

O TUBO DE KUNDT COMO FERRAMENTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL PROBLEMATIZADORA

KUNDT'S TUBE AS A TOOL FOR THE DEVELOPMENT OF A PROBLEMATIZING EXPERIMENTAL ACTIVITY

Alessandro Damasio Trani Gomes¹

Claudio de Oliveira²

Fernando Otávio Coelho³

Resumo

Neste trabalho, descreve-se uma intervenção pedagógica desenvolvida no âmbito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID/CAPES). Faz-se uma revisão dos trabalhos publicados que versam sobre a utilização do tubo de Kundt com viés pedagógico. Avalia-se a execução de uma atividade experimental problematizadora, centrada na utilização do tubo de Kundt para o ensino de conceitos relacionados à acústica e as manifestações espontâneas de aprendizagem de 22 alunos do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de uma cidade no interior de Minas Gerais. Com o aparato construído é possível determinar, experimentalmente, a velocidade de propagação das ondas sonoras e demonstrar visualmente os efeitos de interferência e de ressonância das ondas no tubo, permitindo que alunos deficientes auditivos também possam participar da atividade. Os dados foram coletados por meio de um questionário. Os resultados indicam que os alunos gostaram da atividade e aprenderam, especialmente, sobre os elementos de ondas, ondas estacionárias, harmônicos e ressonância.

Palavras chave: Tubo de Kundt. Acústica. PIBID. Ensino de Física.

Abstract

This work describes a pedagogical intervention developed in the Institutional Scholarship Program for Teaching Initiation context. A review is made of the published works that deal with using Kundt's tube for pedagogical purposes. The activity was centered on the use of Kundt's tube to teach concepts related to acoustics. The spontaneous manifestations of learning of 22 students in the third year of high school

¹ Doutor em Educação pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto do Departamento de Ciências Naturais e do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de São João del-Rei.

² Doutor em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto da Universidade Federal de São João del Rei.

³ Mestre em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor da Universidade Federal de São João del Rei.

in a public school in São João del-Rei city (Minas Gerais) were evaluated. The device allows the measurement of the speed of sound and the visual demonstration of the effects of interference and resonance of waves in the tube, allowing hearing-impaired students to also participate in the activity. Data were collected through a questionnaire and applied at the end of the activity. The results indicate that the students enjoyed the activity and, especially, learned about the elements of waves, standing waves, harmonics, and resonance.

Keywords: Kundt's tube. Acoustics. PIBID. Physics Education.

Introdução

A importância do ensino de Física nas escolas deve estar relacionada com a interação do indivíduo com a sociedade e o mundo que o cerca. Esse ensino implica na conquista de uma compreensão adequada dos conceitos físicos que permeiam o cotidiano das pessoas, no conhecimento para avaliar e julgar, com fundamento, as informações advindas da tradição cultural, da mídia e da própria escola e na capacidade de tomar decisões autonomamente, enquanto indivíduos e cidadãos.

Um dos problemas atuais é a desvinculação do Ensino de Física com a realidade vivenciada pelos alunos, sendo, muitas vezes, tratada como apenas uma aplicação da Matemática, cheia de conceitos abstratos, situações idealizadas e problemas descontextualizados, o que dificulta a compreensão dos estudantes em várias áreas da Física.

As dificuldades encontradas pelos estudantes, especificamente na aprendizagem de acústica e ondas, vêm sendo debatidas e estudadas há anos (ESHACH; LIN; TSAI, 2016; MAURINES, 1992; VIENNOT, 2001). Estes estudos evidenciam que os alunos tendem a associar a propagação de ondas ao movimento de objetos através do meio, visto que o caráter ondulatório dos fenômenos e sistemas não é evidente, por serem invisíveis e serem muito abstratos. Além disso, como explicam Pacca e Utges (1999), o modelo ondulatório tem seus fundamentos na Física do contínuo, onde as grandezas consideradas caracterizam campos escalares ou vetoriais, cujas variações no espaço e no tempo conduzem às equações de onda que caracterizam a propagação. Esses modelos matemáticos, devido ao seu nível de dificuldade, não podem usualmente ser abordados de modo completo no Ensino Médio, tornando o tema pouco explorado nesse nível de ensino.

Considerando as dificuldades conceituais e as compreensões dos fenômenos ondulatórios distantes do que se espera em termos de aprendizagem científica, o

Tubo de Kundt pode funcionar como um instrumento muito valioso para o ensino de Física, uma vez que a devida compreensão destes fenômenos pode contribuir significativamente para o entendimento tanto da Física clássica quanto da Física moderna (HREPIC; ZOLLMAN; REBELLO, 2010).

Sua utilização pode ajudar no processo de construção do conhecimento físico sobre ondas sonoras por ser um aparato experimental capaz de fornecer condições experimentais para se explorar vários fenômenos, tais como ondas em tubos, cálculo de velocidade de propagação de ondas, ressonância, ondas estacionárias etc.

