

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

GENES RAONE DIAS

**SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA DO PÊNDULO SIMPLES VIA ARDUINO E
PHYPHOX APLICADA NO ENSINO REMOTO**

Juiz de Fora

2023

GENES RAONE DIAS

**SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA DO PÊNDULO SIMPLES VIA ARDUINO E
PHYPHOX APLICADA NO ENSINO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Gonçalves
Coorientador: Prof. Dr. Bruno Ferreira Rizzuti

Juiz de Fora
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO
STRICTO SENSU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA - MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Nº PROPP: 178.31032023.30-M

Nº PPG: 052

Ata da sessão pública referente à defesa da () **dissertação** () **tese** intitulada SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA DO PÊNDULO SIMPLES VIA ARDUINO E PHYPHOX APLICADA NO ENSINO REMOTO, para fins de obtenção do título de () **mestre(a)** () **doutor(a)** em Ensino de Física, área de concentração **Física na Educação Básica**, pelo(a) discente **Genes Raone Dias** (matrícula 102410058 - início do curso em **15/03/2019**), sob orientação do(a) Prof.(^a)Dr(^a) **Bruno Gonçalves** e coorientação do(a) Prof.(^a)Dr(^a) Bruno Ferreira Rizzuti.

Aos 31 do mês de março do ano de 2023, às 15 horas, no(a) IF SUDESTE MG, reuniu-se a Banca examinadora da () **dissertação** () **tese** em epígrafe, aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação, conforme a seguinte composição:

| Titulação Prof(a) Dr(a) / Dr(a) | Nome | Na qualidade de: |
|--|----------------------------|----------------------------------|
| Prof. Dr. | Bruno Gonçalves | Orientador e Presidente da Banca |
| Prof. Dr. | Bruno Ferreira Rizzuti | Coorientador |
| Prof. Dr. | Thales Costa Soares | Membro titular interno |
| Prof. Dr. | Rodrigo Alves Dias | Membro titular externo |
| Profa. Dra. | Elaine Aparecida Carvalho | Suplente externo |
| Prof. Dr. | Alysson Miranda de Freitas | Suplente interno |

***Na qualidade de (opções a serem escolhidas):**

- Membro titular interno
- Membro titular externo
- Membro titular externo e Coorientador(a)
- Orientador(a) e Presidente da Banca
- Suplente interno
- Suplente externo
- Membro titular interno e Presidente da Banca
- Orientador(a)
- Coorientador(a) e Presidente da Banca
- Coorientador(a)
- Membro titular externo (com participação remota, conforme Portaria n. 882/2022 -PROPP).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Fonseca de Oliveira Calderano, Servidor(a)**, em 22/03/2023, às 11:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1197019** e o código CRC **05773590**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM (*inserir)

Nº PROPP: 178.31032023.30-M

Nº PPG: 052

AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Tendo o senhor Presidente declarado aberta a sessão, mediante o prévio exame do referido trabalho por parte de cada membro da Banca, o discente **Genes Raone Dias** procedeu à apresentação de seu Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação *Stricto sensu* intitulado **SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA DO PÊNDULO SIMPLES VIA ARDUINO E PHYPHOX APLICADA NO ENSINO REMOTO** e foi submetido à arguição pela Banca Examinadora que, em seguida, deliberou sobre o seguinte resultado:

APROVADO (Conceito A)

APROVADO CONDICIONALMENTE (Conceito B), mediante o atendimento das alterações sugeridas pela Banca Examinadora, constantes do campo Observações desta Ata.

REPROVADO (Conceito C), conforme parecer circunstanciado, registrado no campo Observações desta Ata e/ou em documento anexo, elaborado pela Banca Examinadora

Novo título da Dissertação/Tese (só preencher no caso de mudança de título):

Observações da Banca Examinadora caso:

- O discente for Aprovado Condicionalmente
- Necessidade de anotações gerais sobre a dissertação/tese e sobre a defesa, as quais a banca julgue pertinentes.

Nada mais havendo a tratar, o(a) senhor(a) Presidente declarou encerrada a sessão de Defesa, sendo a presente Ata lavrada e assinada pelos(as) senhores(as) membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente, atestando ciência do que nela consta.

INFORMAÇÕES

- Para fazer jus ao título de mestre(a)/doutor(a), a versão final da dissertação/tese, considerada Aprovada, devidamente conferida pela Secretaria do Programa de Pós-graduação, deverá ser tramitada para a PROPP, em Processo de Homologação de Dissertação/Tese, dentro do prazo de 90 dias a partir da data da defesa. Após a entrega dos dois exemplares definitivos, o processo deverá receber homologação e, então, ser encaminhado à CDARA.
- Esta Ata de Defesa é um documento padronizado pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Observações excepcionais feitas pela Banca Examinadora poderão ser registradas no campo disponível acima ou em documento anexo, desde que assinadas pelo(a) Presidente(a).
- Esta Ata de Defesa somente poderá ser utilizada como comprovante de titulação se apresentada junto à Certidão da Coordenadoria de Assuntos e Registros Acadêmicos da UFJF (CDARA) atestando que o processo de confecção e registro do diploma está em andamento.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Gonçalves - Orientador
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Bruno Ferreira Rizzuti
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Thales Costa Soares
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Rodrigo Alves Dias

Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 10 / 07 / 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Genes Raone Dias, Usuário Externo**, em 10/07/2023, às 22:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Gonçalves, Usuário Externo**, em 11/07/2023, às 10:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Alves Dias, Professor(a)**, em 11/07/2023, às 19:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Ferreira Rizzuti, Professor(a)**, em 12/07/2023, às 10:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thales Costa Soares, Usuário Externo**, em 14/07/2023, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uffj (www2.ufff.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1360648** e o código CRC **1B87CB0C**.

A ficha catalográfica deve ser impressa na parte inferior, no verso da folha de rosto. Para gerar a Ficha Catalográfica clique no link abaixo. Esta ficha só deve ser gerada quando a versão final da dissertação estiver pronta.

<http://www.ufjf.br/biblioteca/servicos/usando-a-ficha-catalografica/>

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maria do Carmo pelo incentivo e acolhimento diário.

Ao meu pai Geraldo Dias pelo suporte e apoio.

As minhas irmãs pelas palavras de incentivo.

A minha noiva pelo apoio e companheirismo, sempre presente nos momentos difíceis.

Aos amigos da graduação e do mestrado pelos momentos de descontração, em especial ao Cleber, a Renata e a Shaiane que colaboraram na produção dos experimentos.

Aos orientadores pela paciência, disponibilidade e suporte neste trabalho.

A todos que participaram da minha formação e estiveram ao meu lado durante minha formação como professor.

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

RESUMO

Utilizamos a metodologia investigativa no ensino remoto para trabalhar o pêndulo simples. Buscamos estudar de forma prática os principais fatores que influenciam no período do pêndulo simples fazendo isso por meio da investigação. Os alunos foram estimulados a construir um pêndulo simples caseiro e, com pouca influência do professor, realizar sua investigação. Durante a sequência investigativa utilizamos três formas diferentes para a medição do período buscando comparar seus resultados e propor discussões quanto aos erros experimentais. Cada método busca reduzir os erros experimentais introduzindo tecnologias diferentes na forma de medição. Com os resultados obtidos abordamos a equação para o período do pêndulo simples. Utilizamos a equação para determinar a aceleração da gravidade e analisar os erros de cada medição. A sequência investigativa e o produto educacional sofreram adaptações para o ensino remoto, sendo necessário a gravação de vídeos e a formulação de formulários online. A aplicação ocorreu em turmas de segmentos diferentes (ensino fundamental e médio) a fim de comparar os resultados. Durante a sequência dependendo da atividade proposta temos diferentes níveis de investigação. Nossos resultados indicam que é possível aplicar uma sequência investigativa de forma remota. Para um ensino à distância as atividades devem ser de fácil construção pelos alunos, caso contrário ocorre a redução do nível investigativo.

Palavras-chave: Ensino de Física. Ensino por investigação. Experimentação. Pêndulo simples. Arduino no ensino. Phyphox no ensino. Ensino remoto.

ABSTRACT

We use the investigative methodology in remote teaching to work the simple pendulum. We seek to study in a practical way the main factors that influence the period of the simple pendulum by doing this through the investigation. Students were encouraged to build a simple homemade pendulum and, with little influence from the teacher, carry out their investigation. During the investigative sequence, we used three different ways to measure the period, seeking to compare its results and propose discussions regarding experimental errors. Each method seeks to reduce experimental errors by introducing different technologies in the form of measurement. With the results obtained we approach the equation for the period of the simple pendulum. We use the equation to determine the acceleration due to gravity and analyze the errors of each measurement. The investigative sequence and the educational product were adapted for remote teaching, requiring the recording of videos and the formulation of online forms. The application took place in classes from different segments (elementary and high school) in order to compare the results. During the sequence, depending on the proposed activity, we have different levels of investigation. Our results indicate that it is possible to apply an investigative sequence remotely. For distance learning, the activities must be easy for the students to build, otherwise there is a reduction in the investigative level.

Keywords: Physics Teaching. Teaching by investigation. Experimentation. Simple pendulum. Arduino in teaching. Phyphox in teaching. Remote teaching.

SUMÁRIO

Sumário

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2 OSCILAÇÕES E PÊNDULOS | 16 |
| 2.1. FORÇA RESTAURADORA | 16 |
| 2.2. OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES | 18 |
| 2.3. PÊNDULO SIMPLES | 19 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 22 |
| 3.1 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA | 22 |
| 3.2 ATIVIDADES INVESTIGATIVAS..... | 25 |
| 3.3 LIBERDADE INTELECTUAL E OS NÍVEIS DE INVESTIGAÇÃO | 26 |
| 3.4 SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO | 29 |
| 4 APLICAÇÃO DO PRODUTO..... | 31 |
| 4.1 O PRODUTO EDUCACIONAL | 31 |
| 4.2 ADAPTAÇÃO PARA O ENSINO REMOTO | 32 |
| 4.3 ATIVIDADES INVESTIGATIVAS..... | 33 |
| 4.4 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO ONLINE..... | 37 |
| 5 ANÁLISE/REFLEXÃO | 40 |
| 5.1 ANÁLISE DE CONTEÚDO..... | 40 |
| 5.2 CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS..... | 40 |
| 5.3 RESULTADOS/DESCRIÇÃO: ATIVIDADE INVESTIGATIVA 1 | 43 |
| 5.4 RESULTADOS/DESCRIÇÃO: ATIVIDADE INVESTIGATIVA 2 | 52 |
| 5.5 INTERPRETAÇÃO | 56 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 58 |
| REFERÊNCIAS | 60 |
| ANEXO A – Manual do produto educacional | 63 |

1 INTRODUÇÃO

O pêndulo simples é um experimento bastante conhecido no âmbito do ensino de física. A escolha por este tema se deu por ser um experimento de fácil construção e com um grande potencial investigativo. Sendo um dos primeiros experimentos para a determinação da aceleração da gravidade, sendo feito por Huygens em 1659 encontrando valores entre 9 e 10 m/s^2 (SILVEIRA, 1995), o pêndulo simples possibilita ao aluno determinar a aceleração da gravidade com um experimento de fácil construção. Além disso é possível abordar conceitos sobre a utilização de um modelo teórico para o período do pêndulo e seu limite de validade. De modo geral devido à grande variedade de possibilidades os conceitos do pêndulo simples são melhor abordados quando trabalhados em atividades investigativas (CERQUEIRA PORTO, 2019).

Neste trabalho abordamos a aplicação remota de uma sequência investigativa para o tema de oscilações, especificamente o pêndulo simples. A aplicação tem como objetivo geral trabalhar os fatores que influenciam no período de pêndulo simples, calculando a aceleração da gravidade. A partir do desenvolvimento da investigação buscamos propor uma discussão sobre os erros experimentais associados a cada método de medição.

O projeto foi pensado como uma maneira dos alunos terem contato com diferentes formas de medição, utilizando aparelhos diferentes para mensurar a mesma grandeza. A partir de uma sequência investigativa os alunos deveriam estudar os fatores que influenciam no período do pêndulo simples. Buscamos comparar três métodos distintos para medição do período a fim de despertar no aluno qual a diferença entre eles e quais os erros experimentais cada um busca reduzir. O primeiro método, e mais conhecido é o método denominado de tradicional, nesta medição utilizamos um cronômetro para medir o tempo de 10 oscilações e após dividir o tempo por 10, temos o período de oscilação. O fator humano fica bem evidente neste método uma vez que existe a interferência pessoal no disparar e parar o cronômetro e na contagem dos períodos. Para comparar o experimento tradicional utilizamos um celular, um método mais tecnológico para a medição. Neste segundo método de medição utilizamos o aplicativo Phypox. Este aplicativo pode ser baixado gratuitamente no celular e utiliza os sensores do próprio aparelho para realizar as medições. O aplicativo proporciona uma vasta gama de experimentos, entre eles temos o medidor de período para o pêndulo simples. Para realizar a medição, após abrir o aplicativo e configurá-lo, o celular deve ser posto a oscilar e após um certo tempo o período de oscilação será indicando na tela. Este é um método

automático com pouca interferência humana e com objetos de fácil acesso. Para o terceiro método de medição optamos por um sistema semiautomático que nomeamos de Pêndulo LDR, produzido durante a graduação e aprimorado no mestrado. Este aparato tem como base uma placa de Arduino onde foi feita a programação, um sensor de luminosidade *Light Dependent Resistor* (LDR) e um *Light Emitting Diode* (LED). Após o Pêndulo LDR ser calibrado com a luz ambiente a para realizar a medição do período de oscilação de um objeto, deve-se pôr o objeto a oscilar entre o LED e o LDR, em seguida apertar o botão de medição. A medida de 10 oscilações é feita automaticamente e mostrada em um visor. O Pêndulo LDR foi pensado de forma a reduzir a interferência humana na medição do período. Além de proporcionar o contato do estudante com a eletrônica básica, o aparato é de fácil montagem e de um custo acessível. O estudante ainda pode variar alguns fatores do pêndulo simples de forma fácil e rápida podendo ser aplicado em atividades investigativas de diferentes níveis. Todos os detalhes do Pêndulo LDR podem ser vistos no Anexo A.

O uso de atividades experimentais no ensino de física possibilita ao aluno a construção de significados reais e permitem uma análise dos conceitos estudados. Nas atividades experimentais os alunos são levados a trabalharem em grupos e a questionarem seu conhecimento. Segundo Matos e Valadares (2001) estas atividades contribuem para melhorar os conhecimentos dos alunos modificando e melhorando seus modelos mentais. Podemos destacar também o caráter motivador da experimentação, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas discutidos na aula (GIORDAN, 1999).

Do ponto de vista das atividades investigativas, elas proporcionam aos estudantes a reflexão e a construção de seus conhecimentos de forma ativa. Ao participar do processo de investigação, o estudante adquire novos conhecimentos ao confrontá-los com a observação na busca de solucionar um problema. Existem diferentes níveis de investigação e cada problema deve ser pensado com o objetivo de alcançar certo grau investigativo. Os fatores que diferenciam estes níveis são a liberdade do aluno e a atuação do professor dentro da formulação o problema, levantamento de hipóteses, planejamento, obtenção de dados e conclusões (CARVALHO, 2018). Segundo Borges, o papel do professor deve ser o de mediador do processo de investigação.

O professor atua como um mediador entre o grupo e a tarefa, intervindo nos momentos em que há indecisão, falta de clareza ou consenso. Seu objetivo deve ser deixar que o grupo, progressivamente, assuma maior controle sobre sua atividade (BORGES, 2002).

A princípio os alunos seriam divididos em grupos para realizar as atividades investigativas interagindo com os experimentos a fim de responderem aos problemas propostos. Todos os alunos deveriam ter contato com os três métodos de medição (Tradicional, Phyphox e Pêndulo LDR) a fim de levantar hipóteses sobre o pêndulo e os erros experimentais. Cada grupo deveria apresentar seus resultados e discutir com a turma suas hipóteses, todo o processo deveria ser presencial. Porém, devido à pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2) causador da COVID-19, as aulas presenciais foram suspensas no Brasil e adaptações foram necessárias na aplicação dos experimentos e da sequência investigativa. A educação brasileira passou a um período de Ensino Remoto Emergencial (ERE), forma encontrada para manter as medidas sanitárias necessárias. No ERE, como forma de reduzir o prejuízo educacional, as aulas foram online ou gravadas pelos professores e as tarefas não poderiam ser em grupos. O ERE prejudicou a interação com os experimentos e a utilização de todo o potencial experimental que eles proporcionam. Para a aplicação da sequência investigativa de forma online foi necessário adaptá-la, reduzindo os encontros síncronos, individualizando os experimentos, gravando alguns experimentos e introduzindo a utilização de simuladores.

A sequência de ensino investigativo foi dividida em três encontros online com duas atividades investigativas. A aplicação foi feita em uma turma do 9º ano do ensino fundamental e do 2º ano do ensino médio a fim de comparar o método investigativo nos diferentes segmentos em que a física é parte integrante da grade curricular. As atividades investigativas são passadas pelo professor e os alunos devem realizá-las em casa respondendo um questionário. Cada atividade busca responder uma pergunta central e tem um nível de investigação diferente. As atividades com maior nível de abertura buscam investigar características da modelagem do pêndulo simples, como os fatores que influenciam na medição do período. As atividades mais estruturadas são voltadas aos diferentes métodos de medição e a comparação entre eles como pode ser visto no decorrer da dissertação.

A aplicação da sequência investigativa está de acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A BNCC é um documento normativo onde é definido o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo da educação básica. Como uma das competências gerais da educação básica, temos que o estudante deve exercer sua curiosidade intelectual com abordagens próprias das ciências (investigação, reflexão e análise crítica) para investigar causas e elaborar hipóteses na solução de problemas (BRASIL, 2018, p. 559).

Nesta dissertação o segundo capítulo versa sobre o tema oscilações como base para o estudo do pêndulo simples. Neste capítulo mostramos como podemos aproximar o movimento do pêndulo simples de um movimento regido por uma força restauradora proporcional ao deslocamento. Com isso deduzimos a equação do período do pêndulo simples e discutimos sua validade.

