

# **PRODUTO EDUCACIONAL**



**MNPEF**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE  
FÍSICA – PÓLO 28**

**UMA SEQUÊNCIA DE AULAS PARA O ESTUDO DE  
ONDAS, COM AUXÍLIO DAS FIGURAS DE CHLADNI**

O presente Produto Educacional proposto é o resultado de um trabalho científico e pedagógico associado a dissertação de Mestrado de Waldecy de Oliveira apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, pela Universidade Federal de Roraima (UFRR).

Boa Vista – RR  
2018



## APRESENTAÇÃO

O presente material é o resultado de um trabalho científico e pedagógico desenvolvido ao longo de 24 meses de curso e consiste no Produto Educacional elaborado para o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 28 - UFRR. A essência educacional é a confecção de um Material Potencialmente Significativo (MPS), de acordo com a *Teoria da Aprendizagem Significativa*, de David Ausubel, em que se trabalhou os conceitos básicos de fenômenos ondulatórios subdividido em 10 horas/aula e é parte de uma dissertação intitulada de **UMA SEQUÊNCIA DE AULAS PARA ESTUDO DE ONDAS COM AUXÍLIO DAS FIGURAS DE CHLADNI**. O objetivo do produto consiste em propor uma nova didática ao ensino de física, contemplado com pressupostos teóricos da aprendizagem significativa.



## SUMÁRIO

<b>1. O FÍSICO ERNST FLORENS FRIEDRICH CHLADNI.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ASPECTOS FÍSICOS NAS FIGURAS DE CHLADNI .....</b>	<b>6</b>
<b>3. ROTEIRO PARA CONFEÇÃO DO EXPERIMENTO.....</b>	<b>9</b>
<b>4. SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM COM BASE NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL .....</b>	<b>20</b>
<b>5. DESCRIÇÃO DAS AULAS .....</b>	<b>24</b>
5.1 AULA 1 .....	24
5.2 AULA 2 .....	28
5.3AULA 3 .....	30
5.4AULA 4.....	34
5.5 AULA 5.....	35
<b>6. RELATÓRIO DAS ATIVIDADES.....</b>	<b>38</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>79</b>


## 1. O FÍSICO ERNST FLORENS FRIEDRICH CHLADNI

No ano de 1756, em 30 de novembro, nasceu na cidade de Wittenberg, Alemanha, o físico Ernst Florens descendente de Johanna Sophia e Ernst Martin. Filho de pai professor reitor da Universidade de Wittenberg e irmão de uma criança que veio a óbito aos 5 meses de vida. Johanna, sua mãe, também veio a óbito quando o mesmo tinha 5 anos. Seu pai casou-se novamente anos depois, mas não teve filhos com sua madrasta.



Figura 1: Disponível no endereço: [http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras\\_chladni.pdf](http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras_chladni.pdf) Acesso em: 10/11/2017

Chladni viveu em um lar nobre, e ainda na juventude interessou-se por ciências da natureza e pela beleza sonora. Iniciou a faculdade de Direito na Universidade de Wittenberg



e depois transferiu o curso para universidade de Leipzig para ficar mais distante dos cuidados paternos. Após a transferência de universidade iniciou seus estudos musicais e suas participações em concertos.

Ao concluir o curso de Direito em Leipzig, Chladni, retorna para Wittenberg onde trabalha como docente no curso de Direito. Mesmo exercendo atividade docente em Direito, Chladni passa a ministrar cursos sobre geometria, além de publicar artigos sobre teorias musicais como, por exemplo, sua “teoria fisicomatemática da música”.

A partir de 1782 Chladni passou a desenvolver pesquisas experimentais sobre o comportamento de ondas sonoras em superfícies vibrantes.


No ano de 1787, em Leipzig, Chladni publicou uma pesquisa, que denominou ondas sonoras, com o título *Descobertas sobre a Teoria dos Sons*. Chladni passou então a se dedicar ao estudo de construção de instrumentos musicais.

Suas principais obras são:

**1787** - "Entdeckungen über die Theorie des Klanges"  
(Descobertas sobre a teoria dos sons)

**1802** - "Die Akustik" (A Acústica)

**1817** - "Neue Beyträge zur Akustik" (Novas contribuições para a acústica)



**1819** - "Ueber Feuer-Meteore, und die mit denselben herabgefallenen Massen" (Sobre Meteoros de fogo e massas caídas com eles)

## **2. ASPECTOS FÍSICOS NAS FIGURAS SONORAS DE CHLADNI**

Ao visualizar as figuras sonoras de Chladni, o observador, deve-se perguntar:

- Porque surgem essas figuras com a vibração da placa?
- Qual a importância na/para aprendizagem do aluno?

Responder este e outros questionamentos teóricos e práticos do arranjo comportamental criado pelos grãos no meio sólido ao vibrar com o som não é uma tarefa matematicamente fácil, e por isso a proposta não se deterá aos complexos cálculos, mas é didaticamente pertinente na demonstração e compreensão das ondas propagadas na matéria.

As figuras são visualizadas quando se vibra uma placa metálica em qualquer formato geométrico.



Figura 2: Primeiras imagens produzidas na escola (Arquivo pessoal)

A beleza das imagens é em virtude da vibração regular e constante da superfície metálica. Se representarmos de forma esquemática uma lâmina de metal vista de lado ao sofrer vibrações, veremos que ela oscila longitudinalmente da seguinte forma:

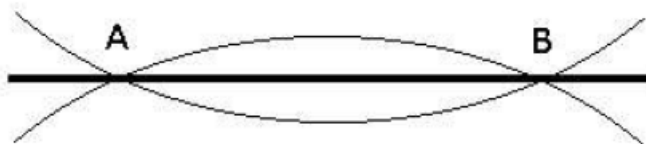


Figura 3: Disponível no endereço: [http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras\\_chladni.pdf](http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras_chladni.pdf). Acesso em 10/11/2017

Na figura, enquanto as extremidades e o centro oscilam, os pontos A e B se mantêm constante, comportando-se como eixos do movimento. Os pontos A e B são chamados **pontos nodais**. Suponha uma substância qualquer que estivesse

sobre a lâmina seria possível vê-la sendo deslocada, em virtude do movimento vibracional, até se acomodar nos pontos nodais; que são os de menor movimento, ou até mesmo de repouso, no caso de situação ideal. Assim, com o tempo, toda a substância se acumularia nestes dois pontos. (PETRAGLIA 2005-2010).

As placas metálicas, utilizadas no presente produto, obedecem ao mesmo princípio físico, mas com comportamentos geométricos mais complexos. Nesse caso, não se tem simplesmente pontos nodais, mas tem-se o que denominamos de **linhas nodais**. As linhas, fisicamente, são chamadas de pontos médios entre vales e cristas. Imagine duas áreas adjacentes, separadas por uma linha, estão sempre em movimento em direção oposta ao vibrar; enquanto uma sobe a outra desce.

As áreas indicadas com + ou - estão em movimentos inversos.

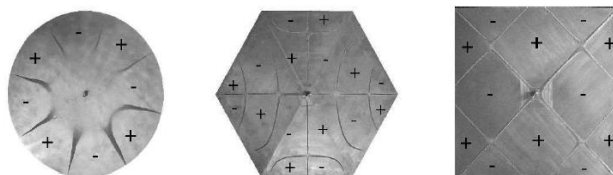



Figura 4: Disponível em: [http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras\\_chladni.pdf](http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras_chladni.pdf)  
Acesso em: 10/11/2017.






Uma placa metálica, que esteja submetida a uma vibração sonora, tem o que chamamos **modos de vibração**. Compreende-se esse fenômeno como sendo as variadas maneiras que tem de acomodação em um movimento. Os modos são determinados pelo formato geométrico da placa, pelo tipo de material, sua espessura e capacidade elástica da placa, assim também como pela frequência que é submetida ao vibrar. Com isso, é possível obter muitas figuras geométricas com a mesma placa. Fisicamente a cada modos de vibração tem-se uma frequência e altura tonal associada. Portanto, percebe-se duas importantes leis nas Figuras Sonoras de Chladni, são elas:

- i)* Ao manter as mesmas condições da placa, citada acima, tem-se uma mesma figura associada a um mesmo tom.
- ii)* Com tons mais agudos tem-se figuras mais complexas e também um maior número de linhas nodais. Com tons mais graves tem-se figuras mais simples e também um menor número de linhas nodais.