A atividade apresentada neste trabalho é parte de uma sequência didática desenvolvida por membros do subprojeto de Física do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID/CAPES), organizada segundo a dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos, propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). A sequência didática centra-se na realização de uma atividade experimental problematizadora, por meio da utilização de um tubo de Kundt para o ensino de conceitos relacionados à acústica.

O objetivo deste trabalho é analisar a execução da atividade experimental e buscar identificar manifestações espontâneas de aprendizagem de 22 alunos do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de uma cidade no interior de Minas Gerais.

Aporte teórico

O tubo de Kundt é um dispositivo experimental desenvolvido por August Adolf Eduard Kundt, em 1866 e reportada na revista *Annalen der Physik und Chemie* com o título *‘Über eine neue Art akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen’*⁴ (KUNDT, 1866).

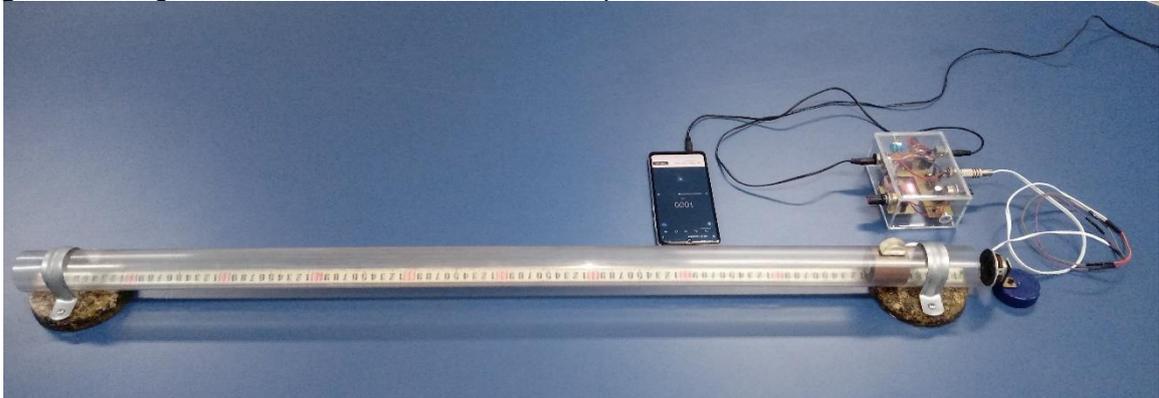
A utilização do tubo de Kundt proporciona ao professor de Física do Ensino Médio um instrumento prático para trabalhar conceitos elementares de teoria ondulatória e acústica em sala de aula, permitindo que os alunos possam, inclusive, medir a velocidade do som na onda estacionária dentro do tubo.

⁴ Sobre uma nova forma de figuras de poeira acústicas e sobre o emprego das mesmas para determinar a velocidade do som em corpos rígidos e gases. Tradução dos autores.

Sabe-se que o som se propaga em meios materiais na forma de ondas. Sua velocidade de propagação depende do meio onde se propaga e a propagação do som em um gás depende da sua temperatura. No ar, à temperatura de 20°C (293 K), a velocidade do som é de aproximadamente 343 m/s (YOUNG; FREEDMAN, 2003; NUSSENZVEIG, 1999).

Pensando na falta de materiais das escolas públicas para as aplicações de atividades experimentais demonstrativas, em especial quando se trata do conteúdo de ondas sonoras, membros do subprojeto de Física do PIBID/CAPES fizeram uma adaptação desse dispositivo. Ele consiste em um tubo de PVC transparente com uma fita métrica adaptada em seu interior, que permite medir o comprimento de onda da onda sonora (figura 1). Em seu interior encontra-se um êmbolo móvel que permite variar o comprimento do tubo, no qual se propaga a onda e em uma extremidade é colocado um alto-falante, ligado a um gerador de áudio frequência. Com a frequência pré-determinada e o comprimento de onda da onda medido pela fita métrica, pode-se medir a velocidade do som no ar.

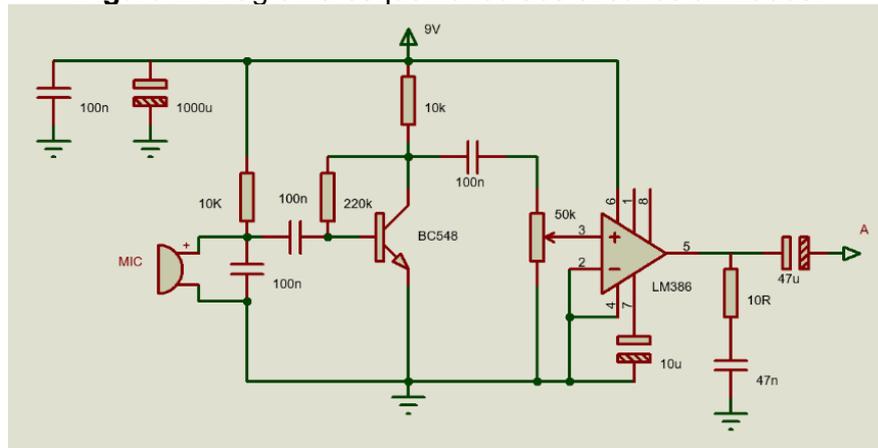
Figura 1: Imagens do tubo de Kundt construído pelos membros do PIBID de Física da UFSJ.