O terceiro capítulo é voltado à fundamentação bibliográfica. Neste capítulo abordamos a importância da experimentação no ensino de física e seu respaldo dentro da BNCC. É feita também uma diferenciação entre os diferentes tipos de experimentação em sala de aula e os seus objetivos. As atividades investigativas também tomam uma boa parte do terceiro capítulo, onde apresentamos seus objetivos e características. Ali discutimos as definições de grau da liberdade intelectual e níveis de investigação comparando com a investigação de confirmação, investigação estruturada, investigação guiada e investigação aberta. Discutimos como cada atividade investigativa tem um grau diferente de investigação a partir do grau de abertura de suas etapas. Fica definido neste capítulo o que se caracteriza uma sequência de ensino investigativo.

No quarto capítulo é descrito como foi a aplicação da sequência de ensino investigativa e o produto educacional aplicado. Neste capítulo é detalhado como foram as atividades investigativas e as adaptações necessárias para a aplicação no regime de ensino remoto. Aqui detalhamos como a sequência de ensino está estruturada e os objetivos de cada etapa de sua implementação. O final deste capítulo é voltado a uma descrição detalhada da aplicação online.

O quinto capítulo é destinado aos resultados obtidos durante as atividades investigativas. É feita uma análise qualitativa e quantitativa das respostas dos alunos com imagens dos experimentos produzidos por eles. Por fim, interpretamos as respostas obtidas buscando compreender se os objetivos da sequência de ensino foram atingidos e se o grau de investigação foi adequado para os diferentes segmentos.

2 OSCILAÇÕES E PÊNDULOS

As oscilações são muito importantes no estudo da natureza visto que muitos sistemas apresentam alguma forma de repetição. Sendo um tema transversal da física as oscilações estão presentes em todas as grandes áreas, permitindo compreender desde temas da mecânica até elementos da física moderna e do eletromagnetismo. Alguns exemplos de fenômenos que podem ser modelados utilizando as oscilações e suas características são: movimento de planetas, o vai e vem de um pistão, os movimentos circulares, as vibrações em uma corda ou estrutura, o som de instrumentos de sopro, pêndulos, corrente elétrica, etc.

As oscilações podem ser divididas em oscilações simples quando o sistema não é submetido a ação de forças externas ou oscilações forçadas quando o sistema sofre a ação de impulsos externos ou forças dissipadoras (oscilações amortecidas) (NUSSENZVEIG, 2002, p. 39). Neste contexto abordaremos apenas as oscilações harmônicas simples em uma dimensão.

O movimento oscilatório periódico é caracterizado como um movimento que se repete com o passar do tempo. Este tipo de movimento tem duas grandezas que carregam informações sobre a repetição do sistema. A frequência (f) que é o número de oscilações que ocorre por segundo, ou seja, quantas vezes o sistema repete seu movimento (ou ciclo) em um segundo. A unidade de medida da frequência é o hertz (Hz) de modo que $1Hz = 1s^{-1}$. Outra grandeza de grande importância é o período (T), o período indica o tempo que o sistema gasta para realizar uma oscilação completa.

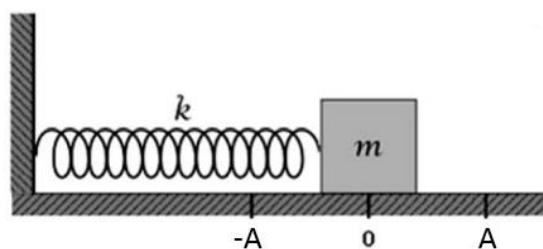
2.1. FORÇA RESTAURADORA

Um dos movimentos periódicos mais simples é um sistema composto por uma massa (m) e uma mola de constante elástica (K). Considerando que a massa possa se mover sem atrito e a mola como ideal, a massa pode se mover na horizontal comprimindo ou esticando a mola. Ao retirar a massa da posição de equilíbrio aparecerá sobre ela uma força elástica proporcional ao deslocamento e direcionada para a posição de equilíbrio. Esta força tende a fazer com que o corpo retorne a sua posição de equilíbrio. Chamamos as forças que dão origem a movimentos periódicos simples de **forças restauradoras**. Elas são linearmente proporcionais ao deslocamento horizontal a partir da posição de equilíbrio (YOUNG & FREEDMAN, 2003, p. 34)

$$F = -Kx. \quad (1)$$

Denominamos a constante de proporcionalidade K de constante elástica e deve ter unidade de Newtons por metro (N/m). No caso de movimento em uma dimensão x é a posição da massa ou partícula. O negativo na força restauradora indica que a força se opõe ao deslocamento, apontando sempre para a posição de equilíbrio. As oscilações que são regidas por forças restauradoras proporcionais ao deslocamento horizontal são chamadas de Movimentos Harmônicos Simples (MHS). Um sistema que realiza este tipo de movimento é chamado de oscilador harmônico. Um exemplo esquemático do sistema massa-mola descrito é indicado na Figura 1.

Figura 1 – Sistema massa-mola



Fonte: Recorte da questão 6 vestibular UPE/2009.

Ao deslocar o corpo para a posição A , por exemplo, e abandoná-lo, a força restauradora e a aceleração são direcionadas para a esquerda, a velocidade aumenta até a posição de equilíbrio. No ponto de equilíbrio a força restauradora é nula, mas o corpo se move para a esquerda por inércia. Enquanto se move para a esquerda, a força restauradora é direcionada para a direita e a velocidade para a esquerda fazendo com que ele perca velocidade até atingir o ponto $-A$. Então o processo se repete, fazendo com que o corpo volte a passar pelo ponto de equilíbrio, assim realizando oscilações em torno deste ponto.

Os pontos A e $-A$ representam a amplitude de oscilação, estes são o deslocamento máximo do corpo a partir do ponto de equilíbrio. É importante notar que para que se tenha uma oscilação completa o corpo deve retornar ao ponto de partida e não necessariamente a posição de equilíbrio. Em um movimento regido pela força restauradora podemos determinar a posição do corpo em função do tempo $x(t)$. A segunda lei de Newton pode ser representada por

$$F_R = m \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (2)$$

Podemos igualar as equações (1) e (2) de forma que temos uma equação diferencial de segunda ordem

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -Kx \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K}{m}x = 0. \quad (3)$$

A solução da equação (3) é uma função trigonométrica (seno ou cosseno) que descreve o movimento de um oscilador harmônico e pode ser encontrada supondo uma função, cuja derivada segunda seja uma constante vezes a própria função. Com esta suposição encontramos a solução na forma

$$x(t) = A \cos(\omega t + \theta_0). \quad (4)$$

Com A sendo a amplitude do movimento, θ_0 é a fase do movimento que pode ser determinada a partir do conhecimento de como se iniciou o movimento. Podemos determinar a constante ω derivando duas vezes a equação (4) em relação ao tempo e substituindo na equação (5) o que resultará na igualdade

$$-A\omega^2 \cos(\omega t + \theta_0) + A \frac{K}{m} \cos(\omega t + \theta_0) = 0. \quad (5)$$

Para que a igualdade acima seja verdadeira a constante ω deve ser

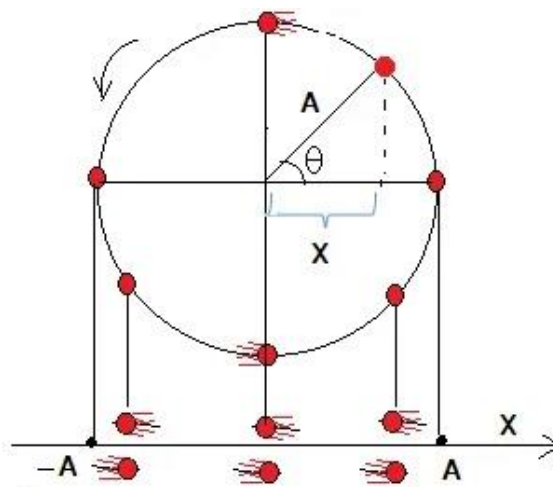
$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}. \quad (6)$$

O fato de chamarmos o conjunto de constantes de ω é intencional e será justificado na próxima seção. Um indício de seu significado é a sua unidade que é s^{-1} (mais apropriadamente rad/s). Para determinar a velocidade e a aceleração do movimento harmônico basta derivarmos a equação (4) em relação ao tempo.

2.2. OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES

Para encontrar o período e a frequência do movimento harmônico simples podemos utilizar a projeção do movimento circular. Um esquema desta projeção é indicado na Figura 2.

Figura 2 – Projeção do movimento circular



Fonte: <https://vamosestudarfisica.com/o-que-e-movimento-harmonico-simples/>.

Com a projeção apresentada na Figura 2 a componente horizontal do movimento circular e a aceleração da projeção da partícula são dadas pelo componente horizontal do deslocamento e da aceleração centrípeta

$$x = A \cos \theta \quad a = -a_c \cos \theta. \quad (7)$$

Sabendo que a aceleração centrípeta é $a_c = \omega^2 R$ com ω sendo a velocidade angular do movimento circular e em nosso exemplo $R=A$, temos que:

$$a = -\omega^2 A \cos \theta = -\omega^2 x. \quad (8)$$

As equações para a aceleração e o deslocamento (7) são iguais às encontradas no movimento harmônico (5). Podemos concluir então que uma partícula realizando uma oscilação unidimensional é análogo a uma partícula realizando uma volta no movimento circular (YOUNG & FREEDMAN, 2003, p. 36). Esta grandeza estabelece uma conexão entre a velocidade angular $\omega = \frac{2\pi}{T}$ e o movimento harmônico uma vez que ω também foi encontrado na equação (6) de forma que podemos igualar

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{m}}. \quad (9)$$

Assim o período e a frequência que são grandezas fundamentais do movimento harmônico são dados pelas equações

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (10)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}. \quad (11)$$

Uma vez que em um movimento harmônico a constante de proporcionalidade K e a massa são conhecidas, conseguimos determinar todas as grandezas fundamentais do movimento. Ressaltamos também que a frequência angular ω é independente das condições iniciais do problema. Independente da amplitude, o sistema massa-mola oscila sempre com o mesmo período/frequência.

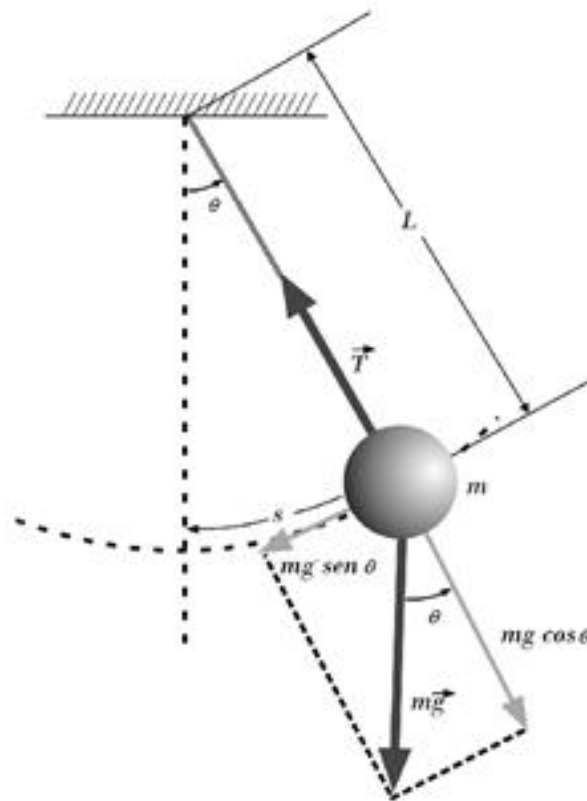
2.3. PÊNDULO SIMPLES

Os pêndulos são osciladores cuja força restauradora está associada à aceleração da gravidade. O pêndulo simples é constituído por um corpo puntiforme de massa m suspenso por um fio de massa desprezível e inextensível de comprimento L . Quando a massa é deslocada lateralmente e abandonada ela oscila em torno do ponto de equilíbrio. Algumas situações cotidianas, se desconsiderarmos as forças de atrito, podem ser modeladas utilizando o pêndulo

simples. Alguns exemplos são: uma criança sentada em um balanço, os antigos relógios de pêndulo, uma bola de demolição, o prumo utilizado nas construções, etc.

Para que a modelagem da oscilação do pêndulo seja comparada com a de um oscilador harmônico é preciso descobrir a equação de movimento da massa m . As forças que agem sobre a massa são a de tração T exercida pelo fio e a força peso $P = mg$ devido a ação da gravidade. O fio faz um ângulo θ com a vertical de modo que podemos decompor a força peso em dois componentes ortogonais, uma componente tangencial ao movimento ($mg \sin \theta$) e uma componente radial ao movimento ($mg \cos \theta$), como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Pêndulo simples diagrama de forças



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-O-pendulo-simples-e-as-forcas-atuantes-consideradas-na-modelagem-simplificada_fig1_260772938.

A força restauradora que atua no movimento do pêndulo simples é representada pela componente tangencial da força resultante, atuando sempre contrário ao movimento do pêndulo, de modo que pode ser representada por:

$$F = -mg \sin \theta \quad (12)$$

Podemos observar que a força restauradora não é proporcional a θ , mas sim a $\sin \theta$, logo o movimento não é harmônico simples. A trajetória do corpo não é em linha reta, mas

um arco de circunferência de raio L , de modo que ao aplicar a segunda lei de newton devemos utilizar a aceleração tangencial dada por $a_T = R \frac{d^2\theta}{dt^2}$ (ALONSO & FINN, 1972, p. 346), logo:

$$mL \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg \operatorname{sen}\theta \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \operatorname{sen}\theta = 0 \quad (13)$$

A equação (13) não tem a mesma forma que a equação do oscilador harmônico simples (4). Como dito anteriormente, as equação não são do mesmo tipo devido à presença do $\operatorname{sen}\theta$. Contudo, caso o ângulo seja pequeno ($\theta < 10^\circ$), podemos fazer a linearização da equação de movimento utilizando a aproximação harmônica com um erro de aproximadamente 0,5% (NUSSENZVEIG, 2002, p. 48)

$$\operatorname{sen}\theta \approx \theta. \quad (14)$$

Esta linearização leva a equação (14) a ser do mesmo tipo da equação (4) tendo as soluções parecidas. A implicação direta desta aproximação está na força restauradora (12) que agora é linearmente dependente do ângulo, isto é,

$$F = -mg \theta. \quad (15)$$

Como o deslocamento do pêndulo é um arco S , podemos escrever como o ângulo θ em função do arco e do raio da trajetória (L), ou seja, $S = \theta L$. Assim a equação (15) fico muito parecida com a equação (1), onde agora a constante de proporcionalidade K é outra, a se notar:

$$F = -\frac{mg}{L} S \quad (16)$$

$$K = \frac{mg}{L}. \quad (17)$$

A constante de proporcionalidade mantém as mesmas unidades do sistema massa mola (N/m). Uma vez constatado que o movimento do pêndulo simples pode ser aproximado por um movimento harmônico simples, podemos inferir que as soluções do oscilador harmônico são semelhantes. Então, substituindo a constante de proporcionalidade do pêndulo simples (17) no período do MHS (10) temos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (18)$$

O movimento do pêndulo simples é aproximadamente harmônico, uma vez que para as conclusões citadas acima tivemos que usar a aproximação (14). Nestas condições o período do pêndulo não depende da amplitude, desde que a amplitude seja pequena. O período também não depende da massa uma vez que ela aparece nos dois termos da equação (13).

Caso o pêndulo tenha amplitudes maiores onde a aproximação (14) não é válida devemos partir para uma abordagem via energia potencial do pêndulo como uma função do ângulo. O resultado do período pode ser expresso como uma série infinita

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \left(1 + \frac{1}{2^2} \text{sen}^2 \theta + \frac{1^2 \cdot 3^2}{2^2 \cdot 4^2} \text{sen}^4 \frac{\theta}{2} + \dots \right). \quad (19)$$

Para pequenas amplitudes basta pegarmos o primeiro termo da série visto que o segundo termo contribui com menos de 1% para amplitudes menores que 23° (ALONSO & FINN, 1972, p. 350).

Podemos utilizar a aproximação (14) pegando pequenos ângulos e a equação (18) para determinar a aceleração da gravidade, uma vez que tomando os devidos cuidados, o período e o comprimento do fio L podem ser medidos. Isolando g, obtemos

$$g = \frac{(2\pi)^2 \cdot L}{T^2}. \quad (20)$$

3 FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

A experimentação no ensino é pautada na BNCC tanto nos tópicos do ensino fundamental nos anos finais como no ensino médio. É função da área de Ciências da Natureza assegurar aos alunos o acesso à diversidade de conhecimentos científicos, bem como aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica (BRASIL, 2018, p. 321). A BNCC é bem clara quando diz que a experimentação no ensino não significa necessariamente seguir um conjunto de etapas predefinidas, ao contrário, é indicado partir de questões desafiadoras que possibilitem a solução de problemas de uma forma investigativa.

Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório. Ao contrário, pressupõe organizar as situações de aprendizagem partindo de questões que sejam desafiadoras e, reconhecendo a diversidade cultural, estimulem o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilitem definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções. (BASE NACIONAL CURRICULAR COMUM, 2018, p.322).

As características indicadas pela BNCC estão todas de acordo com os princípios do ensino por investigação (COGO & LEITE, 2019). Existem várias formas de utilizar os

experimentos no ensino de física. Independente da forma de abordagem a experimentação deve sempre buscar a motivação do aluno, em vez de sua passividade frente às aulas tradicionais.

Segundo David Ausubel, para que ocorra a aprendizagem significativa, um novo conteúdo deve estar conectado com aquilo que o aluno já sabe (subsunçores) (MOREIRA, 2012). A nova informação modifica a informação antiga em um processo de assimilação, ampliando o conceito inicial. A experimentação no ensino, em todas as suas formas, contribui para esse processo de mudança, transformando a informação anterior em conceitos mais gerais confrontados com a realidade.

A experimentação assim como a aprendizagem pode se dar por recepção ou por descoberta. Na primeira o produto é apresentado ao aluno em sua forma final enquanto na segunda o conteúdo é descoberto pelo aluno durante a atividade. Ao contrário do que se pensa, a experiência em sala de aula não precisa sempre dar o resultado pretendido pelo professor, o erro é importante no processo de ensino. O erro na experimentação confronta o conceito prévio de uma ciência finalizada e instiga no aluno a busca por variáveis não comentadas no ensino tradicional.

