

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MATEMÁTICA - DAMAT
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM MATEMÁTICA E CIÊNCIAS**

ROBERT SIMÃO DOS SANTOS

**ESTUDO DAS FIGURAS DE CHLADNI COMO PROPOSTA DE
EXPERIMENTO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

**LONDRINA
2017**

ROBERT SIMÃO DOS SANTOS

**ESTUDO DAS FIGURAS DE CHLADNI COMO PROPOSTA DE
EXPERIMENTO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Educação em Matemática e Ciências, do Departamento Acadêmico de Matemática - DAMAT, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho

**LONDRINA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Londrina
Departamento Acadêmico de Matemática – DAMAT
Curso de Especialização em Educação Matemática e Ciências



TERMO DE APROVAÇÃO

**ESTUDO DAS FIGURAS DE CHLADNI COMO PROPOSTA DE EXPERIMENTO
PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS**

por

ROBERT SIMÃO DOS SANTOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização foi apresentado em 30 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Educação em Matemática e Ciências. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho
Prof.(a) Orientador(a)

Dra. Zenaide de Fátima Dante Correia Rocha
Membro titular

Dr. Alcides Goya
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho, pela sabedoria com que me instruiu ao longo deste trabalho.

Ao Marcio José Alves, Técnico de Laboratório de Física da UTFPR, por ter disponibilizado o laboratório, preparado o equipamento, auxiliado na confecção da placa, além de ter concedido dicas e dialogado sobre o fenômeno.

Ao Jairo Alves Junior, aluno de iniciação científica da UTFPR, que após a primeira orientação para realização do experimento, já executou todo o processo com êxito, especificamente, coletando os dados, fotografando as figuras geradas e catalogando as imagens e as frequências.

Registro, também, o meu reconhecimento à minha família, pois sempre me apoio diante dos desafios.

Enfim, a todos os que de algum modo cooperaram para a concretização desta pesquisa.

“O cientista não estuda a natureza porque é útil; ele a estuda porque se realiza fazendo isso e tem prazer porque ela é bela.”

Henri Poincaré

RESUMO

SANTOS, Robert Simão. **Estudos das figuras de Chladni como proposta de experimento para o ensino de Ciências**. 2017. 46. Monografia (Especialização em Educação em Matemática e Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.

Este trabalho, apresentado em forma de projeto de ensino, trata-se de um estudo realizado com base nas descobertas experimentais sobre as vibrações de placas do físico Chladni. O trabalho desse autor consistia em analisar o comportamento vibracional da areia disposta sobre uma superfície plana, que se movimentava ao som do manejo de um arco de violino. Diante disso, formadas pelas linhas nodais, surgiam figuras, denominadas por outros pesquisadores como “Figuras de Chladni”. Diante deste conceito, nesta pesquisa, objetiva-se tecer considerações a respeito do fenômeno da formação de figuras em placas ressoantes, assunto pouco explorado na literatura brasileira de ensino de Física, trabalhando, inclusive, com acústica e ondulatória e, por fim, constrói-se um modelo didático para desenvolver com os alunos de Educação Básica. O impressionismo das figuras de Chladni é a chave para uma abordagem inicial. A partir dos resultados obtidos com o modelo da placa de Chladni pode-se explorar didaticamente os conceitos da Física, mencionados anteriormente, com boa riqueza visual, sob aporte teórico-educacional fundamentado em autores que discutem a importância da experimentação em sala de aula.

Palavras-Chave: Figuras de Chladni. Ensino de Oscilações e Ondas. Acústica. Experimentação. Prática didática.

ABSTRACT

SANTOS, Robert Simão. **Studies of the figures of Chladni as proposal of experiment for the teaching of Sciences.** 2017. 46. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação em Matemática e Ciências) - Federal Technology University - Paraná. Londrina, 2017.

This work, presented in the form of a teaching project, is a study carried out based on the experimental findings on the vibrations of plates of the physicist Chladni. The work of this author consisted in analyzing the vibrational behavior of the sand arranged on a flat surface, that moved to the sound of the handling of a bow of violin. Faced with this, formed by the nodal lines, appeared figures, denominated by other researchers like "Figures of Chladni". In view of this concept, in this research, we intend to make considerations about the phenomenon of the formation of resounding plates, a subject not explored in the Brazilian literature of Physics teaching, working, also, with acoustic and wave, and, finally, construct A didactic proposal to develop with students of Basic Education and Higher Education. Impressionism of Chladni's figures is the key to an initial approach. From the results obtained with the model of the Chladni plate it is possible to explore physically the concepts of physics, mentioned above, with good visual richness, under theoretical-educational support based on authors who discuss the importance of experimentation in the classroom.

Keywords: Figures of Chladni. Teaching of Oscillations and Waves. Acoustics. Experimentation. Didactic practice.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Padrões obtidos por Chladni com areia sobre a placa vibrante	13
Figura 2 - Padrão de interferência de ondas	21
Figura 3 - Padrão de Chladni na placa vibrante excitadas pelo arco	38
Figura 4 - Figuras de Chladni.....	39
Figura 5 - Placa vista lateralmente	41
Figura 6 - Formação dos nós e anti-nós na placa	42
Figura 7 - Vista lateral da placa de Chladni.....	42

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - As “Figura de Lichtenberg” ocorrem naturalmente no ar (isolante) durante uma tempestade.	14
Fotografia 2 - Figura gerada com o uso do gerador de sinais	23
Fotografia 3 - Placa de inox com o uso do gerador de sinais.....	30
Fotografia 4 - Placa de inox com o uso do gerador de sinais (2).	30
Fotografia 5 - Gerador de Áudio.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Figuras produzidas com o gerador – placa de alumínio.....	27
Quadro 2 - Figuras produzidas com o arco de violino em placa de ferro quadrada, de 30 cm ² com 2,5mm de espessura utilizando limalha de ferro.	29
Quadro 3 - Figuras produzidas na placa de inox, quadrada de 30 cm ² , sendo 1,5mm de espessura.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 CHLADNI: RECONHECENDO AS EXPERIÊNCIAS VIVENCIADAS E DESCOBERTAS	13
3 O OBJETO NA LITERATURA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA	16
4 OSCILAÇÕES E ONDAS	20
5 O PRODUTO: AS FIGURAS DE CHLADNI NO ENSINO DE ACÚSTICA E ONDULATÓRIA	23
5.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO: EM PLACA DE ALUMÍNIO	23
5.2 REPLICAÇÃO DO EXPERIMENTO: EM PLACA DE INOX	30
6 AO PROFESSOR	36
6.1 A IMPORTÂNCIA DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS	36
6.2 APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO DAS FIGURAS DE CHLADNI.....	37
6.2.1 Procedimento Experimental: Passo-a-Passo	38
6.2.2 Considerações Sobre Essa Prática Experimental em Sala De Aula	40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Durante o Ensino Fundamental (9º ano) e Ensino Médio, mais especificamente no segundo ano, há o estudo da ondulatória. Descrever esses fenômenos ondulatórios exigem do aluno a observação atenta e sistemática dos fenômenos, permitindo a construção de significados sobre conceitos como ressonância, superposição de ondas, interferência, difração, reflexão e harmônicos.

Para desenvolver esses conceitos, os instrumentos musicais podem ser uma boa ferramenta, ainda que para tocá-los não seja necessária a leitura do instrumento com esta descrição física.

Verificando o contexto histórico dos instrumentos musicais, observa-se um fenômeno específico como um indicador de qualidade de fabricação: as figuras de Chladni.

O objetivo deste trabalho é tecer considerações teóricas a respeito do fenômeno da formação de figuras em placas ressoantes, além de estabelecer uma proposta de desenvolvimento de atividades no Ensino Médio sobre acústica e ondulatória.

É fundamental considerar a importância didática desse assunto, uma vez que seja possível observar um efeito provocado pelo som. As atividades respectivas a tal conteúdo provocam o interesse dos alunos, de modo que eles levantem questionamentos sobre o funcionamento da formação das figuras na placa.

