



IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ONDULATÓRIAS A PARTIR DO EXPERIMENTO DO PÊNDULO TRAÇADOR

IDENTIFICATION OF WAVING CHARACTERISTICS FROM THE TRACTION PENDULUM EXPERIMENT

Sabrina Skrebsky Richter

Doutora em Educação em Ciências: Química da vida e Saúde
Colégio Militar de Porto Alegre – CMPA
sabrina.s.richter@gmail.com

Luiz Carlos Gomes

Mestre em Ensino de Física
Colégio Militar de Porto Alegre – CMPA
luizcarlosg@gmail.com

Resumo

Neste artigo apresentamos uma atividade experimental que é desenvolvida habitualmente no laboratório didático de Física do Colégio Militar de Porto Alegre. Com este experimento discutimos as características e propriedades da representação gráfica de uma onda, formada a partir do que denominamos pêndulo traçador. O experimento consiste em um pêndulo simples, que é formado por um funil cheio de areia preso por um fio. Ao oscilar, o pêndulo deixa areia cair sobre um papel pardo no qual estão desenhados eixos horizontais e verticais representando um plano cartesiano. Após concluídas as oscilações, o desenho formado no papel pardo gera o formato de uma função senoidal, que é a mesma função necessária para a descrição ondulatória. Nosso objetivo é apresentar o experimento para que outros professores possam incorporá-lo em sua prática escolar. Verificamos, mediante aplicação de testes regulares, que a atividade experimental proposta foi importante para solucionar alguns problemas da prática escolar. Os resultados são positivos, quanto a receptividade dos alunos e a exequibilidade do experimento, no que diz respeito a proposta do experimento do pêndulo traçador, tanto ao seu aspecto lúdico, quanto ao aspecto formal frente as grandezas matemáticas próprias dessa área de estudo da Física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Pêndulo traçador; Atividade Experimental; Ondulatória.

Abstract

In this article we present an experimental activity that is usually carried out in the Physics didactic laboratory of Colégio Militar de Porto Alegre. With this experiment we discuss the characteristics and properties of a wave, formed from what we call the tracer pendulum. The experiment consists of a simple pendulum, which is formed by a funnel filled with sand attached by a wire. When the pendulum oscillates, sand falls on a brown paper on which horizontal and vertical axes are drawn, representing a Cartesian plane. After the oscillations are completed, the drawing formed on the brown paper represents what we call a wave. Our goal is to present the experiment so that other teachers can incorporate it into their school practice as a way to introduce the characteristics of a wave. We verified, through the application of regular tests, that the proposed experimental activity was important to solve some problems of school practice. The results are positive, about the proposal of the tracer pendulum experiment, both in terms of its playful aspect, as well as the formal aspect in view of the mathematical quantities inherent in this area of study of Physics.

Keywords: Physics teaching; Tracer pendulum; Experimental Activity; Wave.

1 INTRODUÇÃO

O experimento do pêndulo traçador faz parte de um conjunto de atividades experimentais desenvolvidas anualmente no laboratório didático de Física do Colégio Militar de Porto Alegre (CMPA). Neste artigo descrevemos como montar e executar o experimento, quais materiais são necessários para sua montagem e como se deu a implementação da atividade experimental para os alunos do Segundo Ano do Ensino Médio. Além disso, divulgamos, também, uma proposta de roteiro heurístico que pode ser utilizado na realização deste experimento. Vivenciamos e verificamos em nossa prática escolar cotidiana que as atividades experimentais complementares são muito importantes, senão essenciais, para o ensino-aprendizagem da Física (GASPAR, 2014).

Os experimentos são importantes na medida que possibilitam a visualização dos fenômenos físicos de forma dinâmica. Favorecem a aprendizagem ativa, incentivam a tomada de decisão e estimulam o trabalho em grupo (HOFSTEIN; LUNETTA, 2004). Outrossim, há o fato que os experimentos também são vistos como motivadores por vários pesquisadores. A possibilidade de observação e representação de fenômenos físicos pode motivar os alunos, permitindo-lhes problematizações que podem proporcionar a evolução de seus conceitos espontâneos para os conceitos científicos (PIMENTEL, 2007). Entendemos que os experimentos de investigação são muito mais efetivos para a aprendizagem ativa que os experimentos demonstrativos (BORGES, 2002), porém ao longo do texto apresentamos motivos que nos levaram a desenvolver essa atividade experimental de forma demonstrativa. Que acreditamos, ainda, que mesmo demonstrativa a atividade é melhor que a aula tradicional expositiva (GASPAR, 2014), mesmo que objetivando apenas a observação e comprovação de teorias.