### **3. ROTEIRO PARA CONFEÇÃO DO EXPERIMENTO**

#### **1- Materiais e componentes necessários:**

- Aparelho amplificador de som LL Áudio AB100BT;
- Alto falante JBL MG – 600 de 8;
- 200 gramas de sal refinado;

- 
- Placa de zinco com lados de 20 cm x 20 cm, espessura de 1,11 mm e peso de 8,88 kg/m<sup>2</sup>;
  - Madeira compensada para fixar o alto-falante;
  - Pescoço de uma garrafa pet de 600 ml, com tampa;
  - Parafuso de 10 cm de comprimento e 6 mm de diâmetro;
  - Celular smartphone para instalação o aplicativo Frequency Sound Generator;
  - Cola veda choque Chel Williams;
  - Pregos suficiente com medidas 6 x 6 [1/2 x 19];
  - Duas porcas de rosca 6 mm;
  - Duas arruelas com diâmetro interno de 6,4 mm e externo 12 mm;
  - Martelo e furadeira;
  - Mini serra elétrica.

## **2- Descrição detalhada dos componentes do experimento:**

- *Aparelho amplificador de som LL Áudio AB100BT;*



Figura 5: Amplificador utilizado no experimento (Arquivo pessoal)

Dentre os diversos componentes do experimento com as figuras de Chladni, pode-se destacar como essencial a fonte de vibração da placa (Figura 5), que nesse trabalho foi utilizado um amplificador de som LL Áudio AB100BT. Existem diversos amplificadores que poderiam ser utilizados como fonte de vibração, mas o utilizado no presente trabalho foi adquirido sem muitas pesquisas prévias de cunho técnico na sua compra. Mas é importante ressaltar que é possível vibrar a placa, apenas, com arco de violino.

- *Alto falante JBL MG – 600 de 8*



Figura 6 – Alto-falante (Arquivo pessoal)

Assim como o amplificador, supracitado, é importante para execução do experimento, o alto-falante é de extrema importância, pois para que ocorra a vibração da placa é necessário uma fonte, seja manual com arco de violino ou eletrônica, e nesse caso foi usado o alto-falante JBL MG – 600 de 8. A sua escolha foi feita, também, sem muitas pesquisas prévias de cunho técnico na sua compra. Um técnico da loja foi consultado e confirmou que seria possível alcançar o objetivo com este equipamento. Também é interessante ressaltar que não houve testes com outro tipo de alto-falantes.

- *200 gramas de sal refinado*



Figura 7 – Sal para distribuir na placa metálica

(Arquivo pessoal)

Para formação das figuras geométricas na placa são necessários grãos distribuídos sobre a mesma. Os grãos escolhidos para o presente trabalho foi o sal, mas é possível

produzir as com outros tipos de grãos como, por exemplo, a areia. Não foi feito testes com outros tipos de grãos, mas na internet é possível encontrar alguns testes com outros grãos como, por exemplo, areia e açúcar.

- *Placa de zinco*

Na escolha da placa deve-se levar em consideração a dimensão, pois uma placa de área e espessuras, relativamente, grande dificultará a vibração e conseqüentemente a formação de figuras. A partir desses fatores relevantes a escola foi uma placa de zinco com lados de 20 cm x 20 cm, espessura de 1,11 mm e peso de 8,88 kg/m<sup>2</sup>. No entanto, esses foram os critérios para a escolha da mesma, mas é possível com outro material desde que levado em consideração a dimensão. Também, é possível utilizar placa com formatos geométricos diferentes, como retangular e circular.



Figura 8 – Placa utilizada no experimento (Arquivo pessoal)

- *Madeira compensada*



*Figura 9 – Caixa com alto-falante (Arquivo pessoal)*

A madeira utilizada para fixar o alto-falante pode ser de material MDF ou compensado. O material utilizado no trabalho foi compensado com 15 mm de espessura e deve-se recortá-la com as seguintes dimensões: a parte inferior com lados 20 cm x 20 cm, as quatro laterais com 15 cm de altura e 20 cm de comprimento e a parte superior com lados 20 cm x 20 cm e com furo ao meio para fixação do alto-falante.

- *Pescoço de uma garrafa pet com tampa*



Figura 10 – Pescoço de uma garrafa pet para utiliza como equilíbrio da placa (Arquivo pessoal)

É importante a utilização do pescoço da garrafa pet de 600 ml, com tampa, para que o parafuso central passe pelo furo e fique fixo. Pois do contrário, com o peso da chapa e vibração, a placa oscila para os lados e, dessa forma, prejudicando a formação das figuras.

- *Parafuso central*

Para fixação da chapa é necessário um parafuso central que passe por dentro do pescoço da garrafa pet e que seja colado na parte inferior, sua dimensão é 10 cm de comprimento e 6 mm de diâmetro.



*Figura 11 – Eixo central para fixação da placa (Arquivo pessoal)*

- *Aplicativo Frequency Sound Generator*

Existem vários aplicativos equalizadores de frequência de som, para utilizar na vibração da placa, disponíveis na internet. No entanto, o aplicativo *Frequency Sound Generator* foi testado e o objetivo foi alcançado.





Figura 12 – Print do aplicativo utilizado para controlar a frequência (Arquivo pessoal)

Dessa forma, não foi necessário testar outros aplicativos, mas caso outros professores queiram utilizar outros para adequar o produto de acordo com sua realidade e vontade.

- *Cola veda choque Sherwin Williams*



Figura 13 – Cola utilizada para confecção do experimento.

Disponível no endereço: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-971613020-kit-reparo-de-para-lamas-sherwin-williams-veda-choque- JM>  
Acesso em 05/05/2018.

A cola é importante para fixação do eixo central, é um produto utilizado para reparação de para-choques, grades frontais, para-lamas, laterais de veículos etc. é encontrado nas lojas de peças de carro.

Após a etapa de confecção do experimento é o momento de testes e demonstrações para verificação das figuras de Chladni. Abaixo tem-se as primeiras imagens formadas.



Figura 14 – Figura formada antes de aplicar na sala de aula (Arquivo pessoal)

## SEQUÊNCIA DE ENSINO - APRENDIZAGEM COM BASE NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL.

O presente produto educacional é uma proposta de Ensino das Ondas, pautado na Teoria da Aprendizagem de David Ausubel, onde é utilizado, no início e na última aula da sequência, um experimento mostrando o comportamento das Ondas na matéria através das Figuras de Chaldni.

Abaixo tem-se o cronograma Sintético das etapas de ensino do assunto proposto:

AULAS	ETAPAS	TEMPO
<b>Aula 1</b> Apresentação do Produto; Levantament o prévio; Introdução à Acústica, pesquisas; discussão dos resultados, aplicação do experimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• APRESENTAÇÃO DO PRODUTO</li> </ul>	10 min
	PERGUNTAS DIRECIONADAS AOS ALUNOS: <ul style="list-style-type: none"> <li>• O que é Acústica?</li> <li>• O que é o Som?</li> <li>• Qualidade do som: altura ou tom, intensidade, timbre, e escala musical.</li> <li>• Notas musicais.</li> </ul> PARÓDIA SOBRE ACÚSTICA	50 min

	DISCUSSÃO TEÓRICA COM A TURMA	
	APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO <ul style="list-style-type: none"><li>• Figuras Sonoras de Chladni;</li></ul> QUESTIONÁRIO SOBRE AS FIGURAS SONORAS DE CHLADNI.	1 h
<b>Aula 2</b> Introdução ao Estudo de Ondas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Levantamento prévio sobre Ondas;</li><li>• Pesquisa na Internet sobre Ondas;</li><li>• Discussão sobre o fenômeno físico – Ondas, através de dinâmica com sorteio de chocolate;</li><li>• Dissertação sobre Ondas.</li></ul>	1,5 h

<b>Aula 3</b> Ondulatória	<b>ONDULATÓRIA:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Movimentos periódicos – período e frequência;</li><li>• Pulsos e ondas;</li><li>• Classificação das ondas;</li><li>• Velocidade de propagação de uma onda</li><li>• Ondas periódicas;</li></ul> <b>EXERCÍCIOS RESOLVIDOS</b>	1,5 h
	<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL</b>  Questões que visa a expressão do aluno acerca do tema estudado.	0,5 h
<b>Aula 4</b> Continuação do Tema; Fenômenos Ondulatórios.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Memória coletiva</li></ul> <b>APROFUNDANDO O ASSUNTO DE ONDAS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reflexão de um pulso;</li><li>• Refração de um pulso;</li><li>• Interferência de onda em uma corda;</li><li>• Onda estacionária;</li><li>• Discussão em sala sobre os fenômenos.</li></ul>	1,5 h

	<b>FENÔMENOS ONDULATÓRIOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frente de Onda;</li> <li>• Reflexão de Ondas;</li> <li>• Refração de Ondas.</li> </ul>	
	<b>RESOLUÇÃO DE QUESTÕES EM SALA.</b>	0,5 h
<b>Aula 5</b> Aplicação do Experimento; Questionários; Verificação de evidências da Aprendizagem Significativa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memória Coletiva sobre o experimento</li> </ul> <b>APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO</b> Exposição e demonstração do comportamento da Ondas na matéria através das Figuras sonoras de Chladni.	1,5 h
	Avaliação Individual – verificação de evidências da aprendizagem significativa.	30 min
<b>TOTAL DE HORAS</b>		10 h

## **5. DESCRIÇÃO DAS AULAS**

### **5.1 AULA 1**

#### **TEMA: INTRODUÇÃO À ACÚSTICA**

#### **JUSTIFICATIVA**

Em virtude dos alunos, ainda, não terem estudado o conteúdo sobre Ondas e muito menos presenciarem a beleza das Figuras de Chladni, fez-se necessário um levantamento prévio para se averiguar os subçunsores na estrutura cognitiva, dos mesmos, afim das demais aulas passarem a ter sentido e contribuir para aperfeiçoamentos, pois segundo Ausubel:

Uma vez que significados iniciais são estabelecidos por signos ou símbolos de conceitos, através do processo de formação de conceitos, novas aprendizagens significativas darão significados adicionais a esses signos ou símbolos, e novas relações, entre os conceitos anteriormente adquiridos, serão estabelecidas. (AUSUBEL,1978, pg 46 apud MOREIRA, 2016)

Também, é pertinente fazer com que os alunos se deparem com o experimento, e a beleza geométrica das figuras, e o manuseie e desperte interesse nas próximas aulas



e expectativas na última, em que será novamente trabalhado em sala o experimento.