Contudo, é importante compreender que, para que aconteça o aprendizado, não basta apenas observar o fenômeno e/ou informar aos alunos sobre como se realiza tal fenômeno – diferenciação e hierarquização de conceitos (MOREIRA, 2006). Embora muitas pessoas já tenham contemplado um arco-íris, por exemplo, poucas observaram o fenômeno atentamente. O observador, provavelmente, não saberia dizer se, no primeiro arco, a faixa interna é vermelha ou lilás, ou, ainda, se há diferença entre a região abaixo e acima do arco. Assim, apenas observar um fenômeno, não implica em perceber os detalhes.

Construir uma proposta didática sugere considerar e disponibilizar espaço para que os estudantes questionem aquilo que observam. Apesar das figuras de Chladni atraírem a atenção dos estudantes, se faz necessário estabelecer uma

orientação – tutoria – ao estudante para que eles possam avançar no conteúdo sobre acústica levantando questionamentos.

A primeira parte deste trabalho consiste no histórico de Chladni. Na sequência, é apresentada a produção científica do uso das placas no ensino de Ciências. No capítulo quatro, é disposto sobre o fenômeno com o objetivo de descrever o processo de formação das linhas nodais. Já no quinto tópico, são apresentados os experimentos nas placas, tanto na de alumínio, quanto na de inox, além das considerações sobre as figuras obtidas experimentalmente. Em seguida, apresenta-se uma proposta didática para o uso das figuras de Chladni numa abordagem orientada para estudantes tanto do Ensino Fundamental, especificamente nas séries finais, quanto do Ensino Médio, no segundo ano, de modo mais específico.

2 CHLADNI: RECONHECENDO AS EXPERIÊNCIAS VIVENCIADAS E DESCOBERTAS

Ernst Florens Friedrich Chladni, físico e músico alemão, nasceu em Wittenberg, em 1756. Seu estudo acumulou registros de figuras, como as da figura 1, formadas com areia sobre uma placa de bronze. Para alguns, é considerado o “pai da acústica” (BAROK, 2013).

Segundo Barok (2013), em 1787, Chladni publicou o livro *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* (Descobertas sobre a Teoria do Som), onde apresentou essas figuras, objeto de estudo deste trabalho.

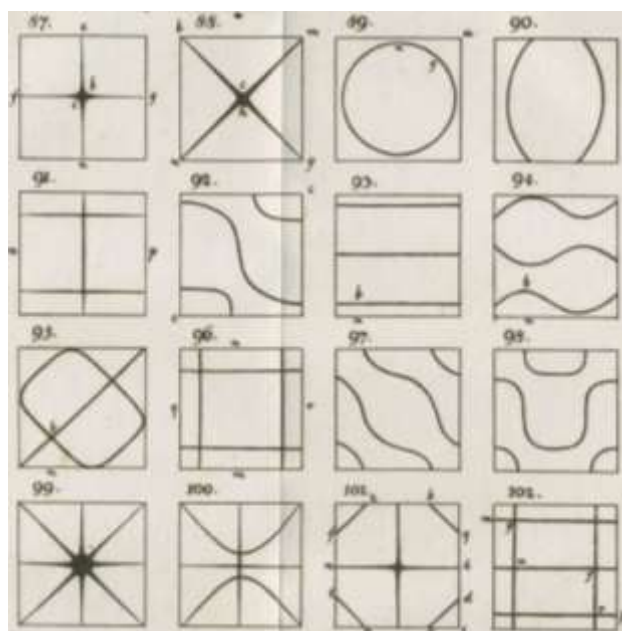


Figura 1 - Padrões obtidos por Chladni com areia sobre a placa vibrante.
Fonte: Chladni, 1787, p.108-109.

Influenciado pelo pai, Chladni estudou filosofia e direito, graduando-se, em 1781 e em 1782, respectivamente, na Universidade de Leipzig. Durante essa época, modificou seu sobrenome de Chladienius para Chladni. Em seguida, regressou a Wittenberg, assumindo a posição de advogado, indicado pelo pai (BAROK, 2013).

Ainda em 1782, seu pai falece, mudando completamente a vida de Chladni. Não mais com a obrigação de voltar-se ao direito, desejo de seu pai, passou a estudar acústica, tema pouco explorado pela Física daquela época, sob forte influência de amigos com músicos da academia (BAROK, 2013).

Iniciou com extensos experimentos, avaliando diferentes fontes de som, em busca de descrever a relação entre a vibração das fontes com os sons emitidos.

por muito tempo foi a minha principal atividade de analisar tais fontes de som, que ainda não tinham sido estudados até agora, apenas as vibrações de cordas e vibrações do ar em instrumentos de sopro foram os temas de estudos, e agora eu realizara experiências com vibrações transversais de barras, que tinha sido objeto de estudos teóricos de Leonhard Euler e Daniel Bernouilli, e depois as vibrações de placas, que eram um campo desconhecido. (ULLMANN, 2007, P. 27)

Chladni fez suas primeiras investigações em vibrações transversais de barras com diferentes condições de contorno (comprimento, espessura, materiais construtivos). O instrumento utilizado para provocar as vibrações foi o arco de violino (BAROK, 2013).

Conforme Barok (2013), a partir do estudo das obras de Georg Christoph Lichtenberg, cientista alemão, descobridor do processo de xerografia utilizado nas copiadoras modernas, que surgiu a ideia essencial para o estudo dos padrões de som por Chladni.

Em 1777, Lichtenberg conseguiu realizar descargas elétricas em dielétricos (materiais isolantes), através de um grande eletróforo – dispositivo construído e utilizado para gerar alta tensão de eletricidade estática por indução. As figuras formavam-se após a descarga da alta tensão em um ponto da superfície de um isolador – o exemplo talvez mais familiar é o raio (Figura 2). Essas descargas gravaram padrões radiais por aspensão de vários materiais em pó sobre a superfície (efeito é utilizado nas impressoras e copiadoras modernas) (BAROK, 2013).



Fotografia 1 - As “Figura de Lichtenberg” ocorrem naturalmente no ar (isolante) durante uma tempestade.

Fonte: <http://en.wikipedia.org>.

Chladni sentiu-se motivado a aplicar areia fina sobre suas placas e bastões, observando, por consequência, a formação de padrões, como os da Figura 1, na superfície das placas para determinadas frequências produzidas. Por ter um ouvido bastante sensível, Chladni conseguia discriminar frequências diferentes em menos de um semitom (CYMASCOPE, 2008). A partir dos experimentos com placas vibrantes, Chladni disponibilizou uma nova área ainda não estudada nem teórica nem experimentalmente.

De modo sistêmico, Chladni estudou os padrões produzidos pelo som em placas circulares, quadradas e retangulares. Novos padrões foram obtidos, devido a fixação dos dedos em diversos pontos sob imposição de linhas nodais (BAROK, 2013). Em 1787, houve a publicação dos resultados em *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* (Descobertas sobre a Teoria do Som), com 11 pratos e 166 figuras.

A partir de 1791, pela Europa, Chladni passou a apresentar seu trabalho com as figuras sonoras e com o instrumento que criou – o Euphon. Seu principal interesse era interpretar música, porém logo percebeu que as figuras sonoras eram muito mais atrativas, ocupando papel central em suas apresentações (BAROK, 2013). Após anos de apresentações pela Europa e estudos sobre acústica, Chladni foi de Berlim a Breslau, onde veio a falecer durante a madrugada de 3 a 4 de Abril.

Chladni não se casou, nem teve filhos. Seu testamento apresentava sua coleção de 41 meteoros ao Museu de Mineralogia de Berlim, bem como uma parte em moedas da época, o Thaler, sendo 5000 ao rendeiro Hauswirth, 600 aos pobres e 600 à cidade de Kemberg para o novo relógio e pavimentação (BAROK, 2013).

3 O OBJETO NA LITERATURA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA

A fim de situar o tema deste trabalho na produção científica do Ensino de Física, foram realizadas buscas em periódicos e eventos. Considerando tal literatura no Brasil, como Revistas brasileiras de Ensino de Física e Ciências, foi encontrado apenas um trabalho relacionando às figuras de Chladni com a construção de instrumentos musicais.

Nesse artigo, “A Física do Violino”, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, Donoso et al. (2008) aborda sobre o violino, verificando sua construção e suas propriedades físicas. Também tratam dos materiais construtivos do violino avaliados pelo método da Placa de Chladni, verificando, por exemplo, certos padrões ressoantes que definem se a madeira deve ser utilizada para a construção do tampo ou do fundo do violino.

