



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SEMI ÁRIDO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA  
CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT**

Raimundo Héllison Giló Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Semi - Árido (UFERSA) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Mossoró  
Agosto de 2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SEMI ÁRIDO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA  
CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT**

Raimundo Hélison Giló Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Semi-Árido no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças

Mossoró

Agosto 2019



# **UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

---

Dr. José Ronaldo Pereira da Silva

---

Dr. Alexandre José Gonçalves de Medeiros

---

Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza

Mossoró

Agosto 2019

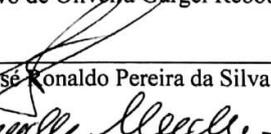
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 05/2019**

Matricula do aluno: 2018100799. Página 1 de 1

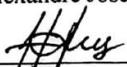
Aos dezessete dias do mês de agosto do ano de dois mil e dezenove, às oito horas, na sala 21 da pro-reitoria de pós-graduação, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, sob a presidência da Prof. Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças, reuniu-se a Banca Examinadora de Defesa de Dissertação de Mestrado de autoria de **Raimundo Héllison Giló Nunes**, aluno do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física desta Universidade com o título: **UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA A CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUND**. A Banca Examinadora ficou assim constituída: Prof. Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças, Presidente da Banca e Orientador, Prof. Dr. José Ronaldo Pereira da Silva, Profa. Dr. Alexandre José Gonçalves de Medeiros, Prof. Dr. Hídalyñ Theodory Clemente Mattos de Souza como examinadores. Após declarada aberta a sessão, o Senhor Presidente passou a palavra ao Mestrando para a exposição e a seguir aos examinadores para as devidas análises que se desenvolvem nos termos regimentais. Não foram registradas ocorrências. Concluída a defesa, foram realizadas as arguições e as sugestões feitas foram acatadas. Em seguida, procedeu-se o julgamento do trabalho pelos membros da Banca Examinadora, que consideraram a dissertação **APROVADA**. O discente tem a ciência de que fará jus ao título de Mestre somente após a entrega definitiva da dissertação com as correções sugeridas pelos membros da banca examinadora em um prazo máximo de 90 (noventa) dias. E, para constar, eu, Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças, Presidente da Banca Examinadora, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada por mim e demais membros da Banca Examinadora.

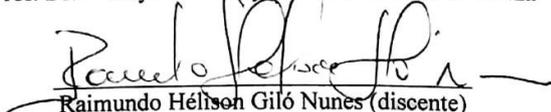
Mossoró, 17 de agosto de 2019

  
Prof. Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças

  
Prof. Dr. José Ronaldo Pereira da Silva

  
Prof. Dr. Alexandre José Gonçalves de Medeiros

  
Prof. Dr. Hídalyñ Theodory Clemente Mattos de Souza

  
Raimundo Héllison Giló Nunes (discente)

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586p Nunes, Raimundo Héllison Giló

Construção e aplicabilidade do tubo de Kundt para o estudo da acústica. Proposta embasada na teoria sócio interacionista de Vygotsky e suas relações com a prática da experimentação com materiais de baixo custo / Raimundo Héllison Giló Nunes - Mossoró-RN: UFERSA, 2019.  
viii, 77 f.: il.;30cm.

Orientador: Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças

Dissertação (mestrado) – UFERSA/ Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2019.

Referências Bibliográficas: f. 74-77.

1. Ensino de acústica. 2. Ondas estacionária em tubos sonoros fechado. 3. Velocidade do som. I. Rebouças, Gustavo de Oliveira Gurgel ; II. Universidade Federal do Semi - Árido, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Propagação da onda sonora: Conceitos e Experimentos.

Família é o bem mais precioso na minha vida.

# Agradecimentos

---

Primeiramente quero agradecer a DEUS que me iluminou e continua iluminando toda minha vida, em especial nos momentos de dificuldade.

A minha esposa, Adriana e minha mãe, Gerlita Jiló, pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento deste mestrado.

Ao meu querido pai, Raimundo Francisco, que infelizmente não se encontra mais aqui na terra, foi também muito importante para o meu crescimento no mestrado e na vida profissional.

A minha família, mãe, pai, filhos, irmãos, tios e tias, que foram muito importantes na formação do meu caráter.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças, pela compreensão, apoio e coragem transmitida na orientação deste trabalho.