Também, é pertinente fazer com que os alunos se deparem com o experimento, e a beleza geométrica das figuras, e o manuseie e desperte interesse nas próximas aulas e expectativas na última que será, novamente, trabalhado em sala o experimento.

### **OBJETIVOS:**

- ✓ Compreender os fenômenos acústicos presentes no cotidiano do aluno;
- ✓ Analisar a onda formada na placa metálica;
- ✓ Demonstrar de forma introdutória das figuras sonoras de Chladni.

### **RECURSOS**

- ✓ Experimentos com autofalante e amplificador (demais descrições estão no processo de montagem), sal refinado, celular, SmarTV, papel A4.

## **DINÂMICA DA AULA**

A aula se iniciará com a apresentação do Projeto. Será feito um levantamento prévio, em seguida haverá uma discussão teórica conceitual com exemplificações de fenômenos acústicos, análise do comportamento ondulatório com auxílio das figuras sonoras de Chladni e no final a aplicação de um questionário com perguntas referentes ao experimento.

### **1º Momento**

Tendo em vista que, o conhecimento prévio do aprendiz é de suma importância na aprendizagem significativa, de acordo com David Ausubel. Será feito um levantamento prévio, onde o professor-mediador instigará os alunos a responder as seguintes perguntas:

- ✓ O que é Acústica?
- ✓ Porque cantores gravam CD especificando ser acústico e qual seria a diferença para um CD não acústico?
- ✓ Como você define o Som?
- ✓ Definição de qualidade do som: altura ou tom, intensidade, timbre e escala musical.
- ✓ Como você define as notas musicais?

### **2º Momento**

Será apresentado uma paródia com conceitos físicos sobre Acústica.

### **3º Momento**

Nesse momento será feito a *aplicação do experimento*, que demonstra Ondas na matéria através das Figuras sonoras de Chladni, onde os alunos participarão ativamente da aplicação.

Em seguida, um dos alunos ficarão responsável em configurar a frequência no celular, através do aplicativo *frequency sound generator* que estará configurado via Bluetooth. Outro aluno estará responsável por colocar os grãos de sal sobre a placa metálica que está fixada sobre o alto-falante e controlar o volume do amplificador. E, por fim, um aluno para registrar o momento da aplicação experimental.

Logo após, os alunos serão interrogados e instigados a opinarem, no questionário, sobre:

- ✓ O que seriam as imagens formadas?
- ✓ Porque as imagens se alteram de acordo com a mudança da frequência no aplicativo?
- ✓ O que acontece se manter a frequência constante e aumentar o volume?

- ✓ Se alterar a frequência e manter o volume constante, o que acontece?

#### **4º Momento**

Ao final da aplicação do experimento os questionários serão recolhidos para análise e coleta de informações da pesquisa.

## **5.2 AULA 2**

### **TEMA: INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE ONDAS**

#### **JUSTIFICATIVA:**

Haja vista a necessidade de organizar a necessidade de organizar a estrutura cognitiva dos alunos para recepção de informações, faz-se necessário a pesquisa na internet com perguntas sobre ondas para que se possa debater em sala e, por conseguinte, produzir uma redação no final, pois é interessante a organização prévia.

Segundo Ausubel (1978, p 171 apud MOREIRA, 2016), “a principal função do organizador prévio é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa com que se depara”.

#### **OBJETIVOS:**

- ✓ Obter dados teóricos, a partir de um levantamento dos conhecimentos prévios (subsunçores).

- ✓ Discutir com os alunos os conhecimentos pré-existentes e os novos conceitos.

**CONTEÚDO:** Introdução, por meio de pesquisas na internet sobre Ondas.

**RECURSOS:** Celulares, Computadores com acesso à internet, SmarTV, vídeo-documentário, quadro e pincel.

**DINÂMICA DA AULA:** Levantamento prévio, discussão sobre o documentário, pesquisa sobre o tema e elaboração de um dissertação.

### **1º Momento:**

Será feito um levantamento prévio dos conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva dos alunos, por exemplo:

- ✓ O que é Onda?
- ✓ Quais são os tipos Ondas mais comuns no dia-a-dia?
- ✓ Aonde é mais comum no dia-a-dia ouvir falar em Ondas?
- ✓ Quais são os tipos de Ondas mais comuns no dia-a-dia e aonde presenciamos o seu comportamento?

### **2º Momento**

Após o primeiro momento, os alunos farão uma pesquisa sobre as perguntas feitas no levantamento prévio e sobre as citadas abaixo:

- ✓ Qual a importância das ondas para a vida humana?
- ✓ Qual a diferença de uma onda Mecânica para uma onda Eletromagnética?
- ✓ Qual os problemas causados pelas ondas, sejam mecânicas ou eletromagnéticas?
- ✓ A Onda transporta matéria?
- ✓ O Som e a Luz são classificados como ondas, mas qual a diferença entre a onda sonora e uma onda Luminosa?
- ✓ Como é formado a onda no mar?

### **3º Momento**

Será feito um sorteio na sala, onde o aluno sorteado ganhará um chocolate e terá um tempo para responder as perguntas que lhe serão feitas, de acordo com a pesquisa. Caso o aluno tenha dificuldade para responder os demais participarão, corrigindo, complementando ou até mesmo respondendo.

### **4º Momento**

Os alunos farão uma redação dissertativa sobre Ondas, com base no que fora debatido em sala e pesquisado, abordando a sua importância para vida humana.

## **5.3 AULA 3**

**TEMA: ONDULATÓRIA**

**JUSTIFICATIVA**

Tendo em vista que, na aula anterior, levantou-se os conhecimentos prévios na estrutura cognitiva para que, de acordo com David Ausubel em sua *Teoria da Aprendizagem significativa*, ocorre com a ancoragem no processo de interação do pré-existente com o novo, essa aula passa a gradativamente inserir conceitos sobre Ondas e onde as mesmas estão presentes no cotidiano (MOREIRA, 2016).

### **OBJETIVOS:**

- ✓ Aprofundar o estudo de Ondas
- ✓ Compreender de forma mais ampla o comportamento ondulatório de uma onda mecânica.

### **CONTEÚDO:**

Introdução ao estudo de Ondas:

- ✓ Movimentos periódicos – período e frequência;
- ✓ Pulsos e ondas;
- ✓ Classificação das ondas;
- ✓ Velocidade de propagação de uma onda;
- ✓ Ondas periódicas;

### **RECURSOS**

Notebook, SmarTV/Datashow, quadro, pincel, cordas e molas.

## **DINÂMICA DA AULA**

Debates da aula anterior. O processo de aprofundamento do estudo, será feito através de slides, com conceituação dos tópicos citados abaixo, mostrando imagens e exemplificações do comportamento ondulatório de uma onda mecânica, resoluções de questões fechadas.

### **1º Momento**

Será feito uma reprise sobre o que fora estudado na aula anterior.

### **2º Momento**

O professor- mediador aprofundará o assunto através de estudo dirigido com material impresso com conceitos e imagens sobre:

- ✓ Movimentos Periódicos;
- ✓ Pulsos e Ondas;
- ✓ Classificação das Ondas;
- ✓ Ondas Periódicas.

### **3º Momento**

Em seguida, será feito uma discussão teórica conceitual dos conceitos e imagens entregue.

### **4º Momento**



No quarto momento da aula, os alunos responderão a questões propostas na apostila.