É detalhada, no trabalho de Donoso et al. (2008), a construção do instrumento violino e a física que o define com ênfase nos trabalhos dos físicos Helmholtz, Savart e Raman¹, que descrevem sobre a vibração produzida pelo arco nas cordas, além de compreender as propriedades acústicas do instrumento. No corpo do violino, é feita uma análise sobre os modos normais de vibração do tampo do violino pelo método de Chladni.

Verificado os estudos ao longo da história sobre a física por trás do violino, Chladni é reconhecido como uns dos percussores por realizar importantes descobertas no campo da acústica que se tornaram indispensáveis para determinar a qualidade do violino.

Ainda “em relação às pesquisas sobre a física do violino, o físico francês Félix Savart (1791-1841) é considerado um dos pioneiros (...) [que] entre outras coisas, estudou o limiar de audição em altas frequências, utilizando o método de Ernest F. Chladni (1774-1827)”. (DONOSO et al., 2008, p. 2).

¹ Hermann Ludwing Ferdinand Von Helmholtz (Potsdam, 31 de Agosto de 1821 – Charlottenburg, 8 de Setembro de 1894) foi um médico e físico alemão. Félix Savart (Charleville – Mézières, 30 de junho de 1791 – Paris, 16 de março de 1841) foi um físico francês originador da lei de Biot-Savart (A lei de Biot-Savart é uma equação do eletromagnetismo que fornece o campo magnético B gerado por uma corrente I constante no tempo). Sir Chandrasekhara Venkata Raman (Tiruchirappalli, 7 de novembro de 1888 – Bangalore, 21 de novembro de 1970) foi um físico indiano. Recebeu em 1930 o Nobel de Física pelos trabalhos sobre o espalhamento da luz.

Além de explicar sobre os conceitos de acústica envolvidos no instrumento musical, no trabalho de Donoso et al. (2008) um capítulo trata sobre os “modos de vibrações em tampos”, colocando o trabalho de Chladni como pioneiro no campo do estudo das qualidades dos instrumentos musicais a partir da ressonância. Assim, relaciona o estudo de ondas estacionárias nos cursos de graduação, nos quais:

(...) descreve-se o movimento da corda em termos de onda estacionárias, que correspondem aos modos normais de vibração. Da mesma forma se podem descrever as ondas estacionárias bidimensionais estabelecidas numa placa vibrante. Cada uma destas ondas estacionárias corresponde a um modo normal de vibração (ou ressonância), sendo que a menor frequência é chamada de fundamental e as demais são sobretons ou harmônicos. Estes modos normais de vibração podem ser colocados em evidência pelo método de Chladni. (DONOSO et al., 2008, p. 7)

Realizadas algumas explicações sobre o método das figuras de Chladni para determinar as características para o tampo ou o fundo do violino pelos padrões definidos que deveriam ser mostrados na madeira (placa) vibrante, tal artigo prossegue com mais detalhes no método de ressonância de Helmholtz. Este consiste no fenômeno consequente da passagem do ar por uma cavidade e, devido a ela, ressoa. O fenômeno é demonstrado pelo ressoador de Helmholtz, criado em 1860, a fim de apresentar as elevadas variedades de tons.

Embora o artigo que não se atenta muito para o ensino de acústica, concentra-se em explicar as regras de cada mecanismo que compõe o violino, por fim, é reconhecido que tal texto contém informações fundamento-matemáticas e conceituais, que servem como exemplos para alunos iniciantes de um Curso de Física do Ensino Superior – aspecto didático sugerido por DONOSO et al., 2008).

Além desse artigo, para este trabalho, foram analisados outros textos, como relatórios de aulas experimentais de estudantes de graduação da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas). Estes relatórios são semelhantes, com poucas diferenças no conteúdo, objetivos e detalhes técnicos construtivos da placa vibrante.

Silva e Torriani (2004) apontam a importância experimental das figuras de Chladni para despertar e motivar os alunos no início do Curso de Graduação em Física.

(...) em um país onde a física é vista como uma terrível disciplina pelos estudantes de ensino médio, uma experiência como essa poderia incentivá-los a encarar essa ciência com bons olhos. (...) os estudantes do início de um curso de física teriam uma motivação a mais para continuar no curso ao ver demonstrações com as figuras de Chladni. (SILVA e TORRIANI, 2004, p.3)

Tais autores descrevem com poucos detalhes a formação das figuras em placas redondas e quadradas, apresentando apenas uma reprodução do experimento descrito no livro *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* de Chladni (1787): “Dessa maneira, ao se polvilhar grãos de areia sobre uma placa vibrando, a areia vai se posicionar sobre essas regiões nodais, que são regiões onde as placas não vibram.” (SILVA e TORRIANI, 2004, p.4).

Por outro lado, Silva e Torriani (2004), destacam as descobertas e os trabalhos que Chladni tratava em suas palestras: “As “Figuras de Chladni” fornecem o gabarito ideal para o fabricante durante o processo de dar a forma à placa para a estrutura final. Placas simétricas produzem padrões simétricos, ao contrário das que não são simétricas.” (SILVA e TORRIANI, 2004, p.4).

Encerrando tal artigo, Silva e Torriani (2004), a partir das figuras formadas, explicitaram a existência de limitações dependendo da placa, do manejo do arco e do tipo de partícula que é utilizada para formar tais figuras, para finalizar, observaram as figuras formadas nos testes, apresentando se eram existentes as limitações conforme a placa, o manejo do arco e o tipo de partícula utilizada para formar as figuras. Apontaram, também, a importância de estimular esse trabalho com os alunos em séries iniciais e até mesmo de graduação.

Foi encontrado outro trabalho sobre tal temática, da Unicamp, na disciplina de Tópicos de Ensino de Física I. Oliveira e Raggio (2011) propõem a releitura do texto de Silva e Torriani (2004), acrescentando os passos nas deduções das equações que descrevem os padrões nas placas. O foco deste trabalho é a visualização das figuras e registros dos resultados, além de um experimento didático representado em fotografias. É apresentado, também, um breve histórico de Chladni, além de abordar sobre as ondas estacionárias. Da mesma forma como ocorreu com Silva e Torriani (2004), a descrição matemática do experimento é colocada à parte, apenas no apêndice, não tendo sido foco principal do artigo. De um modo geral, as duas produções são semelhantes.

Após a verificação dos raros estudos na área, propõe-se, neste trabalho, conduzir uma estrutura didática para o ensino de acústica e ondulatória através das figuras de Chladni, considerando que é possível extrair conceitos a partir observação – podemos “ver” como as ondas estacionárias se superpõem e se comportam numa superfície. Sendo assim, é possível contribuir para a área com asserções sobre o uso didático das figuras de Chladni no ensino de conceitos chaves de ondulatória: superposição de ondas, ressonância, reflexão, interferência e harmônicos.

4 OSCILAÇÕES E ONDAS

A Física empenha-se em explicar fenômenos da natureza ao longo dos tempos. Cada evento e a necessidade de encontrar uma forma mais simples para reproduzir e explicá-la, deixou um legado de descobertas e curiosidades sobre os fenômenos naturais.

Sobre as ondas, sabe-se que quando duas delas se encontram, a soma das mesmas pode ser nula quando possuem mesma amplitude, apesar dos sentidos opostos – curiosamente, em um lugar, as ondas desaparecem, porém não deixam de existir, pois posteriormente reaparecem. Por outro lado, ao se encontrarem sob mesma amplitude e mesmo sentido, resultará em uma onda com o dobro da amplitude. Casos intermediários também ocorrem, em que as amplitudes podem ser diferentes, seja em magnitude, seja em sinal, e o resultado fica limitado entre os dois valores extremos: nulo ou o dobro da amplitude. Em todas estas situações, dizemos que houve superposição das ondas (JEWETT e SERWAY, 2014).