Aos professores e coordenadores do Mestrado Profissional, pela sabedoria, comprometimento profissional e entusiasmo. Um exemplo de ser humano.

A todos os professores do programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pois foram importantes no meu período acadêmico.

Aos colegas do mestrado profissional, em especial, Marcelo, Aécio, Marília e Walance pela convivência e apoio que também contribuíram para este trabalho através de discussões e críticas construtivas.

Ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF pela oportunidade.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA que sempre me acolheu.

À Sociedade Brasileira de Física – SBF pelo respaldo dado ao programa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior - CAPES pelo financiamento dos estudos por meio de bolsa concedida aos meus colegas.

À UFERSA polo 09 pela liberdade e confiança no trabalho desenvolvido.



# Resumo

---

O trabalho relata a busca de ferramentas de aprendizagem através da construção e aplicabilidade de experimentos por alunos e respectiva apresentação em sala. A proposta foi aplicada em uma turma do 2º ano do ensino médio do colégio Patronato e contou com a participação de 25 alunos. Foi realizada uma análise preliminar das dissertações de artigos e dissertações de algumas universidades, que tratam de experimentos de física para o ensino médio, Universidade Federal de São Carlos(UFSCar), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Apontou a Aprendizagem Significativa de David Ausubel e a perspectiva sócio interacionista de Vygotsky em relação aos experimentos de Física como referenciais teóricos mais abordados. Nos dados coletados foram utilizados: Aulas expositivas com atividades extra classe para a resolução antes e após a construção do experimento, roteiros experimentais, questionários, teste prévio e teste final, com “grau de segurança” das respostas dadas e avaliação discente. O respectivo trabalho teve uma análise qualitativa e quantitativa, no qual os resultados obtidos pela coleta de dados foram bastante significativos após a utilização da proposta de construção do experimento, bem como a aplicação de novos conceitos de maior relevância conceitual. O teste final teve um número bem proveitoso de acertos e o grau de segurança do conteúdo revelou que os alunos estavam mais seguros das respostas que acertaram. Com aplicação do teste houve um aumento de acertos nas questões aplicadas pelo professor, reflexo de uma atividade motivadora. Pode-se, assim, dizer que a proposta de construção do experimento, também chamada de intervenção, obteve êxito, para os conceitos relacionados à acústica em especial as ondas estacionárias.

**Palavras-chave:** Aprendizagem Significativa. Experimentos de Física. Perspectiva sócio histórico de Vygotsky.

**UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA  
A CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT**

Raimundo Héllison Giló Nunes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Semi-Árido no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças

Mossoró  
Agosto de 2019

# Abstract

---

## UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ONDAS COM A CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação na Universidade Federal do Semi-Árido no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The respective work reports the search for learning tools through the construction and applicability of experiments by students and respective presentation in the classroom. The proposal was applied in a group of the second year of high school of the Patronato school and had the participation of 25 students. It was carried out a preliminary analysis of the dissertations of articles and dissertations of some universities, that deal with experiments of physics for the high school, Federal University of. (UFRN) and Federal University of. Rio de Janeiro (UFRJ). He pointed out the Significant Learning of David Ausubel and Vygotsky's interactionist socialist perspective in relation to the experiments of Physics as theoretical referents more approached tied with Motivation. In the collected data, we used: Lectures with extra class activities for resolution before and after the construction of the experiment, experimental scripts, questionnaires, previous test and final test, with "safety degree" of the given answers and student evaluation. The respective work had a qualitative and quantitative analysis, where the results obtained by the data collection were quite significant after the use of the construction proposal of the experiment, as well as the application of new concepts of greater conceptual relevance. The final test had a very fruitful number of hits and the degree of safety of the content revealed that the students were more sure of the answers they got right. In the applied evaluation questionnaire there was an increase in the grade given to the students by the teacher, reflecting a motivating activity. We can say that the proposal of construction of the experiment, also called intervention, was successful, for the concepts related to acoustics, especially the standing waves.