Este experimento vem sendo implementado principalmente ao longo dos últimos dez anos, tendo sua última aplicação ocorrida durante o primeiro trimestre letivo de 2019, para todas as turmas de Segundo Ano do CMPA. A atividade experimental foi realizada no laboratório didático de Física do Colégio e conduzida pelo professor responsável pelo laboratório com o auxílio do professor regente da disciplina. O experimento foi realizado ao longo de uma semana, de maneira que cada dia uma turma foi para o laboratório. A duração de execução do experimento foi de, aproximadamente, cinquenta minutos, o que consiste em um tempo, ou período de aula, didático. A montagem do experimento foi feita sem a participação dos alunos, que ao chegarem ao laboratório encontravam o experimento montado.

Justificamos o fato de o experimento ser demonstrativo e não de investigação devido ao pouco tempo, em torno de 50 minutos, para a realização desta atividade. O tempo necessário para a montagem desse experimento é em torno de 4h. No laboratório didático de Física do CMPA temos outros experimentos em que os alunos se organizam e pequenos grupos e realizam experimentos de investigação, que vão desde a formulação das hipóteses, passando pela montagem dos experimentos e concluindo com a análise dos dados no grande grupo em cada turma. Porém, esses experimentos (de investigação) demandam mais tempo e, geralmente, a execução e discussão destes experimentos são realizadas em duas semanas consecutivas. Além disso, mesmo em experimentos demonstrativos, os alunos participam anotando os dados e traçando gráficos que representam as oscilações observadas, bem como respondendo o problema proposto inicialmente: “Qual o comprimento do fio a que está preso o pêndulo simples?”

Buscamos, com a implementação de atividades experimentais, dar um sentido aos inúmeros fenômenos, leis e conceitos físicos desta área de conhecimento, para que os alunos compreendam e observem que conceitos não são meras palavras, mas sim termos-chave, utilizados pela Ciência, providos de significados e incorporados no cotidiano vivencial de cada um (GASPAR, 2014). O ser humano naturalmente é um ser curioso e investigador, observa habitualmente o mundo e o que acontece ao seu redor. Com a atividade posta em prática, ou seja, utilizando atividades experimentais, esperamos que, além de observar o fenômeno, o aluno também faça as devidas relações com as grandezas e conceitos envolvidos, fugindo assim da habitual memorização de fórmulas e reprodução sistemática do livro didático (RICHTER; SAUERWEIN, 2017). Nossa concepção de ensino está de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Física, quando diz que:

O Ensino de Física vem deixando de concentrar-se na simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações artificiais ou extremamente abstratas, ganhando consciência de que é preciso dar-lhe um significado, explicitando seu sentido já no momento do aprendizado, na própria escola média. (BRASIL, 2002, p. 8)

Através da experimentação, fugimos das situações artificiais citadas nos PCN+. Ao observar os fenômenos acontecendo experimentalmente torna mais fácil para o estudante compreender os conceitos relacionados a eles, do que através de ilustrações estáticas do professor com giz no quadro-negro (POZO, 1998).

A ideia de construirmos o que chamamos de pêndulo traçador, surgiu da leitura de um artigo publicado na Revista Brasileira de Física em 2000 por Marletta, Ferreira e Guimarães a respeito do *pêndulo bifilar* utilizado para mostrar as *curvas de Lissajous*. Assim, o pêndulo traçador é a construção mais simples, monofilar, para demonstrar duas curvas de Lissajous mais elementares, a saber, a *senoide* e a *elipse*. Uma descrição mais atual sobre harmônógrafo, sua história, concepção, construção e análise, acessado por nós, encontramos em um trabalho de conclusão de curso na internet (Mendonça, 2015).

2 METODOLOGIA

Abaixo citamos alguns passos importantes que seguimos desde o planejamento inicial da atividade experimental até a implementação e conclusão da mesma. Ressaltamos, mais uma vez, que esse experimento se trata de uma atividade demonstrativa, com o intuito de verificar as propriedades representacional do desenho de uma onda em um papel, formada por um padrão oscilatório. Destacamos, também que o fenômeno observado se trata de um padrão oscilatório e não ondulatório, apenas o desenho no papel que constitui uma representação de uma onda. Com esse desenho, é possível introduzir as grandezas associadas a uma onda, porém o fenômeno observado é a oscilação do funil.

Planejamento

1. Definição de limites: esta etapa consiste em definir o que será estudado e seu contexto de aplicação;

No nosso caso, esses limites estão bem estabelecidos e consolidados. O que queremos com esse experimento é introduzir o assunto sobre ondulatória através de conceitos e grandezas já conhecidos pelos estudantes. No estudo de oscilações, o conceito de período, por exemplo, já foi trabalhado e discutido para o caso de um pêndulo simples e é generalizado para ondas,

bem como serão apresentados conceitos novos atrelados ao padrão oscilatório do pêndulo simples fazendo uma analogia às grandezas de uma onda.