#### **4.5.4 AULA 4**

##### **TEMA: FENÔMENOS ONDULATÓRIOS**

##### **JUSTIFICATIVA**

Considerando-se que a principal função dos organizadores prévios é organizar um conjunto de informações para preenchimento do “vazio cognitivo” preparando o aprendiz para receber o que precisa aprender (MOREIRA, 2016). E julgando-os, previamente, que receberam na aula anterior, tais informações conceituais pertinentes ao aprofundamento do estudo de ondas tornam-se, agora, oportuna o desenvolvimento analítico e matemático sobre os fenômenos ondulatórios presentes no cotidiano.

##### **OBJETIVOS:**

- ✓ Avaliar os alunos com questões fechadas e abertas.
- ✓ Avaliar significativamente a sua capacidade de resolução de questões de forma independente, sem que o professor resolva anteriormente um modelo.

## **DINÂMICA DA AULA**

Reprise da aula anterior. Pesquisas de conceitos e exemplificações teóricas de fenômenos ondulatórios presentes no dia-a-dia, como processo de organização prévia, resolução de questões e situações-problemas envolvendo questões fechadas.

### **1º Momento:**

Reprisar a aula anterior.

### **2º Momento:**

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa as informações repassadas ao aprendiz devem ser ancoradas com o subçunso. Dessa forma, nesse segundo momento da aula os alunos farão uma pesquisa sobre:

- ✓ Reflexão de um pulso;
- ✓ Refração de um pulso;
- ✓ Interferência de onda em uma corda;
- ✓ Onda estacionária.
- ✓ Frente de Ondas
- ✓ Reflexão de ondas
- ✓ Refração de Ondas

### **3º Momento**

Pressupondo que os alunos já organizaram as informações prévias na estrutura cognitiva para ancoragem de novas informações. O professor-mediador analisará a pesquisa dos fenômenos ondulatórios fazendo comparações com os conceitos apresentado pelo professor

#### **4º Momento**

Aplicação de questões com diferentes graus de dificuldades para avaliar a aprendizagem significativa dos alunos. Lembrando que o professor não fará resolução de questões antes, pois a intenção é avaliar a capacidade do aluno resolver sozinho as questões propostas sem que o professor tenha resolvido, anteriormente, um modelo.

#### **4.5.5 AULA 5**

**TEMA: FIGURAS SONORAS DE CHLADNI**

#### **JUSTIFICATIVA**

Na primeira aula, foi entregue aos alunos o experimento para que pudessem ter o primeiro momento com as belezas geométricas das figuras e sentissem interessado, motivação e curioso para as aulas vindouras e principalmente essa última aula. Ou seja, a aplicação do experimento foi necessária para contribuir com a organização prévia e tornar

o material potencialmente significativo para aprendizagem do aluno.

Uma vez que um material potencialmente significativo deve ser “incorporável” de várias maneiras aos conhecimentos dos alunos. (...), a possibilidade de uso de diversos recursos como sons, imagens, cores, animações, simulações e demais recursos multimídia, abre um leque muito grande de possibilidades de relação com aquilo que o sujeito já conhece. (LARA e SOUSA, 2009)

Portanto essa última aula justifica-se pela importância de consolidar a aprendizagem dos alunos sobre ondas, através das figuras de Chladni, uma vez que já as conhecem, pois foram expostas na primeira aula.

### **OBJETIVOS:**

- ✓ Demonstrar o comportamento de ondas no meio sólido;
- ✓ Compreender os fenômenos ondulatórios presente nas figuras sonoras de Chladni;
- ✓ Verificar as evidências de evidencias da aprendizagem significativa.

## **RECURSOS**

Alto-falante, amplificador (demais descrições estão no processo de montagem), sal refinado, celular, SmarTV, Papel A4.

## **DINÂMICA DA AULA**

O professor convidará alunos voluntários a participar do desenvolvimento físico do experimento para demonstração a toda classe das figuras geométricas formadas na chapa metálica, ao sofrer a vibração causada pelo autofalante conectado no amplificador, o qual é controlado via Bluetooth.

Durante a aplicação do experimento algumas perguntas serão direcionadas para os alunos, a curiosidade e o despertar para compreensão da física por trás das figuras geométricas formadas na chapa, também, serão avaliadas e relatadas.

Em seguida os alunos responderão a um questionário para avaliar a aprendizagem e comparar com o questionário respondido na primeira aula.

### **1º Momento**

Aplicação do experimento, onde os alunos participarão diretamente da experiência.

## **2º Momento**

Aplicação de uma avaliação, com questionários e a construção de um mapa conceitual, para verificação da aprendizagem significativa.

## **6. RELATÓRIO SOBRE AS ATIVIDADES MINISTRADAS**

### **6.1 AULA 1: LEVANTAMENTO PRÉVIO SOBRE ACÚSTICA**

Este questionário, o qual deve ser preenchido por cada aluno, tem o objetivo de servir de base à conclusão do Mestrado Profissional Nacional no Ensino de Física – MPNEF do mestrando Waldecy de Oliveira Silva, assim como servirá de apoio a pesquisadores interessados no assunto. A partir das respostas, verificar-se-á os conhecimentos prévios de cada aluno sobre Ondas e caso haja alguma dificuldade referente ao preenchimento das perguntas, pode perguntar ao professor que está aplicando o mesmo. As linhas após cada questão servem para que os alunos façam observações.

**AULA 1**

<b>Professor (a):</b>			
<b>Curso:</b>			
<b>Turma:</b>	<b>Módulo:</b>	<b>Sexo: M ( ) F ( )</b>	<b>Idade:</b>
<b>Município:</b>		<b>Escolaridade dos Pais:</b>	
<b>Horário que acorda:</b>		<b>Tempo de viagem do ônibus:</b>	

(Tempo estimado: 30 minutos)

1 - O que é Acústica?

---

---

---

---

---

2 – Por que cantores gravam CD especificando ser acústico e qual seria a diferença para um CD não acústico? (Justifique sua resposta)

---

---

---

---


---

3 – Como você define o Som?

---

---

---



---

---

4 – O que seria, na sua opinião, a altura ou tom, intensidade e timbre do Som?

a) altura: \_\_\_\_\_

b) Intensidade \_\_\_\_\_

c) Timbre \_\_\_\_\_

6 – Como você define as notas musicais?

---

---

---

---



**AULA 1**

**QUESTIONÁRIO SOBRE AS FIGURAS DE CLHADNI**

<b>Professor (a):</b>				
<b>Curso:</b>				
<b>Turma:</b>	<b>Módulo:</b>	<b>Sexo: M</b> ( ) F ( )	<b>Idade:</b>	<b>Nº</b> <b>Sorteado:</b>
<b>Município:</b>		<b>Escolaridade dos Pais:</b>		
<b>Horário que acorda:</b>		<b>Tempo de viagem do ônibus:</b>		

**(Tempo estimado: 30 minutos)**

1 O que seriam as imagens formadas?

---

---

---

---

---

2 – Por que as imagens se alteram de acordo com a mudança da frequência no aplicativo?

---

---

---

3 – O que acontece se manter a frequência constante e aumentar o volume e, do contrário, se alterar o volume e manter a frequência constante?

---

---

---

---

---

4 – De acordo com as observação sobre o experimento, comente abaixo a sua curiosidade, se despertou algum interesse em compreender melhor as figuras sonoras de Chladni..

---

---

---

---

---

---

---

---

**AULA 2****6.2 LEVANTAMENTO PRÉVIO SOBRE ONDAS**

<b>Professor (a):</b>			
<b>Curso:</b>			
<b>Turma:</b>	<b>Módulo:</b>	<b>Sexo: M ( ) F ( )</b>	<b>Idade:</b>
<b>Município:</b>		<b>Escolaridade dos Pais:</b>	
<b>Horário que acorda:</b>		<b>Tempo de viagem do ônibus:</b>	

(Tempo estimado: 30 minutos)

**1** - Qual o fenômeno físico comum nas seguintes ações: surfar, falar ao telefone celular, ouvir música, tocar violão e internet?

---



---



---



---

**2** - O que é uma Onda? (Comente sua resposta)

---



---



---

**3** - Onde é mais comum em seu dia-a-dia ouvir falar em Ondas?

- a) Jornais de TV                      b) Filmes e desenhos  
 c) Revistas científica                d) Aulas de física  
 e) Nunca ouviu falar

**4** - Defina com suas palavras o que é uma Onda. E quais são os tipos Ondas mais comuns no dia a dia e aonde presenciamos o seu comportamento?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AULA 2****6.2.1 Aula 2: pesquisa sobre o tema - ondas**

<b>Professor (a):</b>			
<b>Curso:</b>			
<b>Turma:</b>	<b>Módulo:</b>	<b>Sexo: M ( ) F ( )</b>	<b>Idade:</b>
<b>Município:</b>		<b>Escolaridade dos Pais:</b>	
<b>Horário que acorda:</b>		<b>Tempo de viagem do ônibus:</b>	

(Tempo estimado para pesquisa: 30 minutos)

Essas perguntas, as quais devem ser respondidas por cada aluno, durante sua pesquisa, tem o objetivo de servir de base à conclusão do Mestrado Profissional Nacional no Ensino de Física – MPNEF do mestrando Waldecy de Oliveira Silva, assim como servirá de apoio a pesquisadores interessados no assunto. A partir das respostas, será feita uma discussão dos resultados obtidos por cada aluno sobre Ondas.