Uma experiência imune a falhas mimetiza a adesão do pensamento do sujeito sensibilizado ao que supõe ser a causa explicativa do fenômeno, em lugar de promover uma reflexão racionalizada. O erro em um experimento planta o inesperado em vista de uma trama explicativa fortemente arraigada no bem-estar assentado na previsibilidade, abrindo oportunidades para o desequilíbrio afetivo frente ao novo. (GIORDAN, 1999)

O professor é o articulador da experimentação propondo discussões e reflexões, sendo assim uma estratégia eficiente para a um ensino ativo, contextualizado e significativo. Cabe ao professor escolher o melhor tipo de experimentação frente a sua metodologia e o contexto ao qual está inserido. A experimentação pode ser dividida em quatro tipos, Experimentação Show, Ilustrativa, Problematizadora e Experimentação Investigativa (TAHA, 2016). Cada tipo de experimentação tem um objetivo e podem ser organizadas conforme o ambiente, tempo e o contexto escolar, mas todos proporcionam uma aula mais interativa em contraste com a tradicional.

O objetivo da atividade prática pode ser o de testar uma lei científica, ilustrar ideias e conceitos aprendidos nas 'aulas teóricas', descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, 'ver na prática' o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica (BORGES, 2002).

A Experimentação Show é o tipo de atividade voltada para chamar a atenção dos alunos para um tema, ou seja, ela deve despertar o interesse para um estudo posterior. O foco está na realização do experimento pelo professor que deve direcionar a atenção para pontos importantes

e contextualizar estudos futuros, função motivadora. O objetivo é motivar os alunos pela surpresa do experimento e direcionar a aprendizagem na direção de conhecimentos mais consistentes (GONÇALVES E GILIAZZI, 2004).

Quando a experiência é feita após o conteúdo ser trabalhado ela recebe o nome de Experimentação Ilustrativa, é o tipo de experiência utilizada geralmente para finalizar um conteúdo. Este tipo de experimentação busca aplicar conceitos já abordados proporcionando uma junção de teoria e prática aumentando a assimilação dos conceitos (HARTWIG, 2008). A experimentação Show e a Ilustrativa podem ser caracterizadas como uma aprendizagem por recepção visto que o objetivo é a motivação e a confirmação de teorias. Alguns autores não fazem distinção entre elas sendo ambas classificadas como ilustrativas.

Na Experimentação Problematizadora o professor deve planejar situações potencialmente problemáticas onde os alunos devem propor e questionar hipóteses servindo de ponto de partida para novas ideias sobre o problema. Os alunos devem ser críticos e não aceitar o conhecimento simplesmente transferido. A Experimentação Problematizadora é fundamentada na pedagogia problematizadora de Paulo Freire (TAHA, 2016). Neste tipo de experimentação o professor também é sujeito do processo e deve trabalhar ao lado dos alunos no problema sem fornecer explicações prontas, mas fazendo-os refletir. A problematização deve apresentar situações reais. Em seguida deve-se organizar os conhecimentos necessários para a solução do problema buscando conhecimento em outras fontes sobre (questionários, vídeos, atividades, textos). A última etapa consiste em analisar a situação problema e generalizar para outros problemas que possam ser solucionados com a bagagem adquirida (HARTWING, 2008).

A Experimentação Investigativa se assemelha muito à experimentação problemática e está diretamente ligada ao ensino por investigação. Este tipo de atividade requer que o aluno construa e teste suas hipóteses para um problema em aberto. O aluno pode construir um experimento para testar suas hipóteses ou investigar sobre um já construído. O conteúdo conceitual será construído durante a discussão sobre o problema, o papel do professor é o de mediador dando liberdade aos alunos na construção de suas hipóteses (TAHA, 2016). Tanto a Experimentação Problematizadora como a Investigativa promovem uma aprendizagem por descoberta tornando o aluno menos passivo na aula.

3.2 ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

Tanto a Experimentação Problematizadora como a Investigativa são formas de utilizar a experiência em sala de forma ativa e estão diretamente ligadas ao ensino por investigação. O ensino por investigação acontece quando o professor cria condições em sala de aula para que os alunos possam pensar sobre um problema com liberdade intelectual de levantar e testar suas hipóteses buscando resolver o problema, construindo assim seu desenvolvimento conceitual (CARVALHO, 2018). Lúcia Helena Sasseron, define bem o papel do ensino por investigação em sala de aula:

Desse modo, lembrem que, assim como a própria construção de conhecimento em ciências, a investigação em sala de aula deve oferecer condições para que os estudantes resolvam problemas e busquem relações causais entre variáveis para explicar o fenômeno em observação, por meio do uso de raciocínios do tipo hipotético-dedutivo, mas deve ir além: deve possibilitar a mudança conceitual, o desenvolvimento de ideias que possam culminar em leis e teorias, bem como a construção de modelos (SASSERON, 2015).

A investigação segue uma concepção construtivista em que o aluno constrói seu conhecimento através da ação. Não necessariamente com um roteiro, o processo deve acontecer na análise e confronto das hipóteses com a prática investigativa. O aluno na busca de resolver o problema tem contato com a linguagem das ciências além da verbal: figuras, tabelas, gráficos, linguagem matemática. A atividade investigativa proporciona também a alfabetização científica, segundo Ana Maria Pessoa de Carvalho: “A solução do problema deve levar à explicação do contexto mostrando aos alunos que Ciência não é a natureza, mas leva a uma explicação da natureza” (CARVALHO, 2013).

O papel do professor durante a atividade é o de mediador do processo de investigação, fazendo com que os alunos se engajem nas discussões em busca da solução do problema. Diferente de um laboratório tradicional onde os alunos seguem as orientações do professor ao seguir roteiros amarrados buscando produzir um resultado previsto pela teoria. O problema é ainda maior quando a experiência é ligada à nota, o que acaba com qualquer análise frente aos erros, induzindo o aluno a “corrigir” seus dados para obter uma resposta igual a esperada pelo professor (BORGES, 2002). O professor nas atividades investigativas deve dar liberdade intelectual aos alunos para que proponham e testem suas hipóteses valorizando também o erro no processo (GIORDAN, 1999).

Dois pontos são importantes para a criação de uma prática investigativa: a liberdade intelectual e a elaboração de problemas. Estes pontos diferenciam uma atividade investigativa de uma atividade de verificação. O problema, diferente de um exercício de verificação, deve

ser mais abrangente de modo que não tenha uma solução imediata. A ideia é que para solucioná-lo tenha que se fazer idealizações e aproximações, o estudante deve fazer mais do que simplesmente se lembrar da fórmula. De modo geral um problema deve dar oportunidade aos alunos de levantar e testar suas hipóteses, de forma intelectual e prática para que o aluno tenha argumentos para discutir com seus colegas e com o professor como chegou àquela conclusão (CARVALHO, 2013). Nas aulas experimentais Ana Maria de Pessoa Carvalho lista que: “Um bom problema é aquele que dá condições para que os alunos passem das ações manipulativas às ações intelectuais (elaboração e teste de hipótese, raciocínio proporcional, construção da linguagem científica) e também construam explicações causais e legais (conceitos e leis)” (CARVALHO, 2018). Em síntese as atividades investigativas têm o objetivo de explorar fenômenos em oposição à comprovação de leis e os alunos têm a responsabilidade de investigar um problema sem compromisso exclusivo com um resultado.

3.3 LIBERDADE INTELECTUAL E OS NÍVEIS DE INVESTIGAÇÃO

O professor é o coordenador da atividade investigativa e a partir de sua interferência no processo, a liberdade intelectual dos alunos é reduzida. Assim, o problema proposto para os alunos pode variar entre dois extremos, um problema completamente fechado ou um problema aberto, segundo A. Tarciso Borges:

No primeiro caso, o problema, os procedimentos e recursos são dados pelo professor, livro ou roteiro, ficando para o aluno a tarefa de colher dados e tirar as conclusões. Ao contrário, em uma investigação aberta, cabe ao estudante toda a solução, desde a percepção e geração do problema; sua formulação em uma forma suscetível de investigação; o planejamento do curso de suas ações; a escolha dos procedimentos, a seleção dos equipamentos e materiais, a preparação da montagem experimental, a realização de medidas e observações necessárias; o registro dos dados em tabelas e gráficos; a interpretação dos resultados e enumeração das conclusões (BORGES, 2002).

Entre uma maior atuação do professor e a atuação mínima, segundo Borges existem diferentes níveis de investigação (níveis de 0 a 3). Outros autores como Heather Banchi e Randy Bell (BANCHI & BELL, 2008) também utilizam uma classificação semelhante, com quatro níveis de investigação (Confirmação, Investigação Estruturada, Investigação Guiada e Investigação Aberta). Ana Maria Pessoa de Carvalho sintetiza em seu trabalho (CARVALHO, 2018) os diferentes níveis de investigação para cada atividade didática desempenhada no ensino de

ciências (laboratório, problemas de lápis e papel textos históricos) renomeando os níveis de investigação para Graus de Liberdade Intelectual.

Figura 5 – Graus de liberdade em atividade investigativa segundo Ana Maria Pessoa de Carvalho (CARVALHO, 2018)

| | Grau 1 | Grau 2 | Grau 3 | Grau 4 | Grau 5 |
|-------------------|--------|------------|------------|------------|------------|
| Problema | P | P | P | P | A |
| Hipóteses | P | P/A | P/A | A | A |
| Plano de trabalho | P | P/A | A/P | A | A |
| Obtenção de dados | A | A | A | A | A |
| Conclusões | P | A/P/Classe | A/P/Classe | A/P/Classe | A/P/Classe |

A Figura 5 indica os graus de liberdade em atividades experimentais indicados por Ana Maria Carvalho (2018). Na figura P indica atividades fornecidas/propostas pelo professor e A atividades executadas pelos alunos. O primeiro grau de liberdade corresponde ao menor grau de investigação onde o professor fornece o problema, as hipóteses (o que se deseja verificar) e como deve ser feito, ficando a cargo dos alunos apenas a coleta de dados. Este grau de liberdade intelectual é o que chamamos de laboratório tradicional, onde o objetivo é apenas comprovar teorias, uma vez que as conclusões já são conhecidas.

O segundo grau de liberdade intelectual apresenta uma maior discussão quando as hipóteses levantadas e como será realizado o experimento. Neste nível o professor prove um direcionamento às hipóteses a serem testadas e como elas podem ser testadas, por isso a resposta do problema ainda é fortemente influenciada pelo professor. Estes dois primeiros graus de liberdade se encaixam em uma atividade experimental com caráter de confirmação, uma vez que o resultado final é conhecido e o processo é voltado a atingi-lo.

O grau três de liberdade intelectual é o primeiro a cumprir o mínimo das condições de uma atividade investigativa. As hipóteses a serem testadas são propostas e discutidas pelo professor com os alunos, mas como testar fica a cargo primeiro dos alunos. O professor atua neste caso supervisionando a prática atuando de forma direta apenas na discussão dos resultados. A partir deste grau o aluno é parte ativa do processo de investigação. O professor fica cada vez menos como o detentor da resposta final e assume o papel de mediador da investigação, ainda que seja ele a propor o problema. Este grau de liberdade intelectual pode ser classificado como uma investigação guiada, uma vez que os estudantes têm que definir os procedimentos a serem realizados para testar as hipóteses.

No quarto grau de liberdade intelectual o problema ainda é proposto pelo professor, porém as hipóteses e os procedimentos ficam a cargo dos estudantes. É o estudante que deve propor uma hipótese para solucionar o problema e identificar quais são as variáveis que devem ser medidas para testar suas hipóteses em direção à solução do problema. A partir deste nível de investigação é indicado que a classe já tenha tido contato com o ensino por investigação de modo que possa ter mais autonomia na investigação (CARVALHO, 2018).

O nível mais alto de liberdade intelectual é a investigação aberta onde o estudante deve fazer todo o processo, desde formular um problema para um fenômeno ou tópico estudado, até chegar a uma conclusão para discutir com o professor e a classe. O professor faz parte do processo como mediador sem interferir na investigação participando de forma ativa apenas da discussão dos resultados. É um nível muito difícil de se atingir no ensino básico e os alunos devem estar acostumados com o ensino por investigação.

Dependendo do grau de interferência do professor a atividade perde as características investigativas caindo em um laboratório tradicional, com função apenas de verificação. Entre uma atividade puramente de verificação e uma investigação aberta existem diferentes níveis discutidos por diferentes autores, a tabela abaixo reúne estas classificações com base nos trabalhos de Borges (2004), Banchi e Bell (2008) e Carvalho (2018).

Tabela 1 – Comparação entre as diferentes classificações para as atividades investigativas

| A. Tarciso Borges (BORGES, 2004) | Heather Banchi e Randy Bell (BANCHI e BELL, 2008) | Ana Maria Pessoa de Carvalho (CARVALHO 2018) |
|-------------------------------------|---|---|
| Nível 0 | Investigação de Confirmação (Confirmation Inquiry) | Grau 1 |
| Nível 1 | Investigação Estruturada (Structured Inquiry) | Grau 2 |
| Nível 2 | Investigação Guiada (Guided Inquiry) | Grau 3 |
| | | Grau 4 |
| Nível 3 | Investigação aberta (Open Inquiry) | Grau 5 |

A Investigação de Confirmação coincide com o laboratório tradicional, o menor grau de liberdade intelectual. Já na Investigação Estruturada, o professor propõe o problema e propõe uma discussão sobre as hipóteses e os procedimentos a serem seguidos, mas a atividade final

ainda é proposta pelo professor equivalente ao segundo grau de liberdade intelectual. Na Investigação Guiada o professor ainda propõe o problema e fica a cargo dos alunos desenvolver e selecionar os procedimentos para testar suas hipóteses. O aluno deve promover cada etapa da investigação: levantar hipóteses, selecionar os procedimentos, fazer a análise de dados e as conclusões. O grau três de liberdade intelectual fica no limite, entre uma investigação estruturada e uma investigação guiada, tendo mais características da segunda. O professor pode direcionar, mesmo que minimamente o levantamento de hipóteses, mas não deve elencar de forma estruturada o que deve ser investigado. O quarto grau de liberdade intelectual atende todas as características de uma investigação guiada, o professor participa propondo o problema. Como mencionado anteriormente, o maior grau de liberdade intelectual (Grau 5) é caracterizado como uma Investigação Aberta.

Nas atividades investigativas nem sempre é possível que toda a turma atinja o nível planejado, o professor pode observar que um grupo precisa de uma influência maior que outro modificando assim o nível de investigação.

3.4 SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

As sequências de atividades planejadas de forma a promover o ensino pautado na investigação são denominadas de Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) (CARVALHO, 2013). O principal objetivo de uma SEI é promover um ensino ativo, de forma que o aluno possa questionar criticamente um fenômeno testando suas hipóteses e trocando informações e ideias com seu professor e sua classe. As SEIs englobam as atividades investigativas em uma sequência de atividades baseadas em um ponto central: o problema, podendo ser experimental ou teórico.

Em breves palavras, uma sequência de ensino investigativa é o encadeamento de atividades e aulas em que um tema é colocado em investigação e as relações entre esse tema, conceitos, práticas e relações com outras esferas sociais e de conhecimento possam ser trabalhados. Essa concepção reforça a ideia do ensino por investigação como abordagem didática, pois denota o papel do professor de propositos de problemas, orientador de análises e fomentador de discussões, independente de qual seja a atividade didática proposta (SASSERON, 2015).

Segundo Ana Maria Pessoa de Carvalho uma SEI deve ter algumas atividades-chave que ela chama de ciclos. Para trabalhar conteúdos mais complexos pode ser necessário mais de um destes ciclos. A primeira parte é a formulação do problema, como discutido anteriormente é o ponto principal para guiar a investigação e pode ser proposto pelo professor ou os alunos.

Uma SEI deve conter também uma fase sistematização do conhecimento onde os alunos discutem em grupos ou com toda a classe suas hipóteses e conclusões. Neste momento é necessário que o ambiente proporcione tempo e espaço para a troca de informações, o aluno nesta fase ouve novas perspectivas e confronta com o conhecimento que vem sendo construído. Nas atividades experimentais é nesta fase que ocorre a transição da ação manipulativa para a ação intelectual e estas atitudes intelectuais levam a uma comunicação científica (CARVALHO, 2013). A depender do nível de abertura intelectual o professor pode interferir na sistematização do conhecimento ou participar de forma mais passiva da discussão. Perguntas do tipo: “Como?” e “Por que?” indicam um grau maior de liberdade intelectual, o professor faz o papel de mediador da discussão instigando o pensamento crítico. Já perguntas da forma: “Mudaria alguma coisa se ...” e “Você já testou ...”, diminuem a liberdade intelectual da atividade pois o professor pode direcionar a investigação. É difícil para o professor assumir uma postura passiva frente às investigações e mesmo assim promover a discussão sobre o problema.

Isso é muito difícil, pois a história das ciências abrange vários séculos de construção de conhecimento. Para serem resolvidos pelos alunos, mesmo no nível 3 de liberdade intelectual, esses problemas exigem uma participação diferenciada dos professores. É preciso que eles orientem a argumentação de seus alunos por meio de perguntas didáticas (por exemplo, visando o estímulo à participação), científicas (relacionadas a técnicas da Ciência) e epistêmicas (voltadas para a construção de significados) (CARVALHO, 2018).

Para fechar o ciclo de uma SEI temos a contextualização. Neste momento é feita a conexão entre o problema proposto e sua utilização/aplicação no dia a dia. Existem temas que são mais fáceis de se contextualizar e outros não tão simples, mas sempre devemos mostrar o ponto de vista social ou tecnológico daquele conteúdo. Esta etapa também pode ser utilizada para aprofundamento do conteúdo.

No final de cada ciclo é recomendado planejar uma avaliação de caráter formativo para a verificação por parte do professor e auto avaliação por parte dos alunos. A avaliação deve contemplar os conceitos abordados, e as características da alfabetização e da linguagem científica (SASSERON, 2015; CARVALHO, 2013).

4 APLICAÇÃO DO PRODUTO

4.1 O PRODUTO EDUCACIONAL

A ideia é trabalhar uma SEI pautada no pêndulo simples, com a investigação voltada a estudar os fatores que influenciam nas medições e os métodos utilizados. No decorrer do ciclo investigativo trabalharemos as características do movimento oscilatório, a equação do pêndulo simples, calcularemos a aceleração da gravidade. Pretendemos também abordar um pouco sobre os erros experimentais associados às diferentes formas de medição, tema pouco discutido no ensino básico. A SEI baseada no pêndulo simples também abrange os objetivos listados na BNCC voltados à investigação, reflexão e análise crítica.