Do mesmo modo, se duas pedras semelhantes caem em um lago, distantes uma da outra, cada pedra produzirá alguns pulsos na água que se distanciarão radialmente da fonte, perdendo intensidade. No entanto, ao se encontrarem os pulsos, eles se superpõem, resultando, em algumas regiões, no aumento da amplitude das ondas, enquanto que em outras se anulam. Assim, cria-se no lago um padrão conhecido como padrão de interferência, no qual há regiões onde as ondas se interferem construtiva (amplitudes maiores que as originais) e destrutivamente (amplitudes menores que as originais). O resultado se assemelha a figura 2. (JEWETT e SERWAY, 2014)

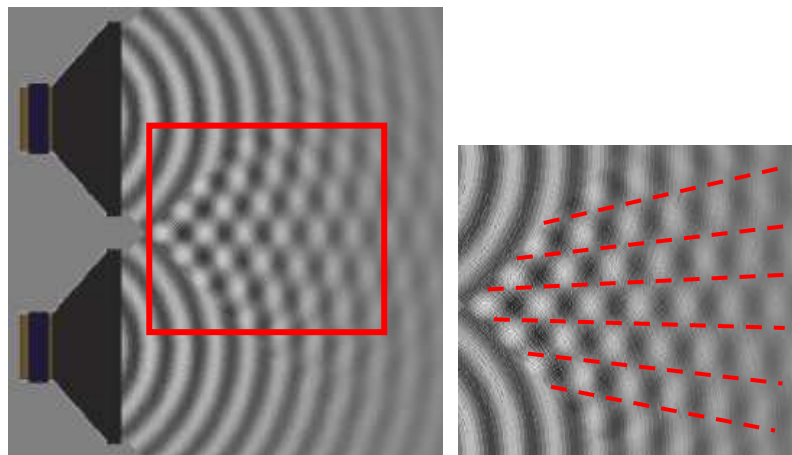


Figura 2 - Padrão de interferência de ondas, interior do quadrado em vermelho. As linhas pontilhadas indicam as regiões onde as partículas não oscilam (se superpuseram destrutivamente). As regiões claras indicam os picos e as escuras os vales das ondas.

Fonte: <https://phet.colorado.edu>.

De modo simplificado, uma onda pode ser descrita sob uma função que depende do comprimento da onda (a dimensão espacial) e de sua frequência (dimensão temporal):

$$y(t) = A \text{ sen } (kx - \omega t) \quad [\text{Eq. 1}]$$

Na fórmula:

y é a posição em y (amplitude) dependente do tempo t e da posição x ;

k é o número de onda também representada por $2\pi/\lambda$;

ω é a frequência angular descrita por $2\pi f$, em que f é a frequência da onda, representada por $1/T$, na qual T é o período de oscilação da onda.

Portanto, se duas ondas idênticas propagadas em sentidos diferentes se encontram, elas irão se superpor. Cada onda poderá ser representada por:

$$y_1 = A \text{ sen } (kx - \omega t)$$

$$y_2 = A \text{ sen } (kx + \omega t)$$

Nesse sentido, as equações acima representam essas duas ondas, em que a onda y_1 se propaga na direção positiva de x e y_2 se propaga na direção negativa de x . Ao se encontrarem, o resultado é a soma das funções:

$$y = y_1 + y_2 = A \text{ sen } (kx - \omega t) + A \text{ sen } (kx + \omega t)$$

A identidade trigonométrica $\text{sen } (a \pm b) = \text{sen } a \cos b \pm \cos a \text{ sen } b$ pode ser aplicada e poderá ser reduzida em:

$$y = (2A \text{ sen } kx) \cos \omega t \quad [\text{Eq. 2}]$$

Quando essas ondas confinam-se numa região de comprimento definido, como o que ocorre em uma corda de violão, elas se tornam estacionárias, oscilando

ao redor do mesmo ponto. Assim sendo, uma onda estacionária pode ser representada pela soma das duas ondas idênticas em sentidos opostos (Eq. 02). Na equação 2 a amplitude da oscilação será nula quando $kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$. Este ponto é denominado nodo. Nele, a corda não oscila enquanto as ondas se superpõem. Para isso, $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots = \frac{n\lambda}{2}$, com $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

A amplitude de onda estacionária será máxima ($2A$) quando $\text{sen } kx = \pm 1$. As posições onde ocorrem esses deslocamentos máximos são chamadas antinodos. As posições ocorrerão para $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots = \frac{n\lambda}{4}$, com $n = 1, 3, 5, \dots$

Apesar dessa ser uma descrição para uma onda que se propaga apenas em uma direção, é possível estabelecer uma analogia para o caso da placa vibrante. Nas figuras de Chladni (figura 1), as regiões nodais são respectivas aos locais onde as partículas polvilhadas sobre a placa se concentram, enquanto que os antinodos se encontram a meia distância entre dois nodos.

A seguir, serão apresentadas algumas figuras produzidas pela placa em alguns de seus harmônicos, sendo destacados os padrões e suas respectivas frequências.

5 O PRODUTO: AS FIGURAS DE CHLADNI NO ENSINO DE ACÚSTICA E ONDULATÓRIA

5.1 PRIMEIRO EXPERIMENTO: EM PLACA DE ALUMÍNIO

A fim de reproduzir as figuras de Chladni para o estudo de acústica e ondulatória, realizamos o primeiro experimento com placas de alumínio em Sinop-MT, na Universidade Federal do Estado do Mato Grosso, em 2015. Para isso, foi necessária a construção do equipamento, que, inclusive, concedemos, a seguir, como confeccioná-lo.

São necessários:

- Uma placa de alumínio de 1,5mm;
- Um alto falante de 50w ligado ao um amplificador, que será conectado ao gerador de função;
- Caso não tenha o gerador de frequências na escola, poderá utilizar o programa TrueRTA™².

A placa deverá ser fixada sobre o alto falante, presa por uma haste rígida colada no centro dele. Feito isso, o professor deve espalhar sal de cozinha sobre a placa e aplicar sinais iniciando de 0 Hz até que a placa ressoe em seus modos naturais. É imprescindível atuar no controle de intensidade som – o volume – do alto-falante, a fim de que o sal permaneça sobre a placa. Na fotografia 2, apresentamos o material construído e em funcionamento.









Fotografia 2 - Figura gerada com o uso do gerador de sinais.
Fonte: Autor professor Me. Everton Botan.





² Programa disponível gratuitamente no endereço: https://www.trueaudio.com/rta_down.htm




A seguir, listamos, no quadro 1, as figuras obtidas na atividade experimental. Cada figura foi repetida a fim verificar se a menor diferença no valor do sinal que foi aplicado alteraria o formato da figura. Foram utilizados um gerador de sinal – Gerador de Função ICEL GV 2002 2MHZ – do laboratório da UFMT, campus Sinop, e uma placa de alumínio quadrada de 30 cm², de 1,5 mm de espessura, além de um amplificador e o sal de cozinha.

Inicialmente, mapeamos as frequências em que as figuras eram produzidas. Primeiro, observamos se com o gerador era possível estabelecer um padrão nas figuras, assim como ocorre com as frequências produzidas em uma corda de violão. Quando em frequências baixas, para manter o sal em cima da placa, a fim de que ele convergisse em uma figura, foi necessário reduzir a intensidade produzida pelo amplificador. O contrário foi feito com frequências altas, afinal o gerador não produzia a intensidade necessária para que a placa vibrasse a ponto de convergir o sal na figura de resposta à frequência aplicada.

Nº	Frequência	Figura Formada
1.	78,6 Hz	
2.	81 Hz	

3.	83 Hz	
4.	98 Hz	
5.	209 Hz	
6.	370 Hz	

7.	565 Hz	
8.	904 Hz	
9.	1.132 Hz	
10.	1.242 Hz	

11.	1.247 Hz	
12.	1.803 Hz	
13.	2.017 Hz	

Quadro 1 - Figuras produzidas com o gerador – placa de alumínio.
Fonte: Autoria própria.

Verificadas as figuras obtidas, notamos que tons mais agudos (frequências maiores) formavam figuras mais complexas, com maior número de linhas nodais. Concluimos, assim, que há relação direta entre os padrões (número de linhas nodais) com a frequência. Portanto, a formação das figuras pode representar um comportamento para caracterizar harmônicos em altas e baixas frequências.

Percebemos, também, que as figuras são simétricas a pelo menos um eixo (diagonal ou outra linha que intercepte o centro da placa).

Além disso, considerando que algumas imagens correspondem às obtidas por Chladni, podemos afirmar que se forem mantidas as características da placa, as

figuras estarão associadas sempre ao mesmo tom (frequência). Logo, o experimento é replicável.