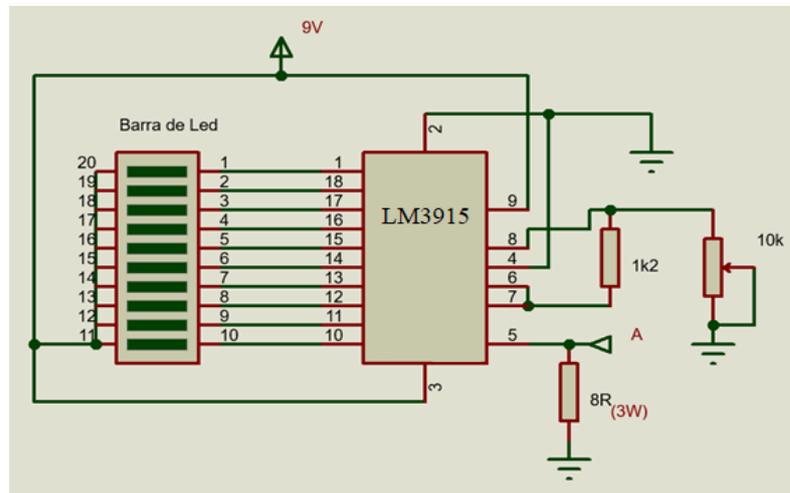
Fonte: Autores.

A versão do tubo de Kundt desenvolvida, conta com a adaptação de um dispositivo indicador da intensidade sonora com LEDs, vumetro (VU), que emite sinais luminosos para que sejam identificados os harmônicos ao longo do tubo. No aparato eletrônico utilizado nesse experimento há um microfone, circuitos eletrônicos (figura 2) e um alto-falante. O microfone capta o sinal sonoro emitido e o transforma em impulso elétrico. Ao chegar ao VU, esse impulso elétrico é convertido em sinal luminoso e emitido pelos LEDs.

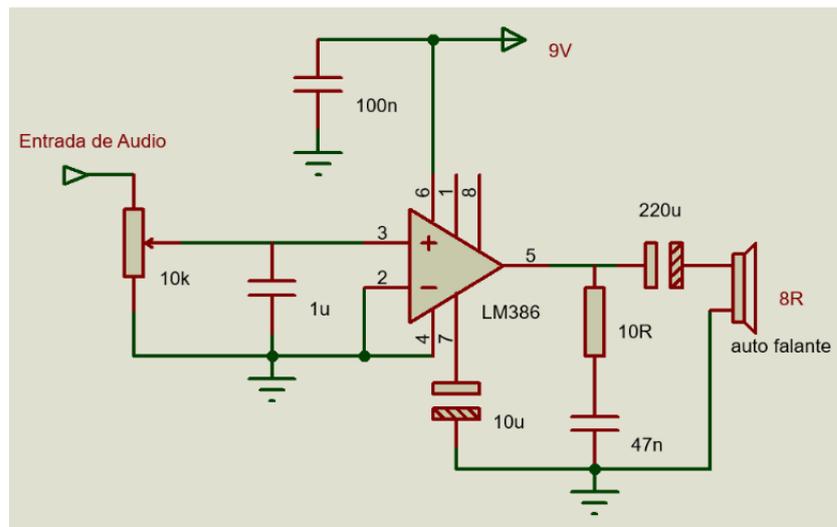
Figura 2: Diagrama esquemático dos circuitos utilizados.



(a) Módulo de captação do som.



(b) Módulo VU de LED.



(c) Módulo de saída de áudio.

Fonte: Autores.

Na figura 2-a é mostrado o módulo de captação do som que consiste em um microfone de eletreto ligado a um pré-amplificador classe A (transistor BC548) para se ter um ganho de tensão; seguido de um amplificador classe AB de baixa potência (< 1 W) (circuito integrado LM386). Sua saída A é ligada à entrada A do módulo VU de LED (Figura 2-b). O potenciômetro de 50 k Ω ligado à entrada do LM386 controla a sensibilidade do microfone.

Na figura 2-b tem-se o módulo VU de LED. O resistor de 8 Ω (3 W) na entrada opera como carga para excitação do circuito integrado do VU (LM3915, circuito integrado dedicado para VU de LED). O potenciômetro de 10 k Ω ajusta o funcionamento do VU.

Módulo de saída de áudio (figura 2-c) tem sua entrada de áudio conectada por intermédio de um cabo P2 com a saída para fone de ouvido de um *smartphone*, operando um aplicativo gerador de sinal senoidal com frequência ajustável. O circuito integrado LM386 é um amplificador classe AB (< 1 W) de baixa potência, com sua saída excitando diretamente um autofalante de 8 Ω .

