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, Presidente Prudente, 2016.

CHRISTENSEN, C.; HORN, M.; STAKER, H. Ensino Híbrido: uma inivação Disruptiva? Clayton Christensen Institute for Disruptive Innovation, Maio 2013. Disponível em: https://porvir.org/wp-content/uploads/2014/08/PT_Is-K-12-blended-learning-disruptive-Final.pdf. Acesso em: 9 Nov. 2020.

CLASSCRAFT. Want to Know Where Dragons Come From? Disponível em: <https://www.classcraft.com/ru/about-ru/>. Acesso em: 26 Nov. 2020.

COELHO, R. A. A história dos problemas da tautócrona e da braquistócrona. 2008. Dissertação (Educação Matemática). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro, SP, 2008.

FARDO, M. L. A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. RENOTE - Novas Tecnologias da Educação. Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 1-9, Jul. 2013.

GALIAZZI, M. C.; ROCHA, J. M. B.; SCHMITZ, L. C.; SOUZA, M. L.; GIESTA, S. e GONÇALVES, F. P. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. Ciência & Educação. Bauru, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

GASPAR, A. Experiências de ciências para o ensino fundamental. São Paulo: Ática, 2003.

GASPAR, A. Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor. Educação em Questão. Natal, v. ano 13, n. 21, Dez. 2004.

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

HECK, C.; COELHO, K. S.; SIMÃO, J. P. S.; SILVA, I. N.; SILVA, J. B. E BILESSIMO, S. M. S. Experiência de integração da experimentação remota no ensino de física do ensino médio: percepção dos alunos. Novas Tecnologias na Educação. Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 1-10, Dez. 2016.

INEP. Matriz de referência Enem. Ministério da Educação. Disponível em: http://download.inep.gov.br/download/enem/matriz_referencia.pdf. 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.

LENZ, J. A.; FILHO, N. C.; BEZERRA JR, A. G.; FLORCZAK, M. A.. A videoanálise como mediadora da modelagem científica no Ensino de Mecânica. Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia, Ponta Grossa, Set./Dez. 2017.

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.

LOUREIRO, B. C. O. O uso das tecnologias da informação e comunicação como recursos didáticos no ensino de física. Revista do Professor de Física. Brasília, v. 3, n. 2, Agosto 2019.

MCROBERTS, M. Arduino Básico. Tradução de Rafael Zanolli. 1a. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MELO, A. G. Contribuições das tic's e da aprendizagem significativa para processo de ensino-aprendizagem. Docentes. Fortaleza, v. 2, n. 3, 2017.

MIRANDA, W. Tutorial de videoanálise com o Tracker | Básico. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=q6RXO226nVI&feature=emb_logo. Acesso em: 22 Nov. 2020.

MIZUKAMI, M. G. N. Ensino: as abordagens do processo. São Paulo: EPU, 1986.

MORAN, J. Mudando a educação com metodologias ativas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens. Ponta Grossa, Mar. 2015. p. 15-33.

MORAN, J. Metodologias ativas e modelos híbridos na educação. Disponível em: http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2018/03/Metodologias_Ativas.pdf. Acesso em: 10 Jul. 2020.

MOREIRA, A. C. S.; PENIDO, M. C. M. Sobre as propostas de utilização das atividades experimentais no Ensino de Física. Disponível em: <http://www.fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viiienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/814.pdf>. Acesso em: 25 Nov. 2020.

MOREIRA, M. A. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 26 Nov. 2020.

NARDI, R. Memórias da educação em ciências no Brasil: a pesquisa em ensino de física. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 63-101, Mar. 2005.

NETO, M. P.; TOMMASIELLO, M. G. C. As provas dos movimentos da Terra no ensino de astronomia. 2008. Disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/ixenpec/atas/resumos/R1591-1.pdf. Acesso em: 03 out. 2020.

OLIVEIRA, M. N.; NASCIMENTO, E. A. Gamificação em sala de aula: o uso do Classcraft no Ensino de Física. Revista Científica Multidisciplinar Brillant Mind. Campo Grande, v. 1, n. 1, p. 59-68, Set. 2020.

PEREIRA, R. D.; SANTOS, J. F. A Utilização do software Tracker no ensino de física: um breve relato. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/physicsproceedings/viii-efa/32.pdf>. Acesso em: 10 Out. 2020.

PhET. Simulações Interativas. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso em: 3 Out. 2020. Sobre a PhET. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/about. Acesso em: 25 nov. 2020. Laboratório do Pêndulo. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html. Acesso em: 25 Nov. 2020.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de informação e comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

PRIBERAM. Híbrido. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/>. Acesso em: 06 Nov. 2020.

ROGERS, C. Sobre o poder pessoal. 4ª. ed. São Paulo: WMF Martins fontes, v. Coleção Psicologia e Pedagogia, 2001.

ROUSSEAU, G.; COULLET, P. e GILLI, J. Robert Hooke's conical pendulum from the modern viewpoint of amplitude equations and its optical analogues. The Royal Society. Londres, v. 462, p. 531, Fev. 2006.

SALES, J. P. A. Experimentação como processo de ensino e aprendizagem de física óptica. Desafios. Palmas, v. 6, p. 37-42, Out. 2019.

SCHNEIDER, B.; BLIKSTEIN, P. e PEA, R. The Flipped, Flipped Classroom. Disponível em: <https://www.stanforddaily.com/2013/08/05/the-flipped-flipped-classroom/>. Acesso em: 03 Out. 2020.

SILVA JR., J. M. e COELHO, G. R. O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 37, p. 51-78, Abr. 2020.

SILVA, C. E.; SILVA, S. M. V. O uso da experimentação no ensino de física na unidade escolar Moisaníel Alves de Sousa. [S. L.: s. n.], [20--]. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/bitstream/prefix/133/1/O%20uso%20da%20experimenta%20c3%a7%20no%20ensino%20de%20f%20sica%20na%20Unidade%20Escolar%20Moisaníel%20Alves%20de%20Sousa.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

SILVA, C. H. A.; FRANCO, L. A. M. O uso do Phet como ferramenta de ensino dos conceitos de mecânica: relatos e experiências. Disponível em: https://www.ced.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/82/2020/01/73-O-USO-DO-PHET-COMO-FERRAMENTA-DE-ENSINO-DOS-CONCEITOS-DE-MEC%C3%82NICA_-RELATOS-E-EXPERI%C3%82NCIAS.pdf. Acesso em: 25 Nov. 2020.

SILVA, M. J.; PEREIRA, M. V. e ARROIO, A. O papel do youtube no ensino de ciências para estudantes do ensino médio. Revista de Educação, Ciências e Matemática. Duque de Caxias, v. 7, n. 2, p. 35-55, Mai./Ago. 2017.

SYMON, K. R. Mecânica. 1ª. Edição. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

TAVARES, R. Animações interativas e mapas conceituais: uma proposta para facilitar a aprendizagem significativa em ciências. Revista Ciência & Cognição. Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 99-108, Set. 2008.

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

TRACKER. Página inicial. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

VASCONCELLOS, C. S. Planejamento: Plano de ensino aprendizagem e projeto educativo. 3. ed. São Paulo: Liberdade, 1995.