Diferentemente do que ocorre com as cordas do violão³, não obtivemos harmônicos na mesma placa apenas dobrando a frequência. Pensávamos inicialmente que, assim como nas cordas do violão, a placa ressoaria se a mesma nota fosse gerada em alturas diferentes, o que não ocorreu. Portanto, a placa não ressoa com o dobro da frequência e, desse modo, as frequências naturais da placa não aparecem por uma relação linear. Encontramos 13 (treze) frequências naturais para a placa de alumínio.

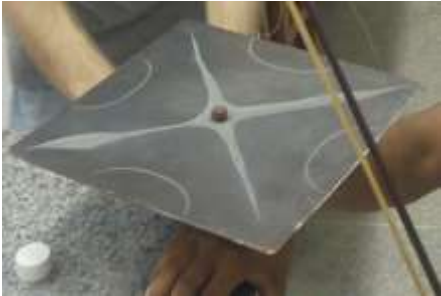

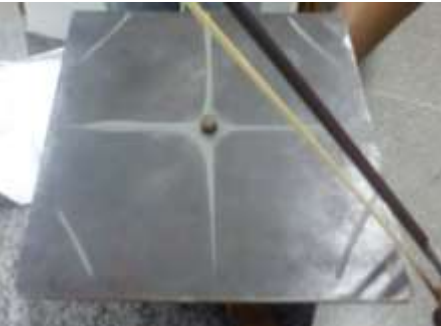
Conceitos como ressonância, ondas estacionárias, padrões de interferências construtivas ou destrutivas e regiões nodais são facilmente exploráveis em cada figura que se formou na placa. Por isso, o modelo de Chladni parece ser um importante modelo experimental aos estudantes de Física.

No experimento original, Chladni utilizava um arco de violino e era perceptível que certos padrões diferentes seriam possíveis devido ao atrito do arco do violino com a placa, que por sua vez produzia funções diferentes, de intensidades e origem em pontos distintos. Em certo momento, a placa tem a origem do evento em uma das bordas da placa, diferentemente do modelo usando um alto falante, que tem sua origem no centro da placa.

Didaticamente, notamos que por suas características, a placa de alumínio produziu figuras em quantidade superior, com maior facilidade, inclusive em frequências muito próximas ao limite da audição humana. Entre as escolhas dos materiais, testamos também uma placa de ferro, com o uso do arco de violino, e obtivemos as figuras apresentadas no quadro 2. Para a reprodução do experimento

³ No violão, cada corda tensionada corretamente apresentará frequências naturais correspondentes às notas musicais. Contudo, diferentes cordas podem gerar a mesma nota em alturas diferentes. É possível fazer com que uma corda vibre sem a necessidade de ser tocada pelo músico através da ressonância. Este fenômeno ocorre, por exemplo, quando o violonista toca qualquer nota no violão. Assim, se tocarmos a sexta corda do violão com o dedo indicador da mão esquerda (para destros), pressionando a quinta casa (110Hz), obteremos a nota Lá. Nesse momento, a corda Lá (110Hz), que é a quinta corda do violão, também vibrará, pois está em ressonância com a sexta corda. A mesma coisa acontece quando se pressiona a 17ª casa na sexta corda (220Hz – dobro da frequência), ao invés da 5ª casa nesta mesma corda. Isso acontece, porque quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração, o sistema físico, isto é, a corda do violão, passa a vibrar com amplitudes cada vez maiores. Um sistema pode ter mais de uma frequência natural.

em sala de aula, consideramos importante a opção pela placa de ferro, já que em nossa região, era mais fácil de ser encontrada.

Nº	Ponto de aplicação do arco de violino	Ponto de apoio	Figura produzida
1.	1/2 do comprimento da placa 15 cm	Extremidades livres	
2.	3/4 do comprimento da placa 22.5 cm	Extremidades livres.	
3.	5/6 do comprimento da placa 25 cm	Extremidades livres	

Quadro 2 - Figuras produzidas com o arco de violino em placa de ferro quadrada de 30 cm² com 2,5mm de espessura utilizando limalha de ferro.

Fonte: Autoria própria.

Considerando o experimento na placa de ferro, o número de figuras foi limitado devido a densidade da placa. Destacamos ainda que uma boa prática com o manejo do arco de violino faz-se necessária para que a frequência seja constante, produzindo as figuras. Os resultados obtidos foram iguais às figuras apresentadas pelos experimentos de Chladni e nenhuma delas se assemelharam as obtidas com o gerador de sinal.

Com a placa de ferro e limalha de ferro, além do arco do violino, uma relação de figuras permaneceu na placa devido a uma produção sonora do atrito com o arco

e a borda da placa. Nesse momento, estabelecia-se a ressonância e as figuras se formavam. Por outro lado, toda vez que não conseguíamos produzir a ressonância na placa atritada ao arco do violino, as figuras não eram produzidas, espalhando-se para fora da placa a limalha de ferro.

5.2 REPLICAÇÃO DO EXPERIMENTO: EM PLACA DE INOX

Em 2017, optamos por replicar o experimento, porém em outro tipo de placa. Esse segundo experimento foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina.

Para isso, construímos uma placa de inox com as dimensões 30 cm x 30 cm, sendo 1,5 mm de espessura. Utilizamos um gerador de sinais com amplificador e estroboscópio do laboratório da UTFPR (fotografias 3 e 4).



Fotografia 3 - Placa de inox com o uso do gerador de sinais.
Fonte: A autoria de Jairo Alves Junior.









Fotografia 4 - Placa de inox com o uso do gerador de sinais.
Fonte: A autoria de Jairo Alves Junior.





A fim de colher os dados, tivemos o auxílio do aluno de iniciação científica da UTFPR, Jairo Alves Junior, do segundo ano de licenciatura de Química, que atualmente migrou para Engenharia Química na mesma instituição. Além dele, contamos, também, com o apoio do Técnico de Laboratório de Física da UTFPR, Marcio José Alves.

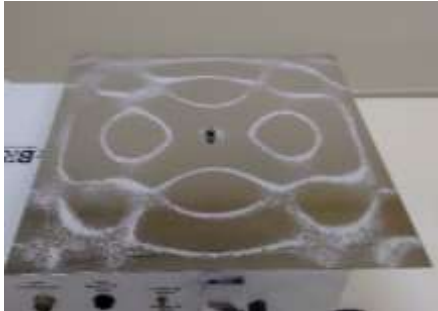



Os dados coletados a partir do segundo experimento apresentaram alguns resultados diferentes se comparados à primeira experiência na UFMT, em 2015.


Apesar de termos utilizado as mesmas frequências, com mesmo sinal do primeiro experimento, devido à mudança de superfície, por ser uma placa de inox, não foram geradas figuras semelhantes, ou seja, os resultados obtidos não foram os mesmos.

Nº	Frequência	Figura Formada
1.	52 Hz	
2.	63 Hz	

3.	275 Hz	 A photograph of a square Chladni plate with a central black dot. The plate is covered with white powder that has formed into a pattern of four curved lines meeting at the center, creating a diamond-like shape. The background is a plain, light-colored surface.
4.	350 Hz	 A photograph of a square Chladni plate with a central black dot. The white powder has formed into a pattern of two curved lines meeting at the center, creating a figure-eight shape. The background is a plain, light-colored surface.
5.	386 Hz	 A photograph of a square Chladni plate with a central black dot. The white powder has formed into a pattern of two curved lines meeting at the center, creating a figure-eight shape, similar to the 350 Hz pattern. The background is a plain, light-colored surface.
6.	690 Hz	 A photograph of a square Chladni plate with a central black dot. The white powder has formed into a pattern of two curved lines meeting at the center, creating a figure-eight shape, similar to the 350 Hz pattern. The background is a plain, light-colored surface.

7.	758 Hz	
8.	786 Hz	
9.	1.000 Hz	
10.	1.209 Hz	

11.	1.213 Hz	
12.	1.270 Hz	
13.	1.519 Hz	
14.	1.684 Hz	

15.	2.455 Hz	
-----	----------	--

Quadro 3 - Figuras produzidas na placa de inox, quadrada de 30 cm², sendo 1,5mm de espessura.
Fonte: Autoria própria.

Como observado nas figuras acima, as frequências foram diferentes para a obtenção desses resultados. Portanto, foi possível perceber que é a mudança do material da placa o fator influenciador na distinção das figuras.