Com o aparato original, é inviável a sua utilização com alunos surdos e/ou com baixa audição, pois haveria a limitação auditiva necessária para otimizar o experimento. No entanto, a adaptação realizada permite que todos os alunos participem da atividade e consigam perceber a variação da intensidade sonora ao longo do tubo, na medida em que o êmbolo o percorre, seja pelo sinal sonoro original ou pelo sinal luminoso, promovendo uma inclusão efetiva.

O tubo de Kundt e o ensino de Física

Com a finalidade de identificar trabalhos que abordam a utilização do tubo de Kundt para o ensino de ondas sonoras e conteúdos correlatos, buscou-se artigos nos periódicos nacionais de Educação em Ciências e de Ensino de Física e nos anais dos principais congressos da área.

Foram identificados 13 trabalhos, sendo onze artigos publicados em periódicos e dois trabalhos apresentados em eventos da área. O quadro 1 mostra a relação dos trabalhos identificados, com informações sobre o ano de publicação, autoria, título do trabalho e periódico/evento no qual o trabalho foi publicado/apresentado.

Quadro 1: Relação de trabalhos que abordam tubo de Kundt.

Ano	Autor	Título	Revista/ Evento
1991	Arnaldo José Santiago; Carlos Augusto de Azevedo; R. A. Gonçalves Ledo	Teor didático de um tubo de Kundt: Análise qualitativa de um experimento	Revista de Ensino de Física
2005	Sérgio da Costa Saab; Fábio Augusto Meira Cássaro; André Maurício Brinatti	Laboratório caseiro: Tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2010	Anderson R. Souza; Carlos E. Aguiar	Observando ondas sonoras	XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física
2011	Anderson R. Souza; Carlos E. Aguiar	Pressão e deslocamento nas ondas sonoras	XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física
2013	Marisa Almeida Cavalcante	Novas tecnologias no estudo de ondas sonoras	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2014	Fábio Ramos da Silva; Meire Stéffani Brito Século	Um Tubo de Ressonância Alternativo para o Ensino de Ondas Sonoras Estacionárias	Arquivos do MUDI
2014	L. P. Vieira, D. F. Amaral e V.O.M. Lara	Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões	Revista Brasileira de Ensino de Física
2015	Camila e Silva Gomes; Javier García López	Uma abordagem de Física Experimental com um olhar na Matemática	Revista Eletrônica da Matemática
2017	Daniel Cosmo Pizetta; Adilson Barros Wanderley; Valmor Roberto Mastelaro; Fernando Fernandes Paiva	Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias	Revista Brasileira de Ensino de Física
2017	Luiz Fernando Ferreira dos Santos, Alexandre Lopes de Oliveira	Experimento em tubo sonoro: aprendendo a usar o Sweep Gen com o tubo de Kundt	Revista Ciências & Ideias
2017	Theo Z. Pavan	Entendendo as limitações do uso das figuras de Lissajous para medir a velocidade do som	Revista Brasileira de Ensino de Física
2017	Deise Benn Pereira Vivas; Elder Sales Teixeira; Juan Alberto Leyva Cruz	Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras.	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
2019	Claudia Santos do Nascimento Vilas Bôas Moacir Pereira de Souza Filho	Ressonância em tubos de garrafas “pet”: uma opção de baixo custo para tubos de Kundt	Experiências em Ensino de Ciências

Fonte: Autores.

Santiago, Azevedo e Ledo (1991) descrevem a construção de um tubo de Kundt de baixo custo. Por meio de uma atividade experimental utilizando uma barra metálica para excitar o tubo, eles fizeram medições para testar a eficácia do tubo e relataram as dificuldades encontradas. Seu intuito foi possibilitar aos alunos uma ferramenta que permita manusear o aparato e fazer a atividade prática individualmente.

Já Saab, Cássaro e Brinatti (2005) propõem um experimento simples e acessível aos professores, utilizando um tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt. Além da sugestão de montagem e aplicação, os autores realizaram medições para verificar a eficácia do aparato desenvolvido.

Souza e Aguiar (2010; 2011) descrevem uma experiência que permite mapear a intensidade sonora no interior de um tubo de Kundt, fornecendo imagens de fácil compreensão e forte apelo intuitivo, que podem ser diretamente comparadas às previsões da teoria ondulatória. Os autores utilizam um computador para produzir a onda sonora e, ao mesmo tempo, gravar o som no interior tubo, por meio da placa de som e sugerem que a atividade seja desenvolvida com alunos do Ensino Médio. Com ela, os alunos podem visualizar os padrões associados a diferentes ondas estacionárias, discutir os resultados em termos da pressão ou do deslocamento do ar.

Cavalcante (2013) propõe a construção de um tubo de Kundt adaptado às novas tecnologias disponíveis para o ensino de Física. Para isso, utiliza um microcontrolador Arduino e os recursos computacionais que ele oferece em experimentos didáticos envolvendo o estudo de ondas sonoras.

Silva e Século (2014) demonstram a construção de tubo de Kundt a partir de materiais recicláveis, reutilizáveis e de baixo custo e utilizam a voz humana para produção dos padrões de ressonância.