APÊNDICE

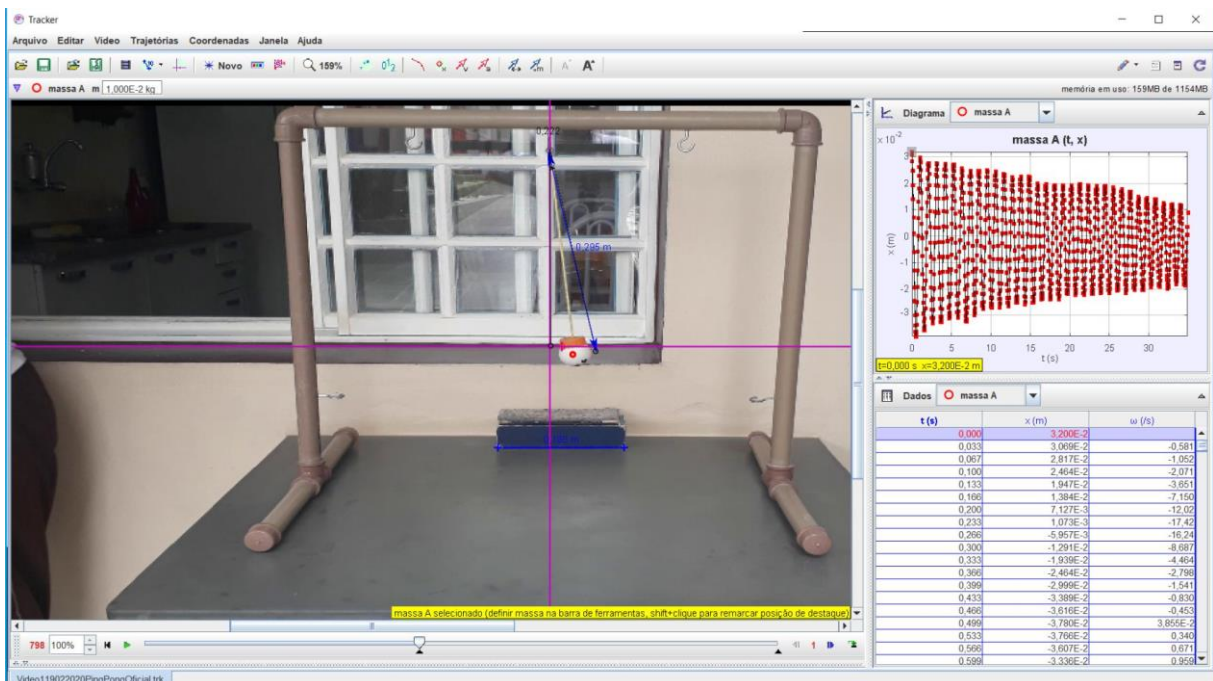
PRODUTO EDUCACIONAL

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

A.1. FORMULÁRIOS GOOGLE	83
A.2 CONTEÚDO DE FÍSICA	87
A.2.1 O que é um Pêndulo?.....	87
A.2.2 O Pêndulo Simples e o Movimento Harmônico	89
A.2.2.1 Movimento Harmônico Amortecido	95
A.3 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	97
A.4 ESTAÇÕES	97
A.4.1 Estação 1 – Simulador PhET	97
A.4.2 Estação 2 – A Física do Pêndulo.....	99
A.4.3 Estação 3 – Sistema Amortecido	100

A.1. FORMULÁRIOS GOOGLE

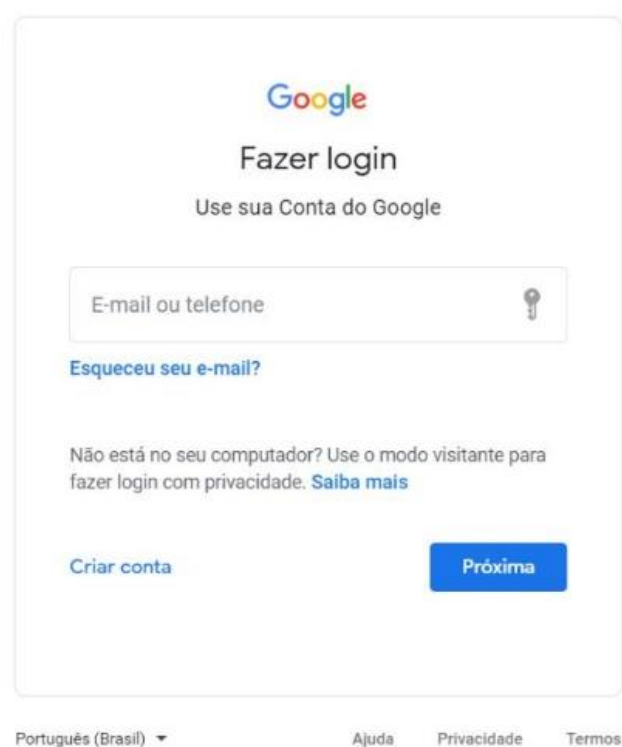
Todas as atividades propostas neste produto educacional foram postadas na plataforma gratuita *Formulários Google*, para que a mesma seja aplicada remotamente.

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 A.1.

Figura A.1: Página de login do Formulário Google.

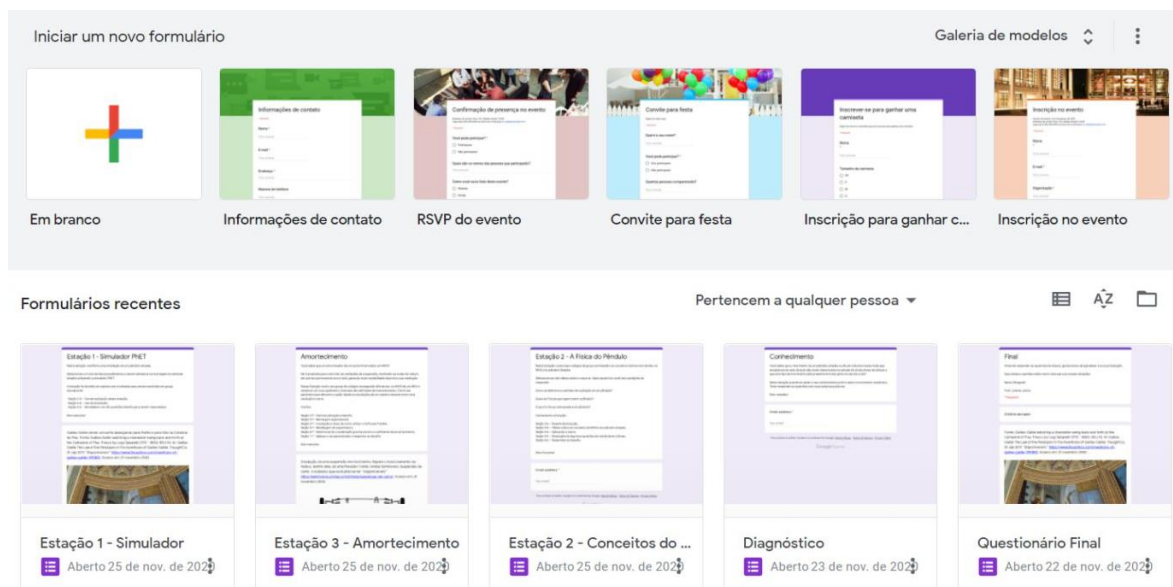
Fonte: Elaborado pelo autor.

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 A.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 A.3 são apresentadas cada uma destas opções.

