

APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO DE CHLADNI NO ENSINO MÉDIO PARA O ENSINO DE ONDULATÓRIA

Romildo Melo da Silva 1
Ceziana Pereira da Costa 2
Francisco Mucio Ferreira da Silva 3
Gleydson Lima dos Santos 4
Tomás Garcia Pires de Araújo 5
Jardel Francisco Bonfim Chagas 6

RESUMO

Este artigo tem como objetivo relatar a aplicação de uma sequência didática sobre o tema Ondas Estacionárias, utilizando um experimento que forma figuras conhecidas como figuras de Chladni permitindo associar conceitos físicos ao fenômeno das Ondas Estacionárias em superfícies plana. Um dos maiores desafios para o Ensino de Física é o nível de abstração requerido para a compreensão de certos fenômenos. As aulas em laboratórios, tem sido uma opção eficiente para atenuar essa dificuldade. Atuando como residente do Programa de Residência Pedagógica – PRP no curso de licenciatura em Física do Campus Santa Cruz/RN, atuando na turma de 2º ano do Ensino Médio da Escola Estadual José Bezerra Cavalcanti, foi uma sequência didática dividida em 2 aulas. Inicialmente, foi construído um experimento que possibilita visualizar padrões ondulatórios que afetam a matéria e que mudam conforme a frequência de onda utilizada. O experimento composto por uma chapa metálica preta acoplada a um autofalante ligado a um emissor de som (celular, por exemplo). Usa-se areia fina sobre a placa metálica e ao ajustar a frequência do som, com auxílio de um aplicativo (*Tone Generator*), encontrado facilmente na *playstore*, o autofalante faz a placa vibrar causando um efeito ondulatório. Os alunos observaram que parte dos grãos de areia posicionam-se em regiões sem vibração (nodais), paralelamente, outros grãos nas regiões de máxima vibração (antinodais) migram para a região nodais. Essas regiões assumem formas de círculo, quadrado, X, dentre outras formas. A discussão em sala ocorreu a partir de como as Ondas Estacionárias se formam, argumentando que sua obtenção ocorre, a partir de uma superposição de duas ondas iguais que se propagam em sentidos contrários. Com esse experimento foi possível discutir e aprofundar conceitos como interferência, propagação de onda, ondas mecânicas, superposição de onda, além de deixar aparente/visível como as ondas sonoras afetam a matéria.

Palavras-chave: Acústica, Ondas, Som, Residência Pedagógica, Sequência didática.

1 Bolsista do Programa de Residência Pedagógica - PRP e graduando do Curso de Licenciatura em Física no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, *campus* Santa Cruz, silvaromildomelo@gmail.com;
2 Bolsista do Programa de Residência Pedagógica - PRP e graduanda do Curso de Licenciatura em Física no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, *campus* Santa Cruz, cezianacosta@gmail.com;
3 Bolsista do Programa de Residência Pedagógica - PRP e graduando do Curso de Licenciatura em Física no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, *campus* Santa Cruz, fcomucio@gmail.com;
4 Bolsista do Programa de Residência Pedagógica - PRP e graduando do Curso de Licenciatura em Física no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, *campus* Santa Cruz, gleidsonlimac@hotmail.com;
5 Bolsista do Programa de Residência Pedagógica - PRP e graduando do Curso de Licenciatura em Física no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, *campus* Santa Cruz, tomasgarciapires@gmail.com;
6 Mestre em Ensino de Física, Docente orientador do Programa de Residência Pedagógica – PRP, núcleo Física, Professor do Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN, *Campus* Santa Cruz, jardel.bonfim@ifrn.edu.br.



INTRODUÇÃO

A disciplina de Física para o Ensino Médio, assim como a química e a matemática, já possui o estereótipo de ser difícil de se aprender. Assim como o pensamento de ser uma disciplina com muitas fórmulas e cálculos e que não possui correlação com a realidade (BARREIRO & BAGNATO, 1992). Pensamento esse, produzido pela reprodução de um método de ensino-aprendizagem radicalmente tradicional, onde as aulas de Física (ou de Ciências da Natureza) são lecionadas apenas com o pincel marcador e o quadro, favorecendo sempre o conteúdo programático em detrimento da compreensão do fenômeno físico pelos alunos.