Vieira, Amaral e Lara (2014) falam sobre a dificuldade de se trabalhar ondas sonoras utilizando apenas livros, devido à dificuldade de se representar as ondas estacionárias nestes, principalmente quando se trata de ondas sonoras em tubos. A partir disso, eles propõem dois experimentos que podem ser utilizados para se discutir ondas estacionárias em tubos semiabertos, utilizando um tubo de vidro e dois aplicativos para *tablets* ou *smartphones*, um para ser a fonte sonora e outro para realizar medidas da onda sonora formada no interior do tubo.

Gomes e López (2015) utilizam experimentos com o tubo de Kundt para aproximar o Ensino de Física e o de Matemática, em uma perspectiva interdisciplinar, promovendo discussões de conceitos matemáticos em turmas do Ensino Médio.

Pizetta et al. (2017) fazem uma montagem experimental de um tubo de Kundt automatizado para medidas de maior precisão. Os autores adaptaram o sistema usual para ser automatizado e para que permitisse a movimentação do êmbolo e do microfone de forma independente. Os resultados obtidos estão em acordo com a teoria e mostram quais parâmetros afetam, de forma mais significativa, os

experimentos em relação à montagem tradicional, como, por exemplo, a falta de vedação entre o alto-falante e o tubo. Além de permitir uma correta interpretação do fenômeno, a utilização do sistema proposto permitiu a observação de resultados experimentais que, normalmente, não são discutidos quando este tipo de experimento é realizado.

Santos e Oliveira (2017) descrevem uma atividade prática com a finalidade de mostrar a formação dos harmônicos em um tubo sonoro fechado nas duas extremidades. A geração das ondas estacionárias ocorreu por meio do software livre Sweep Gen, o qual é descrito em detalhes no artigo.

Pavan (2017) utiliza um aparato experimental com o tubo de Kundt para analisar e descrever as limitações do uso das figuras de Lissajous para medir a velocidade do som. O autor adicionou um vibrômetro laser à montagem tradicional para adquirir a informação de velocidade de deslocamento da película do alto-falante.

Vivas, Teixeira e Cruz (2017) propõem dois experimentos didáticos, um mecânico e outro eletrônico, que podem ser utilizados para ensinar ondas sonoras para alunos surdos. A versão mecânica consiste em um aparato formado por uma caixa acústica feita de uma cabaça simulando um tambor com alguns grãos na sua superfície, para que, ao vibrar, os grãos possam se rearranjar no formato da configuração da onda sonora correspondente à frequência emitida. Na versão eletrônica, foi construído um dispositivo óptico para mostrar as propriedades que caracterizam a onda sonora da voz humana. Ele possui um microfone dentro de um tubo que capta o som da voz, que transforma a energia da voz em energia elétrica. Em seguida, essa energia elétrica é convertida em energia luminosa por meio de LEDs.

Vilas Bôas e Souza Filho (2019) constroem um tubo de Kundt a partir de garrafas pet. A atividade foi proposta a três alunos voluntários do Ensino Médio e os autores puderam verificar que a realização da aula experimental proporcionou aos alunos uma motivação muito maior que a aula meramente expositiva, funcionando como um organizador prévio que possibilitou aos alunos a compreensão dos principais conceitos abordados.

O levantamento evidenciou que o número de trabalhos que abordam ondas sonoras com o auxílio do tubo de Kundt é relativamente reduzido, sobretudo entre 1990 e 2010. Nos trabalhos consultados, podemos observar a tentativa da utilização de métodos experimentais para a aplicação de conceitos de ondas sonoras que são

de difícil compreensão, muito por conta da abstração dos conceitos envolvidos e da ênfase nas demonstrações teóricas de suas equações e leis.

Quanto aos artigos relacionados às experiências em sala de aula, encontramos apenas propostas para o desenvolvimento de atividades experimentais para utilização em aulas de laboratório, algumas com a utilização de computadores, microcontroladores ou *smartphones*. No entanto, não são relatadas pesquisas nas quais se aplicam essas metodologias em situações concretas de ensino.

Encaminhamento metodológico

A sequência didática foi desenvolvida por membros do subprojeto de Física do PIBID da Universidade Federal de São João del-Rei e teve como público-alvo uma turma de 22 alunos do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de uma cidade do interior de Minas Gerais. Todos os alunos participantes assinaram um termo de assentimento e seus responsáveis, o termo de consentimento livre e esclarecido antes da realização da pesquisa, fornecendo aos participantes toda a garantia de integridade física e moral, livre participação e anonimato.

A atividade desenvolvida

A atividade experimental problematizadora ocorreu na 5ª aula de uma sequência didática desenvolvida para o ensino de ondas e acústica. A sequência foi organizada segundo a dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos: (i) problematização inicial; (ii) organização do conhecimento; e (iii) aplicação do conhecimento, propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002).