Esta atividade experimental pode ser usada após a introdução dos conceitos e grandezas de uma onda em sala de aula ou como forma de abordar esses conceitos e grandezas pela primeira vez com os estudantes, que foi o nosso caso. Grandezas físicas associadas a uma onda, como comprimento de onda e período, ficam mais fáceis de serem compreendidas e visualizadas através do desenho formado neste experimento em analogia às oscilações, já estudadas.

2. Coleta de dados: nesta etapa queremos mostrar que o pesquisador se empenhou para coletar dados relevantes para a pesquisa;

Nossos instrumentos de coletas de dados para este trabalho foram registros e anotações ao longo da implementação do experimento e entrevistas curtas e conversas com os estudantes após a implementação. Durante a aplicação da atividade experimental os estudantes se mostraram interessados no experimento solicitando para tirar fotos e fazer gravações. Alguns alunos se mostraram surpresos e admirados com o resultado do experimento, ou seja, o desenho formado de uma onda, a partir de um padrão oscilatório.

3. Planejamento: nesta etapa estão as considerações referentes ao tempo utilizado para a montagem e execução do experimento, bem como os recursos necessários;

Para a montagem do experimento é necessário seguir algumas etapas, a saber: **a)** ter um tempo de dedicação prévia do professor; **b)** é necessário confeccionar um plano cartesiano em papel pardo (não aconselhamos o uso de cartolina, visto que, ao contrário do papel pardo, que é vendido por rolo, aquela requer emendas que podem se partir durante os trabalhos no horário da aula, além de que o papel pardo é mais maleável e versátil que a cartolina e também apresenta custo menor); **c)** é essencial prender a extremidade superior do fio a uma certa altura da mesa de trabalho, no teto ou em algum suporte (a distância entre o ponto fixo no teto e o centro de massa do funil cheio de areia será considerado o comprimento do pêndulo).

O tempo necessário para a realização e discussão desse experimento, com os estudantes, demora algo em torno de uma hora-aula de 50 minutos. O experimento é expositivo e demonstrativo, não existindo a divisão por grupos discretos de alunos. O professor coordena e direciona as ações do experimento e os estudantes observam e acompanham no roteiro (Anexo 1), participando apenas durante as medições das grandezas envolvidas (como período, frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação da onda).

2.1 FORMA DE IMPLEMENTAÇÃO

Na questão específica do Colégio Militar de Porto Alegre, os experimentos realizados no laboratório de Física fazem parte da disciplina de Física para os três anos do Ensino Médio, abarcando também atividades com o Ensino Fundamental, mais particularmente com o Sexto e o Nono Anos. Ou seja, acontecem em tempo de aula. Sendo parte da aula, deverá ser avaliado como tal. Para cada disciplina que possui três horas-aula semanais deverá existir, minimamente, três *avaliações parciais* realizadas ao longo do trimestre e uma *avaliação de estudos* ao final de cada trimestre, que abrange todos os assuntos estudados durante o trimestre. No nosso caso particular, o ensino da Física no Segundo Ano do Ensino Médio ocupa três períodos de aula semanais e um desses períodos contempla atividades no laboratório de Física. Nesse aspecto

somos privilegiados pelo fato de possuímos uma sala específica para abrigar um laboratório de Física que contém equipamentos que englobam atividades experimentais que abrangem todos os assuntos dos três anos do Ensino Médio (e, claro, conseqüentemente abrange também o Ensino Fundamental, como já foi apontado).

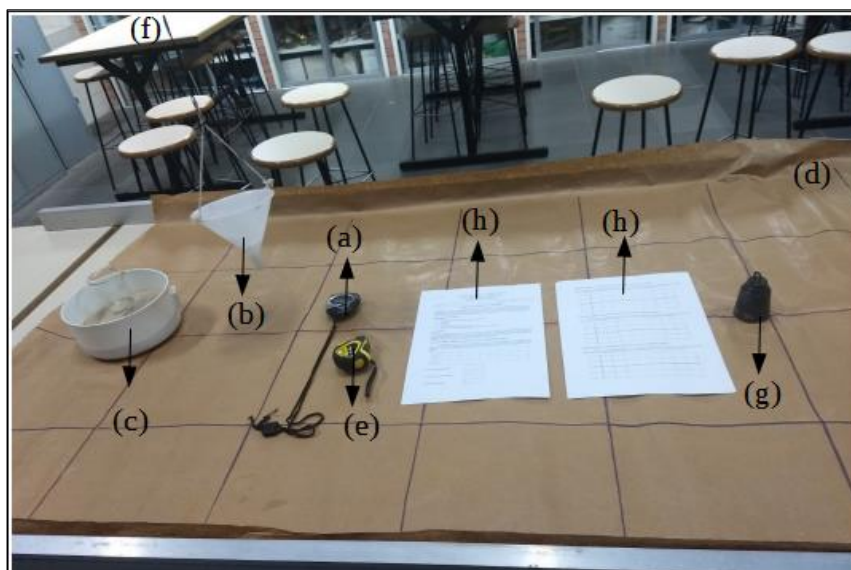
Para cada experimento realizado no laboratório de Física os estudantes recebem um roteiro de atividades para realizar e acompanhar o experimento (demonstrativo ou investigativo). Nesse roteiro existem atividades que os alunos devem trabalhar (conforme exemplo no anexo 1) e após a realização do experimento, ao término da aula, o roteiro deverá ser entregue ao professor para ser avaliado. A média dos trabalhos de laboratório constitui a terceira avaliação parcial para cômputo de média final.