O ensino com aulas demonstrativas – com experimentos, por exemplo – onde os conceitos básicos da ciência são explicados e demonstrados (assim como faziam os grandes cientistas do século XVIII, com suas descobertas científicas e tecnológicas) é uma possível solução para mudar a forma com que os alunos veem a disciplina de Física. Em concordância com Barreiro e Bagnato (1992, p. 241), observa-se que “o fenômeno físico não é apenas abstraído de fórmulas matemáticas, mas visualizado e, portanto, compreendido, possibilitando maior confiança e estabelecimento de relações, aspectos que podem ser apreendidos das afirmações.”

Geralmente, utiliza-se como modelo explicativo na abordagem do tema ondulatória, no ensino médio, o movimento periódico por meio de uma corda, ondulações na água, e no ar. Ademais, vale salientar que geralmente as representações ou ilustrações (seja por desenho ou apresentação multimídia) são usadas como modelos explicativos para o fenômeno ondulatório em detrimento das possíveis demonstrações ou experimentos que poderiam ser utilizadas em favor do ensino-aprendizagem.

O Físico e Músico alemão *Ernst Florens Friedrich Chladni (Chladni)* contribuiu significativamente para o campo da acústica. Dentre seus trabalhos podemos citar o fenômeno da formação de figuras em placas ressoantes, *Chladni* descobriu que ao atritar um arco de violino em placas, com grãos espalhados sobre si, a vibração causada pelo atrito fazia com que parte desses grãos se reposicionassem em regiões específicas na placa, formando padrões diferentes de figuras conforme a intensidade de vibração mudava. Esse é um fenômeno pouco explorado pela literatura brasileira de ensino de Física, e que considerando que se trata de um tema cujo conteúdo possui um considerável nível de abstração, por se tratar de fenômenos

ondulatórios (invisíveis a olho nu) é possível se utilizar desse conhecimento para trazer à sala de aula um meio para tornar o aprendizado desse conteúdo (ondulatória) mais significativo.

O objetivo deste trabalho é relatar a aplicação de uma sequência didática, em uma escola de Ensino Médio, que trabalha o tema Ondas Mecânicas, utilizando como referência o experimento de Placas Ressonantes de *Chladni* como objeto de estudo para o estudo dos fenômenos ondulatórios presentes no experimento.

METODOLOGIA

O experimento demonstrado na aula foi construído a partir de métodos encontrados na dissertação de Mestrado de Lima (2020), e reproduzia o fenômeno que o cientista *Ernest Chladni* demonstrou em sua época. Os itens utilizados foram: um amplificador sonoro, um alto-falante, um pedaço de cano pvc, cola quente, um parafuso, duas porcas com arruelas, uma placa 30x30cm que pode ser de metal ou acrílico. E por último, utiliza-se o celular com um aplicativo (*Tone Generator*) ligado ao amplificador, seja por *bluetooth* ou cabo, tornando possível controlar a frequência reproduzida pelo alto-falante.

REFERENCIAL TEÓRICO

O trabalho aqui apresentado discorrerá acerca da metodologia adotada para o ensino de ondulatória por meio de experimentação, utilizando como ferramenta o experimento de *Chladni*. Diante das especificidades do tema, a fundamentação teórica das reflexões a serem empreendidas tratara de um tema específico dessa ciência: ondas estacionárias e métodos de ensino por experimentação.

O QUE É UM ONDA ESTACIONÁRIA?

Uma onda estacionária é um padrão de vibração que ocorre quando duas ondas de igual frequência e amplitude se movem em sentidos opostos e se sobrepõem. Nessas condições, as cristas de uma onda (ponto de máximo de uma onda) coincidem com os vales da outra (ponto de mínimo de uma onda), resultando em uma forma de onda que aparenta não se mover ao longo do espaço - daí o termo "estacionária".