1 - Qual a importância das Ondas para a vida humana?

---

---

---


---

---

2 - Qual a diferença de uma Onda Mecânica para uma Onda Eletromagnética?

---

---



---

---

---

3 - Qual os problemas causados pelas Ondas, sejam mecânicas ou eletromagnéticas?

---

---

---

---

---

4 - A Onda transporta matéria? (Sim ou não, mas comente sua resposta)

---

---

---

---

---

5 - O Som e a Luz são classificados como Ondas, mas qual a diferença entre uma Onda sonora e uma Onda luminosa?

---

---

---

---

---

6 - Como é formado a Onda no mar?

---

---

---

---

---

**AULA 2****6.2.2 Aula 2: Redação**

<b>Professor (a):</b>			
<b>Curso:</b>			
<b>Turma:</b>	<b>Módulo:</b>	<b>Sexo: M ( ) F ( )</b>	<b>Idade:</b>
<b>Município:</b>		<b>Escolaridade dos Pais:</b>	
<b>Horário que acorda:</b>		<b>Tempo de viagem do ônibus:</b>	

(Tempo estimado: 30 minutos)

A partir do que foi pesquisado e debatido em sala de aula, elabore uma redação dissertativa sobre a importância das Ondas para vida humana, assim como os prejuízos causados, também, à humanidade.

1 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Obs:** Sua resposta será de suma importância para o resultado final do presente Produto Educacional.

## 6.3 AULA 3

### 6.3.1 ONDULATÓRIA

Ondas são *perturbações que se propagam no espaço ou em meios materiais transportando energia*. Podem ser classificadas em relação a sua natureza, direção e energia de propagação.

As ondas estão associadas a movimentos periódicos, ou seja, a repetições de ciclos idênticos em intervalos de tempos iguais. Um pêndulo simples e um movimento circular uniforme são exemplos de movimentos periódicos. A cada ciclo realizado o seu intervalo de tempo é denominado de *período* e representado por **T** e o número de vezes é chamado de frequência, representado por **f**. No sistema internacional de unidades, SI, é dada por Hertz (Hz). Nesse caso o período é determinado pelo inverso da sua frequência:

$$T = \frac{1}{f}$$

### 6.3.2 PULSOS E ONDAS

Pulso é uma perturbação num meio material ou no espaço transportando energia, sem carregar matéria. Imagine que você esteja segurando uma das extremidades de uma corda (figura abaixo), e de repente realize um movimento brusco para cima e depois para baixo.



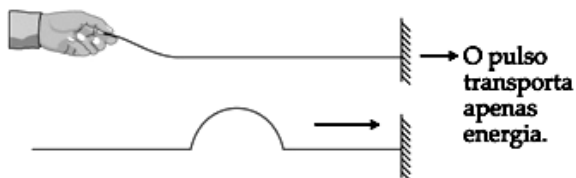


Figura 15 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/> Acesso em: 30 de abril de 2018.

Vai perceber que os pontos da corda oscilam, porém sem serem deslocados pelo pulso provocado.

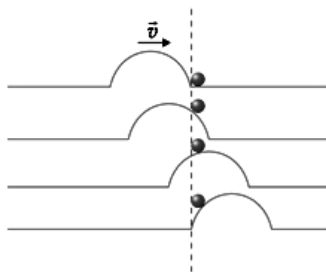


Figura 16 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>. Acesso

Um exemplo prático, que ocorre frequentemente no dia-a-dia, é um barco no mar e sofre uma perturbação na água, o barco irá subir e descer, mas sem ser deslocado pela água. Dessa forma, podemos perceber que não há transporte de matéria.



Figura 17 – Disponível em:  
<https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>

Acesso em: 30 de abril de 2018.

Uma onda é uma sucessão periódica de vários pulsos, ou seja, são movimentos repetitivos no mesmo ritmo.



Figura 18 – Disponível em:  
<https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>  
 Acesso em: 30 de abril de 2018.

### 6.3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

**1- Quanto à natureza, são classificadas em:**

*Mecânicas*, que transportam energia mecânica em meios materiais. Por exemplo, ondas nas cordas, ondas no mar e ondas sonoras.

*Onda em uma Corda*

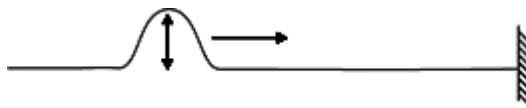


Figura 19 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/> Acesso em: 30 de abril de 2018.

*Eletromagnéticas*, quando se propaga tanto no vácuo quanto em meios materiais, sem vibrar os pontos do meio. Por exemplo, as ondas de telefones, TV e rádios e a luz, que classicamente, também é considerada uma onda.

A luz, ao atravessar o ar, não vibra as suas moléculas.

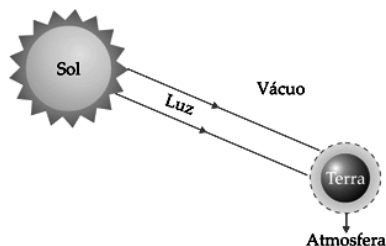


Figura 20 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

Uma experiência clássica, para notar a diferença entre o som e a luz, é a do relógio despertador dentro de um recipiente de vidro, no qual é feito o vácuo.

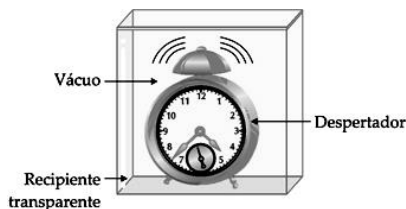


Figura 21 – Disponível em: <  
<https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>>.

Acesso em: 30 de abril de 2018.

Retira-se o ar do recipiente e deixa-se programado o relógio para despertar. E ao despertar do relógio:

- i) a campainha vibrará;
- ii) não será possível ouvir o som da campainha.

## 2 – Quanto à direção de propagação, são classificadas em:

*Unidimensionais*, que se propagam em apenas uma direção. Por exemplo, as ondas de uma corda.

*Bidimensionais*, que se propagam em duas direções. Por exemplo, a onda na água.

*Tridimensionais*, que se propagam em todas as direções. Por exemplo, as ondas sonoras no ar atmosférico e as ondas de rádio e TV.

### 3 – Quanto à direção de vibração, são classificadas em:

*Transversais*, que são as vibrações perpendiculares à direção que está propagando, como as ondas em cordas.

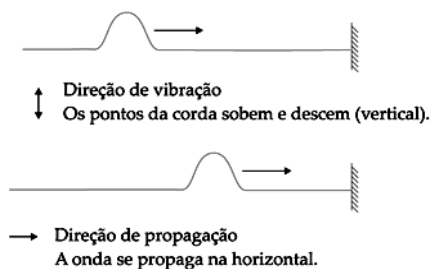


Figura 22 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

*Longitudinais*, que são vibrações que coincidem com a direção de propagação, como as ondas sonoras.

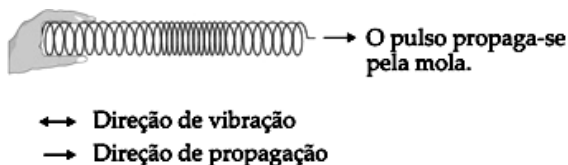


Figura 23 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

*Mistas*, que são vibrações que apresentam as duas características mencionadas acima, como exemplo temos as ondas no mar.

### 6.3.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA


Uma onda na corda, unidimensional, é possível produzir com facilidade dentro da sala de aula. Vejamos as ondas numa corda esticada na horizontal.

Consideremos uma corda de massa  $m$  e comprimento  $\ell$ , sob a ação de uma corda de tração  $F$ .

**Ondas em Cordas**

A velocidade de uma onda em uma corda é dada pela fórmula de Taylor.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu_L}}$$



$\mu_L = \frac{m}{L}$

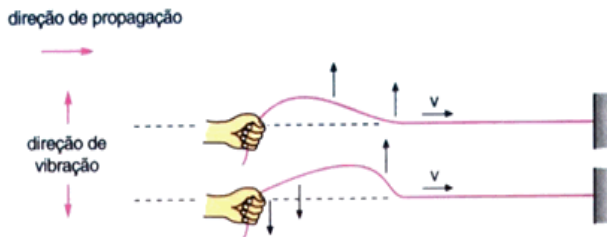
- $F$  = força de tração na corda, em N;
- $\mu_L$  = densidade linear da corda, em kg/m;

Figura 24 – Disponível no endereço: <http://professordiminoi.comunidades.net/ondas2> Acesso em 24/06/2018.