2.2 EQUIPAMENTOS

Para a realização desta atividade experimental são necessários os seguintes equipamentos (conforme Figura 1):

- (a) 3 cronômetros centesimais;
- (b) 1 funil;
- (c) 1 caixa contendo areia;
- (d) 2 metros de papel pardo;
- (e) 1 fita métrica milimetrada;
- (f) 1 cordão;
- (g) 1 objeto com massa aproximada de 200 *gramas*;
- (h) 1 roteiro para acompanhamento da atividade (confeccionado para o aluno pelo professor), conforme Anexo 1.

FIGURA 1 – Equipamento utilizado na montagem e execução do experimento do pêndulo traçador.



A montagem do experimento consistiu em fixar a extremidade superior do pêndulo ao teto do laboratório. Como o pé-direito do laboratório de física do CMPA é bastante alto, o comprimento do pêndulo torna-se uma incógnita a ser determinada ao final do trabalho.

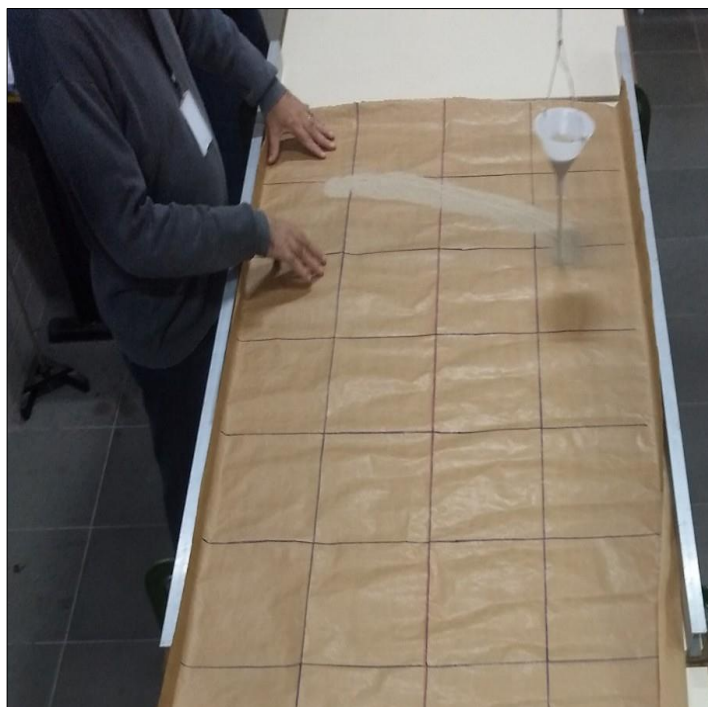
3 IMPLEMENTAÇÃO E DISCUSSÃO

A implementação aconteceu no primeiro trimestre letivo do Colégio Militar de Porto Alegre, nas dependências do laboratório didático de Física, com as cinco turmas do segundo ano do Ensino Médio. A abordagem da atividade experimental demonstrativa foi introdutória do conteúdo de ondas.

Uma vez que o experimento esteja montado, para a execução coloca-se areia no funil, tampando, inicialmente, a saída do funil com o dedo para que a areia não escoe. No momento em que é posto a oscilar ele vai traçando sua trajetória com a areia que escoar da saída do funil e deposita-se sobre o papel pardo. Inicialmente pode-se mostrar livremente o traçado de uma elipse, ou uma sequência de elipses que formam figuras muito interessantes, podendo ser apresentado como sendo uma figura de Lissajous. No instante de tempo t_0 em que o pêndulo traçador é abandonado de uma certa amplitude A , tira-se o dedo da ponta do funil e a areia começa a escoar e os cronometristas contam o tempo de dez oscilações (para minimizar o erro no cálculo do período T devido ao tempo de reação de cada pessoa).

Num segundo momento, enquanto o pêndulo traçador oscila, o professor desloca o papel pardo horizontalmente na mesa, perpendicularmente ao sentido de movimento do pêndulo. Desse modo, e a areia que vai escoando do pêndulo formará o desenho de uma onda no papel. Que fique claro que o que observamos é um pêndulo simples oscilando e não um fenômeno ondulatório, pois uma onda consiste em uma perturbação periódica no espaço. Essa perturbação é representada graficamente através de uma função seno ou cosseno, então podemos dizer que o que observamos é um fenômeno oscilatório e através dele formamos um desenho de um gráfico que representa uma onda. Através desse gráfico conseguimos introduzir as grandezas de uma onda que podem ser observadas em um desenho e associadas as grandezas de um pêndulo simples (padrão oscilatório).