Esse fenômeno ocorre quando uma onda incidente se reflete de maneira específica, criando uma interferência construtiva em alguns pontos e interferência destrutiva em outros (superposição de pontos de máximos ou de mínimos). Os pontos de interferência construtiva são chamados de "nodos", onde as amplitudes das ondas se somam, enquanto os pontos de

interferência destrutiva são chamados de "antinodos", onde as amplitudes se cancelam mutuamente. (SERWAY & JOHN, 2011, p. 82-83).

As ondas estacionárias são comumente observadas em cordas de violão, tubos sonoros e outras situações em que as ondas são refletidas de maneira controlada. Elas têm propriedades distintas que as diferenciam de ondas viajantes, como a presença de nodos e antinodos fixos no espaço. Esse fenômeno é importante em diversos campos, incluindo acústica, óptica e eletrônica.

ONDAS ESTACIONÁRIAS EM PLACAS

Ondas estacionárias em placas ou superfícies bidimensionais, como membranas, são um fenômeno interessante que ocorre quando a onda se propaga e sofre reflexões, criando padrões de interferência construtiva e destrutiva. Vamos considerar o exemplo de uma placa vibrante: Temos a partir de uma excitação Inicial uma placa vibrando em sua frequência natural, criando ondas que se propagam pela superfície. Quando essas ondas atingem as bordas da placa, parte da energia é refletida de volta para a placa (Reflexão). A onda incidente e a onda refletida se superpõem, criando regiões na placa onde as ondas se reforçam (interferência construtiva) e outras onde se cancelam (interferência destrutiva). (SERWAY & JOHN, 2011, p. 92-93).

O resultado desse processo são padrões específicos de nodos (pontos de amplitude zero) e antinodos (pontos de amplitude máxima) na placa. Cada padrão corresponde a uma frequência natural específica da placa, e as formas de onda associadas a essas frequências são os modos normais de vibração da placa. Esses modos normais podem ser visualizados como padrões de vibração distintos na superfície da placa.

Estudos sobre ondas estacionárias em placas têm aplicações práticas em diversas áreas, incluindo acústica, engenharia estrutural, design de instrumentos musicais e tecnologias relacionadas a vibrações.

A APRENDIZAGEM POR EXPERIMENTAÇÃO

A aprendizagem baseada em experimentação é uma abordagem de cunho educacional que prioriza a realização prática de atividades, experimentos e projetos como meio principal de aprendizado. Essa abordagem se concentra em proporcionar aos alunos experiências concretas, permitindo-lhes aprender através da observação, da experimentação e da reflexão sobre os resultados. Os alunos envolvem-se ativamente em atividades práticas, experimentos ou projetos que requerem a aplicação do conhecimento teórico, são encorajados a explorar, descobrir e

resolver problemas por meio da experimentação, em vez de apenas receber informações passivamente (SILVA et al. 2019). As atividades práticas são frequentemente projetadas para refletir situações do mundo real, conectando o aprendizado teórico ao contexto. A ênfase desse método de ensino está na aplicação prática do conhecimento adquirido, ajudando a verem a relevância e utilidade do que estão aprendendo. Essa abordagem é comumente associada à educação STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), onde a experimentação e a aplicação prática desempenham um papel crucial no desenvolvimento de habilidades e compreensão nessas áreas. No entanto, a aprendizagem baseada em experimentação pode ser aplicada em várias disciplinas e níveis educacionais e é fundamental para disciplinas como Física, Química e Matemática que sofrem com o desinteresse constante dos alunos da Educação Básica (SILVA et al., 2014), objetos dessa pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A princípio, o experimento foi apenas apresentado aos alunos, destacando suas características e funcionamento de forma a deixar claro o objetivo. O diálogo pré experimento girou em torno da ideia da construção mental dos conceitos relacionados a ondulatória, que apesar de não serem fáceis de associar ao próprio fenômeno (a onda sonora, por exemplo) afetava o meio ao nosso redor. Para isso, utilizou-se de exemplos de sons não audíveis, de frequências muito baixas (até 20Hz) ou muito altas (a partir de 20kHz), como apito para cães (YOUNG & FREEDMAN, 2008). E alternando a frequência sonora, foi demonstrado que a percepção do som só ocorre em faixas de frequências específicas. Ao concluir a etapa introdutória, se iniciou o experimento ligando o amplificador e ajustando a frequência. Enquanto espalhava o sal sobre a placa, os alunos responderam ao questionamento: o que acontecerá com o sal ao ligar o aparelho? A resposta de toda a turma foi: “o sal será jogado para