De qualquer modo, em ambas placas, figuras foram geradas, demonstrando ser um método positivo na replicação de resultados, independentemente da placa utilizada.

6 AO PROFESSOR

Neste capítulo, teceremos considerações sobre os aspectos físicos que o professor pode tomar proveito, durante suas aulas sobre oscilações, ondulatória e acústica, com a aplicação do experimento em sala de aula, bem como destacar a importância da experimentação no ensino de ciências.

6.1 A IMPORTÂNCIA DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

As atividades experimentais no ensino de ciência em sala de aula requerem do professor não só um conhecimento específico da sua área, mas, também, uma ação pedagógica no contexto escolar. Para que isso ocorra, o professor necessita exercitar em sua prática a qualidade, habilidade pessoal e o preparo teórico-prático (ALVES, 2007, apud FARIAS; BASAGLIA; ZIMMERMANN, 2009).

A qualidade do trabalho do professor em sala de aula está implicitamente associada à “bagagem” que ele detém, como conhecimentos teóricos sobre o assunto, além das habilidades práticas. O aluno obterá aprendizagens mais significativas se melhor orientado por um bom profissional. Contudo, não se pode colocar à parte a realidade que o professor enfrenta – infelizmente, nem sempre as condições contextuais são favoráveis.

A maioria das escolas públicas no país enfrenta situações desafiadoras, como a falta de verbas para manutenção da sua infraestrutura. Pesquisadores da área educacional, como Saviani (2000), Veiga (2000) e Alves (2007), apontam as inúmeras dificuldades enfrentadas no espaço escolar, porém destacam, também, que os problemas poderão ser amenizados com a capacidade de inovação do professor em sala de aula.

Trabalhar com um experimento em sala de aula, requer inovação e criatividade do professor de ciências. É sabido que a maioria das escolas públicas enfrenta problemas pela falta de laboratórios. Nesse sentido, nossa proposta é inovar, isto é, apresentar aos alunos de escolas públicas a possibilidade de desenvolver projetos experimentais mesmo com a ausência de laboratórios.

Ao invés do professor desanimar com a falta de laboratórios nas escolas, como aponta Amaral (1996), faz-se necessário proporcionar aos alunos alternativas para novas aprendizagens.

Os projetos experimentais, segundo Russell (1994), cumprem uma função integradora entre a teoria e a prática, de maneira que os alunos podem interagir no grupo e adquirir, assim, novos conhecimentos. Essa interação, associada à experimentação, concede ao aluno vivências de conteúdos vivos, construídos na prática no momento da aprendizagem teórica.

A apresentação e demonstração do processo cymático da placa de Chladni oportuniza aos alunos a experimentação dos conceitos desenvolvidos pelo autor, de uma maneira que o aluno exercite o processo da investigação científica acerca da natureza das ciências. Giordan (1999) afirma que a experimentação possibilita que alunos criem modelos que tenham sentidos para eles, a partir de suas próprias observações.

A proposta pensada para o ensino de ciências em sala de aula nesse plano de ensino consiste em priorizar a aprendizagem na área de física de forma lúdica, agradável. Para isso a ideia é não seguir métodos de ensino, mas poder ajudar o aluno em suas dificuldades a partir de projetos experimentais. O experimento causa no aluno curiosidades e participação em sala de aula de modo que muitas questões podem ser suscitadas no momento da visualização ocular da prática realizada.

A experimentação segundo Giordan (1999) desperta no aluno um forte interesse pela aprendizagem. De acordo com o autor, os alunos atribuem à realização de um experimento um caráter motivar lúdico vinculado aos sentidos.

Portanto, pensar o ensino de ciências para alunos dos anos iniciais do ensino fundamental de forma prazerosa e atrativa, poderá despertar no aluno o gosto pela aprendizagem de conceitos relacionados à área de física. Isso sugere uma educação de qualidade, em que há um envolvimento das habilidades pessoais daquele professor que pensa e associa a teoria com a prática, de modo significativo e atrativo, a fim de que os alunos aprendam ciências.

6.2 APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO DAS FIGURAS DE CHLADNI

6.2.1 Procedimento Experimental: Passo-A-Passo

Para realizar tal experimento, serão necessários os seguintes materiais:

- Uma chapa metálica quadrada;
- Um arco de violino;
- Um punhado de areia fina ou sal.

O procedimento experimental será organizado em duas etapas. A primeira consiste em:

- Fixar o centro da placa metálica de forma horizontalizada;
- Espalhar areia fina ou o sal sobre a placa;
- Roçar o arco de um violino sobre as bordas da placa (figura 3);

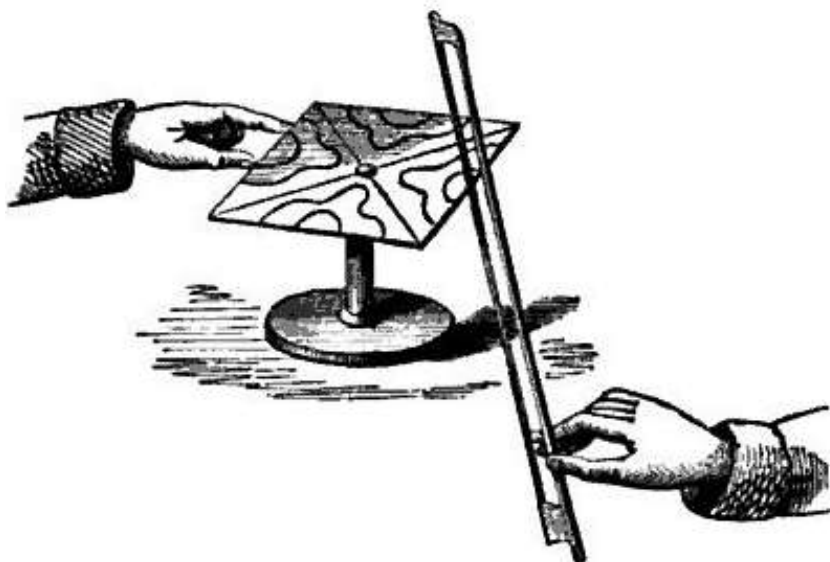


Figura 3 - Padrão de Chladni na placa vibrante excitadas pelo arco.

Fonte: <https://lutd.wordpress.com/2012/03/07/hello-world/>

- Registrar os desenhos obtidos;
- Repetir o padrão várias vezes em pontos diferentes da placa, apoiando o polegar em regiões diferentes enquanto o arco atrita a placa;
- Registrar novos desenhos;
- Verificar se há desenhos diferentes dos padrões de Chladni;
- Comparar os desenhos registrados com a tabela padrão de Chladni (figura 4).