A figura 2 mostra uma foto tirada no tempo $t_1 = t_0 + \Delta t$, em que o professor está puxando o papel pardo na direção horizontal, sentido para a esquerda, enquanto o pêndulo oscila. Conforme o professor vai puxando o papel e o pêndulo vai oscilando o desenho representativo da onda vai se formando.

FIGURA 2 – Foto da onda sendo formada no papel pelo pêndulo traçador.

Na figura 3, mostramos uma foto tirada no tempo $t_2 = t_1 + \Delta t$, em que aparece a representação de uma segunda crista da onda sendo formada. Com essa configuração consegue-se mostrar o que é a crista de onda, o que é o vale de onda, os nós e a amplitude. A partir desta foto é possível identificar e definir um comprimento de onda para o desenho formado a partir do padrão oscilatório em questão, ou medindo a distância entre duas cristas ou dois vales, ou medindo a distância entre três nós consecutivos. Assim, com a utilização de uma trena ou de uma fita métrica é possível medir o comprimento de onda da representação da onda formada pelo padrão oscilatório.

FIGURA 3 – Onda sendo formada no papel pardo pelo pêndulo traçador, onde já é possível definir e medir o comprimento de onda.

Na figura 4, mostramos uma foto em que o professor está medindo o comprimento de onda, com uma trena milimetrada. O comprimento de onda medido pelo professor é a distância

entre duas cristas ou dois vales consecutivos. A mesma medida é feita também escolhendo-se três nós consecutivos, ou dois vales também consecutivos.

Através da medida obtida para o comprimento de onda e do período do pêndulo traçador é possível definir e calcular outras grandezas físicas envolvidas a este experimento, como frequência e velocidade da onda.

FIGURA 4 – Medindo o comprimento de onda.



4 ANÁLISE E RESULTADOS

Percebemos que os estudantes compreendem melhor as características das ondas através de atividades experimentais (GASPAR, 2014), talvez pelo fato de o experimento facilitar a observação gráfica da onda e verificação dos dados e variáveis estudados em sala de aula ou, ainda, como introdução ao assunto. No caso específico do pêndulo traçador utilizamos como atividade introdutória ao assunto que versa sobre ondulatória, através de algo que os alunos já conhecem que são as oscilações de um pêndulo simples. Com esse desenho formando uma representação de uma onda os alunos tiveram seu primeiro contato com o formato de uma onda e suas características principais, como, por exemplo, período, frequência e comprimento de onda.

Após a implementação do experimento com todas as turmas foi feita uma breve enquete com quarenta estudantes sobre a compreensão dos conceitos envolvidos na realização do experimento. Abaixo estão transcritas as questões feitas e a quantificação das respostas.

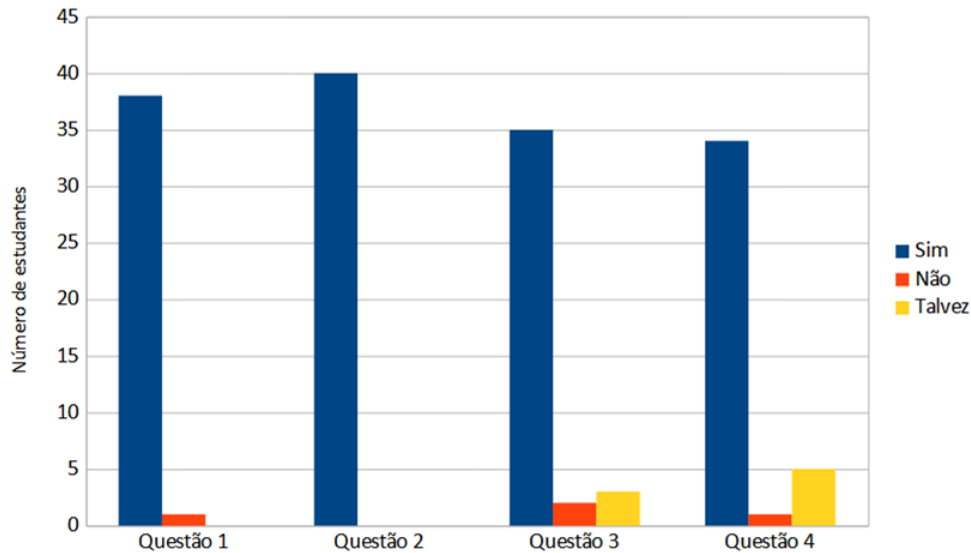
Questão 1: Você considera que o experimento do pêndulo traçador foi importante para você entender a representação gráfica do que chamamos de onda?

Questão 2: Você aprendeu algum conceito, fenômeno e/ou grandeza de ondulatória com esse experimento de oscilações?