Supomos que a mão de uma pessoa, agindo na extremidade livre da corda, realize um movimento vertical vibratório de sobe e desce. Uma onda transversal se propaga através da corda com velocidade  $V$ .

Assim a velocidade de propagação da onda depende da intensidade da força que traciona e de sua densidade linear:

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$



Em que:

- $V$ : velocidade de propagação da onda através da corda;
- $F$ : força que traciona a corda;
- $\mu = \frac{m}{l}$ : densidade linear da corda (em kg/m).

Em meios homogêneos, as ondas mecânicas se propagam com velocidade constante. O mesmo ocorre com as ondas eletromagnéticas, que, apesar de não necessitarem de meio material para se propagar, também são capazes de se propagar em meios materiais.

### 6.3.5 ONDAS PERIÓDICAS

Vamos estudar o caso mais simples de uma onda: a onda unidimensional propagando-se com velocidade constante.

Considere uma pessoa executando periodicamente um movimento vertical de sobe e desce na extremidade livre de uma corda.

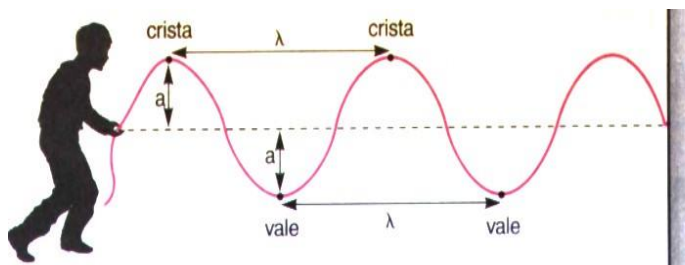


Figura 26 – Disponível no endereço: <http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatoria/ondas.htm>. Acesso em 24/06/2018.

Para facilitar a caracterização de uma onda, atribuímos nomes a algumas de suas partes. A parte mais elevada denomina-se **crista da onda (ou pico)** e a cavidade, ou seja, a parte mais baixa entre duas cristas consecutivas chama-se **vale**.

O período **T** de uma onda pode ser definido como o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto da corda.

$$T = \frac{1}{f}$$



Por sua vez, a frequência  $f$  de uma onda é o número de cristas consecutivas ou de vales consecutivos que passam por um mesmo ponto da corda, a cada unidade.

$$f = \frac{1}{T}$$

A distância entre duas cristas ou entre dois vales consecutivos é denominada **comprimento de onda**, representada pela letra grega  $\lambda$  (lambda), e  $A$  é a amplitude da onda. No SI, a unidade de medida para o comprimento de onda e para a amplitude é o metro (**m**).

Como a onda se propaga com velocidade constante, vale a expressão do movimento uniforme,  $s = vt$ . Pensando em uma onda, podemos reescrever essa equação fazendo  $s = \lambda$  e  $t = T$ :

Dessa forma, tem-se:

$$s = vt \rightarrow \lambda = vT \rightarrow \lambda = v \cdot \frac{1}{f}$$

Que resulta na equação:

$$v = \lambda \cdot f$$

Essa equação vale para qualquer onda periódica (som, ondas na água, luz etc.) e é chamada **Equação fundamental da Ondulatória**.

### Exercícios que serão resolvidos pelo Docente.

01. Uma onda periódica é produzida numa corda tensa mediante uma fonte vibratória de frequência 2,0 Hz. Sabendo-se que o comprimento das ondas produzidas é 0,1 m, podemos afirmar que a velocidade de propagação dessas ondas é:

- a) 5,0 cm/s                      b) 8,0 cm/s                      c) 10 cm/s  
d) 12 cm/s                      e) 20 cm/s

02. Um trem de ondas propaga-se ao longo de uma corda tensa. A figura a seguir representa a corda 8,0 segundos após o início do movimento. Determine, para essas ondas:

- a) o comprimento de onda;  
b) a frequência;  
c) o período;  
d) a amplitude.  
e) a velocidade de propagação.

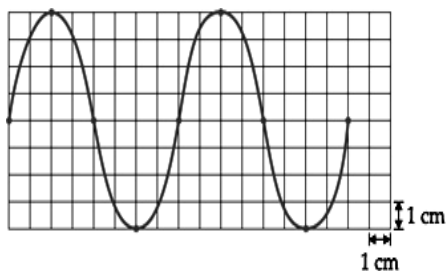


Figura 27 – Disponível em: <https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

### **Exercícios propostos**

1 – Um rádio receptor opera em duas modalidades de ondas: em AM, cobre o intervalo de 550 a 1550 kHz e, em FM, de 88 a 108 MHz. A velocidade das ondas eletromagnéticas é de  $3 \cdot 10^8$  m/s. Quais são, aproximadamente, o menor e maior comprimentos de onda que podem ser captados por esse rádio?

2 – A propagação de ondas envolve, obrigatoriamente:

- a) transporte de energia;
- b) transformação de energia;
- c) produção de energia;
- d) movimento de matéria;
- e) transporte de matéria e energia.

3 – As informações que chegam nos aparelhos de celulares, como mensagens, vídeos, imagens e ligações, são propagadas por meios de ondas que denominamos de:

- a) ondas mecânicas transversais;
- b) ondas mecânicas longitudinais;
- c) ondas eletromagnéticas puntiformes;
- d) ondas eletromagnéticas transversais;
- e) ondas eletromagnéticas mistas.

4 - As seis cordas de um violão tem o mesmo comprimento e estão sujeitas à mesma tração, mas possuem espessuras diferentes. As ondas se propagam mais rápido nas cordas mais finas ou nas cordas mais grossas? (Justifique sua resposta)

---

---

---

#### 6.4.1 AULA 4: REFLEXÃO DE UM PULSO

Considere novamente uma corda com uma de suas extremidades presa a uma parede. Se você segurar a outra extremidade esticada e produzir um pulso, ele vai se propagar até uma parede, mas o que acontece depois?

Se você respondeu que o pulso volta pelo caminho de onde veio, acertou. Esse fenômeno é denominado *reflexão do pulso* e pode ocorrer de duas maneiras.

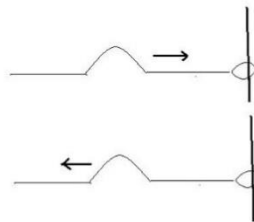
Se a **extremidade é fixa**, o pulso sofre reflexão com inversão de fase, mantendo todas as outras características. Isso significa que, se o pulso incidente sobre a parede tem um formato para cima, o pulso refletido terá a mesma forma, mas para baixo, como mostra a figura abaixo.



Figura 28 – Disponível no endereço: <http://slideplayer.com.br/slide/390020/>  
Acesso em 24/06/2018.

A explicação desse fenômeno é simples. Quando o pulso incidente chega a extremidade fixa na parede, a energia nele contida tende a fazer a parede executar o mesmo movimento dos pontos da corda, ou seja, tenta fazer a parede subir e descer. Como a inércia da parede é muito maior que a da corda, a reação da parede à força aplicada pela corda faz a forma do pulso se inverter, produzindo uma reflexão com inversão de fase e a **extremidade é livre**, isto é, se ela pode oscilar de algum modo pela parede, o pulso incidente for para cima, a forma do pulso refletido também o será.

## Extremidade Livre



- Se a extremidade é móvel, o pulso sofre reflexão em fase, mantendo todas as outras características.

Figura 29 – Disponível no endereço: <http://slideplayer.com.br/slide/390020/>  
Acesso em 24/06/2018.

### 6.4.2 REFRAÇÃO DE UM PULSO

Considere um pulso percorrendo uma corda que tem sua extensão, diferentes densidades lineares ( $\mu_1 > \mu_2$ ). Ao passar do trecho da corda com densidade  $\mu_1$  para o trecho com densidade  $\mu_2$ , a energia é refratada (transmitida) para o trecho da corda com densidade  $\mu_2$ , parte é refletida de volta para o trecho da corda com densidade  $\mu_1$ .

O fenômeno da refração consiste na mudança de velocidade de um pulso ou uma onda quando transmitido de um meio para outro.

Na situação descrita, a velocidade  $v_2$  do pulso refratado é maior que a do pulso incidente  $v_1$ , pois  $\mu_2$  é menor que  $\mu_1$ .

( $v = T\mu$ ). Esse fato determinou um pulso refletido sem inversão de fase.

Para um sentido inverso de propagação, a velocidade do pulso refratado ( $v_1$ ) é menor que do pulso incidente ( $v_2$ ) determinando um pulso refletido com inversão de fase.

Quando um pulso passa de um meio para outro, a frequência não se modifica ( $f_1 = f_2$ ). Então, lembrando que  $v = \lambda f$ , podemos escrever:

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \text{ ou } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

### 6.4.3 INTERFERÊNCIA DE ONDA EM UMA CORDA

Superposição ou interferência de ondas é o encontro ou cruzamento de duas ou mais ondas que se propagam num mesmo meio. Esse fenômeno é regido por dois princípios:

- i*) princípio da superposição de ondas;
- ii*) princípio da independência das ondas.