Segundo os autores, o primeiro momento consiste na apresentação de situações reais e fenômenos do conhecimento dos alunos e/ou que fazem parte do cotidiano deles. Os alunos são devidamente instigados a expor o que pensam sobre o assunto. As ideias e conhecimentos explicitados pelos alunos são, então, problematizados a partir do fomento de questionamentos coordenado pelo professor. A meta da problematização é a de preparar a introdução do conceito científico no momento seguinte, isto é, na organização do conhecimento (GEHLEN; MALDANER; DELIZOICOV, 2012).

O segundo momento consiste na apresentação e estudo sistematizado das situações e dos fenômenos apresentados. Neste momento, o professor aborda os conhecimentos necessários à devida compreensão da problematização inicial por meio de situações de aprendizagem e ferramentas didático-pedagógicas diversas, promovendo a apropriação crítica dos conhecimentos.

O terceiro momento consiste na aplicação do conhecimento construído, momento no qual os alunos são capacitados a articular e transferir seus conhecimentos para analisar e interpretar novas situações reais propostas pelo professor. Para Pierson (1997, p. 156), os três momentos:

Devem se suceder no processo de ensino e aprendizagem: o primeiro momento de mergulho no real, o segundo caracterizado pela tentativa de apreender o conhecimento, já construído e sistematizado, relacionado a este real que se observa e o terceiro momento de volta ao real, agora de posse dos novos conhecimentos que permitam um novo patamar de olhar.

Os momentos de problematização e organização do conhecimento ocorreram nas quatro aulas anteriores, por meio de aulas expositivas dialogadas, simulações disponíveis no site do projeto PhET da Universidade de Colorado Boulder, discussão de texto de divulgação científica, utilização de aplicativo para *smartfone* (Frequency Generator) e vídeo do Youtube.

Para o momento de aplicação do conhecimento, os alunos foram desafiados, por meio de uma atividade experimental problematizadora, a determinar a velocidade de propagação do som no ar utilizando o tubo de Kundt.

A experimentação problematizadora se fundamenta na pedagogia de Paulo Freire, ao afirmar que “na pedagogia problematizadora, o professor deve suscitar nos estudantes o espírito crítico, a curiosidade, a não aceitação do conhecimento simplesmente transferido” (FREIRE, 2005, p. 67).

Para Francisco Júnior, Ferreira e Hartwig (2008), a experimentação problematizadora vai além das atividades investigativas, na medida em que se propõe, além da resolução do problema proposto, a discussão conceitual dos experimentos. “Esse tipo de experimentação favorece a discussão, possibilitando a ampliação das reflexões e possibilidades de transferência e aplicação do conhecimento em outros contextos. (TAHA et al., 2016).

A atividade experimental problematizadora deve propiciar aos estudantes a possibilidade de realizar, registrar, discutir com os colegas, refletir, levantar hipóteses, avaliar as hipóteses e explicações, discutir com o professor todas as etapas do experimento. Essa atividade deve ser sistematizada e rigorosa desde a sua gênese, despertando nos alunos um pensamento reflexivo, crítico, fazendo os estudantes sujeitos da própria aprendizagem (FRANCISCO JÚNIOR; FERREIRA; HARTWIG, 2008, p.36).

O objetivo da atividade era calcular, por meio das medidas do comprimento de onda para diferentes frequências, a velocidade do som no meio e verificar o fenômeno de ressonância através da observação das variações da intensidade de uma onda sonora no seu estado estacionário em relação ao estado de propagação normal. A atividade foi planejada para ser desenvolvida em uma aula de 50 minutos.

O tubo de Kundt foi apresentado aos alunos, que puderam explorar o seu funcionamento e manusear o equipamento. Coletivamente, por meio do diálogo e a devida orientação dos bolsistas do PIBID e da professora supervisora (também participante do PIBID), os alunos da turma definiram os procedimentos, os cuidados experimentais, as formas de registro e análise dos dados, tendo em vista o problema inicialmente proposto. Para maior conforto auditivo, foram distribuídos protetores auriculares para os participantes, durante a execução da atividade.

À medida que a atividade se desenvolveu, explicações sobre os conceitos envolvidos e mais detalhes sobre o funcionamento do tubo foram debatidos. Os alunos puderam investigar os efeitos da variação da frequência da fonte sonora e realizaram medidas do comprimento de onda para as diversas ondas estacionárias obtidas. Os alunos registraram os dados medidos em uma tabela que foi utilizada para a construção do gráfico $f \times 1/2d$, onde d é a distância entre dois nós consecutivos. Seguindo os cálculos propostos em Saab, Cássaro e Brinatti (2005) e a análise do gráfico construído, os alunos determinaram, com sucesso, um valor bem próximo à velocidade de propagação do som no ar.