O projeto é constituído por três experimentos diferentes para a medição do período do pêndulo simples, o objetivo é comparar seus resultados e seus erros. O primeiro método é o tradicional, colocar o pêndulo para oscilar e medir o tempo de 10 oscilações utilizando um cronômetro. O segundo método é a medição utilizando o aplicativo para celular Phyphox (STAACKS, 2018). O Phyphox é um aplicativo que permite utilizar os sensores do celular para diversas medidas e experimentos. Com ele é possível medir o tempo de oscilação do pêndulo introduzindo o comprimento do fio no aplicativo. Para utilizar o Phyphox o celular deve ser posto a oscilar, então o celular será a massa do pêndulo. O terceiro método que utilizaremos será o Pêndulo LDR, produto construído para medir o período de oscilação do pêndulo simples. Ele utiliza como base o sensor de luminosidade LDR e o Arduino. Após colocar a massa para oscilar entre o LED e o LDR apertamos o botão “medir período” e o resultado, após 10 oscilações, é mostrado no display LCD (Liquid Crystal Display) integrado ao produto. O Pêndulo LDR faz a medição do período de forma semiautomatizada reduzindo os erros aleatórios causados pelo operador.

Com estes três experimentos podemos comparar as medidas e os erros provenientes de um método “manual” (tradicional), um método com tecnologia digital (utilizando o celular) e um método utilizando a eletrônica básica (Pêndulo LDR). Uma comparação entre os dois primeiros métodos já foi realizada por Landeira (2020). Buscamos fazer uma transposição desta comparação para a sala de aula. Ao comparar estes valores junto com os alunos estamos trabalhando que toda medida experimental tem um erro associado a ela, provocando a discussão de que o erro depende também do aparelho ou do experimento que fez a medição.

Os objetivos do projeto são então trabalhar de forma investigativa os fatores que influenciam no período do pêndulo simples, calcular a aceleração da gravidade a partir dos

dados obtidos e da equação do período do pêndulo simples além de analisar os erros percentuais associados a cada medida.

4.2 ADAPTAÇÃO PARA O ENSINO REMOTO

No fim de 2019 a Organização Mundial da Saúde (OMS) foi notificada sobre casos de um novo vírus que pela primeira vez foi identificado em humanos na cidade Wuhan na China. Esse vírus, que recebeu o nome de SARS-CoV-2, é o responsável por causar a doença COVID-19 (OPAS, 2020). No dia 21 de Março de 2020 com o aumento dos casos se iniciou no Brasil o isolamento social que envolve a suspensão de serviços não essenciais e atividades coletivas, entre estas, as escolas de todos os níveis.

Passado o período de suspensão total das atividades escolares o Conselho Nacional de Educação (CNE) aprova diretrizes para orientar escolas da educação básica e instituições de ensino durante a pandemia. No documento as escolas estão autorizadas a computar atividades não presenciais para o cumprimento de carga horária escolar, atividades como: videoaulas, plataformas virtuais, programas de televisão ou rádio, material didático impresso e entregue aos pais ou responsáveis, etc.

Em um primeiro momento os professores atuaram gravando videoaulas aos coordenadores para repassar aos alunos por meios eletrônicos. No segundo semestre de 2020 as aulas na escola que o projeto foi desenvolvido passaram a ser online síncronas pela plataforma Google Meet com a gravação disponibilizada para os alunos sem acesso à internet. A carga horária nesta etapa foi reduzida. No ano de 2021, com a necessidade da manutenção do isolamento social, as aulas voltaram no regime online com aulas síncronas e com a carga horária integral. A sequência didática teve que ser adaptada para este contexto, um ensino síncrono e online.

É possível elencar três modificações cruciais na SEI para uma aplicação remota: a construção do experimento pelos alunos, a utilização de simuladores e gravação de vídeos sobre os métodos de medição.

A primeira adaptação foi quanto às atividades investigativas, que não puderam ser feitas em grupos na sala de aula. As atividades passaram então a ser individuais, em casa, utilizando materiais de baixo custo para montar e investigar os fatores que influenciam no pêndulo simples. O professor perdeu a posição de mediador e passou apenas a interagir com a investigação durante os encontros síncronos online. Para o registro de suas hipóteses e resultados os alunos deveriam utilizar um formulário que continha algumas orientações

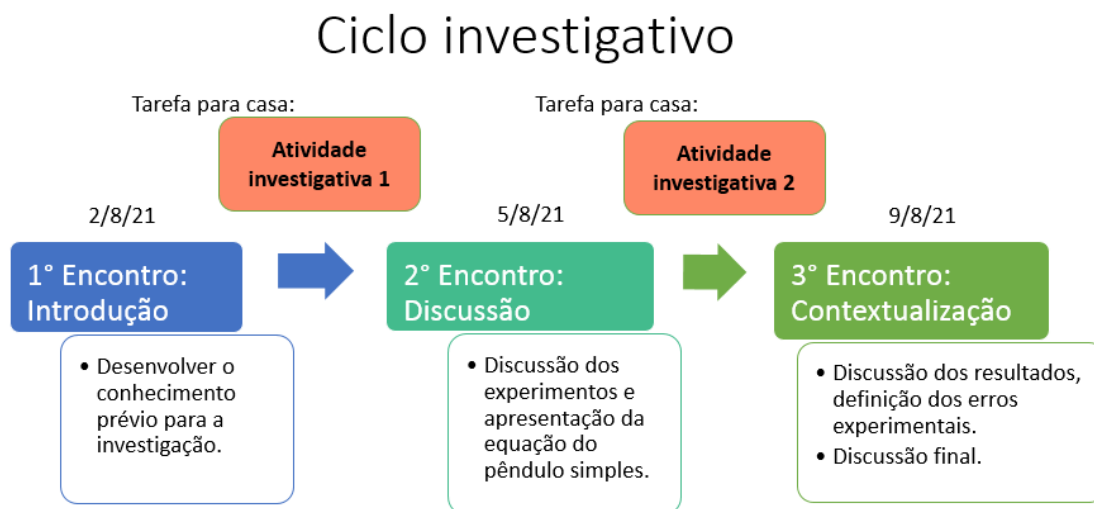
disponibilizado pelo professor ao final de cada encontro. Foi necessário também a utilização de um simulador chamado Laboratório do pêndulo, encontrado no site: <https://phet.colorado.edu> (PHET INTERACTIVE SIMULATIONS). Com o uso desta ferramenta os alunos puderam interagir com o pêndulo simples, modificando vários parâmetros, testando e criando novas hipóteses para período do pêndulo.

Com as aulas online ficou impossível levar os experimentos para a sala de aula sendo necessário que o professor interagisse com os experimentos e gravasse a realização da medição disponibilizando os vídeos para os alunos. A aplicação remota impossibilitou que os alunos interagissem com cada um dos experimentos podendo tocar, modificar e testar variáveis. Já com a utilização dos vídeos os alunos podem pausar e assistir quantas vezes quiserem analisando diferentes aspectos e também estão livres para fazer pesquisas na internet visto que os vídeos estão disponibilizados por este meio.

4.3 ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

O ciclo da SEI foi dividido em três encontros síncronos de forma online. Entre estes eram deixadas tarefas aos alunos. A Figura 6 mostra um esquema do ciclo investigativo aplicado.

Figura 6 – Esquema do ciclo investigativo aplicado na SEI



O primeiro foi utilizado para desenvolver o conhecimento prévio mínimo necessário para a investigação. O segundo encontro é voltado para uma interação entre os alunos e professor, expondo e comparando os resultados da primeira atividade. O professor deve também apresentar um modelo para o problema investigado. Na terceira aula ocorre a discussão final

dos resultados e a contextualização do problema. Cada tarefa deixada após as aulas se refere a uma atividade investigativa, cada uma com um grau de liberdade intelectual diferente.

A primeira atividade investigativa foi dividida em duas etapas onde a segunda só era liberada após ser respondida a primeira. Na primeira parte trabalhamos dois problemas sobre o pêndulo simples. Como os estudantes iriam fazer a investigação sozinhos foi necessário a divisão do problema inicial em etapas, o que proporcionou implementar diferentes níveis de investigação. Para garantir que seria possível analisar e organizar os resultados de cada etapa estas foram dividida em perguntas menores sem perder o caráter investigativo. A estrutura das perguntas segue a indicada por Borges a ser usada em atividades investigativas (BORGES, 2002). Ele propõe que as atividades investigativas devem ser pautadas em problemas abertos, dando liberdade aos alunos para levantar hipóteses em busca de solucionar os problemas.

A primeira etapa da Atividade Investigativa 1 busca um grau 4 de liberdade intelectual (TABELA 2), uma vez que o problema é proposto pelo professor e os alunos devem propor as hipóteses, no caso os fatores, e testá-los montando seus próprios experimentos. Mesmo que seja o primeiro contato da turma com atividades investigativas buscamos um grau mais elevado, pois as próximas etapas terão menores níveis investigativos e serão mais direcionadas. Assim, mesmo que o aluno não consiga resolver nesta etapa na próxima ele será direcionado a algumas hipóteses que vão guiar sua investigação.

Tabela 2 – Atividade investigativa 1 – Primeira etapa

| |
|---|
| Problema 1 |
| Um pêndulo simples é constituído basicamente de um fio e um objeto preso a ele. Uma das principais medidas do pêndulo é o seu período. Como você faria para determinar o período de oscilação do pêndulo? Planeje um experimento que lhe permita fazer esta medição. Monte o seu pêndulo simples e investigue quais os fatores podem influenciar na medição do período de oscilação. Exponha em sua resposta os procedimentos a serem realizados, os valores que julgar necessário, os materiais para o experimento e os fatores que você acredita que influenciam em sua medição. Conclua respondendo: o que pode ocasionar uma imprecisão na medição do período? * Envie um arquivo com a sua investigação respondendo às perguntas acima o mais detalhado possível. Se julgar necessário, envie um vídeo sobre a sua investigação. |
| Problema 2 |
| 2) A influência na medição envolve fatores relacionados à construção do pêndulo e outros fatores. Como você faria para facilitar a medição reduzindo possíveis erros de medida? Explique com um pequeno texto como poderia ser feito o experimento pensando em facilitar a medição. |

A segunda etapa da Atividade investigativa 1 consiste na utilização do simulador Pendulum-Lab (PENDULUM-LAB). Nele o aluno pode manipular diferentes variáveis do pêndulo simples e deve responder a três questões (TABELA 3). Nesta etapa o grau de liberdade intelectual almejado é o grau 3. O professor propõe as hipóteses a serem testadas, mas como testá-las é deixado a cargo do aluno. Esta etapa tem características de uma experimentação guiada. O uso do simulador pode limitar a atuação do aluno o que talvez faça o grau de liberdade intelectual ser um pouco menor que o três.

As respostas obtidas nesta primeira atividade foram discutidas no segundo encontro online, onde além de discutir as hipóteses da atividade 1 também fizemos a introdução da equação (18) do período do pêndulo simples que servirá de base para a segunda atividade investigativa. A primeira etapa contou com duas atividades, uma aberta e uma mais guiada. Com isso buscando atingir os alunos que se adaptaram às práticas investigativas e também os que não conseguiram realizar a investigação por algum motivo. É importante destacar que a segunda etapa da atividade só é disponibilizada aos alunos após o envio da primeira, sendo assim uma não influencia no nível investigativo da outra.

Tabela 3 – Atividade investigativa 1 – Segunda parte

| |
|--|
| Problema 1 |
| Utilize o simulador disponível no link abaixo responda: Qual a relação aparente entre o período do pêndulo e a) o comprimento do fio. b) a massa. c) a gravidade. https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html |
| Problema 2 |
| Ainda no simulador, deixe a opção gravidade como a da terra e sem atrito. Coloque o comprimento do fio de 1 metro. Faça 5 medições diferentes com as seguintes amplitudes: 50°, 30°, 8°, 4° e 2°. Analisando suas medidas, o que tem em comum entre os resultados? Existe uma relação entre a amplitude e a diferença entre os valores do período. Qual a relação aparente? https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_pt_BR.html |
| Problema 3 |
| É possível afirmar que todos os alunos que responderam à pergunta acima mediram um mesmo valor para os períodos? Por quê? |

A Atividade investigativa 2 é voltada a comparar as diferentes formas de medição e seus resultados. Ela é baseada no vídeo que compara as três formas de medição (<https://youtu.be/HcdVCtB7Jkk>). Neste vídeo o professor explica e realiza a medição do período

do pêndulo utilizando três métodos diferentes (tradicional, aplicativo Phythox e LDR). Após assistir ao vídeo os alunos devem responder a 5 questões referentes à atividade investigativa 2 (TABELA 4).

Tabela 4 – Atividade investigativa 2

| |
|---|
| 1) Qual a vantagem em utilizar os outros dois métodos de medição em relação ao método tradicional? |
| 2) Com base nos experimentos e o método de execução ordene os experimentos (Método tradicional, pêndulo LDR e phythox) do que você acredita ser o mais confiável para o menos confiável. Justifique o que fez você organizar os experimentos desta maneira. |
| 3) Por que as medidas de um mesmo método não são sempre iguais? Caso utilizássemos os três métodos simultaneamente as medidas teriam o mesmo valor? |
| 4) Qual a aceleração da gravidade utilizando cada método? Qual teve a maior diferença em relação ao valor esperado ($9,78\text{m/s}^2$)? |
| 5) Qual método você usaria para medir o período? Por quê? |

Esta atividade tem o grau 1 de liberdade intelectual (CARVALHO, 2018), uma vez que os alunos não têm liberdade para testar suas hipóteses, se configurando um problema não experimental. As mudanças necessárias feitas nesta etapa prejudicaram o nível investigativo almejado, impossibilitando a passagem da ação intelectual à manipulativa. A primeira pergunta busca compreender se o aluno foi capaz de perceber que métodos não tradicionais tentam eliminar o erro do operador na medição. Na segunda o objetivo é verificar se eles acham que métodos mais tecnológicos apresentam erros menores em relação, ou seja, se a aparência tecnológica é sinônimo de precisão. Já a terceira pergunta é diretamente voltada aos erros de medida de cada aparelho, fazendo com que os alunos pensem no erro associado ao método de medição. A quarta é baseada na equação, os alunos devem manipular as variáveis e determinar o valor da aceleração da gravidade obtida para cada método. Em condições normais os alunos deveriam manipular os instrumentos em grupos fazendo medições e testando suas hipóteses.

Todas as respostas obtidas na segunda atividade serão discutidas no último encontro online. Neste encontro será discutido também um vídeo onde a medição é feita utilizando mais de um método simultaneamente (<https://youtu.be/yn73wpV2KQo>).

4.4 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO ONLINE

A sequência didática foi aplicada em turmas de seguimentos diferentes, com a ideia de compararmos os resultados de um método investigativo aplicado no ensino fundamental e médio. A escola que recebeu a aplicação foi o Núcleo de Ensino Arco-íris Apogeu, que é uma escola particular da cidade de Santos Dumont – MG. A aplicação ocorreu de forma remota em três encontros síncronos utilizando o Google Meet e com as atividades investigativas para realizar em casa. As aulas foram nos dias 02/08/2021, 05/08/2021 e 09/08/2021 e tiveram duração de 50 minutos cada encontro. A sequência de ensino investigativo foi utilizada em uma turma do 2º Ano do ensino médio com 15 alunos e uma turma do 9º Ano do ensino fundamental com 23 alunos. A escola, para o ano de 2021, teve uma queda no número de alunos impossibilitando a abertura das turmas de 1º e 3º Ano prejudicando também a aplicação da sequência. Aplicação ocorreu na volta das férias, antes do início dos conteúdos da apostila, visto que oscilações não faz parte do conteúdo programático da escola para o 2º Ano. Já no 9º Ano, oscilações e pêndulo fazem parte do conteúdo programático, porém é um dos últimos capítulos da apostila e foi adiantado para a voltas às aulas.

A aplicação remota ocorreu nos mesmos dias para o 9º Ano e o 2º Ano, uma vez que as aulas de física eram no mesmo dia. A primeira aula teve como objetivos a introdução da metodologia investigativa e também prover o conhecimento prévio mínimo para a atividade investigativa que tem como tema base oscilações. Tomamos o cuidado para que o professor não influenciasse a investigação (podendo provocar várias respostas prontas), evitando abordar durante a explicação o movimento oscilatório do pêndulo simples. A aula online foi expositiva dialogada, utilizando para isso apresentação de slides e escrita na tela com uma mesa digitalizadora. Tomamos como exemplo de movimentos oscilatório em torno de um ponto central o movimento circular para explicar o conceito de período e frequência e também o sistema massa-mola para abordar o conceito de amplitude de oscilação. Como forma de contextualizar o movimento oscilatório utilizamos exemplos acessíveis com vídeos de uma máquina de costura que realiza o movimento de vai e vem com a agulha, o movimento de uma régua quando posta a vibrar na beirada de uma mesa, entre outros. A transposição dos conceitos apresentados na primeira aula para o pêndulo simples ficou a cargo do aluno no decorrer das práticas investigativas.

Durante a primeira aula também foi apresentada a metodologia a ser utilizada durante a sequência. Abordamos o modelo científico com ênfase no processo de levantamento de hipóteses e na aceitação ou não destas. Utilizamos como exemplo base a troca do modelo

geocêntrico pelo heliocêntrico demonstrando que um modelo científico não é definitivo. Apesar do distanciamento temporal do exemplo utilizado, optamos pela utilização deste por ser de conhecimento comum tanto dos alunos do ensino médio como do ensino fundamental. Como parte final da aula deixamos claro que o objetivo do próximo passo é uma investigação. O aluno deve saber que não existe certo ou errado e que o mais importante é que ele construa hipóteses e discuta sobre o movimento do pêndulo simples a partir de sua experiência e das atividades propostas.