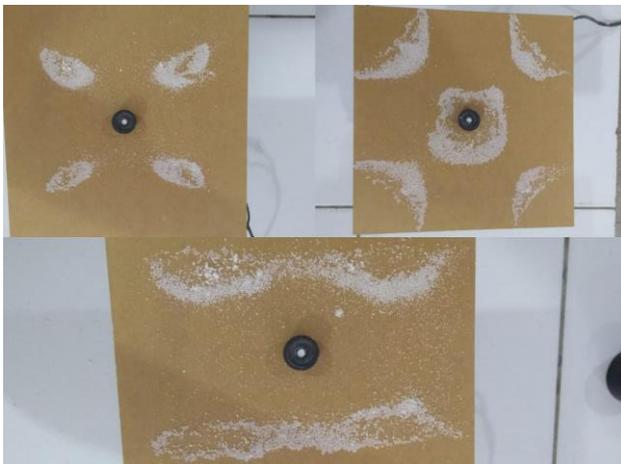


Figura 1: padrões produzidos por vibração da placa (fonte: autor)

fora”. Porém, observou-se que, em algumas frequências específicas as partículas de sal se acumularam em locais da placa que variava conforme havia variação na frequência, deixando-os surpresos com o resultado. Podemos observar, na figura 1, alguns dos padrões. Após explicação do fenômeno que eles estavam observando, e demonstrado o que o senso comum não poderia prever o que ia acontecer com o sal sobre a placa. E que

os padrões similares aqueles que foram reproduzidos estão presentes nos sons, ou ondas mecânicas transportada comumente pelo ar, também estão presentes na produção do som, independente de ser visível.

O experimento foi demonstrado para uma turma com 17 alunos da 2ª série do Ensino Médio. A princípio foi retomado a parte teórica envolvida no fenômeno que eles iriam observar.

Os alunos responderam, após o experimento, um formulário feito na ferramenta *Googleforms* com o objetivo de retomar conceitos apresentados em sala de aula. O formulário continha sete questões conceituais sobre ondulatória, segue enumerado abaixo junto aos resultados obtidos:

1. “De acordo com seus conhecimentos descreva como se produz o som?” **94% de respostas certas;**

2. “De acordo com seus estudos, quais grandezas Físicas você conhece?”

17 respostas

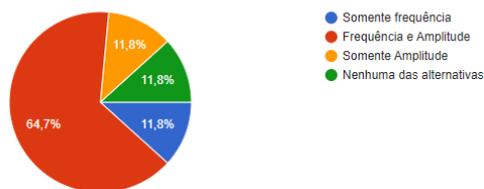


Figura 2: dados obtidos no formulário do googleforms (fonte: googleforms)

3. “Você conhece Frequência e Amplitude? Se sim, dê exemplos de aplicações que você conhece”. **Para essa questão apenas 50% da turma tiveram respostas satisfatórias.**

4. “Quais os meios de propagação da Onda Mecânica?” **Para essa questão 80% da turma tiveram respostas satisfatórias.**

5. “Qual o tipo de onda produzida nos alto-falantes?”