Agora considere dois pulsos propagando-se numa mesma corda, em sentidos opostos.

Suponha que esses pulsos irão atingir o ponto P da corda no mesmo instante. O princípio da superposição

estabelece que, se isso ocorrer, os dois pulsos irão provocar nesse mesmo ponto uma perturbação igual à soma algébrica das perturbações que cada pulso sozinho causaria se tivesse atingido o ponto P individualmente.

Após a superposição, de acordo com o princípio da independência das ondas, esses dois pulsos continuam a se propagar com as mesmas características de antes. Aqui também o princípio da conservação da energia se verifica, considerando que durante a propagação de ambos os pulsos não tenha havido a dissipação de energia por atritos.

- No caso da superposição em que a amplitude resultante é aumentada, classificamos essa interferência como **construtiva**. É o que acontece quando ambos os pulsos possuem a mesma fase.

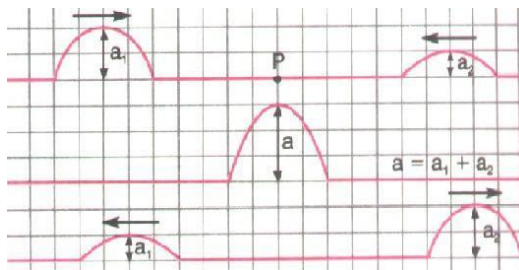


Figura 30 – Imagem obtida em pesquisa a partir do endereço: <[www.if.ufrgs.br](http://www.if.ufrgs.br)>. Acesso em 24/06/2018.



- Quando a superposição resulta numa amplitude menor que a amplitude dos pulsos interferentes, dizemos que houve interferência destrutiva. Isso ocorre quando suas fases de propagação são invertidas.

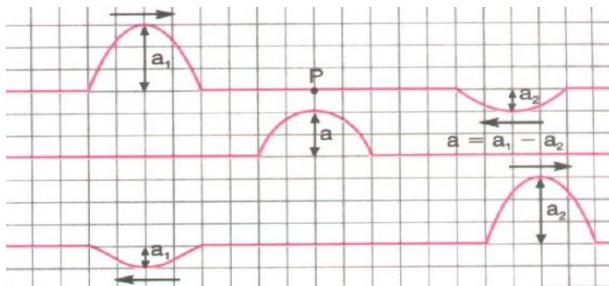


Figura 31 – Imagem obtida em pesquisa a partir do endereço: [www.if.ufrgs.br](http://www.if.ufrgs.br) Acesso em 24/06/2018.

#### 6.4.4 ONDA ESTACIONÁRIA

Considere uma corda presa numa das extremidades. Fazendo a outra extremidade vibrar periodicamente, originam-se perturbações regulares, que se propagam pela corda. Ao atingirem a extremidade fixa, elas se refletem com sentido de deslocamento contrário ao anterior, como ilustra a figura.

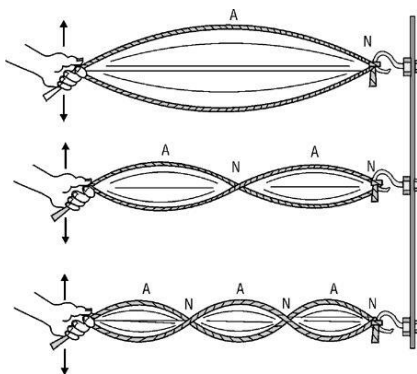


Figura 32 – Disponível no endereço:  
[https://learnfromphysics.blogspot.com/2011/10/video\\_26.html](https://learnfromphysics.blogspot.com/2011/10/video_26.html)  
 Acesso em 24/06/2018.

Dessa forma, as perturbações produzidas em uma extremidade se superpõem às outras que estão retornando da parede, originando um padrão de interferência denominado **onda estacionária**.

Uma onda estacionária é o resultado da superposição de duas ondas de mesma frequência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, que se propagam na mesma direção e em sentidos opostos.

Uma onda estacionária se caracteriza pela amplitude variável de ponto para ponto. Ao longo da corda existem pontos em que a amplitude é máxima, chamamos de **ventres** (pontos nos quais ocorre interferência destrutiva).

A configuração da onda estacionária não se altera com o tempo. Entretanto, o número de nós e de ventres pode ser alterado mudando-se a frequência de vibração que causa a onda original.

Chamando de  $\lambda$  o comprimento de onda das ondas superpostas, a distância entre dois nós consecutivos ou dois ventres consecutivos vale  $\frac{\lambda}{2}$ . A distância entre um nó e um ventre consecutivo vale  $\frac{\lambda}{4}$ .

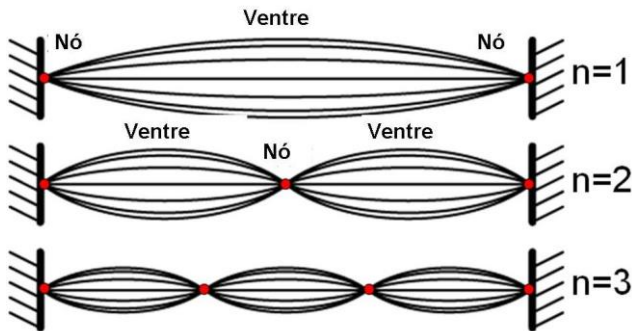


Figura 33 – Disponível no endereço: [http://macao.communications.museum/por/Exhibition/secondfloor/moreinfo/2\\_11\\_0\\_StandingWave.html](http://macao.communications.museum/por/Exhibition/secondfloor/moreinfo/2_11_0_StandingWave.html). Acesso em 24/06/2018.

#### 6.4.5 FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Os fenômenos ondulatórios têm papel fundamental em diversas áreas. Estão presentes em aplicações tecnológicas, tanto nas comunicações, como rádio, televisão, radares e

teleinformática, como medicina diagnóstica ou terapêutica – radiografias, ultrassonografias e radioterapias para tratamento do câncer e de outras doenças.

## FRENTE DE ONDA

Quando ocorre uma perturbação num meio, ela se propaga a outros pontos desse meio. Uma pedra lançada num lago perturba a superfície da água, produzindo ondas bidimensionais que se propagam a partir do ponto de impacto. À medida que essas ondas se propagam, elas se afastam do ponto de modo concêntrico. Por convenção, podemos considerar a crista de uma dessas ondas circulares uma frente de onda que se desloca radialmente. Portanto, o conjunto dos pontos localizados na crista dessa onda caracteriza uma **frente de onda**.

Analisando o movimento dessa crista, podemos dizer que é a frente de onda que se movimenta com uma velocidade denominada **velocidade de propagação da onda**.

Se acompanharmos a trajetória de determinado ponto dessa frente de onda, veremos que ela descreverá uma reta radial. Pois é justamente essa trajetória que nos auxilia na definição de **raio de onda**, como raios de luz estudados em Óptica. Os raios de onda fornecem a direção de propagação

da onda e são perpendiculares às frentes de onda de cada ponto.

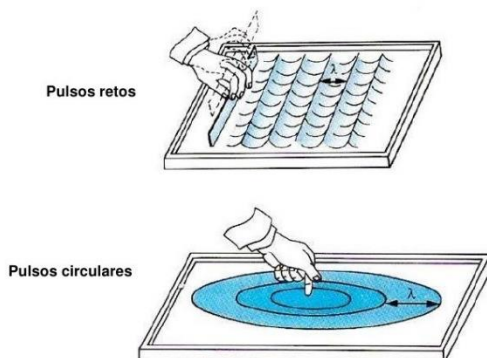


Figura 34 – Disponível no endereço : <http://slideplayer.com.br/slide/12321601/>  
Acesso em 24/06/2018.

É possível produzir frentes de ondas lineares se batermos periodicamente com uma régua na superfície de uma piscina calma ou de um tanque com água. Desse modo, criaremos ondas retas, cujas frentes de onda serão segmentos de reta.

#### 6.4.6 REFLEXÃO DE ONDAS

O fenômeno da reflexão de um pulso em uma corda, já estudado, vale para onda como um todo. Observando as ondas produzidas pelos banhistas em uma piscina, percebemos que, quando elas batem na borda, são refletidas mantendo suas características. Conseguimos observar os

objetos ao nosso redor porque a luz incidente neles é refletida, atingindo nossos olhos.

Portanto, quando ondas provenientes de uma fonte encontram um obstáculo plano que não absorve sua energia, ocorre uma mudança de sentido de propagação chamada reflexão, mantendo constante sua velocidade. É o que ocorre por exemplo, entre a luz e um espelho plano, como mostra a figura a seguir, que representa a reflexão de ondas retas por um obstáculo plano.