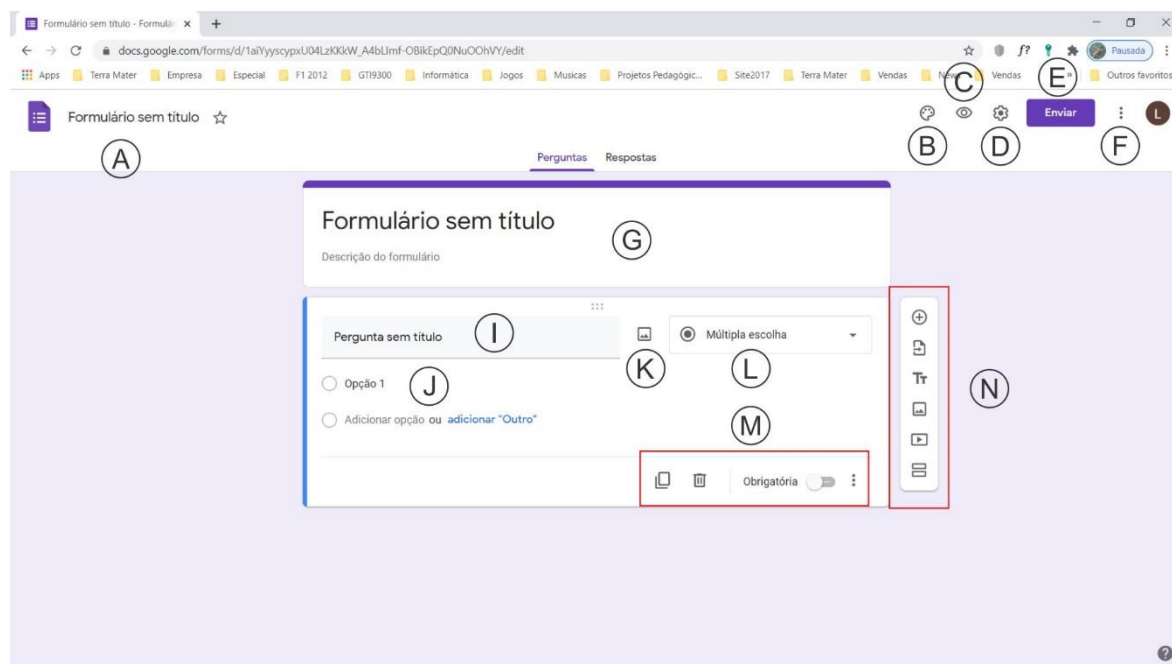
O formulário utilizado na nossa proposta foi construído com o layout básico. Apresentamos a seguir os campos principais do formulário, deixando as personalizações por conta do leitor. Inicialmente é necessário criar um nome para o formulário. Para isso, é só clicar sobre a opção *Formulário sem título*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

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



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura A.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.

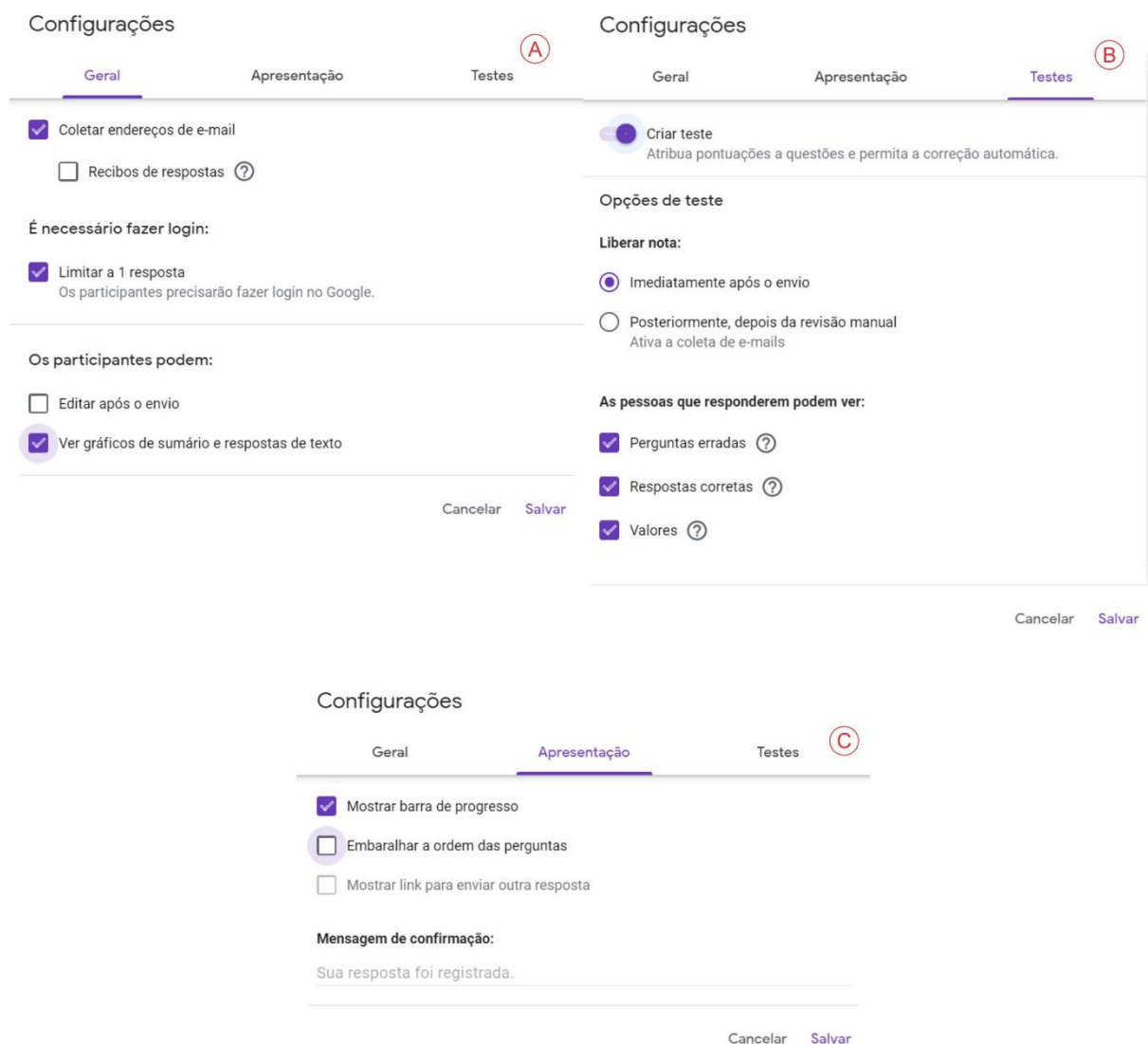


Fonte: Elaborado pelo autor.

A configuração *Geral* diz respeito ao usuário que preencherá o formulário, veja figura A.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 A.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 A.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 A.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 A.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 A.3 (I), e as opções de respostas são definidas pela lista suspensa *Múltipla Escolha* (figura A.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 A.3 (J). Existem ainda as opções de *Duplicar a pergunta*, *Deletar a pergunta* e torná-la *Obrigatória*. Estas opções estão ilustradas na figura A.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 A.3 (N) e iniciar todo o processo novamente.

A.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.

A.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.

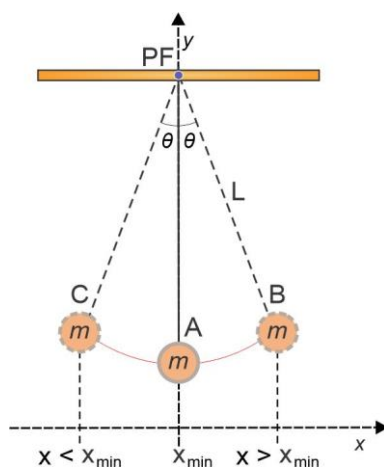
Pelo movimento e a configuração do pêndulo de torção, nota-se que a palavra pêndulo remete a uma situação mais geral que uma massa pendurada executando um movimento periódico sob o efeito da gravidade. Os diferentes tipos de pêndulos que podem ser criados mostram que outras formas de força restauradora 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.