Questão 3: Os conceitos e grandezas estudados neste experimento foram vistos e estudados por você pela primeira vez em uma atividade escolar?

Questão 4: Você consegue citar uma grandeza ou conceito da Física apreendido neste experimento e explicar a sua definição para outra pessoa?

GRÁFICO 1 – Quantificação das respostas dadas pelos estudantes nas questões acima.



No gráfico acima o eixo horizontal nos mostra as questões que foram respondidas pelos alunos e o eixo vertical mostra a quantidade de alunos que respondeu as questões. Através da análise do gráfico 1, relativo à questão 1, percebemos que a grande maioria dos estudantes considerou o experimento do pêndulo traçador importante para entender a representação gráfica de uma onda. Julgamos este um resultado muito bom e significativo para o objetivo que se propôs o experimento. A explicação dessa resposta pode ser o fato de que os estudantes conseguiam, numa forma de abstração pseudo-empírica (PIAGET, 1995) ver a representação da onda se formando no papel pardo enquanto o pêndulo oscilava. E ao final do experimento conseguiram ver a onda completa. Muitos estudantes se mostravam incrédulos que um pêndulo traçador formaria um desenho de onda e após a realização do experimento estavam “espantados” positivamente com o resultado. O percentual de “nãos” nas repostas se deveu exatamente ao fato que muitos alunos consideraram muito simples o experimento, avaliando que pelo próprio assunto ser tão simples o experimento seria dispensável.

Na questão 2, 100% dos alunos responderam que aprenderam algum conceito, grandeza e/ou fenômeno de ondulatória neste experimento de fenômeno oscilatório. Isso pode ser explicado pelo fato de o professor fazer as medições e eles participarem e observarem essas medidas e o que estava sendo analisado na figura formada. Ou, também, por ser a primeira vez que este conteúdo foi introduzido com estes estudantes em atividade escolar, o que já dá indícios da resposta dos estudantes para a terceira questão. E quando perguntamos se aprenderam “algum conceito” e não perguntamos se aprenderam “a maioria” ou “todos” os conceitos a maioria dos que responderam “não” tomaram como referência habilidades e competências já desenvolvidas ao longo das suas vidas escolares, tais como as medidas de comprimento e tempo, que são medidas de primeira ordem. Essas medidas fazem parte dos seus cotidianos e podem ser conseguidas através de instrumentos próprios, tais como uma trena, ou régua, e

cronômetro. E isso para eles não foi novo e não associaram a uma nova propriedade agregada às particularidades das ondas de maneira geral.

Na questão 3, naturalmente a maioria respondeu que estava vivenciando pela primeira vez os conceitos apresentados através deste experimento. Talvez porque o experimento foi usado como forma de introduzir esses conceitos e grandezas aos estudantes e eles não tiveram oportunidades anteriores para serem apresentados a esses conceitos e grandezas no contexto escolar. Porém, alguns conceitos já foram estudados anteriormente no conteúdo de oscilações, embora apenas agora apresentados em observação gráfica de uma onda.

A questão 4 pergunta se os alunos conseguem citar uma grandeza ou conceito de ondulatória visto no experimento do pêndulo traçador e explicar a sua definição para outra pessoa. Consideramos a resposta a essa pergunta a mais importante e a mais difícil para uma auto-avaliação em termos da aprendizagem dos alunos durante este experimento. No momento que você consegue explicar para outra pessoa o seu conhecimento, ele atinge um patamar a mais e isso é essencial neste processo de ensino-aprendizagem. Ao separarmos por hífen as palavras ensino e aprendizagem as consideramos um par indissociável. O ensinar não se separa do aprender, por isso também, a questão 4 é importante. Esse ponto muitas vezes frustra os próprios professores, uma vez que suas expectativas caem por terra ao perceber que os alunos não entendem conceitos tão evidentes nos experimentos. Na realidade, o aspecto perceptivo é mais complexo. Não percebemos com os olhos, mas com a razão. Não adianta dizer para um aluno que a frequência é o inverso do período, se na sua razão não existir o entendimento do que seja inverso matemático. Mesmo o ato de medir um comprimento, que classificamos como medida de primeira ordem, de habilidade já adquirida no histórico escolar, pode ser algo muito complexo e de difícil percepção.

5 CONCLUSÃO

Com um simples experimento como este do pêndulo traçador é possível *contribuir* muito para a aprendizagem dos alunos quanto à percepção da representação gráfica do que é uma onda, em desenho. Nossas anotações e os comentários dos alunos nos mostram um pouco disso. Segundo o comentário de um aluno, o qual nos chamou a atenção e que pode resumir bem nossas expectativas, *“através do pêndulo traçador ficou claro para ele que uma onda mecânica nada mais é que uma perturbação periódica, pois enquanto o pêndulo não oscila a onda não é formada, ou seja, é preciso ‘perturbar’ o pêndulo para formar o desenho onda”*. Além disso, percebe-se claramente a relativa facilidade de verificar que cada vez que se completa um período do pêndulo, a “onda” formada percorre um comprimento de onda (fechando um ciclo).