A segunda intervenção do professor ocorreu após a primeira e a segunda atividade investigativa. No início da aula foram listadas todas as hipóteses que os alunos levantaram, o professor foi anotando no slide enquanto os alunos falavam o que eles tinham respondido. Na primeira etapa foi discutido os métodos de medição utilizados, deixando os alunos discutirem qual seria a melhor forma entre as formas abordadas. A maioria concordou que uma boa opção seria gravar um vídeo do experimento e analisar o período a partir do vídeo. Como essa não foi uma hipótese levantada pelos alunos do 9º Ano o professor sugeriu se esta poderia ser uma abordagem e no decorrer da discussão eles concordaram que seria a melhor forma. Na segunda etapa foi escrito os fatores que deveriam influenciar no período do pêndulo simples. Alguns fatores como comprimento do fio, resistência do ar, massa e gravidade foram testados no simulador PENDULUM-LAB e durante a simulação os alunos foram interagindo e expondo suas concepções. Em um determinado momento o professor colocou dois pêndulos de comprimentos diferentes no simulador a fim de testar qual tinha o maior período. Por um descuido o professor deixou as massas diferentes e um aluno perguntou: “Professor, as massas estão diferentes isso não atrapalha não?” Neste momento outro aluno respondeu que no experimento dele utilizando o simulador a massa não mudava nada e outro ainda complementou que ele poderia ter feito o pêndulo dele com qualquer coisa. Outra pergunta feita pelos alunos do 9º Ano foi: “e se o material tiver mais massa de um lado do que de outro?” Sobre esta questão foi necessário diferenciar o que é um pêndulo simples e o que é um pêndulo físico destacando que nestes casos a massa pode sofrer uma rotação enquanto oscila. Esta parte da intervenção do professor é muito importante para que a investigação tenha uma parte de discussão reduzindo algumas concepções erradas que possam ter ficado para trás (alguns alunos ainda não sabiam o que era período e mediram errado por isso). No decorrer da segunda interação e aproveitando o simulador foi possível mostrar que quanto maior o comprimento do fio maior seria o período do pêndulo simples, deixando claro que não é uma relação linear ($T \propto \sqrt{L}$) e que quanto maior a gravidade do local menor seria o período ($T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$). Foi mostrado

então a equação para o período do pêndulo simples $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$. Fazendo ligação com a experimentação foi enfatizado que esta equação não tem dependência da massa. Um ponto bastante discutido na aula foi de que este modelo tem certa validade, pois apresenta bons resultados somente para oscilações de amplitude menores que 10° , voltando assim na primeira aula onde discutimos o modelo científico e sua validade.

A terceira aula aconteceu depois da atividade investigativa 2 e tem o objetivo de propor uma discussão final sobre erros experimentais e as diferentes formas de medição. Nesta aula iniciamos a discussão sobre erros experimentais utilizando o exemplo da régua, uma graduada em milímetros e outra em centímetros, com um exemplo no slide foi possível ver que a precisão da régua em centímetros é menor, pois temos muita margem para o algarismo duvidoso. Passamos então a discutir a frase: “O ato de medir é influenciado por diversos fatores”. Com a ajuda dos alunos listamos alguns fatores que podem influenciar nas medições. Dentre a lista construída definimos dois grupos: os erros sistemáticos e os erros aleatórios discutindo como podemos reduzir cada um. Tomando como base a questão 4 da segunda atividade investigativa, utilizamos a diferença entre o valor esperado para a gravidade e o valor encontrada por eles para introduzir o conceito de erro percentual. Para exemplificar calculamos em aula o erro para cada método, tomando como base as medições feitas por um aluno da sala, conforme Figura 6.

Figura 6 – Print da tela do professor no dia da aplicação 09/08 na turma do 9º ano.

Atividade investigativa

Valor de referência: $g=9,78 \text{ m/s}^2$

| Tradicional | Phyphox | LDR |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $L = 1,08m$ | $L = 1,08m$ | $L = 1,08m$ |
| $T = 2,125s$ | $T = 2,09s$ | $T = 2,10s$ |
| $g = 9,43 \text{ m/s}^2$ | $g = 9,74 \text{ m/s}^2$ | $g = 9,65 \text{ m/s}^2$ |
| Dif. = 0,35 | Dif. = 0,03 | Dif. = 0,13 |
| ERRO% = 3,58% | ERRO% = 0,3% | ERRO% = 1,32% |

Após o diálogo sobre os erros experimentais, tipos e como calcular o erro percentual, entramos na parte final da aula que consiste em discutir em grupo algumas questões sobre os experimentos. A participação dos alunos do 9º Ano foi muito maior que do ensino médio. O ensino médio não se propôs a discutir entre eles se contentando apenas em ouvir o professor e participar de forma pontual quando solicitado. Como atividade final os estudantes assistiram

um vídeo utilizando os três métodos de medição simultaneamente e deveriam explicar o porquê de as medidas não serem iguais. No decorrer da discussão, principalmente no 9º Ano os alunos demonstraram entender que cada medida tem um erro e que devemos levar este erro em consideração quando avaliamos uma hipótese. Por último, apenas como ilustração, foi passado um vídeo onde o período foi medido para três massas diferentes, dando um valor bem aproximado para as três medições.

5 ANÁLISE/REFLEXÃO

5.1 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Para a análise dos dados obtidos durante a pesquisa utilizamos uma metodologia bem dividida que busca descrever e interpretar o conteúdo das respostas. A análise de conteúdo busca atingir um nível de interpretação superior a uma leitura comum, possibilitando uma compreensão mais aprofundada do fenômeno estudado.

A análise de conteúdo utilizada é pautada em duas das seis questões listadas por Roque Moraes (1999) para categorizar os objetivos da análise de conteúdo. Os objetivos são direcionados para as questões: “para dizer o quê?” e “com que resultados?”. Do ponto de vista metodológico existem diferentes formas de organizar a análise de conteúdo. Nos baseamos nas cinco etapas descritas por MORAES (1999): 1-Preparação das informações; 2- Unitarização; 3- Categorização; 4- Descrição; 5- Interpretação.

5.2 CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS

Na primeira pergunta sobre a atividade investigativa de nível 3, do ponto de vista investigativo podemos distinguir as respostas apresentadas pelos alunos entre:

- Alunos que apresentaram uma explicação completa sobre o experimento: realizaram o experimento e listaram os procedimentos, bem como os fatores que eles acreditam influenciar na medição.
- Alunos que apresentaram uma explicação mínima sobre o experimento: não indicaram os procedimentos utilizados e ficaram limitados a respostas comumente encontradas na literatura e na internet.

A Tabela 5 agrupa as respostas dos alunos indicando a porcentagem de respostas obtidas em cada classificação. O percentual de alunos do 2º Ano que apresentaram respostas completas

foi maior que o percentual do 9º Ano, uma vez que os alunos do ensino médio têm contato com a disciplina de física a mais tempo.

Tabela 5 – Classificação das respostas

| | 2ºAno | 9ºAno | Total |
|---------------------|-------------|---------------|--------|
| Explicação completa | 90 % (9/10) | 56,2 % (9/16) | 69,2 % |
| Explicação mínima | 10 % (1/10) | 43,8 % (7/16) | 30,8 % |

Por se tratar de uma atividade investigativa é esperado que algumas respostas apresentem erros conceituais ou fatores que não influenciam no período do pêndulo simples. Estas respostas fazem parte do processo e devem ser solucionadas com atividades direcionadas, com nível de investigação menor e com as discussões em sala. As respostas estão indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Respostas sobre os fatores que influenciam no período do pêndulo simples

| Fatores que influenciam no período do pêndulo simples segundo os alunos | Quantidade de vezes que cada fator apareceu nas respostas | | |
|---|---|-------|-------|
| | 2ºAno | 9ºAno | Total |
| Comprimento do fio | 8 | 9 | 17 |
| Gravidade | 5 | 4 | 9 |
| Interferência humana | 3 | 5 | 8 |
| Impulso inicial | 1 | 6 | 7 |
| Massa ou peso | 4 | 2 | 6 |
| Resistência do ar | 2 | 2 | 4 |

Entre as respostas apresentadas podemos destacar o impulso inicial, que apareceu em seis respostas na turma do 9º Ano. Sendo o primeiro contato da turma com o pêndulo simples e com pouca experiência no estudo de ciências de forma prática, eles tendem a seguir para o senso comum. Mesmo sendo um fator verificável na experimentação a dificuldade na medição e na compreensão do conceito de período pode ter influenciado estes alunos a indicarem o impulso inicial como um fator influente no período do pêndulo simples.

Sobre a segunda atividade onde os alunos deveriam investigar a influência de cada fator no período do pêndulo utilizando o simulador, podemos reunir os resultados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Respostas da segunda parte da atividade investigativa 1

| Influência do comprimento utilizando o simulador | | | |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|
| | 2ºAno | 9ºAno | Total |
| Perceberam a influência do comprimento e a relação aparente entre o período e comprimento. | 85,7 % (6/7) | 73,3 % (11/15) | 77,3 % (17/22) |
| Não perceberam a influência ou perceberam uma relação errada entre comprimento e período. | 14,3 % (1/7) | 0 (0/15) | 4,5% (1/22) |
| Não compreenderam a pergunta, se limitaram a escrever: “letra b”. | 0 | 26,7% (4/15) | 18,2% (4/22) |

Tabela 8 – Respostas sobre a influência da massa no período

| Influência da massa utilizando o simulador | | | |
|---|-----------------|------------------|-------------------|
| | 2ºAno | 9ºAno | Total |
| Responderam que a massa não modifica o período do pêndulo simples. | 42,9 % (3/7) | 46,7 % (7/15) | 45,4 % (10/22) |
| Responderam que a massa influencia de alguma forma o período de oscilação do pêndulo simples. | 57,1 % (4/7) | 26,7 % (4/15) | 36,4 % (8/22) |
| Não compreenderam a pergunta, se limitaram a escrever: “letra b”. | 0 | 26,7% (4/15) | 18,2% (4/22) |

Sobre a influência da gravidade, todos os alunos que responderam perceberam que a mesma interfere no período do pêndulo.

O último questionário foi direcionado aos erros experimentais e as formas de medições. Os alunos deveriam investigar qual forma de medida aparentemente causa um menor erro e perceber como a forma de medição introduz erros diferentes nas medições.

Entre os três métodos de medição estudados os alunos foram perguntados qual seria a diferença em utilizar o Pêndulo LDR e o aplicativo Phyphox em relação ao método tradicional de medição. Buscamos investigar se eles perceberam que o uso da tecnologia busca reduzir os erros experimentais. O detalhamento das respostas pode ser visto na Tabela 9.

A classificação das respostas nos permite ter uma visão estatística das respostas do grupo permitindo fazer algumas inferências em relação às práticas investigativas. Os alunos do 2ºAno apresentaram uma melhor compreensão das perguntas apresentando em sua maioria

respostas completas, um indicativo de uma maior prática com as disciplinas de ciências (Física, Química e Biologia). Uma vez que os alunos do 9º Ano ainda não haviam estudado dinâmica nas aulas de física era esperado o fator “impulso inicial” aparecer mais em suas respostas. Por outro lado, alunos do 2º Ano que já tiveram contato com o estudo da dinâmica indicaram que a massa influencia no período. Talvez tenham chegado a essa conclusão por pensarem na força peso. Ambas as turmas tiveram uma boa percepção da relação entre o período do pêndulo e o comprimento do fio.

Tabela 9 – Investigação sobre os diferentes métodos de medição do período

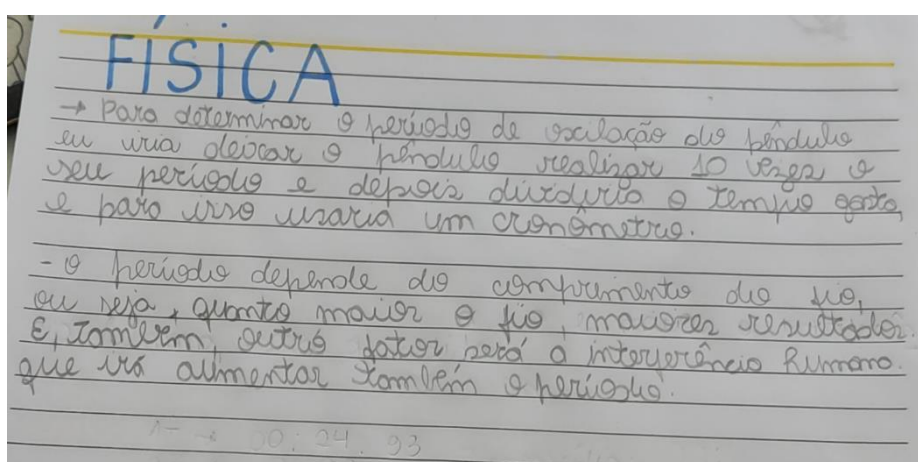
| Qual a vantagem em utilizar os outros dois métodos (LDR e Phyxox) em relação ao tradicional? | | | |
|--|---------------|------------------|-------------------|
| | 2º Ano | 9º Ano | Total |
| Perceberam a proposta em reduzir os erros causados pelo operador. | 40 % (2/5) | 57,1 % (8/14) | 52,6 % (10/19) |
| Indicaram um motivo diferente ou não compreenderam a pergunta. | 60 % (3/5) | 42,9% (6/14) | 47,4 % (9/19) |

5.3 RESULTADOS/DESCRIÇÃO: ATIVIDADE INVESTIGATIVA 1

Sobre a atividade investigativa a ser realizada em casa, a maior parte dos alunos realizou a explanação completa do experimento. Alguns casos serão listados abaixo.

É possível observar que um estudante, por exemplo, percebeu que o período de oscilação dependia do comprimento do fio e encontrou uma forma de medir este tempo de uma maneira mais fácil, contando dez oscilações. O pêndulo construído por ele foi improvisando um carregador de celular posto a oscilar conforme Figura 6.

Figura 6 – Aluno do 2º Ano, resposta da atividade investigativa 1



Outra constatação interessante é em relação a proporcionalidade entre o período e o comprimento do fio “quanto maior o fio, maiores resultados...”. Em sua investigação o aluno também percebeu a influência humana na medição, provavelmente esta constatação foi obtida pela dificuldade em se medir o período utilizando o cronômetro. Um equívoco da análise deste aluno foi acreditar que o erro humano sempre aumenta o período. Fato que foi mencionado na aula de discussão onde tratamos deste ponto. Indicamos na Figura 6 a resposta completa do aluno.

Outro aluno do segundo ano apresentou uma nova forma de medir o período do pêndulo simples e gravou um vídeo de seu experimento, conforme pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Aluno do 2º Ano, respostas da atividade investigativa 1

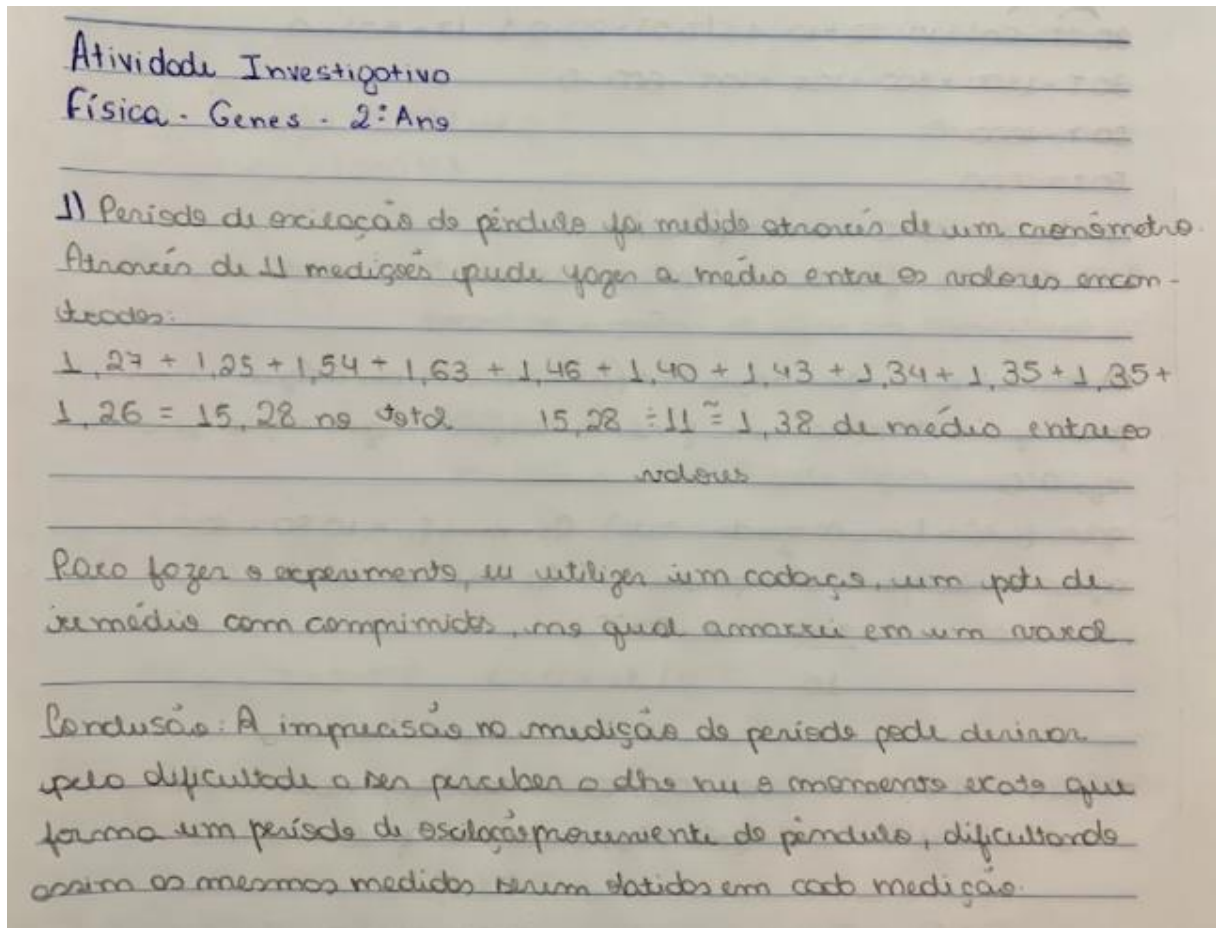
1. Para determinar o período de oscilação de um pêndulo eu gravaria o movimento periódico com o celular, não usaria o cronômetro para diminuir as imprecisões excluindo da equação o fator humano, e analisaria em um aplicativo de edição para ter uma medida mais exata. Acho que podem interferir nas medições principalmente a resistência do ar e a imprecisão do ser humano. Como eu disse para tentar burlar a resistência eu aumentei a massa e diminui a trajetória, e para burlar a imprecisão utilizei do celular. Após cortar o vídeo, percebi que o período de oscilação foi de 1.87 segundos. Depois percebi que com o cronômetro, e com menos trabalho, talvez eu encontrasse um resultado parecido.



A ideia de gravar um vídeo com o celular para minimizar a interferência humana mostra que ele percebeu que grande parte do erro vem da dificuldade de se definir com precisão onde se encontra o ponto máximo de amplitude no pêndulo simples. A comparação feita ao final demonstra que o aluno realizou outras formas de medição para comparar seus resultados.

A grande parte dos alunos do 2º Ano conseguiram realizar o experimento e perceber a dificuldade em se medir o período da maneira tradicional, como destaca a resposta na Figura 8.