A.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 A.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 A.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.

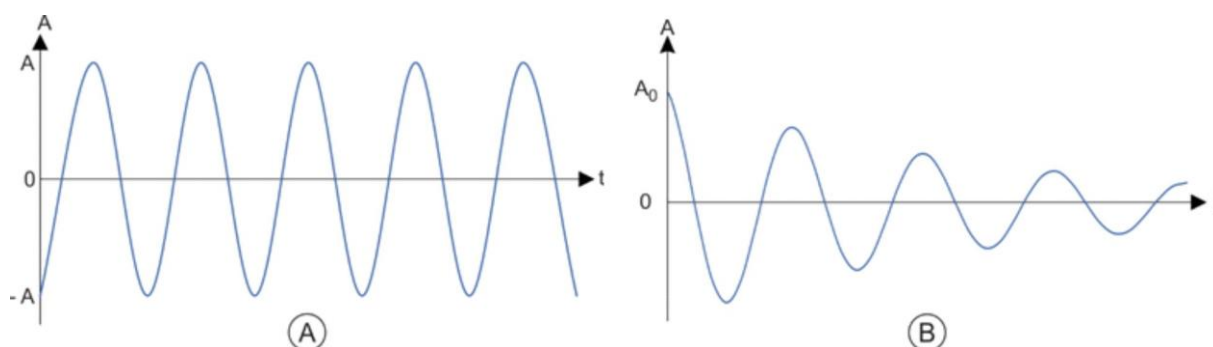
Nesta configuração que estamos apresentando o pêndulo simples é um sistema ideal, pois não estamos considerando nenhuma dissipação de energia ocasionada pelo atrito do ar, pela fricção no PF , produção de som, etc. Isso significa que a energia total do sistema, ou seja, sua energia mecânica, se conserva 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 A.6 são apresentados dois gráficos da amplitude A do movimento do pêndulo em função do tempo t , mostrando que para o sistema ideal (figura A.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 A.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 A.6 (B).

Figura A.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.



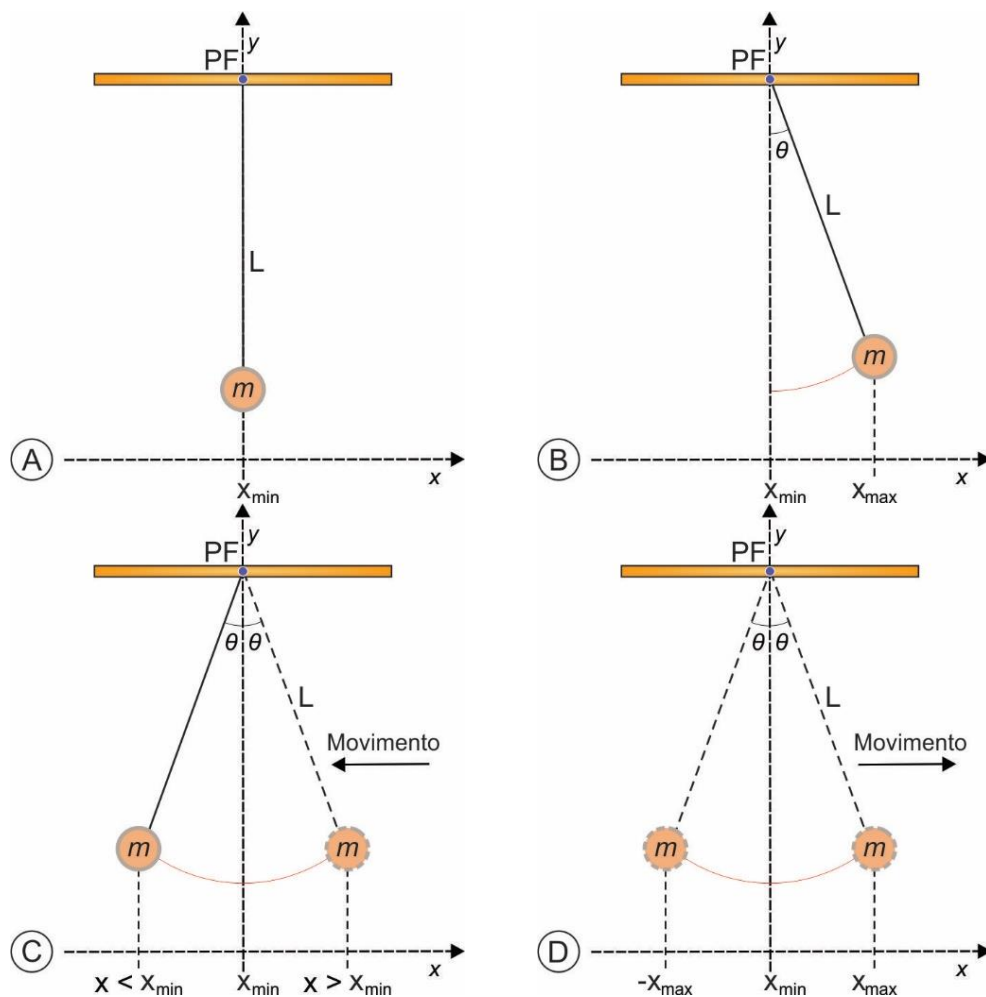
Fonte: Elaborado pelo autor.

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 A.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 A.7, serão substituídos por A e $-A$, respectivamente. O valor de $x = A$ é a amplitude do movimento do pêndulo.

Figura A.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} .



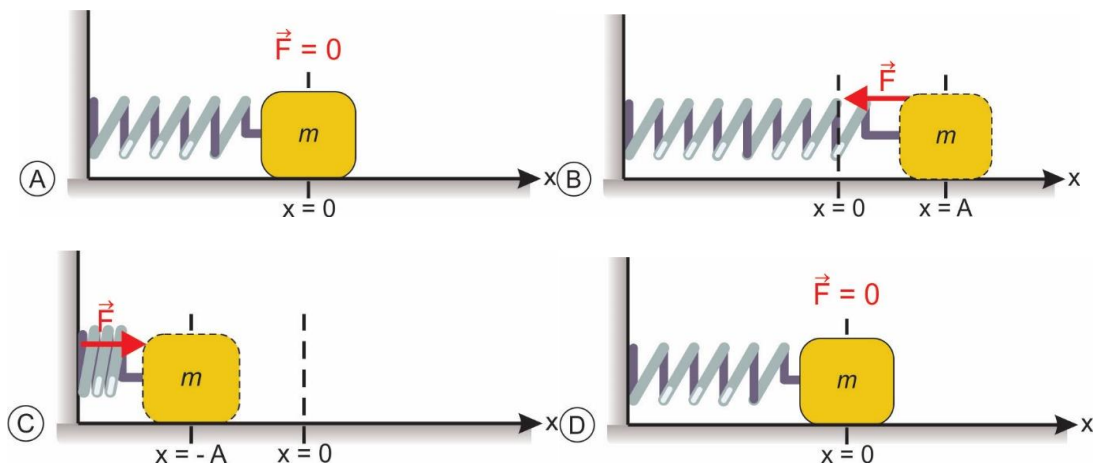
Fonte: Elaborado pelo autor.

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 A.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 A.8 (B) e A.8 (C).