Outro fator interessante que merece ser relatado é a simplicidade para realizar esse experimento com materiais de fácil acesso, o que facilita sua replicação em qualquer sala, qualquer escola ou qualquer ambiente de ensino (sob a sombra de uma árvore, por exemplo). O roteiro desta atividade com a sequência de procedimentos e de tomada de medidas está em anexo a esse trabalho e pode ser reproduzido e/ou adaptado conforme as necessidades de curriculares particulares.

Mas não nos iludamos pela simplicidade da atividade na sua forma lúdica, o que atrai bastante a atenção dos alunos, como mostram os resultados. Por mais simples que seja o experimento, não podemos olvidar a existência de diferentes graus de percepção numa turma regular de sala-de-aula. Ao final das atividades do roteiro de trabalho é respondido o problema

inicialmente proposto, onde com as medidas feitas em aula, com as conclusões da relação período-comprimento do pêndulo, que eles calculem o comprimento do pêndulo e estimem a altura do teto do laboratório. Isto requer não somente um raciocínio no nível de uma abstração pseudo-empírica, como já foi mencionado. Envolve outros estados de meta-cognição que se organizam na forma de abstração reflexionante e abstração refletida (PIAGET, 1995), bem como exige um período para uma tomada de consciência (PIAGET, 1977) que não demora somente os 50 minutos de aula. Para alguns pode ser quase que instantaneamente ao “observar” o experimento acontecendo; para outros necessitam de um período maior; para outros pode ser que nunca tomem consciência das relações existentes. Não podemos esquecer que o grau de percepção de cada indivíduo depende do nível de habilidades e competências adquirida ao longo de sua vida, o que constitui sua razão.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física. Uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: LF Editorial, 2014.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. **The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century**. Science Education, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

MARLETTA, A.; FERREIRA, J. V. B. e GUIMARÃES, F. E. G. **O Pêndulo Bifilar e as Figuras de Lissajous**. Rev. Bras. Ensino de Física, 22, 4 (2000), in http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_572.pdf acessado em: 26 set. 2020.

MENDONÇA, H. M. J. **Harmonógrafo, construção, concepção e análise**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de graduação Licenciatura em Matemática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, para obtenção do título de Licenciado em Matemática. 2015, in https://intranet.ifs.ifsuldeminas.edu.br/marcelo.reis/publicacoes/tcc_hans_2015.pdf acessado em: 26 set. 2020.

PIAGET, J. **A tomada de consciência**. Com a colaboração de A. Blanchet (e outros). Trad. De Edson Braga de Souza. São Paulo: Melhoramentos, EDUSP. 1977.

PIAGET, J. **Abstração reflexionante: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais**. Trad. Fernando Becker e Petronilha B. G. da Silva. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

POZO, J. I. (Org.). **A solução de problemas: aprender a resolver problemas, resolver problemas para aprender**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

RICHTER, S. S. **Sequência de atividades didáticas para uma abordagem fenomenológica da ondulatória em uma perspectiva de sala de aula invertida**. Tese de doutorado, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/14587> acessado em 29 ago.2020.

ANEXO 1 – Roteiro da atividade experimental a ser impresso e entregue aos estudantes no início da atividade

COLÉGIO MILITAR DE PORTO ALEGRE

Laboratório de Física

Nome: N°:Turma: Data:.....

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ONDAS A PARTIR DE UM PÊNDULO

A atividade de hoje é uma atividade experimental demonstrativa. Isto é, participamos da atividade não trabalhando em grupos, mas formando um grande grupo em torno da atividade propriamente dita, que é conduzida pelo professor. Para tanto, sua participação é importante no sentido de anotar todas as informações, determinar todas as medidas, desenhar diagramas, gráficos etc., que forem produzidos para e pelo grande grupo.

Equipamento a ser utilizado:

- Um pêndulo traçador de comprimento (L) desconhecido;
- Areia fina;
- Uma trena milimetrada;
- Uma régua milimetrada;
- Cinco cronômetros digitais centesimais;
- Uma folha de papel pardo para receber a areia que cairá do pêndulo

Procedimentos:

Inicialmente, tomaremos conhecimento do funcionamento do pêndulo traçador. A seguir, o professor-orientador irá colocar o pêndulo a funcionar. À medida que o pêndulo oscilar, ele irá derramar areia sobre o papel pardo, de maneira a deixar marcada com areia a trajetória executada enquanto oscila. O papel pardo será puxado com diferentes velocidades e, com isto, veremos a formação de diferentes ondas.

Primeira Atividade – Introdução: medida da *amplitude*, do *período* e da *frequência* prováveis do pêndulo.