Instrumento de pesquisa

Para identificar em que medida os alunos aprovaram a atividade desenvolvida, se ela contribuiu para que eles aplicassem o que haviam aprendido nas aulas anteriores e aprendessem mais sobre os conceitos físicos relativos às ondas sonoras e ao tubo de Kundt, elaborou-se um pequeno questionário composto por 6 questões conforme o Quadro 2 abaixo. O questionário foi aplicado no início da aula

A quarta questão perguntava explicitamente o que os alunos aprenderam com a experimentação utilizando o tubo de Kundt. A seguir, têm-se algumas das respostas dos alunos para essa questão:

- *“Aprendi sobre ondas estacionárias, a variação de frequência e a mudança de intensidade sonora”.*

- *“Aprendi a colocar em prática tudo o que foi estudado. Ajudou a fixar e entender melhor ondas estacionárias”.*

- *“Eu aprendi sobre ondas estacionárias e harmônicos e como calcular a velocidade do som.”*

- *“Eu toco flauta e aprendi que na flauta também forma onda estacionária e ressonância”.*

- *“Aprendi sobre as ondas estacionárias e como elas são na prática. Além disso, aprendi a identificá-las”.*

- *“Eu aprendi como identificar os picos e vales de uma onda sonora e medir o seu comprimento de onda”.*

No geral, os alunos citaram que aprenderam e/ou fixaram seu entendimento sobre ondas estacionárias, frequência e amplitude de ondas sonoras e como se medir o comprimento de onda.

O único aluno que assinalou NÃO em resposta à questão 3 respondeu que aprendeu sobre diferentes frequências sonoras. Outros dois alunos responderam que aprenderam sobre a análise gráfica que foi feita, colocando em evidência que a atividade contribuiu para o desenvolvimento de habilidades relativas à construção e análise gráfica.

- *“Aprendi sobre análise gráfica, harmônicos e tubo de Kundt”.*

- *“Análise gráfica foi o que fixei de mais interessante”.*

A quinta questão solicitava que os alunos indicassem o que eles gostaram e/ou os aspectos positivos das aulas ministradas pelos integrantes do PIBID. Como exemplificação, transcrevemos abaixo as respostas de três alunos:

- *“Foi participativa, os integrantes explicaram as dúvidas de maneira fácil, manusear o tubo de Kundt”.*

- *“Os slides eram bem-organizados e a explicação foi excelente. No experimento os integrantes tiveram uma grande consideração pelos alunos ao oferecer protetores auriculares. Foi a salvação de muitos (inclusive eu). Gostei muito da disponibilidade dos integrantes e a interação deles com os alunos”.*

- *“A aula interativa, o jeito que eles explicaram e a disponibilidade de nos ajudar a tirar dúvidas e nos ensinar”.*

A grande maioria dos alunos ressaltou a disponibilidade dos bolsistas em dar a devida atenção a cada aluno, tirando as dúvidas que surgiram, utilizando uma linguagem mais simples para a compreensão deles e a interação descontraída do grupo com os alunos. Assim como no trabalho de Vilas Bôas e Souza Filho (2019), os alunos ressaltaram o caráter motivador e inovador da atividade experimental, afirmando que sua realização contribuiu muito e facilitou a compreensão dos conteúdos abordados.

Na última questão, foi solicitado que os alunos indicassem o que eles não gostaram ou quais foram os aspectos negativos da atividade:

- *“No geral, a aula foi muito boa, porém alguns integrantes estavam um pouco inseguros”.*

- *“Houve um pouco de dúvida entre os integrantes do grupo ao realizar a atividade”.*

- *“Minha visão individual é que os alunos aprendem mais quando há uma relação forte entre professor e aluno. Acho que alguns integrantes do grupo poderiam trabalhar melhor isso”.*

Como pontos negativos, citaram certa insegurança de alguns integrantes do PIBID durante a atividade e que alguns integrantes poderiam trabalhar melhor a relação entre professor e aluno. Esse retorno dos alunos do Ensino Médio sobre a atuação dos bolsistas do PIBID é fundamental para o processo formativo deles enquanto professores de Física. Certa insegurança, timidez e falta de domínio de conteúdos mais complexos são naturais, sobretudo para alunos que estão iniciando o curso de licenciatura em Física.

Considerações finais

Uma melhor compreensão dos conceitos e fenômenos ondulatórios pode contribuir de forma decisiva para o devido entendimento tanto da Física clássica quanto da Física moderna (HREPIC; ZOLLMAN; REBELLO, 2010). Apesar do estudo da acústica fazer parte da maioria dos currículos introdutórios da Física, muitos alunos, ao final do Ensino Médio, apresentam dificuldades em perceber os aspectos fundamentais do fenômeno.

A pesquisa desenvolvida avaliou uma atividade experimental problematizadora, baseada na utilização do tudo de Kundt, que ocorreu como parte de uma sequência didática desenvolvida para o ensino da acústica. O equipamento utilizado neste trabalho, além de permitir escutar e visualizar claramente os pontos de máxima e mínima amplitude das ondas estacionárias, realizar medidas experimentais e permitir a comparação dos resultados com modelos teóricos, permite que alunos deficientes auditivos também possam executar a atividade, o que seria impossível na configuração original do equipamento. A adaptação do vumetro como emissor de sinal luminoso proporcional à intensidade sonora pode possibilitar a inclusão destes alunos e diminuir a dificuldade destes em aprender conceitos relacionados às ondas sonoras.