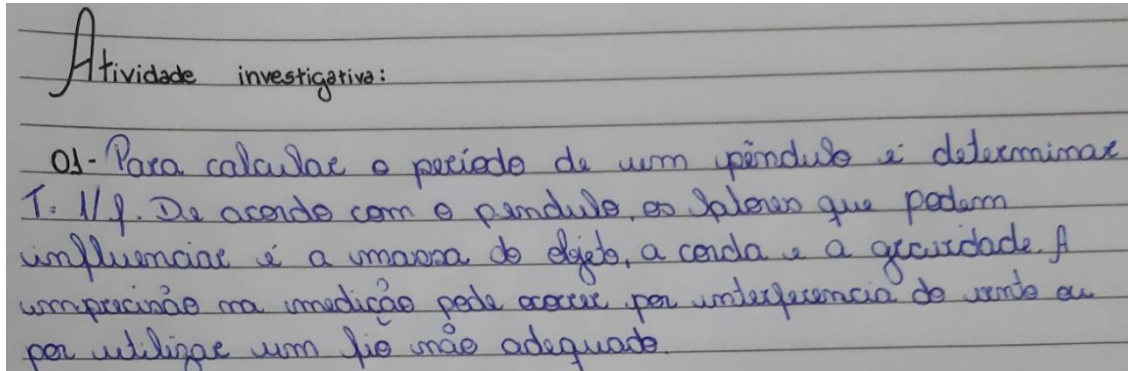
Figura 8 – Aluno do 2º Ano, respostas da atividade investigativa 1



Alguns alunos do 2º ano apresentaram a massa como um fator que influencia no período do pêndulo e outros erros conceituais, como podemos observar na Figura 9. Vemos que o aluno

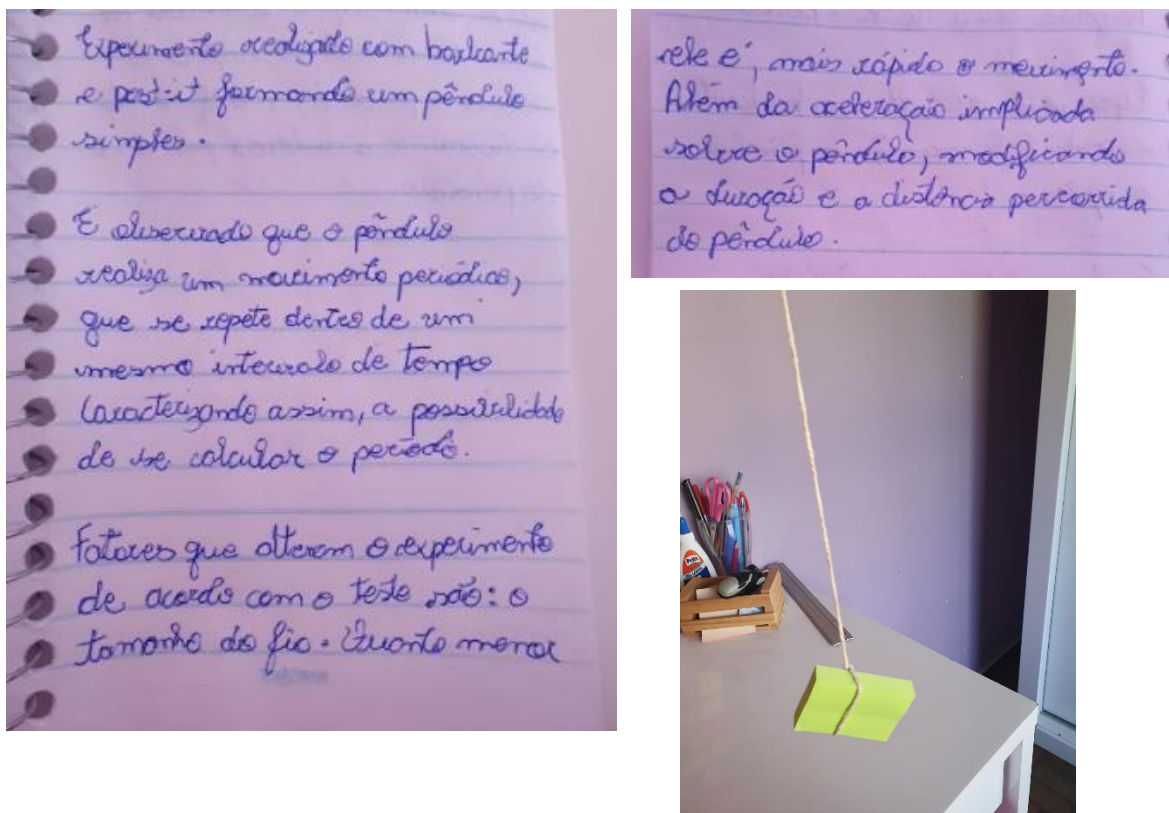
gravou uma informação da aula de introdução, o período é o inverso da frequência, e tentou utilizar essa informação em sua investigação.

Figura 9 – Aluno do 2º Ano, respostas da atividade investigativa 1



Os alunos do 9º em sua maioria realizaram a atividade investigativa e construíram seus pêndulos para testar suas hipóteses. As Figuras 10 e 11 exibem alguns exemplos das atividades realizadas por eles.

Figura 10 – Aluno do 9º ano, resposta da atividade investigativa 1



Na resposta indicada na Figura 11 temos uma explanação completa sobre a atividade investigativa. O aluno percebeu a proporcionalidade aparente entre o comprimento do fio e o período. Ele observou também que um comprimento menor dificulta a medição e alguns fatores que influenciam na medição, um deles o ângulo de abertura. Vemos o aparecimento do termo “força aplicada” em alguns casos descrito pelos alunos como amplitude em outros como o empurrão inicial. Confusão que foi discutida na aula após a primeira atividade investigativa.

Figura 11 – Aluno do 9º ano, resposta da atividade investigativa 1

1) Para determinar o período de oscilação do pêndulo eu marquei o tempo com um cronômetro de quanto demora para ser realizado o movimento em torno do ponto de equilíbrio, resultando em média 0,5 segundos. Os fatores que podem influenciar na medição é o comprimento da linha, pois quanto maior mais lenta será a aceleração e a gravidade, porque se for maior o período vai diminuir. E a imprecisão na medição do período no meu experimento foi devido ter sido um movimento muito rápido ficou difícil de conseguir um resultado preciso e as ferramentas disponibilizadas também contribuíram, além disso fatores como a força aplicada e o ângulo estabelecido mudaram o resultado.



Outro método pouco convencional para medição do período foi descrito por um aluno do 9º ano. Ele pensa em usar a definição de frequência e contar quantas oscilações o pêndulo faz a cada 10 s e depois dividir, porém ele erra o denominador da conta ao colocar 16. Este método encontra um problema pois o número de oscilações pode não ser inteiro dentro dos 10s. O pêndulo pode estar no meio de uma oscilação no final do tempo, assim prejudica ainda mais a medição do período. A hipótese levantada e testada pelo aluno utilizando principalmente a

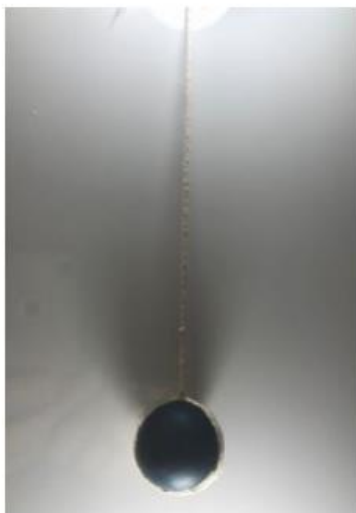
relação entre frequência e período faz parte do processo de investigação. No próximo encontro síncrono foi proposto a discussão sobre a hipótese levantada. A Figura 12 destaca este caso particular.

Figura 12 Aluno do 9º ano, resposta da atividade investigativa 1

1) Para determinar a oscilação de um pêndulo, primeiramente, com um cronômetro, contaria um determinado número de segundos (nesse caso, coloquei 10s), e depois contaria a quantidade de oscilações dentro desse período de tempo, por fim faria a seguinte divisão (número de repetições):(tempo) para chegar no resultado. Pode causar uma imprecisão na medida contar as medidas incorretamente.

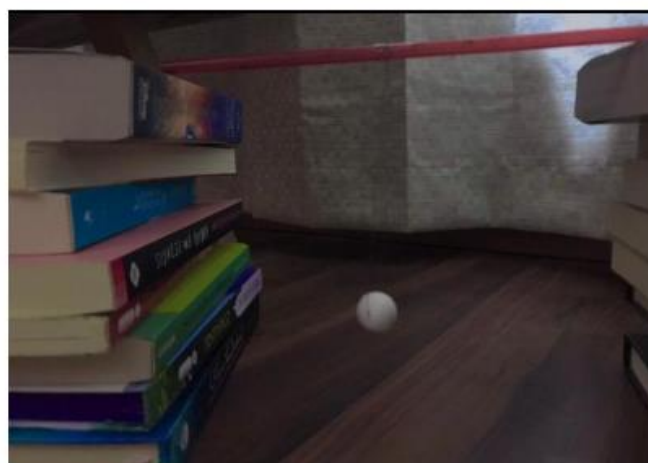
RESULTADO:

18:10= 1,8



1)Meu método seria determinar o período de oscilações do pendulo utilizando um cronometro medindo assim a duração do movimento,e em relação ao numero de repetições eu contaria manualmente,com os resultados eu faria a seguinte equação:

$$F = \frac{\text{n de repetições}}{\text{Tempo}}$$



Vou demonstrar meu método no pendulo acima:

$$F = \frac{30}{16} = 1,875$$

16

Para os alunos do 9º Ano a primeira atividade investigativa trouxe alguns erros conceituais, o que era esperado, por ser o primeiro contato deles com oscilações. Conforme a Figura 13.

Figura 13 – Aluno do 9ºAno, resposta da atividade investigativa 1

1- Para determinar o período de oscilação do pêndulo eu puxaria o pêndulo até certa ponta, então soltaria ele e iniciaria o cronômetro na mesma hora, dessa forma quando ele chegasse até a outra ponta eu pararia o cronômetro, porém eu imagino que teria que levar em consideração a força do impulso, pois dependendo do quanto você puxa o pêndulo para fazer o experimento a força do impulso é maior. No caso o período de oscilação do meu pêndulo foi 01.19 segundos. O que poderia acabar alterando o valor do período de oscilação do pêndulo seria o pêndulo atritar com algum objeto, a força do vento, o atrito pois não estamos no vácuo e também a falta de precisão ao iniciar o cronômetro e ao pará-lo.

O aluno conseguiu perceber a influência do ambiente, da ação do operador na medição e da amplitude indicada por ele como “força do impulso”, porém a forma de medir o período não foi correta e ele acabou medindo metade do período. Os erros conceituais encontrados na primeira parte foram levados para discussão na segunda aula a fim de corrigir estas concepções alternativas. A Figura 14 aponta ainda uma outra concepção alternativa.

Figura 14 - Aluno do 9º ano, resposta da atividade investigativa 1

Como você faria para determinar o período de oscilação do pêndulo?

Determinaria dois pontos e quando o pêndulo não atingisse mais nenhum dos dois, ele saiu desse período.

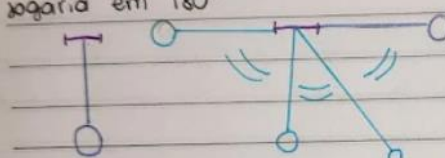
Quais os fatores podem influenciar na medição do período de oscilação? O peso do objeto, a gravidade, a força aplicada e o tamanho da corda.

O que pode ocasionar uma imprecisão na medição do período? O tamanho da corda, se ela for muito pequena, o objeto ficará limitado.




Neste caso o aluno destacou que o peso influencia na medição do período e também introduziu em seu experimento uma força inicial, que não deveria existir para termos um movimento simples. A forma como ele interpretou o período também foi contraditória dando a entender que o período seria uma distância e não um tempo. Esta concepção também foi observada em outra resposta, uma confusão entre amplitude e período, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Aluno do 9º ano, resposta da atividade investigativa 1

Oh se eu fosse calcular eu mediria o tamanho da corda e multiplicaria por dois, porém para funcionar assim, na hora de jogar o pêndulo eu jogaria em 180°



Agora a imprecisão é causada pois dependendo do ângulo, da força, e do peso do pêndulo, o tamanho do período se altera.

| | | |
|---|--|--|
|  | por exemplo |  |
|  | aqui coloque uma quantidade menor de força em um ângulo menor logo o período é menor | aqui jogado em um ângulo maior com mais força temos um período maior |

Nitidamente pela imagem e a descrição da atividade feita pelo aluno percebemos a confusão entre período e amplitude de movimento. Tal diferença pode não ter sido percebida na aula de introdução por diversos fatores. É importante salientar que todos os erros conceituais encontrados na primeira atividade investigativa são levados para a discussão na aula seguinte permitindo que os alunos discutam seus pontos de vista e suas hipóteses com a mediação do professor.

Após a aplicação da primeira atividade investigativa com um nível elevado de investigação foi possível perceber as concepções dos alunos quanto às oscilações, pêndulo simples e erros de medição. Esta atividade trabalhou os conceitos citados por Borges (2001), fazendo com que os alunos de frente a um problema criassem os procedimentos, as hipóteses e as conclusões para o fenômeno estudado. Os conflitos conceituais encontrados nesta primeira parte são o ponto de partida para a segundo questionário e também para a segunda aula.

A segunda parte da primeira atividade investigativa utiliza o simulador de pêndulo simples PENDULUM-LAB e tem um nível de investigação menor, sendo um problema menos aberto. Alguns erros conceituais encontrados na primeira parte podem ser solucionados nesta segunda parte da atividade ao conflitar uma concepção criada inicialmente com um problema em aberto com um experimento mais direcionado com variáveis controladas.

Alguns alunos mesmo trabalhando com o simulador pré-configurado para atrito zero e a gravidade da terra, não perceberam ou se sentiram relutantes em alterar sua concepção de que a massa não influenciava no período do pêndulo simples. É o caso de algumas das respostas transcritas integralmente na Tabela 10.

Tabela 10 – Resposta dos alunos sobre os fatores que influenciam no período do pêndulo

| | |
|-----------------|---|
| Aluno do 2º ano | <p>“O comprimento do fio sem dúvida altera o período, quanto maior o comprimento do fio maior o período, isso é possível observar no simulador ao colocar dois pêndulos ao mesmo tempo. <u>A massa na teoria não deveria interferir, mas na vida real é um fator fundamental pois diminui a resistência do ar, portanto quanto maior a massa maior o período (vai garantir que o pêndulo complete o movimento periódico da maneira mais completa possível).</u> A gravidade vai ser fundamental no movimento e no período, vai ser ela a aceleração do movimento e logo vai interferir na duração”.</p> |
|-----------------|---|

| | |
|-----------------|---|
| Aluno do 2º ano | “a) Quanto maior o comprimento maior o período. B) <u>Quanto maior a massa maior o período, por causa da resistência do ar.</u> C) A gravidade interfere na aceleração do período”. |
| Aluno do 2º ano | “01- a) Quanto maior for o comprimento do fio que segura o pêndulo, maior é o período de oscilação. Já na situação inversa, o comprimento do fio sendo menor, o período de oscilação também será menor, isso pode ser comprovado através do próprio link disponibilizado na questão acima. <u>b) Quanto menor a massa do pêndulo em questão, menor será o período de oscilação, enquanto a massa for maior, o período de oscilação também será aumentando, isso da em função do atrito com o ar.</u> c) Quanto menor for a gravidade, maior será o período de oscilação do pêndulo, e quanto maior for a gravidade, menor será o período de oscilação. Tal observação pode ser comprovado devido ao fato de que quando um objeto está em um ambiente com gravidade menor, ele levará mais tempo para completar um período de oscilação, enquanto o objeto se encontra em local com gravidade superior, o período será mais rápido”. |
| Aluno do 9º ano | “a) Quanto maior o comprimento do fio mais lento será o movimento do pendulo b) quanto maior for a massa mais rápido será o movimento do pendulo c) quanto maior a força maior rapido o movimento sera, entt utilizando essas informações pra meio que criar "relações" colocando um fio longo por exemplo com uma massa pesada colocando bastante força 'equilibraria' ”. |
| Aluno do 9º ano | “A- Quanto maior o comprimento do fio maior o tempo de período do pêndulo B- Quanto maior a massa menos tempo de período do pêndulo C- Quanto maior a gravidade menor o tempo de período do pêndulo” |
| Aluno do 9º ano | “quanto maior o for o comprimento da corda, maior será o período; A massa muda nada se alterar, sorry ;-; ; e a gravidade é oque faz o pêndulo cair, logo sem gravidade o período é infinito” |

Em todos os casos listados a experimentação no simulador parece ir contra a concepção de que a massa influencia no período. O resultado esperado está tão enraizado que o aluno chega

a se desculpar por não encontrar uma relação da massa com o período, como no último caso listado na tabela 10. A ideia de que a influência é pequena que pode ser desprezada foi abordada na aula seguinte. Quanto ao comprimento e à gravidade, a grande maioria dos alunos perceberam uma relação aparente entre eles e o período.

5.4 RESULTADOS/DESCRIÇÃO: ATIVIDADE INVESTIGATIVA 2

A segunda atividade investigativa foi voltada para a comparação entre os métodos de medição tendo algumas respostas importantes acerca dos erros de medição. Na Tabela 11 estão transcritas algumas respostas obtidas na segunda atividade investigativa. Elas dão uma ideia global de todas as respostas.

Tabela 11 – Respostas dos alunos sobre a atividade investigativa 2

| | |
|-----------------|--|
| Aluno do 2º ano | “A vantagem está na precisão das medições do período, uma vez que no cronômetro essa medida, por mais certinha que seja, vai apresentar imprecisões”. |
| Aluno do 9º ano | “Esses dois outros métodos de medição tem uma precisão muito maior, pois são automatizadas, podemos dizer assim. O método tradicional não é muito preciso pois têm erros humanos”. |
| Aluno do 9º ano | “Eles são mais precisos, porque, em ambos, quem faz a contagem é a máquina”. |
| Aluno do 9º ano | “A principal vantagem em utilizar os outros métodos diferentes do tradicional é que, por calcularem automaticamente, diminuem as chances de erros na medição”. |
| Aluno do 9º ano | “Porque são métodos com menos influencia humana em relação ao método tradicional”. |
| Aluno do 9º ano | “A vantagem em utilizar outros métodos além do tradicional é a diminuição das chances de erros na medição, visto que são automáticos”. |
| Aluno do 9º ano | “O primeiro método depende muito da nossa precisão, já os outros dois não, pois é utilizado maquinas e tecnologias mais precisas”. |

Observamos que o objetivo de causar no aluno a percepção que toda medida tem um erro e esse erro pode ser causado pela forma de medição foi atingido. Eles conseguiram perceber

que os outros dois métodos (LDR e Phyphox) tentam reduzir o erro causado pela ação humana na medição do período. Os alunos do 2º ano que não perceberam a ação humana na medição indicaram que os outros dois métodos são mais precisos por serem feitos para aquele experimento, como podemos ver na resposta dada por um deles: “Os outros métodos podem mostrar mais precisão os resultados, por serem próprios para este tipo, podendo ter poucos erros”.