Figura A.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 A.8, a forma da força restauradora de um sistema massa-mola que realiza um MHS obedece a lei de Hooke dada por:

$$F(x) = -kx, \quad (A.1)$$

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 A.8 para entender melhor o significado da equação (A.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:

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

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 A.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,

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

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 (A.3) pode ser escrita como:

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

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:

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

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,

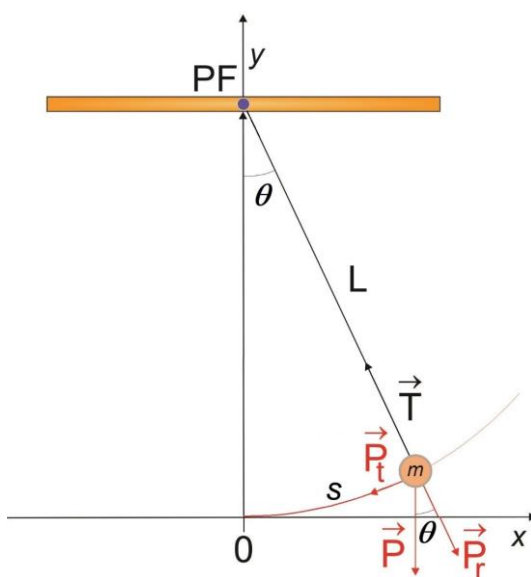
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}. \quad (A.6)$$

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,

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

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 A.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.

A.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,

$$F_A = -bv \quad (A.8)$$

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.

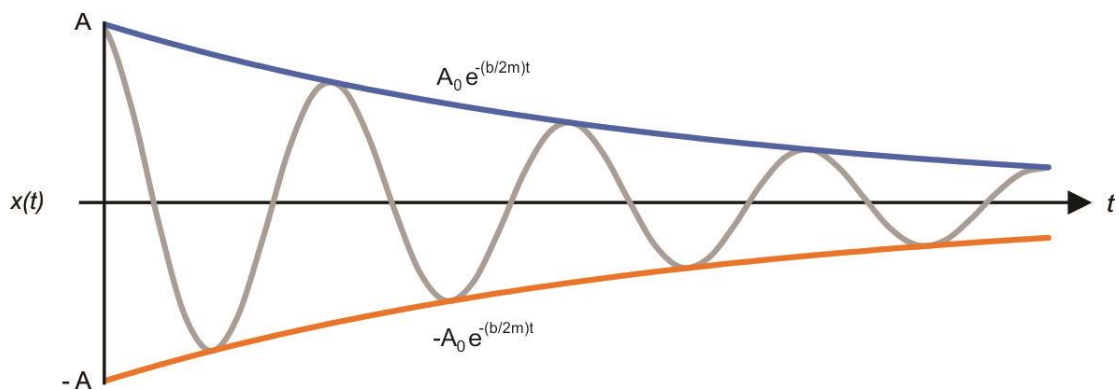
Considerando uma situação em que o amortecimento das oscilações livres do sistema ocorra lentamente, a posição do corpo oscilante em função do tempo pode ser escrita como (TIPLER, 1995):

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

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



Fonte: Elaborado pelo autor.

A.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.

A.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.

A.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/1FAIpQLSf6thtpt4Ncta-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 A.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 A.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/1mR2uKollS7flCvyXW2_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.

A.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/1FAIpQLScfRy7nbvDo4QqRqj1VTXJe5RfWuG1UyuQEJUbHBTDaHXiVLw/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.

A.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/1FAIpQLSfoio8cYhbB5Rxokp4zlOzzrKTuLkVpDLrvywsMixMH2Csi1Q/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 A.12, que deverão ser preenchidas pelos estudantes seguindo as seguintes orientações:

A primeira tabela é a *Localização* (figura A.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 A.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

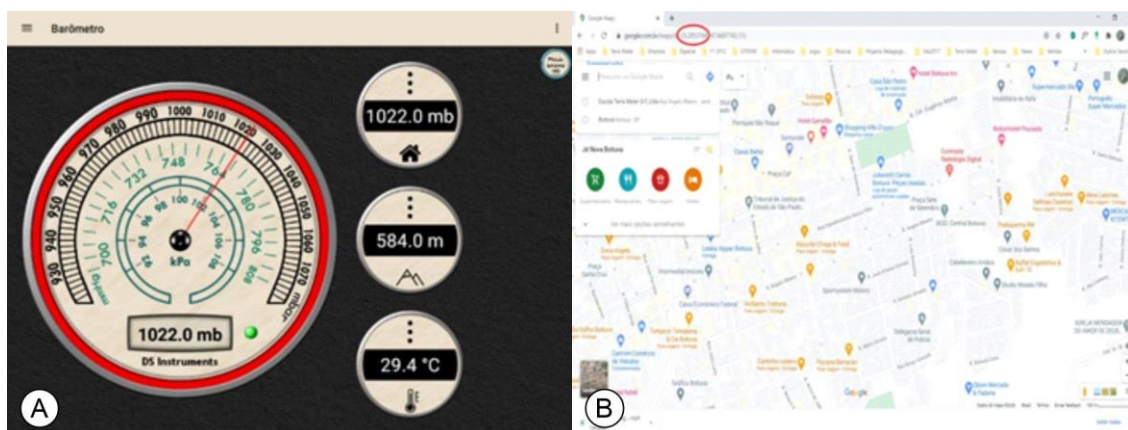
O seu uso é bastante simples, basta acioná-lo através do smartphone em que ele está instalado. Em poucos segundos ele informa a pressão atmosférica local em milibares (mb), a altitude em metros (m) e a temperatura ambiente em grau Celsius (°C). Para encontrar o valor da latitude, em graus (°), utilizamos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

Figura A.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		
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
3	Latitude (°)		2				Discordância	#DIV/0!	x
4			3				(b) Amortecimento (kg/s)	#DIV/0!	ω
5			4				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)								(E)

Fonte: Elaborada pelo autor.