17 respostas

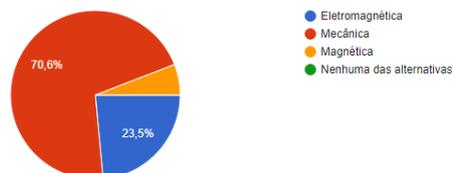


Figura 3: gráfico respostas da questão 5 (fonte: googleforms)

6. “A definição de Frequência (F) é:”

17 respostas

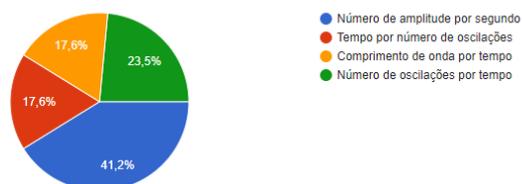
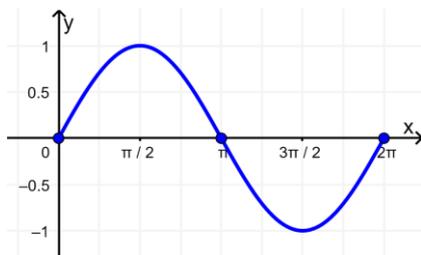


Figura 4: gráfico resposta da questão 6 (fonte: googleforms)

7. “Conforme o gráfico abaixo identifique os valores máximo e mínimo de Amplitude:”



17 respostas

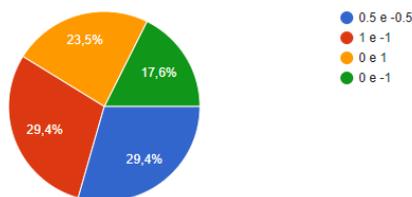


Figura 5: gráfico geogebra (fonte:autor)

Figura 6: gráfico resposta da questão 7 (fonte: googleforms)

O formulário foi respondido após o experimento, conforme os dados obtidos é possível constatar que um bom percentual dos alunos entendeu conceitos como: ondas mecânicas, propagação de ondas mecânicas, formação do som. Por outro lado, não demonstraram o entendimento ou apropriação de conceitos como frequência e amplitude.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Física possui o estereótipo de ser difícil e ter muitas equações e isso contribui para o desinteresse dos alunos nos conteúdos dessa disciplina, até mesmo antes de cursá-las. O método de ensino de física por experimentação, seja ilustrativa, demonstrativa, descritiva ou investigativa, é uma forma eficiente de tornar conceitos abstratos, como ondas, compreensíveis. O experimento de *Chladni* não é simples de se construir, porém pode-se trabalhar diversos conceitos a partir dele. Neste trabalho, foi possível demonstrar como o som é produzido, como se propaga, qual a relação da frequência e amplitude (temas estudados em sala de aula) com o fenômeno sonoro, interferência, e ondas estacionárias.

REFERÊNCIAS

BARREIRO, A. C. M.; BAGNATO, V. S. Aulas demonstrativas nos cursos básicos de Física. *Cad. Bras. Ens. Fís.* UFSC, Florianópolis - SC, Brasil, v. 9, n. 3, 1992.



LIMA, M. A. Uso das figuras de *Chladni* no Ensino de Física. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, 2020.

SERWAY, R. A.; JOHN W. J. J. Física para cientistas e engenheiros, volume 2: oscilações, ondas e termodinâmica. São Paulo: **Cengage Learning**, 2011.

SILVA, J. N. A. et al. A experimentação como ferramenta motivacional no ensino de física. Anais VI CONEDU. Campina Grande: **Realize Editora**, 2019. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/58313>>. Acesso em: 10/12/2023 16:27

SILVA, L. et al. Julgamentos dos alunos sobre a física do ensino médio: um relato de experiência. Anais IV ENID / UEPB. Campina Grande: **Realize Editora**, 2014. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/10006>>. Acesso em: 10/12/2023 15:17

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A. Física II: Termodinâmica e Ondas. 12ª ed., **Addison Wesley**, São Paulo, 2008).