Quando perguntados qual dos métodos aparenta ser o mais confiável os alunos ficaram divididos entre o Pêndulo LDR e o aplicativo Phyphox conforme a Tabela 11. As justificativas utilizadas foram sobre a interferência humana no método tradicional. Algumas justificativas estão transcritas na Tabela 12.

Tabela 12 – Justificativa dos alunos sobre qual método aparenta ser o mais confiável

| | |
|-----------------|--|
| Aluno do 9º ano | “O mais confiável eu acredito que seja aquele que usa o phyphox, já que utiliza artificios modernos e mais fáceis de serem controlados, em segundo o pêndulo LDR por ser mais trabalhoso e por trabalhar com sensor de movimento pode haver alguma alteração externa, e por último o método tradicional que desses apresentados é o que há mais probabilidade de haver interferência, logo tem mais probabilidade de constar resultados errôneos”. |
| Aluno do 9º ano | “Pêndulo LDR, phyphox e método tradicional. O Pêndulo LDR não depende de algum humano para ser executado, e é um método fácil de ser executado, o phyphox precisa de ter um humano programando ele, o que pode causar algum erro e por último o método tradicional é o menos confiável pois você não tem ajuda de máquina nem nada do tipo, então os erros do ser humano nesse caso são grotescos se comparados aos outros”. |
| Aluno do 9º ano | “Pêndulo LDR, Phyphox e método tradicional. Eu organize assim por meio dos que tem menos Influência humana, além disso o método LDR foi realizado duas vezes e deu a mesma resposta”. |
| Aluno do 9º ano | “Phyphox, LDR, tradicional. Acredito que o phyphox por utilizar os sensores pode se tornar mais preciso do que os outros, onde o LDR depende do bloqueio da luminosidade par detectar algo menos confiável do que os sensores e o tradicional que conta com muita interferência humana”. |

Uma parte da segunda atividade foi destinada ao trabalho da equação do período pêndulo simples, onde era esperado que os alunos isolassem a variável gravidade na equação (18) e substituíssem os valores de comprimento e período, obtendo o valor da aceleração da gravidade. A maior parte dos alunos não apresentou dificuldades nesta parte. Uma destas respostas está indicada na Figura 16.

Figura 16 – Obtenção de g por um aluno do nono ano.

Método tradicional

$$g = \frac{(2\pi)^2 \cdot l}{t^2} \rightarrow g = \frac{39,4384 \cdot 1,08}{4,515625} = 9,432464387$$

Pêndulo LDR

$$g = \frac{39,4384 \cdot 1,08}{4,41} = 9,658383673$$

Phyphox

$$g = \frac{39,4384 \cdot 1,08}{4,3681} = 9,751029509$$

Quando perguntados qual método utilizariam para realizar a medição os alunos indicaram o aplicativo Phyphox visto que ele é o de mais fácil aplicação. Com os dados do vídeo do experimento ele foi o que produziu menor erro percentual em relação ao valor esperado.

Algumas respostas destacam a praticidade já outras destacam a precisão, indicando que o objetivo de despertar o pensamento sobre os erros experimentais estarem atrelados à forma de medição foi atingido. É possível notar também a intenção de se comparar os métodos, como sugerido por um dos estudantes, veja a Tabela 13. Todos os conceitos e hipóteses levantadas nesta segunda atividade investigativa foram levados para a última aula, uma aula de discussão final.

Tabela 13 – Resposta dos alunos, sobre o método que usariam para medição do período

| | |
|-----------------|---|
| Aluno do 9º ano | “Tradicional, o mais impreciso, mas o mais acessível”. |
| Aluno do 9º ano | “O phyphox, porque ele é o mais preciso, além de ser mais fácil de montar do que o LDR”. |
| Aluno do 9º ano | “Eu usaria para medir o período do pêndulo o método pêndulo LDR, devido ser o mais automatizado”. |
| Aluno do 9º ano | “Provavelmente o phyphox, mesmo não sendo o mais fácil eu o utilizaria devido a menor margem de erros comparado ao tradicional”. |
| Aluno do 9º ano | “Phyphox = porque é simples e preciso”. |
| Aluno do 9º ano | “O método LDR. Pois acho que seria interessante compará-lo com os outros dois pessoalmente e analisar as diferenças”. |
| Aluno do 9º ano | “O phyphox, pela sua maior precisão em relação aos outros métodos”. |
| Aluno do 2º ano | “Phyphox, porque ele vai apresentar uma precisão na oscilação do tempo”. |
| Aluno do 2º ano | “Eu utilizaria o método do phyphox ou o cronômetro tradicional por serem os mais viáveis no meu cotidiano, dando preferência principalmente ao phyphox por ser mais preciso ainda que o cronômetro de celular e possivelmente resultando em medidas mais próximas ao verdadeiro período de oscilação do pêndulo”. |

5.5 INTERPRETAÇÃO

Em relação à primeira atividade investigativa, os alunos do ensino médio mostraram uma compreensão melhor do problema, apresentando também respostas mais completas acerca do problema. Por possuírem um conhecimento prévio de física os alunos do ensino médio levantaram hipóteses como fio não ideal, atrito ou perda de energia, como mostra a resposta a seguir: “A imprecisão na medição do período pode ocorrer por utilizar um fio não ideal, o vento interferir no sistema ou até mesmo existir alguma perda de energia”. As respostas desta forma demonstram que eles já estão acostumados com as condições de validade das equações físicas e tentam justificar os movimentos reais com estas devido a estas simplificações. Já os alunos do ensino fundamental demonstraram uma preocupação maior com o fator humano na medição, indicando que alguns erros podem ser causados devido a erros causados pelo “operador” do pêndulo.

Diferente do segundo ano, os alunos do ensino fundamental indicaram o que a maioria chamou de “impulso inicial” do pêndulo simples, as vezes confundindo isso com a força resultante do movimento e as vezes com um empurrão inicial. Essa concepção pode advir da falta de conhecimento prévio, visto que na primeira aula comentamos apenas sobre oscilações, período e frequência.

Sobre a influência da massa, alguns alunos quando confrontados no simulador se sentiram relutantes quanto a não influencia da massa, como na resposta a seguir: “A massa exerce influência no peso do objeto preso ao fio e à tração da corda, portanto ela afetará na componente resultante dessas duas forças”, “A massa na teoria não deveria interferir, mas na vida real é um fator fundamental pois diminui a resistência do ar, portanto quanto maior a massa maior o período”. A segunda resposta demonstra uma justificativa baseada em um argumento desconhecido para o aluno, chegando a uma conclusão inadequada para a hipótese por ele mesmo levantada. A resposta a seguir dada por um aluno do 9º Ano mostra o conflito entre a experimentação e o resultado esperado por ele: “A massa muda nada se altera, sorry ;-;”. O discente chega a se desculpar por não encontrar o resultado por ele esperado, demonstrando o quão enraizado pode estar uma concepção.

Os alunos acabaram se agarrando as suas hipóteses e mesmo quando confrontados com a experimentação se sentem relutantes em mudar suas concepções alternativas, tornando fundamental a terceira parte da atividade investigativa e as aulas para discussão dos resultados evitando que estas concepções continuem.

Os experimentos e as hipóteses levantadas durante a primeira atividade investigativa mostram o engajamento dos alunos na investigação. Um ponto importante da investigação foi a sugestão de novos métodos para medição não indicados pelo professor, mas sugeridos pelos alunos assim como a comparação entre os diferentes métodos. Tanto os alunos do fundamental quanto do ensino médio conseguiram atingir o objetivo da investigação na primeira atividade.

A participação na primeira atividade investigativa foi satisfatória, porém nas demais atividades a participação diminuiu consideravelmente. No 9º ano a participação se manteve acima dos 60% durante todas as três atividades investigativas mesmo não sendo uma atividade pontuada. O ensino fundamental tende a ser mais engajado nos trabalhos devido a estarem acostumados a atividades experimentais, uma vez que o professor sempre que possível tenta utilizar a experimentação demonstrativa em suas aulas. No 2º Ano a participação na primeira atividade investigativa foi de aproximadamente 67% dos alunos, participação esta que foi caindo no decorrer das atividades. Um dos fatores que podem ter causado o pouco engajamento dos alunos do ensino médio é o próprio conteúdo da atividade, oscilações e pêndulo simples não faz parte do vestibular seriado destinado ao 2º Ano. Os alunos do ensino médio têm apostilas mais conteudistas e tendem a ser mais engajados apenas em assuntos que são cobrados no vestibular.

Por se tratar de uma escola pequena, o problema do número de participantes foi agravado pela aplicação online da atividade investigativa. A aplicação remota prejudicou em vários pontos a sequência investigativa, limitando a discussão entre os alunos e a interação com os experimentos principalmente na terceira parte da atividade onde os alunos deveriam interagir e comparar diferentes formas de medição. Porém, de uma forma geral as duas primeiras partes foram muito bem recebidas pelos alunos indicando que é possível ter uma sequência investigativa online, mesmo que a discussão seja um pouco prejudicada. Os alunos no ensino remoto acabam ficando com vergonha de expor seus pensamentos para a turma, fazendo com que o professor tenha uma participação maior na discussão instigando os alunos e provocando os conflitos de ideias.

6 CONCLUSÃO

A física é por muitas vezes estereotipada pelos alunos como uma matéria teórica, abstrata e limitada a aplicação de fórmulas. Assim, o uso de metodologias ativas como o laboratório didático e o ensino investigativo, em todos seus níveis, colaboram para a aproximação da teoria com o experimento. Além de todo o potencial das atividades experimentais e investigativas estas metodologias aproximam a física de sua definição mais conhecida: estudar os fenômenos da natureza. É indiscutível que a construção teórica e matemática é importante, mas o objetivo das metodologias ativas é fazer a ligação entre a teoria e a prática de forma que o aluno veja como as coisas funcionam e porque elas funcionam.

No sentido mais amplo a aplicação da sequência investigativa cumpriu seu o objetivo de abordar os fatores que influenciam no período do pêndulo de forma investigativa. Os alunos tiveram contato, mesmo que remotamente, com diferentes tecnologias utilizadas na medição do período e foram incentivados a refletir e construir experimentos para solucionar problemas. Por outro lado, apesar da sequência investigativa ser uma fuga do ensino tradicional e aproximar a teoria da prática alguns fatores levaram à redução do nível investigativo da atividade aplicada.

O primeiro motivo limitador do potencial da sequência investigativa foi o ensino remoto. É importante pontuar as dificuldades encontradas na aplicação e adaptação da sequência investigativa para o ensino remoto. As atividades que antes eram em grupos e manipuladas pelos alunos passaram a ser individuais e utilizando gravações dos experimentos. A utilização dos vídeos acabou estruturando a investigação o que levou a reduzir seu nível investigativo. O segundo motivo foi a inexperiência das turmas frente às atividades investigativas. Tanto na turma de 9ºAno como no 2ºAno as atividades investigativas foram novidade para eles. Por ser uma escola particular o ensino é linear e direcionado para os principais vestibulares com um calendário semanal a cumprir o que dificulta a inserção de atividades investigativas. Estes fatores e a não atribuição de nota (pontuação) podem ter contribuíram para a diminuição gradativa da participação dos alunos no decorrer da sequência.

Com a análise das respostas e a interação com os alunos é possível concluir que a sequência investigativa mesmo com as limitações impostas pelo regime aplicado contribuiu para uma melhor interpretação do movimento do pêndulo simples. Além disso é uma alternativa para abordar os fatores que influenciam o período do pêndulo e o conceito de erros experimentais de forma prática. A aplicação indica que podemos utilizar a investigação tanto em alunos do 9ºano do ensino fundamental como em alunos do ensino médio. Os resultados nos levam a concluir que é possível aplicar uma sequência investigativa de forma remota, porém

as atividades devem ser de fácil acesso ou construção pelos alunos. Atividades mais complexas ou com instrumentos mais elaborados acabam estruturando a investigação, impossibilitando o alcance dos níveis mais elevados de investigação. A aplicação exclusivamente online prejudica a discussão entre os alunos e a interação entre eles, em trabalhos futuros podemos pensar em uma aplicação híbrida semipresencial.

Por fim, a sequência investigativa e o produto educacional fruto deste trabalho têm um potencial para estudos futuros sobre diversos temas desde aos fatores que influenciam o período do pêndulo até a redução de erros experimentais em diferentes métodos de medição e o limite de validade de uma teoria. Adaptações devem ser feitas para aplicações presenciais aumentando a interação entre aluno e experimentos.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física: um curso universitário**. Coordenador da tradução: Giorgio Moscati. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1972, 565p.
- BANCHI, H.; BELL, R.; SMETANA, and I. BINNS.. **Simplifying inquiry instruction**. The Science Teacher 72(7): 30–34, 2005.
- BANCHI, H.; BELL, R.; **The Many Levels of Inquiry**. Science and Children, p26, 2008.
- BORGES A. T. **NOVOS RUMOS PARA O LABORATÓRIO ESCOLAS DE CIÊNCIAS**. Caderno Brasileiro Ensino de Física, v. 19, n.3: p.291-313, dez. 2002.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf.
- CARVALHO, A. M. P., Oliveira, C., Sasseron. L. H., Sedano L., & Batistoni M. **Investigar e Aprender Ciências**, 5 volumes, São Paulo: Editora Sarandi, 2011.
- CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições de implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning. 2013.
- CARVALHO, A. M. P. **O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativa**. Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo, Cengage Learning. 2013.
- CARVALHO, ANNA MARIA P. **Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. RBPEC 18(3), 765–794. Dezembro, 2018
- CERQUEIRA PORTO, S. C.; AMANTES, A.; HOHENFELD, D. P. **O que se Aprende sobre Pêndulo Simples em Atividades Investigativas nos Laboratórios Material e Computacional?** *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 19, p. 825-858, 2019.
- COGO T. C. LEITE r. F. **Ensino de ciências por investigação: uma análise conceitual da BNCC**. 2º congresso Internacional de Educação, ISSN2318-759X, 2019.
- GALIAZZI, M. C.; ROCHA, J. M. B.; Schmitz, L. C.; Souza, M. L.; Giesta, S.; Gonçalves, F. P.; *Ciência & Educação*, 7, 249, 2001
- GIORDAN MARCELO. **O papel da experimentação no ensino de ciências**. *Química nova na escola*, nº10, novembro 1999.
- GONÇALVES, F. P.; GALIAZZI M. C. **A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química**. *Química Nova*, vol. 27, No 2, 326-331, 2004.
- HARTWING, D. R.; WILMO E. F.; FERREIRA L. H. **Experimentação problematizadora: Fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências**. *Química Nova Na Escola*, N 30, 2008.
- LADEIRA, J. R. C.; SARMENTO, I. A.; ALVES, R.; CARVALHO, E. A.; FREIRAS, A. M.; GONGALVES. B.; **Pêndulo simples: Tracker x Phyphox**. *Revista do Professor de Física*, v.4, n. 2, p 91-108, Brasília, 2020.
- MATOS M. G., VALADARES J. **O efeito da atividade experimental na aprendizagem da ciência pelas crianças do primeiro ciclo do ensino básico**. *Investigações em Ensino de Ciências*. V6(2), pp. 227-239, 2001.

MORAES, Roque. **Análise de conteúdo**. Revista Educação, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999

MOREIRA, M. A. **MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA** Adaptado e atualizado, em 1997, de um trabalho com o mesmo título publicado em O ENSINO, Revista Gláico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística, n23 a 28: 87-95, 1988. Publicado também em espanhol, 2005, na Revista Chilena de Educação Científica, 4(2): 38-44. Revisado novamente em 2012.

MOREIRA, M.A. (2010). **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro Editora.

NUSSENZVEIG, H. MOYSES. Curso de Física Básica, Vol. 2, Ed. Edgar Blucher Ltda, 2002;

OPAS, Organização Pan-Americana de Saúde. <https://www.paho.org/pt/brasil> Acesso em 30 de setembro de 2020.

PENDULUM-LAB, https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/pendulum-lab

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS, https://phet.colorado.edu/pt_BR/

SASSERON, L. H. **Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola**. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117201517s04> Revista Ensaio, Belo Horizonte, C.17 n.especial, p49-67, 2015.

SILVEIRA F. L. **Determinando a aceleração gravitacional**. 1995. Revista de Ensenã de la Física, Córdoba, 10(2): 29-35, 1995.

STAACKS, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. **Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox**. Physics Education, 53(4), 045009, 2018.

TAHA, M. A., et al. **Experimentação como ferramenta pedagógica para o ensino de ciências**. Experiências em Ensino de Ciências V.11, No. 1, 2016.

YOUNG H. D. & FREEDMAN R. A. **Física II Termodinâmica e ondas**, 10ªEd, São Paulo, Addison Wesley, 2003.