O pêndulo será colocado a oscilar, inicialmente sem a areia. Com isto, utilizaremos os cronômetros para fazermos 10 medidas de tempo (Δt) de 10 oscilações. Após anotarmos esses resultados, encontraremos o valor provável do *período* (T) do pêndulo, bem como sua *frequência* (f) provável. Anote os resultados na tabela abaixo.

t_{10} (s)									
T (s)									
f (Hz)									

$$T = \dots\dots\dots$$

Valor provável do período:

$$f = \dots\dots\dots$$

Valor provável da frequência:

$$A = \dots\dots\dots$$

Medida da amplitude:

Segunda Atividade – Construção de uma primeira onda com o pêndulo traçador.

Nesta atividade o professor orientador irá puxar o papel-pardo lentamente. Observe bem o desenho formado com a areia sobre o papel pardo. Reproduza este desenho no espaço abaixo, nos seus mínimos detalhes e participe da apresentação das diferentes partes e medidas de uma onda:

Terceira Atividade – Construção de uma segunda onda com o pêndulo traçador.

Nesta atividade o professor orientador irá puxar o papel-pardo rapidamente (mais rápido que na Segunda Atividade). Observe bem o desenho formado com a areia sobre o papel pardo. Reproduza este desenho no espaço abaixo, nos seus mínimos detalhes e participe da apresentação das diferentes partes de uma onda:

Quarta Atividade – Conclusões e medida do comprimento do pêndulo traçador.

Uma vez feitas as discussões a respeito do comportamento do pêndulo traçador e retomando a relação entre período e comprimento do pêndulo descobertas na aula passada, determine o valor do comprimento do pêndulo e estime a altura do teto do laboratório. Escreva no espaço abaixo seu raciocínio com o maior numero de detalhes possíveis.

ANEXO 2 – Comentários sobre a atividade experimental

Primeira Atividade – Esta primeira atividade constitui-se no reconhecimento do pêndulo. Inicialmente solicita-se que cinco alunos se apresentem como voluntários para atuarem como cronometristas. O pêndulo é posto a oscilar sem areia, mas contendo a massa de 200 gramas dentro para anotarmos suas características. Ao final da contagem de dez oscilações anotam-se na tabela e no quadro as cinco medidas das dez tomadas de tempo fornecidas pelos cronometristas; repete-se a atividade e completa-se a tabela com os alunos calculando, individualmente ou em grupos, os valores do período (T) e frequência (f). É calculado também os valores prováveis do período e da frequência e fornece-se o valor da amplitude (A) da qual o pêndulo foi solto.

Segunda Atividade – Retira-se a massa de 200 gramas de dentro do funil do pêndulo e coloca-se areia. Solta-se o pêndulo e ele começa a traçar com a areia derramando sobre o papel sua trajetória. À medida que a areia derrama e o pêndulo oscila o papel vai sendo puxado lentamente à medida que o desenho da onda vai se formando. Uma vez constituída uma onda inteira, ou onda e meia, para-se de puxar o papel e isola-se o pêndulo para iniciarem as medidas. Nesta etapa mostra-se como se mede o comprimento de onda, o que é um vale, o que é uma crista, o que são nós, o que são nós consecutivos e não consecutivos. Questiona-se sobre o valor do período da onda e sua frequência (que são os mesmos do pêndulo). Uma vez de posse dessas informações pergunta-se como se procede para calcular a velocidade da onda. (ou rapidez da onda) Recorre-se à definição de rapidez estudada na Mecânica. Então, utilizando o quadro partimos para a demonstração dividindo o comprimento de onda pelo período. Os alunos desenham a onda em seus roteiros no espaço reservado para isso.

Terceira Atividade – Repete-se a atividade anterior, porém dessa vez puxa-se o papel com maior rapidez que a anterior. Discute-se então o aspecto da onda. Questiona-se onde, visualmente, o comprimento de onda foi maior. Onde foi menor? Os alunos desenham a onda em seus roteiros e pede-se agora que eles calculem o valor da rapidez de propagação da onda. É importante que nessas duas atividades o professor sempre chame a atenção para as características comuns do pêndulo e da onda (período, frequência e amplitude).

Quarta Atividade – Tomando a relação obtida na aula anterior, que relaciona o período com o comprimento da onda, isto é, a relação obtida experimentalmente em aula,

$$T = 2,00\sqrt{L}$$

pede-se que eles calculem o comprimento do pêndulo e com esse valor estime, sem usar trenas ou régua, qual é a altura do teto do laboratório de física. Uma vez realizado isso eles entregam os seus roteiros individualmente para avaliação.

Obs.: Se a aula anterior não foi experimental, mas os alunos estudaram expositivamente a relação clássica $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ não tem problema, pois o resultado vai dar no mesmo e ainda vai reforçar o aspecto formal daquela relação.

ANEXO 3 – Imagens da atividade experimental com os alunos no laboratório