Diferente de outros trabalhos identificados na revisão da literatura, este trabalho traz resultados da aplicação efetiva do equipamento em uma situação real de ensino. A avaliação da atividade foi feita por meio de um questionário de opinião, respondido por 22 alunos. As respostas indicam que a realização da atividade experimental problematizadora contribuiu para aumentar o interesse dos alunos pelo conteúdo e facilitou a aprendizagem. Os alunos, de forma geral, gostaram da atividade e, por meio das manifestações espontâneas de aprendizagem foi possível identificar que eles aprenderam tanto os conceitos e fenômenos relacionados às ondas sonoras quanto aspectos relacionados à construção gráfica e análise de dados. As opiniões dos alunos também contribuíram para delinear caminhos e ações no sentido de melhorar e aprimorar a abordagem, elevando a qualidade da aula dada pelos bolsistas do PIBID. Como continuidade do trabalho, fazem-se necessárias algumas melhorias na execução da atividade e a elaboração de uma forma mais sistematizada de avaliação da aprendizagem dos alunos participantes.

Agradecimentos

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

Referências

CAVALCANTE, Marisa Almeida. Novas tecnologias no estudo de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 579-613, 2013.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria Castanho Almeida. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

FRANCISCO JR, Wilmo E.; FERREIRA, Luiz Henrique; HARTWIG, Dácio Rodney. Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química nova na Escola**, v. 30, n. 4, p. 34-41, 2008.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do Oprimido*. 40 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

GEHLEN, Simoni Tormöhlen; MALDANER, Otavio Aloisio; DELIZOICOV, Demétrio. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, p. 1-22, 2012.

GOMES, Camila Silva; LÓPEZ, Javier García; Uma abordagem de Física Experimental com um olhar na Matemática. **REMAT: Revista Eletrônica da Matemática**, v. 1, n. 2, p.1-7, 2015.

HREPIC, Zdeslav; ZOLLMAN, Dean A.; REBELLO, N. Sanjay. Identifying students' mental models of sound propagation: The role of conceptual blending in understanding conceptual change. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, v. 6, n. 2, 020114, p. 1-19, 2010.

KUNDT, August. Über eine neue Art akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen. **Annalen der Physik**, v. 203, n. 4, p. 497-523, 1866.

MAURINES, L. Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 3, p. 279-293, 1992.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 2 Fluidos, oscilações e ondas, calor**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

PACCA, Jesuína LA; UTGES, Graciela. Modelos de onda no senso comum: as analogias como ferramenta de pensamento. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, II, 1999. **Atas...Valinhos**, São Paulo, 1999.

PAVAN, Theo Z. Entendendo as limitações do uso das figuras de Lissajous para medir a velocidade do som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, e1701, 2017.

PIERSON, Alice Helena Campos. O cotidiano e a busca de sentido para o ensino de física. 1997. **Tese** (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PIZETTA, D. C. et al. Uma avaliação experimental do tubo de ondas sonoras estacionárias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3, e3301, 2017.

- SAAB, Sérgio Costa; CÁSSARO, Fabio Augusto Meira; BRINATTI, André Maurício. Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 112-120, 2005.
- SANTIAGO, A. J.; AZEVEDO, C. A.; LEDO, R. A. G. Teor didático de um tubo de Kundt: análise qualitativa de um experimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.13, n. 1, p. 77-85, 1991.
- SANTOS, Luiz Fernando Ferreira; OLIVEIRA, Alexandre Lopes. Experimento em tubo sonoro: aprendendo a usar o Sweep Gen com o tubo de Kundt. **Revista Ciências & Ideias**, v. 8, n. 3, p. 145-156, 2018.
- SILVA, Fábio Ramos; SÉCOLO, Meire Stéffani Brito. Um tubo de ressonância alternativo para o ensino de ondas sonoras estacionárias. **Arquivos do MUDI**, v. 18, n. 2, p. 5-12, 2014.
- SOUZA, Anderson R.; AGUIAR, Carlos E. Observando ondas sonoras. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XII, 2010. **Atas...** Águas de Lindóia, São Paulo, 2010.
- SOUZA, Anderson R.; AGUIAR, Carlos E. Pressão e deslocamento nas ondas sonoras. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 19, 2011. **Anais...** Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2011.
- TAHA, Marli Spat et al. Experimentação como ferramenta pedagógica para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 138-154, 2016.
- VIEIRA, L. P.; AMARAL, D. F.; LARA, V. O. M. Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1504, 2014.
- VIENNOT, Laurence. **Reasoning in Physics: The Part of Common Sense**. Dordrecht: Kluwer, 2001.
- VILAS BÔAS, Cláudia Santos do Nascimento; SOUZA FILHO, Moacir Pereira. Ressonância em tubos de garrafas “pet”: uma opção de baixo custo para tubos de Kundt. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 186-198, 2019.
- VIVAS, Deise Benn Pereira; TEIXEIRA, Elder Sales; CRUZ, Juan Alberto Leyva. Ensino de Física para surdos: um experimento mecânico e um eletrônico para o ensino de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 197-215, 2017.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, p. 328, 2003.