ANEXO A – Manual do produto educacional

Genes Raone Dias

PÊNDULO LDR

MNPEF MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA
POLO 24 - UFJF / IF Sudeste-MG



Juiz de Fora

2023

Orientador: Prof. Dr. Bruno Gonçalves
Co-orientador: Prof. Dr. Bruno Ferreira Rizzuti

PÊNULO LDR

Juiz de Fora

2023

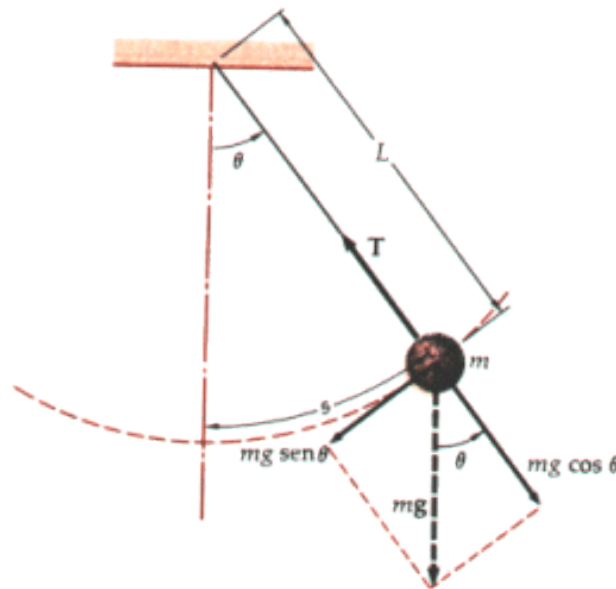
SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------|----|
| 1 – INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 2 – DESCRIÇÃO DO PRODUTO..... | 6 |
| 3– PROCEDIMENTOS..... | 7 |
| 4 – ATIVIDADE PROPOSTA..... | 13 |
| 5 – REFERÊNCIAS | 17 |

1 – INTRODUÇÃO

O pêndulo simples consiste basicamente de um corpo com massa m suspenso por um fio inextensível. O corpo permanece em repouso sobre sua posição de equilíbrio. Ao deslocar o corpo para fora desta posição e abandoná-lo, este entra em um movimento oscilatório. Ao decompor as forças que atuam sobre o corpo na posição de máxima amplitude obtemos o esquema indicado na Figura 1.

Figura 1- Esquema do Pêndulo simples



Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br/~mkyotoku/texto/texto7.htm>

A força tangencial ao movimento F_T pode ser escrita como:

$$F_T = -mg \operatorname{sen} \theta. \quad (1)$$

Utilizando a segunda lei de Newton com a aceleração tangencial temos:

$$mL \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -mg \operatorname{sen} \theta. \quad (2)$$

Para pequenos ângulos temos a aproximação $\operatorname{sen} \theta \approx \theta$, que implica, utilizando (2),

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0. \quad (3)$$

A solução para esta equação nos dá:

$$\theta(t) = A \cos(\omega t + \varphi). \quad (4)$$

Comparando com a equação (3) temos que:

$$\omega^2 = \frac{g}{L}. \quad (5)$$

Onde ω é a frequência angular do pêndulo que pode ser escrita também como $\omega = \frac{2\pi}{T}$ com T sendo o período de oscilação. Logo:

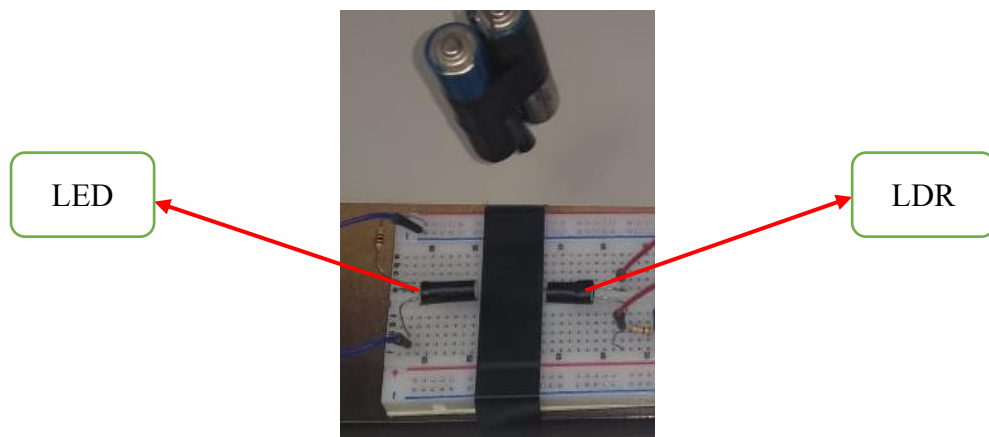
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (6)$$

Vemos que o período do pêndulo simples depende apenas do comprimento do fio L e da gravidade.

2 – DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O método clássico para medição do período do pêndulo realizado frequentemente em laboratórios de física 2 utiliza um cronometro manuseado por um estudante. Este procedimento envolve tanto o erro sistemático do instrumento de medida de tempo como o erro aleatório causado pelo operador. O pêndulo com LDR é um produto para medir o período do pêndulo simples de forma automatizada visando reduzir os erros aleatórios causados pelo usuário. Para isso um LED é posicionado de modo a emitir luz diretamente no sensor LDR (figura 2). Para melhor direcionar o recebimento e a emissão foram usados dois pedaços de canudinhos cobertos com fita isolante.

Figura 2 – Posicionamento do LED e do sensor LDR



Com isso o LDR terá uma medida “padrão” de recebimento de luz, quando o corpo é posto a oscilar, o plano de oscilação passa entre o LED e o LDR fazendo com que no instante em que o corpo passe na posição de equilíbrio a leitura do LDR seja menor

do que o valor padrão. Com isso é iniciada a contagem de tempo interna no arduino. Após um período de oscilação a medida do período é mostrada na tela do computador. Este procedimento não envolve ação humana no processo de medição do tempo reduzindo um dos principais fatores de erro aleatório.

Parte eletrônica:

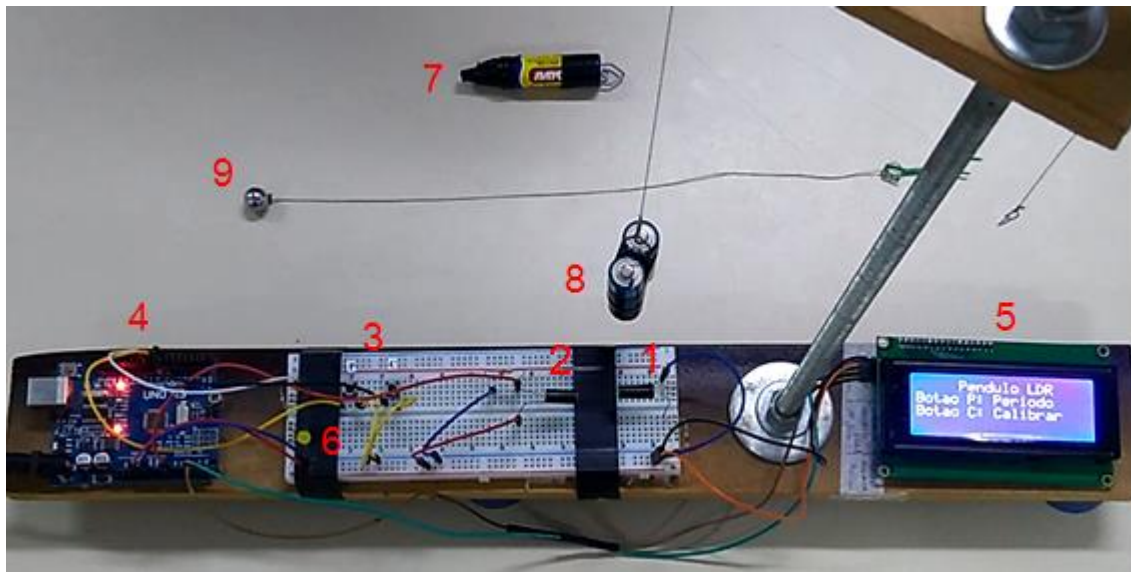
- 1 Placa de Arduino UNO;
- 1 Protoboard;
- 1 resistor de 10 k Ω ;
- 1 resistor de 100 Ω ;
- 1 Sensor LDR;
- 2 botões;
- 1 LED verde;
- Jumpers;

Para o Pêndulo:

- Madeira 48 x 6,5 x 1,5 cm com furo de 8 cm a distando 15 cm de um dos lados;
- 2 madeiras 12,5 x 3 x 1 cm com um furo de 8 cm distando 2,5 cm de um dos lados e um furo de 8 cm distando 1,5 cm do outro lado.
- Barra roscada 50 cm
- 6 porcas pequenas
- 2 arruelas grandes
- 5 tampas de desodorante para os pés do aparato;
- 3 pilhas que serão utilizadas como massa posta a oscilar
- 2 Engates rápidos de pesca

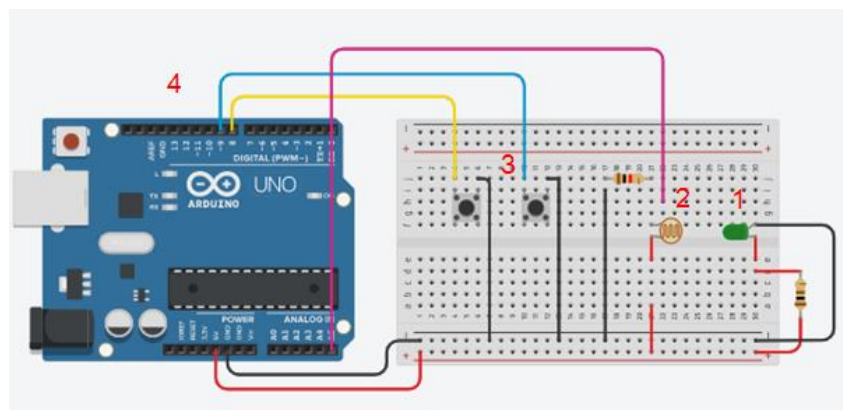
A base do pêndulo é utilizada apenas para fixar os aparatos e a haste (Barra roscada) podendo variar suas dimensões. A parte eletrônica é a principal e deve ser montada conforme as orientações deste manual. O pêndulo já montado pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Pêndulo LDR



Fonte: Próprio autor

Figura 4 – Esquema de ligação



Fonte: Próprio autor

O Pêndulo LDR tem os componentes principais indicados nas Figuras 3 e 4 sendo: 1 – LED (*Light Emitting Diode*) encapsado com canudo e fita isolante para colimar a luz; 2 – Sensor LDR encapsado com canudo e fita isolante; 3 – Botões, botão C calibrar o experimento e botão P medir o período de oscilação; 4 – Arduino Uno 5 – Visor LCD (*Liquid Crystal Display*); 6 – LED indicador de período; 7, 8 e 9 – Diferentes massas para serem utilizadas no experimento. O produto ainda conta com uma haste para fixar o pêndulo simples podendo variar a altura e assim utilizar diferentes comprimentos de fio. A montagem e o funcionamento do produto educacional podem ser vistas no site: <https://profbrunogoncalves.wordpress.com/videos-2/#pendLDR> (Acessado em 28/02/2020).

Abaixo indicamos também o código fonte para programação do Arduino.

Código Fonte

```
int ldr=A5; //declarando o pino analógico o qual estará ligado o LDR
int valorLDR=0; //valor inicialmente zerado quanto ao nível de luminosidade
int valor = 0;
int led=9; //declarando o pino onde se está ligado o LED
long tempo1=0;
long tempo3=0;
long periodo=0;
long periodom=0;
long soma=0;
int n=0,a=0,leitura,leitura2,ref,teste=1;
int botao = 7;
int botao2 = 8;

void setup(){//inicia variáveis e o uso de bibliotecas
Serial.begin(9600);
pinMode(led,OUTPUT);
pinMode(botao,INPUT);
pinMode(botao2,INPUT);

digitalWrite(botao, HIGH);
digitalWrite(botao2, HIGH);
}

void loop(){ //faz loops consecutivos permitindo que o programa execute asoperações que
aqui estão.
valorLDR=analogRead(ldr); //atribui o valor encontrado na leitura do programa diante da
luminosidade ao valor
//Serial.println(valorLDR); //imprime na tela do Serial Monitor os valores encontrados
//Serial.println(tempo); //imprime na tela do Serial Monitor os valores encontrados de 0 a 100
//delay(100); //Teste de um intervalo entre uma interrupção e outra.

//valor = map(valorLDR,0,1023,0,100); // Muda a amplitude dos dados para de 0 a 100
valor=valorLDR;
digitalWrite(led,LOW);
//Serial.println(valor);

leitura = digitalRead(botao);
if(leitura==LOW){

Serial.println(valor);
ref=valor-20;
}
}
```

```

if (valor<ref) // 10 é um valor teste, deve ser arrumado dependendo da luminosidade sobre o
LDR;
  { delay(100); //Teste de um intervalo entre uma interrupção e outra.

leitura2 = digitalRead(botao2);
if(leitura2==LOW){teste=0;
soma=0;}
  n++;
  if(n==1){tempo1=millis();}
delay(100); //Teste de um intervalo entre uma interrupção e outra.
if(n==3){tempo3=millis();}
  //Serial.println(tempo1);

if(n==3){

if(teste==0) {a++;} //contador da media

  periodo = tempo3-tempo1;
  if(teste==0){
  Serial.println((periodo-100)/1000.000);
  digitalWrite (led, HIGH);
  }
  if(teste==0){soma=soma+periodo;}
  n=0;}
//delay(10);

if(a>=10){teste=1;
a=0;
periodom=(soma/10.000); //nao utilizado fazendo a conta no print //aprender a escrever texto
Serial.println(0);
Serial.println((soma-1000)/10000.000);
Serial.println(0);
}
}

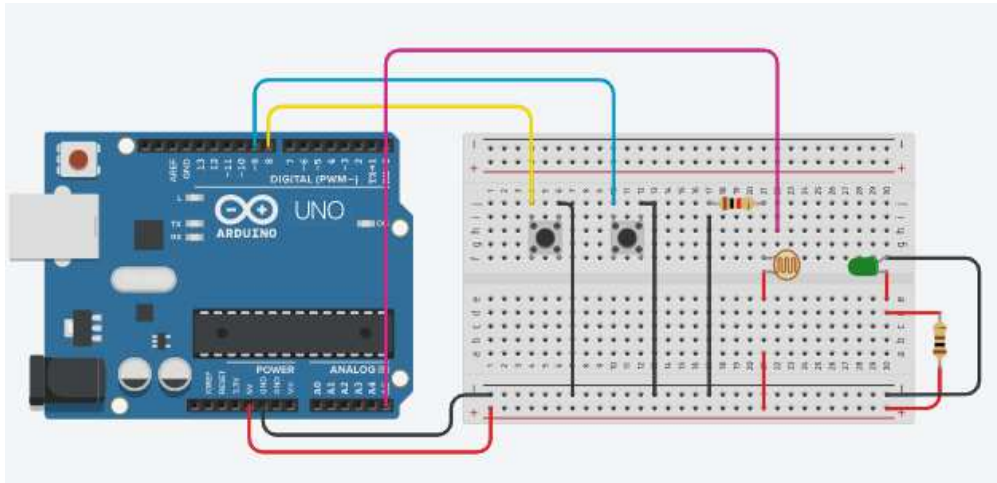
}

```

Instruções para montagem

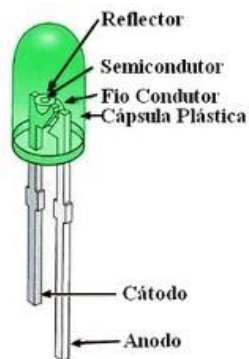
1 – Separe a protoboard, o Arduino (neste projeto, foi utilizado o UNO), os jumpers e os demais componentes especificados no tópico 2 material eletrônico;

2 - Faça as ligações conforme a imagem abaixo:



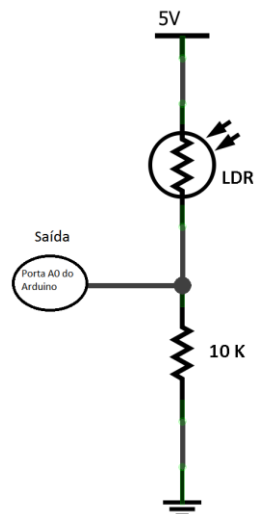
3 - Os botões devem ser ligados nas portas digitais 8 e 9.

4 - Atenção na ligação do led, observe qual é o anodo e o catodo



Fonte: <https://eletronicaparainiciantes.wordpress.com/2013/01/22/diodo-emissor-de-luz-led/>

5 - Caso tenha dúvida na ligação do LDR observe a figura ao lado.



Fonte: <https://blog.fazedores.com/sensor-ldr-com-arduino/>

3 –PROCEDIMENTOS

Para o correto funcionamento e aplicação do pêndulo simples semiautomático deve-se atentar a presença de dois botões com funções distintas. O botão C possui a finalidade de calibrar o equipamento de acordo com a luminosidade do ambiente em que está inserido, já o botão I indica ao produto sua inicialização. Com base nessas informações seguem as instruções:

- Conecte o produto a uma fonte de alimentação utilizando conector próprio para Arduino UNO.
- Pressione o botão C e espere uns segundos para que o sensor LDR registre a luminosidade local.
- Pressione o botão I para dar início ao procedimento experimental.
- Posicione o pêndulo na altura desejada de maneira que este passe entre os sensores.
- Observe na tela o valor do período de oscilação em segundos.

Ressaltamos que o produto informa o período após registrar três variações na intensidade luminosa reconhecida pelo sensor.

4 – ATIVIDADE PROPOSTA

Apresentaremos uma proposta de atividade utilizando o pêndulo simples semiautomático, a ser aplicada a alunos(as) ou demais pessoas que tenham concluído ou estejam cursando a primeira série do Ensino Médio.

Num primeiro momento orientamos ao professor(a) que apresente o produto, destacando os sensores LDR e seu funcionamento, assim como o Arduino UNO e suas possibilidades de utilização.

Separe os alunos(as) em grupos de quatro a seis integrantes, informe que o pêndulo deve ser posicionado de maneira que passe entre os sensores.

Seguem perguntas que podem estimular os (as) alunos (as) a conhecerem e investigarem o funcionamento do produto e a interpretação do pêndulo simples, sua relação com a massa do objeto e comprimento da corda.

- 1- Qual a relação entre o período de oscilação do pêndulo simples com a massa?
- 2- Como alterar o período de oscilação?
- 3- Mostre como os dados observados até agora se relacionam com a gravidade, obtida através da equação:

$$g = 4. L. \left(\frac{\pi}{T}\right)^2 .$$

- 4- Observando o funcionamento do produto, existe um intervalo de tempo entre a passagem do pêndulo entre os sensores e informação do período na tela. Isso prejudica o funcionamento do produto? Explique.

5 – REFERÊNCIAS

- [1] F. Ramalho Jr., G.F. Nicolau e P.A.S. de Toledo, Os Fundamentos da Física (Editora Moderna Plus, São Paulo, 2009).
- [2] H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica (Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2013).
- [3] R. Resnick, D. Halliday e K.S. Krane, Física (Editora LTC, Rio de Janeiro, 2003).
- [4] H.D. Young e R.A. Freedman, Física (Editora AddisonWesley, São Paulo, 2003).