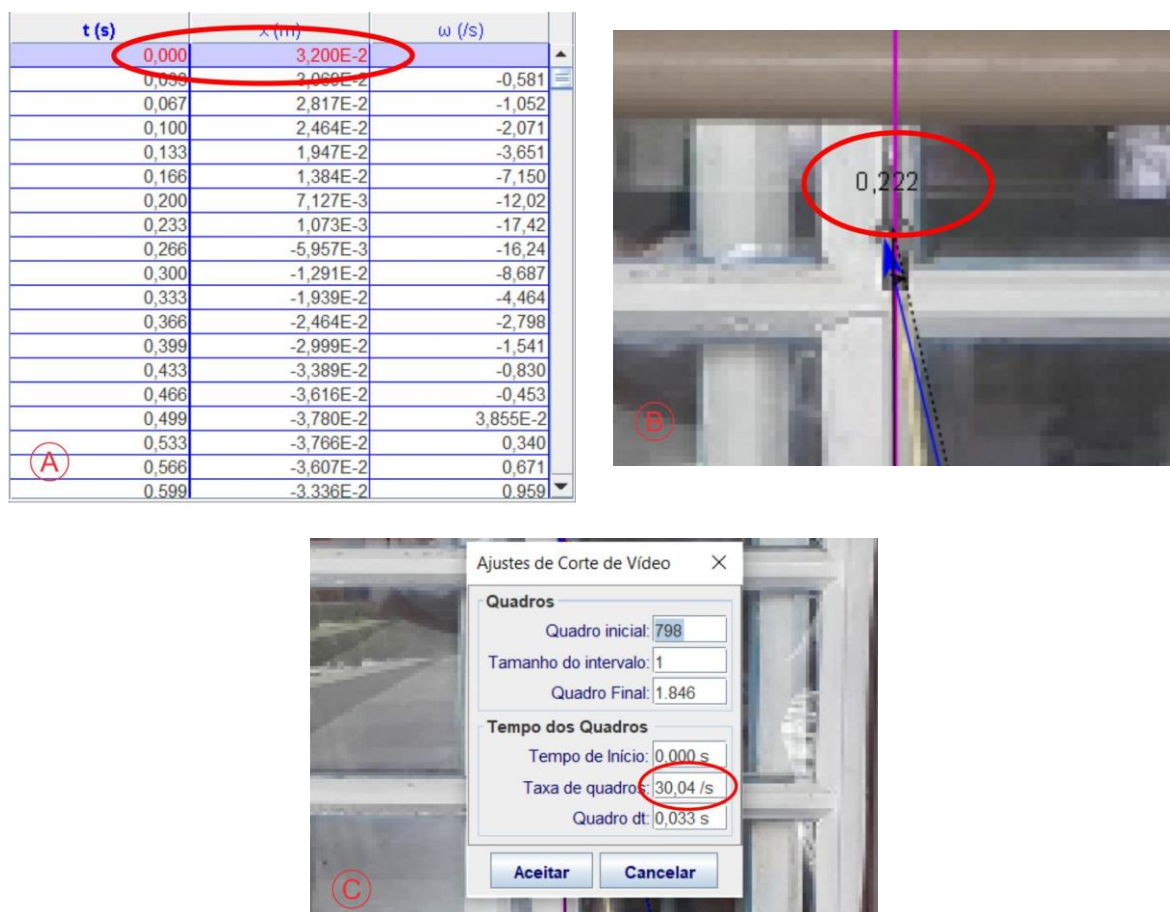
Figura A.13: (A) Ilustração do aplicativo *Barômetro* que foi utilizado para encontrar o valor da altitude da cidade em que a escola do aluno pertence. (B) Página do *Google Maps* indicando a latitude local.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela *Informações do Pêndulo*, figura A.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 A.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 A.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 A.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 A.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 A.15: Tabela gerada pelo *Tracker*, a qual fornece os valores do período t (s), da amplitude x (m) e da frequência angular ω (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	5,708
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 A.12 (D), fornecerá os valores da aceleração local, *Tracker* e *Teórico*, em metros por segundo ao quadrado (m/s²), 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 (A.7) descrita na seção A.2.2. Para determinar o valor da aceleração da gravidade teórica, utilizamos a equação descrita no trabalho de Lopes (LOPES, 2008) dada por:

$$g \approx \frac{g_p}{1 + \frac{\beta}{2}} (1 + \beta \sin^2 \lambda) \left(1 - \frac{2z}{R}\right) \quad (\text{A.10})$$

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 (A.9), veja seção A.2.2.1, com os dados obtidos com o *Tracker*. Nesta parte da tabela, figura A.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:

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

sendo $\omega_0 = \sqrt{g/L}$, 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.

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.

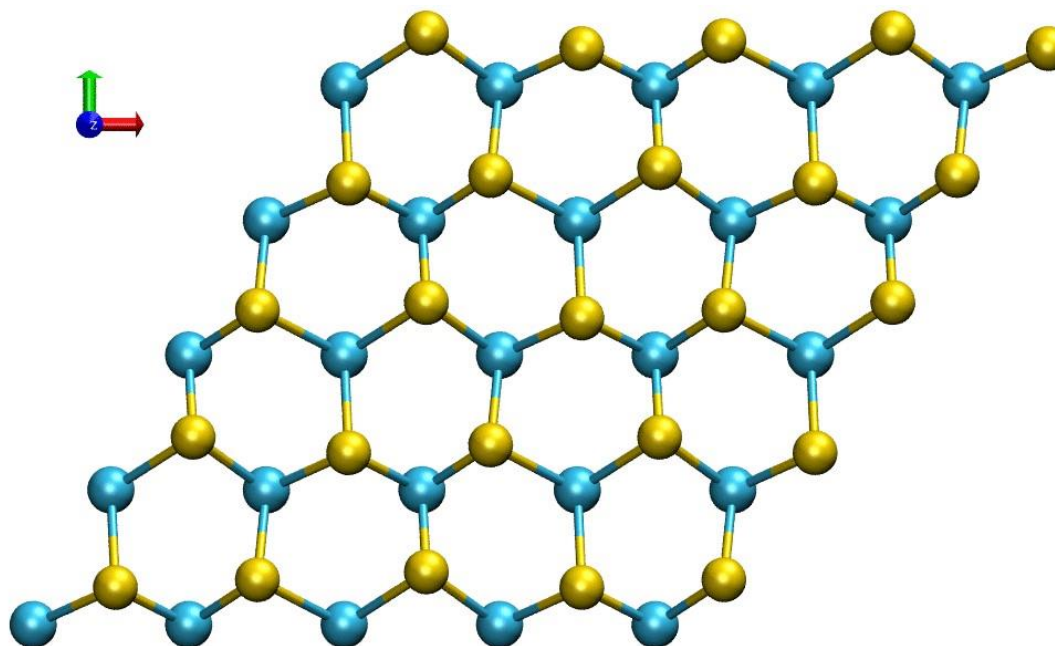
Bom trabalho!

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

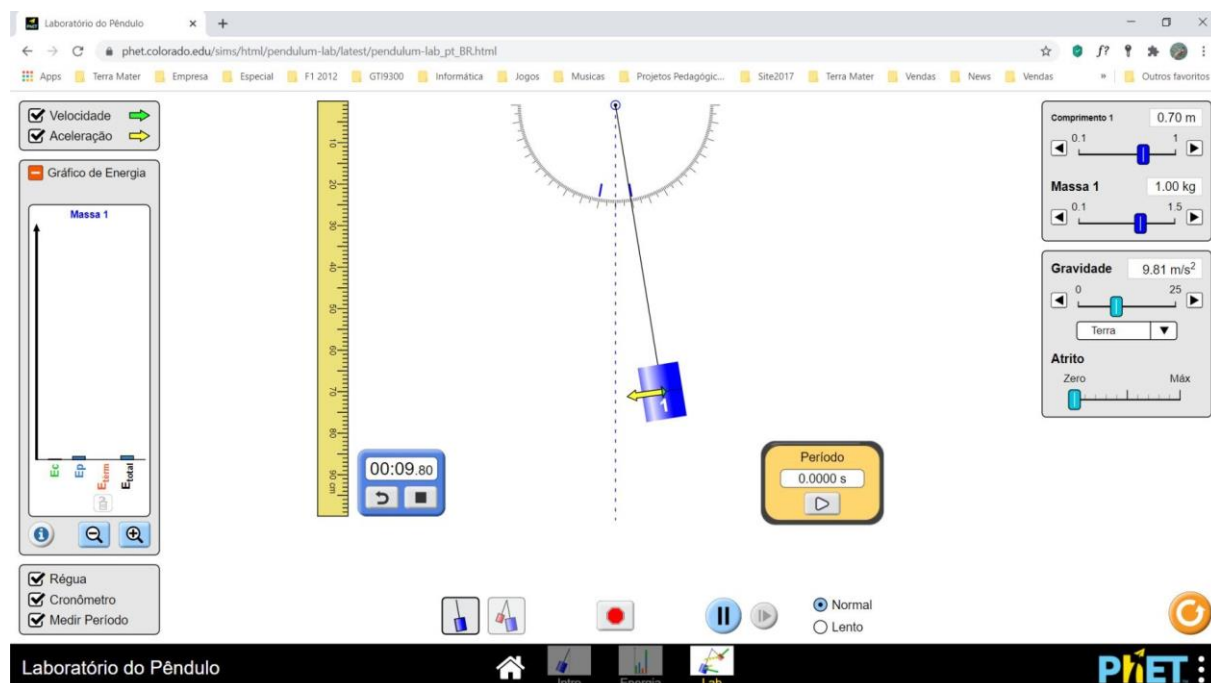
Acesso em: 21 nov. 2020.