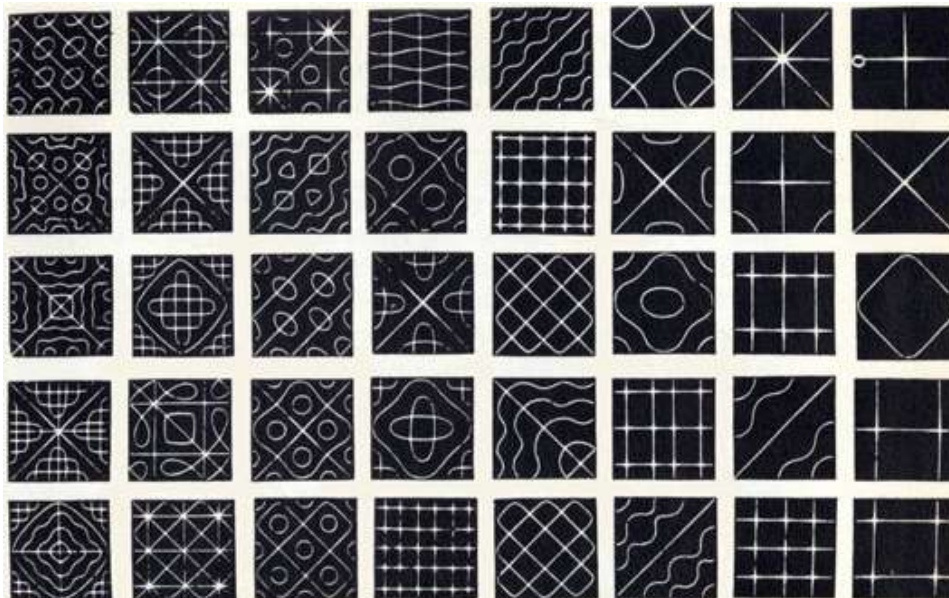
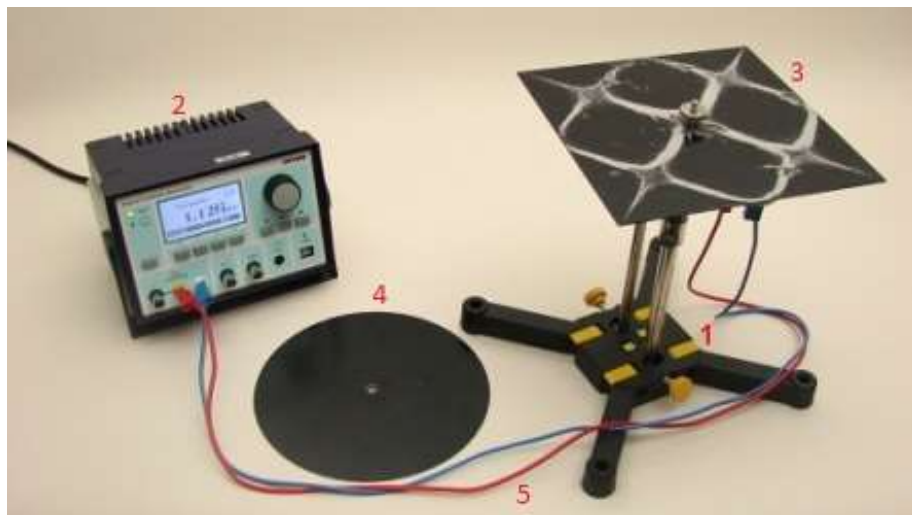


Figura 4 - Figuras de Chladni.

Fonte: <http://matematico10curiosidades.blogspot.com.br/p/figuras-de-chladni.html>

Já a segunda consiste em:

- Utilizar um gerador de frequência digital (disponível em: <http://www.baixaki.com.br/download/rae-realtime-analyzer-ena.htm>);
- Instalar o programa no computador;
- Ligar o computador a uma saída de um alto falante ou a um amplificador multifuncional;
- Instalar a placa de metal sobre o alto falante de forma que a mesma fique na posição horizontal;
- Para instalar a placa, será necessário fixar uma haste no centro do falante e parafusá-la na placa (a placa deverá ser mantida na posição horizontal);
- Polvilhar areia fina ou sal sobre a placa;
- Ligar o gerador e aplicar frequências na faixa de 100Hz até 30KHz;
- Observar os padrões conforme a fotografia 5;



Fotografia 5 - Gerador de Áudio.

Fonte: <http://www.phywe-es.com/1005/pid/29141/Figuras-de-Chladni.htm>

Na fotografia 5, o número 1 representa o auto falante; 2, o gerador de frequência analógico; 3, corresponde a placa quadrada Chladni; 4, a placa redonda Chladni e 5, equivalem aos fios conectores do gerador.

6.2.2 Considerações Sobre Essa Prática Experimental em Sala de Aula

Inicialmente, com tal experimento, a ideia consiste em compreender como ocorrem as vibrações na placa. O oscilador ou o arco de violino provocam perturbações na direção perpendicular à superfície da placa, conseqüentemente a variação na amplitude da oscilação ocorre na mesma direção.

O estudante pode observar lateralmente que as oscilações provocadas no centro da placa devem se propagar do centro para a borda, onde serão refletidas com a mesma fase e retornarão, passando pela região interna e refletindo novamente na outra borda. Estas sucessivas reflexões provocam para certos comprimentos de onda (ou frequências) os padrões de interferência (superposição), pois ocorrerá delas se superporem e formarem ondas estacionárias⁴. A Figura 5 ilustra como se propaga a onda transversal na placa.

⁴ Para melhor visualização, sugerimos ao leitor que acesse a animação sobre a formação de ondas estacionárias em: https://public.dm2303.livefilestore.com/y2pgDjebeK8PXW7dZbhQVWdYx6u8eK-3tqPoPCfог3kRLFdD9va9iTPWn3g0rrG41ocrbitW72DorogWIK4S8Ok4BMklogiE1fuRtCuj0j7GA/Standing_wave_2.gif?psid=1

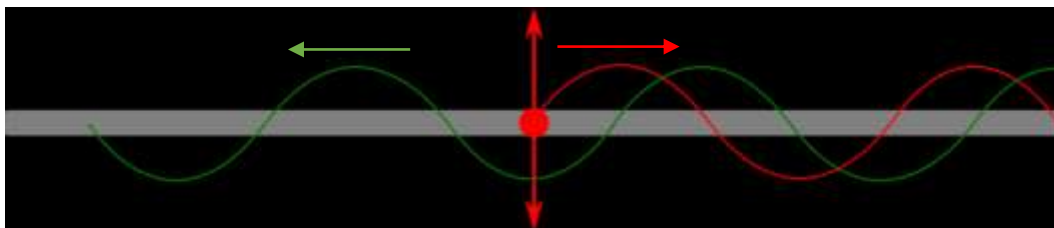


Figura 5 - Placa vista lateralmente. Um ponto na placa oscila para cima e para baixo, perpendicularmente à placa. A onda em vermelho se propaga para a direita e reflete na borda e se propaga para a esquerda – onda em verde.

Fonte: Autoria do professor Me. Everton Botan.

Conforme mudamos a frequência no gerador de sinais, a placa vibrará em todas as frequências geradas, porém nem para todas ela ressoará. A placa ressoa quando as amplitudes das oscilações aumentam significativamente ou quando é possível observar as partículas de sal de cozinha vibrarem com maior intensidade sobre a placa, formando uma figura (padrão).

O professor poderá orientar os alunos para que façam registros (anotações e desenho/fotografia) identificando o que acontece com as partículas de sal de cozinha para cada frequência que a placa ressoa. A observação e registro do que acontece com o sal de cozinha quando ela ressoa e em quais frequências ela ressoa, será objeto de análise e discussão.

Assim, dependendo das dimensões da placa, ela poderá ressoar em frequências diferentes e esta é uma conclusão importante que o professor conseguirá construindo placas de formatos diferentes. É importante notar isso, de modo que perceba-se que cada tipo de material ou suas características construtivas apresentam frequências de ressonâncias diferentes.

Para qualquer figura obtida, o fenômeno é o mesmo – as ondas se superpõem. As figuras são formadas através da superposição de ondas refletidas e as originadas pelo oscilador, pois se propagam em sentidos opostos – a emitida do centro para a borda e a refletida da borda para o centro.

Quando duas cristas ou duas covas se encontram elas se somam, resultando em uma oscilação de amplitude máxima. Contudo, quando uma cova se encontra com uma crista, ambas se anulam e não há oscilação neste ponto (há situações intermediárias em que as cristas e as covas estão defasadas por qualquer fração e então a soma resultará em oscilação de amplitude intermediária entre a mínima e a máxima).

Na placa, certas frequências apresentam frações de números inteiros de comprimento de onda em comparação às dimensões da placa. Isso provoca um efeito conhecido como onda estacionária: as ondas estacionárias resultam da superposição de outras ondas que se deslocam em sentidos opostos. Quando estas ondas se formam na placa, observamos a formação de uma das figuras de Chladni (padrão de superposição – interferência). Na figura 6, indicamos ao professor os locais nas placas onde ocorrem a superposição destrutiva (linha nodal de amplitude nula) e as regiões de superposição construtiva (anti-nodos de amplitude intermediária à máxima).