Lembrando, de acordo com o estudado em óptica, que a reflexão de ondas obedece a duas leis:

- 1° O raio incidente, o raio refletido e a normal são coplanares;
- 2° O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão ( $i = r$ )

A onda refletida mantém a mesma frequência, comprimento de onda e velocidade da onda incidente. Sua fase, no entanto, pode se alterar em função da rigidez do anteparo.

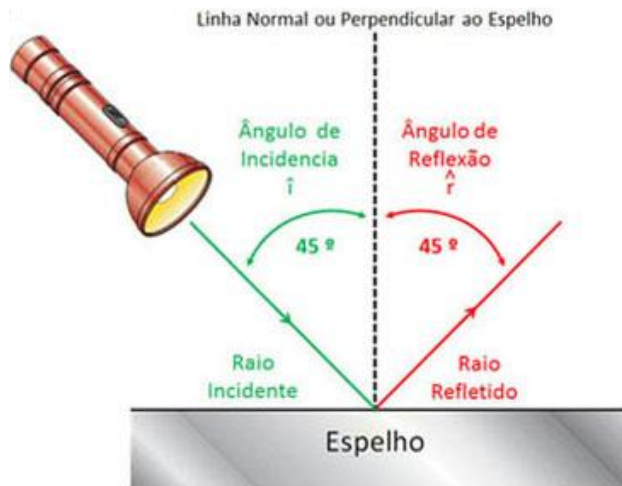


Figura 35 – Disponível no endereço: [http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f\\_15.html](http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_15.html) Acesso em 24/06/2018.

#### 6.4.7 REFRAÇÃO DE ONDAS

Uma onda que se propaga em um meio homogêneo tem sempre a mesma velocidade, a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda. Quando essa onda passa de um meio para outro, de características diferentes, ela passa a se propagar com velocidade diferente, caracterizando o fenômeno da refração. É o caso, por exemplo, da propagação das ondas na superfície da água em profundidades diferentes.

Suponha que uma onda reta esteja se propagando no meio 1 e incidindo na superfície  $S$  de separação entre os meios 1 e 2. Seja  $AI$  o raio incidente da onda que se propaga

no meio 1 com velocidade  $V_1$ . Incidindo obliquamente na superfície  $S$ , ela sofre refração e passa a se propagar no meio 2 velocidade  $V_2$ .

Leis da refração:

1ª Os raios de onda incidente e refratado e a normal são coplanares;

2ª A onda refratada mantém a mesma frequência e fase de onda incidente. Seu comprimento de onda é diferente por causa da mudança de velocidade, uma característica da refração.

$$V_1 = \lambda_1 \cdot f$$

$$V_2 = \lambda_2 \cdot f$$

$$\rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1 \cdot f}{\lambda_2 \cdot f} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Na refração, as velocidades de propagação são diretamente proporcionais aos comprimentos de onda.



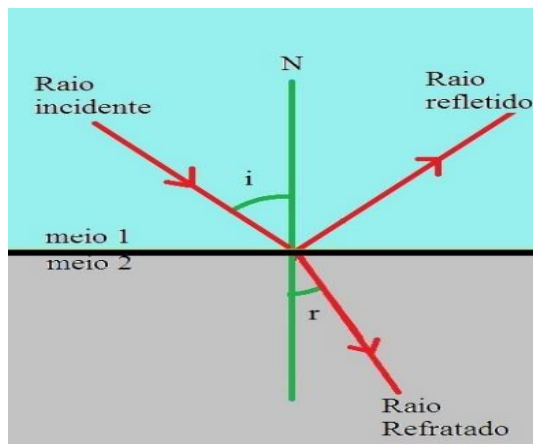


Figura 36 - Disponível no endereço:  
<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/reflexao-e-refracao-da-luz.html>.  
 Acesso em 24/06/2018

## Exercícios

1 – Em uma corda esticada e presa em uma extremidade, observa-se a formação de ondas estacionárias. Que fenômenos da Ondulatória são responsáveis por formação?

---



---



---

2 - Duas cordas de diâmetros diferentes são unidas pelas extremidades. Uma pessoa faz vibrar a extremidade da corda fina, criando uma onda. Sabendo que, na corda fina, a velocidade de propagação vale  $2 \text{ m/s}^2$  e o comprimento de

onda é 20 cm, e que na corda grossa o comprimento de onda é de 10 cm, calcule:

- a) a frequência de oscilação da corda fina;
- b) a frequência de oscilação da corda grossa;
- c) a velocidade de propagação da onda na corda grossa.

## 6.5 AULA 5

### 6.5.1 AVALIAÇÃO SOBRE OS ASPECTOS FÍSICOS DAS FIGURAS DE CLHADNI

<b>Professor (a):</b>			
<b>Curso:</b>			
<b>Turma:</b>	<b>Módulo:</b>	<b>Sexo: M ( ) F ( )</b>	<b>Idade:</b>
<b>Município:</b>		<b>Escolaridade dos Pais:</b>	
<b>Horário que acorda:</b>		<b>Tempo de viagem do ônibus:</b>	

(Tempo estimado: 1 h)

1 O que seriam as imagens formadas?

---



---




---



---



---



2 - Porque as imagens se alteram de acordo com a mudança da frequência no aplicativo?

---

---

---

---

3 - O que acontece se manter a frequência constante e aumentar o volume e, do contrário, se alterar o volume e manter a frequência constante?

---

---

---

---


---

4 - Existe regiões na placa em que os grãos estão mais concentrados e outras regiões que os grãos estão poucos concentrados, quase sem grãos. Na sua compreensão expresse qual a diferença física entre as duas regiões?

---

---

---



---

---

---

---

**5** – De acordo com sua observação, no experimento, comente abaixo a sua compreensão física das figuras sonoras de Chladni.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## CONSTRUÇÃO DE MAPA CONCEITUAL

Baseando-se a partir do modelo abaixo, de mapa conceitual, e com os conceitos físicos estudados construa um mapa conceitual.

**Obs.:** Mapa conceitual é uma estrutura gráfica que ajuda a organizar ideias, conceitos e informações de modo esquematizado. Um mapa conceitual é útil quando a pessoa deseja ter uma melhor visualização sobre a ordem cronológica de um processo ou ideia, assim como classificar os diferentes graus de importância.

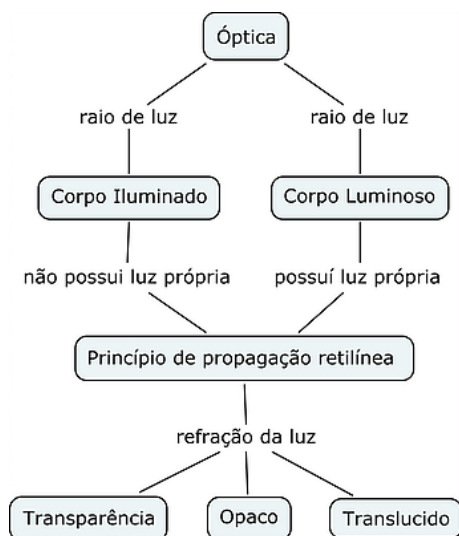


Figura 37 – Disponível no endereço: <http://tesemestrado.wixsite.com/luisfernandolopes/mapas-conceituais> Acesso em 24/06/2018.



**CONSTRUA UM MAPA CONCEITUAL**

Obrigado pela sua participação!

## BIBLIOGRAFIA

CÉSAR, M.; **Fundamentos da ondulatória**. Disponível em: <<https://marciocesarrocha.files.wordpress.com/2015/10/ondas-apostila.doc/>>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

Lara, A.E.; Sousa, C.M.S.G.; O processo de construção e de uso de um material potencialmente significativo visando a aprendizagem significativa em tópicos de colisões: apresentações de slides e um ambiente virtual de aprendizagem – **Experiências em Ensino de Ciências** – V4(2), pp.61-82, 2009. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID82/v4\\_n2\\_a2009.pdf/](http://www.if.ufrgs.br/eenci/artigos/Artigo_ID82/v4_n2_a2009.pdf/)>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

MOREIRA, M.A; **Teorias de aprendizagem**. – 2. ed.São Paulo: E.P.U., 2016.

PETRAGLIA; M.; S.; **Figuras sonoras de chladni**. Disponível no endereço: [http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras\\_chladni.pdf](http://www.ouvirativo.com.br/mp7/pdf/figuras_chladni.pdf)>. Acesso em: 10/11/2017

SILVA; J.;C.; **Estudo de vibrações em placas: figuras sonoras de chladni**. Disponível em <[https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2004/009027JulioC\\_IrisTorriani\\_F809\\_RF.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2004/009027JulioC_IrisTorriani_F809_RF.pdf)>. Acesso em 24/06/2018.

Vários autores; **Física: térmica, óptica, ondulatória**, 2º ano – 3. Ed. – São Paulo: FTD, 2016.