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.



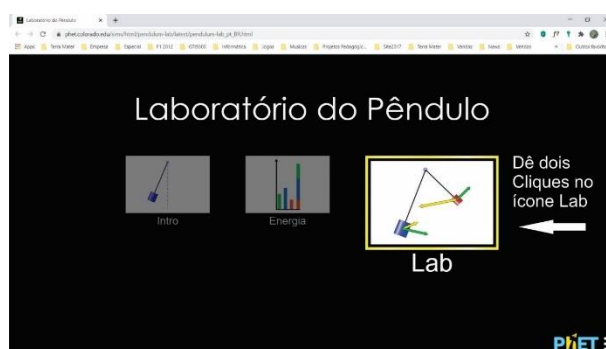
1. Em qual local o relógio de pêndulo adiantou? Justifique a sua resposta.
2. Em qual local o relógio de pêndulo atrasou? Justifique a sua resposta.

Estação 1

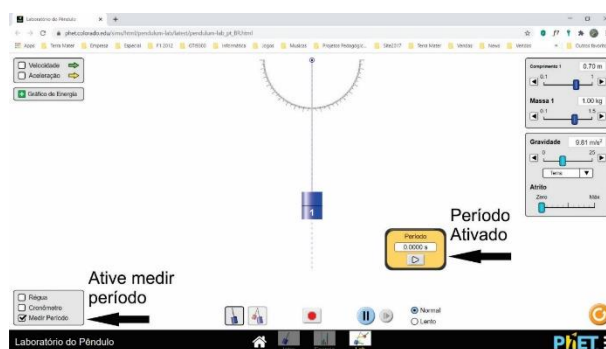
Instruções para o uso do simulador

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

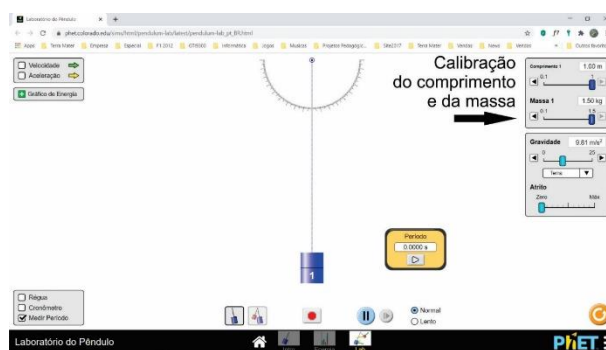
1. Visitar a página do *Laboratório do Pêndulo* na plataforma PhET pelo link:
https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html
2. Dê dois cliques no ícone “Lab”:



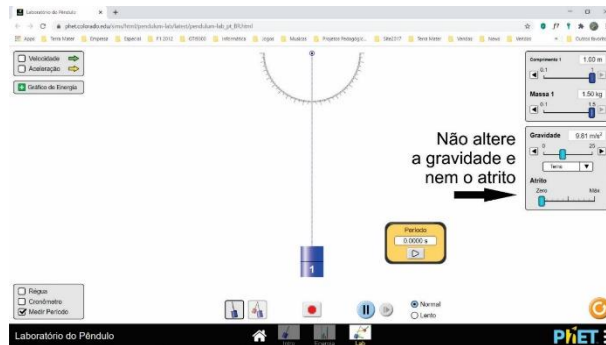
3. Ative o ícone “medir período”. Aparecerá a caixa do período com o tempo inicial.



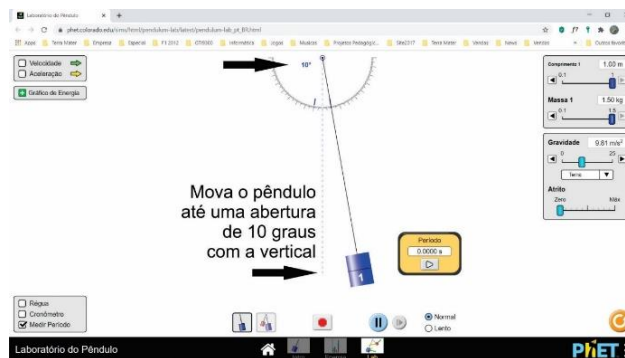
4. Calibre o comprimento do pêndulo em 1,0 m e a massa para 1,50 kg.



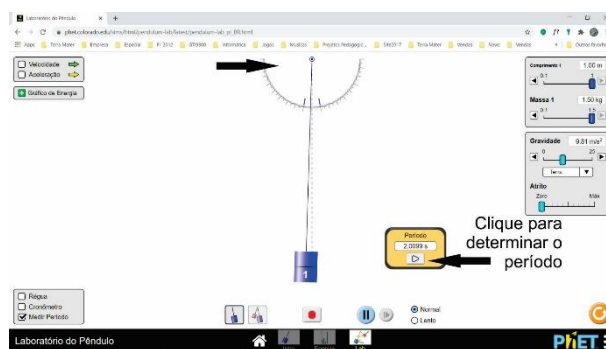
5. Mantenha a *gravidade* no valor de $9,81 \text{ m/s}^2$ e o *atrito* em Zero.



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

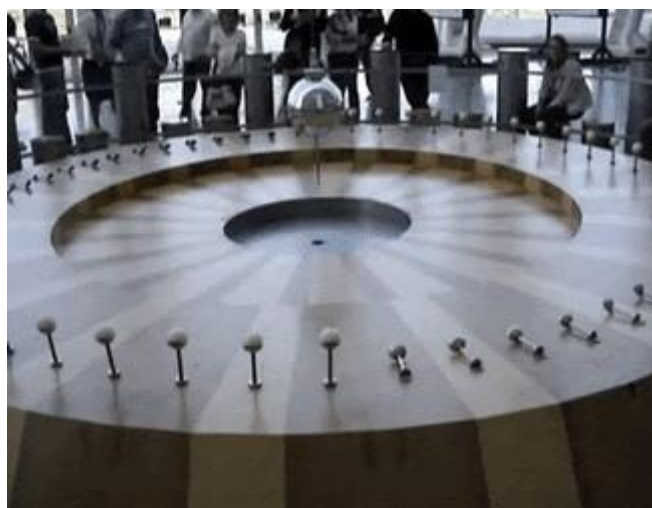
massa de 30 kg. Com esta configuração foi observado um período de oscilação de aproximadamente 16 s. Por estar protegido da ação do clima e do vento no interior do Pantheon, o pêndulo de Foucault oscilava livremente, com pouco amortecimento. Com este experimento Foucault demonstrou que o plano de oscilação 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.



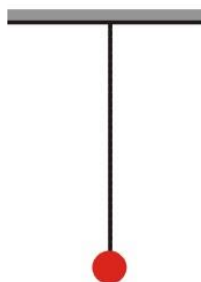
Seção 3 - Teoria

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.