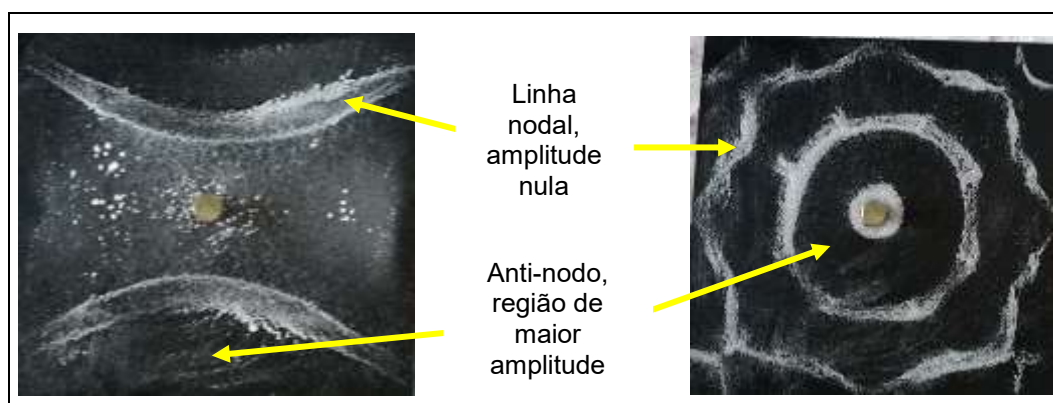


Figura 6 - Formação dos nós e anti-nós na placa.
Fonte: Autoria própria.

O discente pode ser orientado a tocar levemente com os dedos sobre a placa ou a observá-la lateralmente, de modo que visualize as regiões em que a placa vibra e os nodos.

Na figura 7, apresentamos um diagrama de um corte lateral da placa vibrando com ondas estacionárias, na qual podemos ilustrar as regiões nodais que correspondem aos locais onde o sal se concentra quando a placa ressoa um dos seus harmônicos. Assim, cada vez que a placa forma uma figura, ela corresponde a um harmônico.

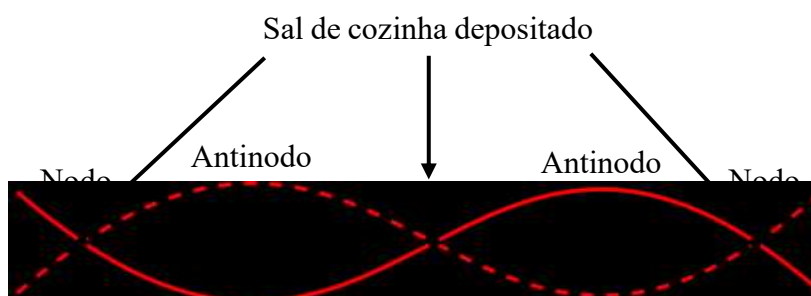


Figura 7 - Vista lateral da placa de Chladni. As linhas contínua e pontilhada representam os sentidos da vibração em tempos diferentes. Os nodos permanecem fixos na frequência.
Fonte: elaborado pelos autores.

Modificando a frequência, o padrão de ondas estacionárias mudará. Generalizando, quanto maior a frequência do som produzido, mais próximas umas das outras estarão as linhas nodais. Isso se deve ao fato de que os comprimentos de ondas diminuem com o aumento da frequência, mas a placa somente ressoará na formação de uma nova onda estacionária – cada onda estacionária corresponde a um harmônico natural da placa.

Observando as figuras, o aluno poderá perceber e até contar a quantidade de modos normais da placa – sempre que encontrar novo padrão. Tal possibilidade se dá porque cada modo natural tem uma frequência definida e, ao aplicar uma frequência diferente da ressonância, a vibração não é capaz de mover as partículas de sal sobre a placa, pois a amplitude da vibração não é suficiente.

Uma observação importante é que o professor ainda poderá sugerir que os alunos polvilhem outros materiais, tais como areia fina ou café, a fim de observar que isso não influencia diretamente na figura produzida. Logo, o sal apenas possibilita visualizar como a placa está se comportando quando a placa ressoa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chladni foi um dos revolucionários no campo da acústica, porém sobre suas descobertas com placas ressoantes, é difícil encontrar na literatura esse assunto aliado ao ensino, especialmente na Educação Básica. Diante disso, com este trabalho, tivemos por intuito fazer uma exploração inicial, apesar de ainda consistir-se em uma leitura descritiva e matemática um tanto parca.

A partir dos resultados obtidos com o modelo da placa de Chladni, pode-se explorar didaticamente conceitos de ressonância, interferência, reflexão de ondas e ondas estacionárias com riqueza visual. Assim, fica evidenciado, pela beleza das figuras, um modelo experimental importante ao alunado, seja ele do ensino básico ou superior.

Quanto às características dos instrumentos (placa de materiais e dimensões diferentes, uso ou não do gerador de sinais – arco de violino), aparentemente, isso vem a interferir na formação de figuras diferentes. Contudo, a presença de figuras semelhantes às obtidas por Chladni, nos leva a questionar se, para qualquer material que compõe a placa, a formação das figuras serão sempre as mesmas e nas mesmas frequências, uma vez que os harmônicos parecem depender das dimensões da placa.

É fundamental destacar que todo material possui uma ou mais frequências naturais das quais se podem extrair figuras, concedendo maior liberdade ao professor e aos alunos de escolherem outros materiais para utilizar, comparando os resultados obtidos.

Além disso, o fato da placa não vibrar ao dobro de seu primeiro harmônico, como ocorrem em cordas de violão, tenderá a gerar discussões em sala de aula, talvez ampliando o interesse pelas pesquisas mais aprofundadas no campo da acústica.

Como afirmado ao longo do trabalho, acreditamos que a experimentação, no ambiente educacional, poderá tornar o estudo de ciência um momento mais dinâmico e produtivo para o ensino e aprendizagem dos discentes (ALVES, 2007; GIORDAN, 1999).

Giordan (1999). Demonstra que é fundamental compreender a importância das ciências, visando as complexidades que nos permeiam, colocando, inclusive, aos alunos as diversas possibilidades exploratórias que eles possuem. É necessário levar aos alunos a ideia de que a ciência é mais do que teoria: é prática e descoberta.

REFERÊNCIAS

- ALVES, W.F. A formação de professores e as teorias do saber docente: contexto e desafios. **Revista Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 33. n. 2. p. 263-280 mai/ago, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ep/v33n2/a06v33n2.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2017.
- AMARAL, L. **Trabalhos práticos de química**. São Paulo, 1996.
- BAROK, D. **Monoskop**: Ernst Chladni. 2013. Disponível em: <http://monoskop.org/Ernst_Chladni#Ancestors>. Acesso em: 20 maio 2017.
- CHLADNI, E. F. F. **Entdeckungen über die Theorie des Klanges**, Leipzig: bey Weidmanns Erben und Reich, 1787. ETH-Bibliothek Zürich, Rar 5284. Disponível em: <<http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-4235>>. Acesso em: 21 maio 2017.
- CYMASCOPE, **Cymascope**: Sound made visible. Disponível em: <http://www.cymascope.com/cyma_research/history.html>. Acesso em: 21 jun 2017.
- DONOSO, J. P.; TANNÚS, A.; GUIMARÃES, F. FREITAS, T. C. A física do violino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, SBF, 2008.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, n. 10, p. 43-49, 1999. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc20/v20a09.pdf>>. Acesso em: 18 jun 2017.
- JEWETT, JR. J. W; SERWAY, R. A. **Física Para Cientistas e Engenheiros – Vol. 2** (Oscilações, Ondas e Termodinâmica). Ed Cengage Learning, 8ª edição, 2014.
- OLIVEIRA, E. F. O.; RAGGIO, P. **Demonstrando as Formas de Ondas Estacionárias em Placas a partir da Configuração de Grãos de Areia**, Campinas: Unicamp, 2011. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2011_sem2/Ebenezer_F_Pedro_Raggio_F609_RF1.pdf>. Acesso em: 01 jun 2017.
- RUSSELL, J.B. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo, 1994.
- SAVIANI, O. **Pedagogia histórico-crítica**: primeiras aproximações. 7. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2000.
- SILVA, J. C. da; TORRIANI, I. **Estudo de Vibrações em Placas**: Figuras de Chladni. Instrumentação para o Ensino (Disciplina), Campinas: Unicamp, 2004. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2004/009027JulioC_IrisTorriani_F809_RF.pdf>. Acesso em: 27 maio 2017.
- ULLMANN, D. Life and work of E. F. F. **The European Physical Journal**: Especial Topics, n.145, p.25-32, 2007. Disponível em: <<http://monoskop.org/images/6/68/Ullm>>

ann_D_2007_Life_and_work_of_EFF_Chladni.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2017.

VEIGA, I. P. A. et al. **Pedagogia universitária: a aula em foco**. São Paulo: Papirus, 2000. 247 p.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB, 1999.