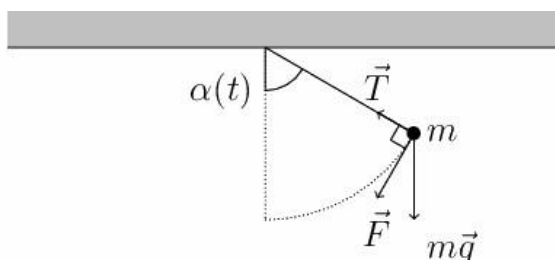
Vídeo 3 - BOARO, M. [Pêndulo Simples e Pêndulo Cônico](#): Exercícios. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sVWPzVtyeCo>. Acesso em: 21 nov. 2020.

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!

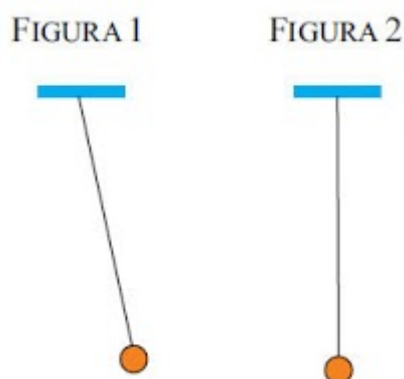
Imagem Ilustrativa da seção: Fonte: GIPHY. [Pêndulo Simples](#). Disponível em: https://giphy.com/gifs/HoHbhPQ9hqepq?utm_source=media-link&utm_medium=landing&utm_campaign=Media%20Links&utm_term=. Acesso em: 21 nov. 2020.



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:

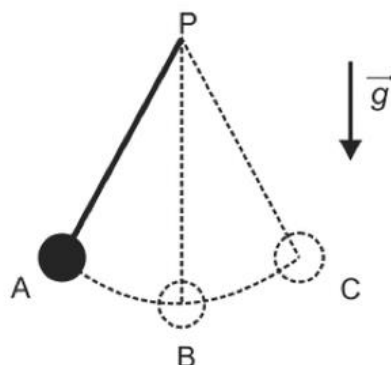
- a) 1,6 m
- b) 0,16 m
- c) 62,5 m
- d) 6,25 m
- e) 0,625 m

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):

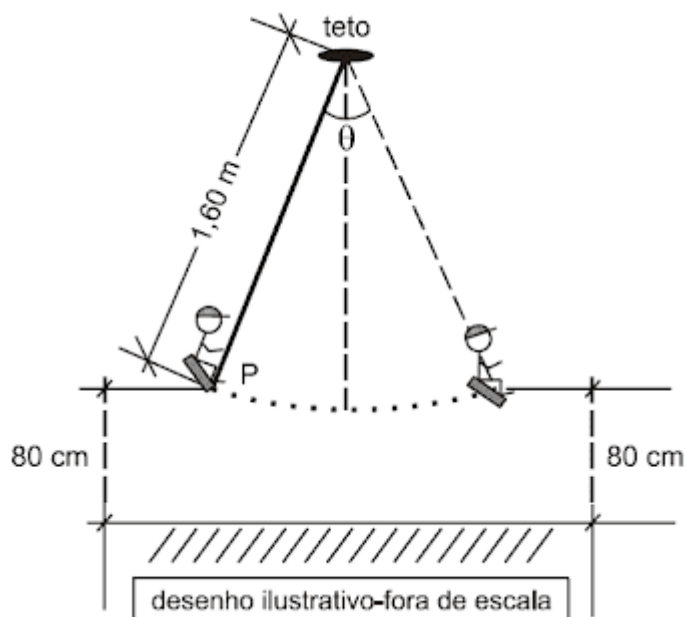
- comprimento da haste seja mantido constante.
- massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
- material da haste possua alta condutividade térmica.
- amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
- energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

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. 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.

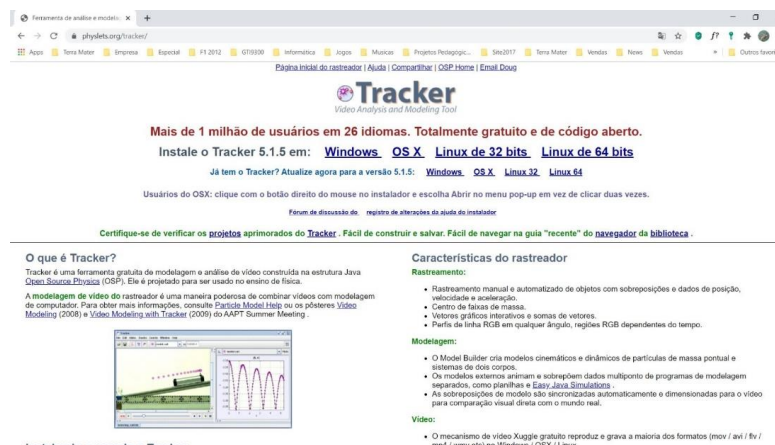
Antes de instalar o Tracker no seu computador, assista ao vídeo: LABINOV. [Tutorial de Vídeo análise com o Tracker: Básico](#). Disponível em:

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

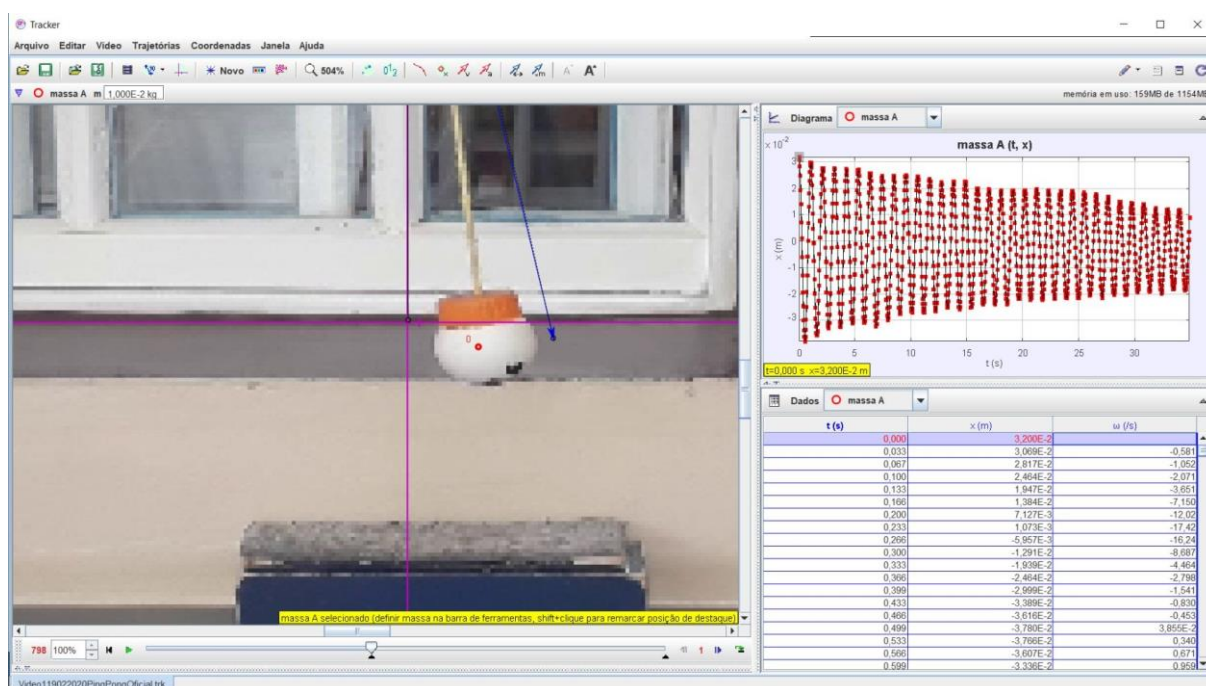
Nesta seção você fará a modelagem da sua montagem experimental no Software Tracker.

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.