**Key Words:** Significant Learning. Physics experiments. Vygotsky's historical perspective.

Mossoró

Agosto de 2019



## Figuras

Figura 1: Figura esquemática .....	7
Figura 2: Figura esquemática (a) Ondas estacionárias com um harmônico, é a figura estroboscópica e 2 é esquemática.....	10
Figura 3: Figura esquemática do Tubo de Kundt e do esquema montado para aprisionar diferentes gases.....	15
Figura 4: Figura esquemática de um tubo de Kundt que será montado pelos alunos com os materiais indicados.....	15
Figura 5: Representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. ....	16
Figura 6: Materiais básicos para a construção do tubo .....	23
.Figura 7: Alunos recebendo orientação para a construção do tubo no laboratório.....	24
Figura 8: Alunos aplicando o Questionário prévio.....	26
Figura 9: Gráfico do resultado do questionário prévio .....	27
Figura 10: Outro gráfico do questionário prévio .....	28
Figura 11: As aula expositiva tiveram o uso de projetor .....	29
Figura 12: Alunos e o professor para a aula expositiva 2.....	30
Figura 13: Alunos e professor no laboratório com os materiais.....	31
Figura 14: Início da Montagem .....	32
Figura 15: Detalhe da Montagem experimental dos alunos.....	32
Figura 16: Explanando sobre a montagem do tubo de Kundt.....	32
Figura 17: Figura apresenta uma fotografia do tubo já montado .....	33
Figura 18: Aplicação do teste final.....	34
Figura 19: Resultado do questionário final .....	35
Figura 20: Análise da questão extra 01 para todos os alunos.....	37

## Sumário

Capítulo 1 Introdução.....	1
Capítulo 2 Referencial Teórico.....	4
2.1 Vygotskye a experimentação no Ensino de física.....	4
2.2 Aprendizagem Significativa.....	5
Capítulo 3 Acústica.....	7
3.1 Ondas Mecânicas Harmônicas.....	7
3.1.1 Ondas Mecânicas Estacionárias.....	9
3.2 Ondas Sonoras –.....	11
3.2.1 Velocidade do Som.....	12
3.2.2 Ondas estacionárias em tubos sonoros.....	13
3.2.3 Tubos sonoros fechados e abertos.....	14
3.2.4 Tubo de Kundt.....	14
3.2.5 Qualidades fisiológicas do som.....	17
Capítulo 4 O Produto Educacional.....	19
4.1 Escola Patronato e Turma.....	19
4.2 O Produto Educacional.....	19
4.3 Sequência didática.....	20
4.4 Construção do Tubo de Kundt.....	23
4.5 Materiais didáticos produzidos.....	24
Capítulo 5 Aplicação do Produto Educacional.....	26
5.1 Encontro 01: Teste Prévio.....	26
5.2 Encontro 02:.....	28
5.3 Encontro 03:.....	28
5.4 Encontro 04:.....	29
5.5 Encontro 05:.....	31
5.6 Encontro 06:.....	32
5.7 Encontro 07 – Teste Final:.....	32
5.7.1 Questões Extras.....	34

Capítulo 6 Conclusão e Perspectivas .....	37
Apêndice A Questionário prévio .....	39
Apêndice B Atividade complementar .....	40
Apêndice C Roteiro experimental.....	43
Apêndice D Teste prévio .....	46
Referências Bibliográficas .....	49

# Capítulo 1

## Introdução

---

O ensino de forma responsável deve proporcionar aos estudantes a educação e o conhecimento de forma clara, participativa, reflexiva, a partir de sua vivência e do entendimento da ciência e da tecnologia na educação básica (BRASIL, 2018a; BRASIL 2018b). Isto naturalmente apresenta um certo grau de dificuldade, pois são necessárias mudanças contínuas de forma a otimizar o ensino regular. Essas transformações reforçam o papel muito importante do docente como mediador do processo ensino aprendizagem.

O ensino de Física em relação a esses desafios apresenta certas dificuldades, dentre elas, destacam-se a aprendizagem restrita a baixos níveis cognitivos, ensino extremamente centrado no professor com aulas predominantemente expositivas, ausência de experimentação, falta de relação do conteúdo com o cotidiano e livros didáticos que enfatizam a transmissão de informações memoráveis e não a construção do conhecimento (MARCONDES et al., 2007).

O professor necessita ter um conhecimento científico e tecnológico para ministrar a aula, porém, isso não é suficiente para ter um bom desempenho na docência Na maioria dos casos, a Física é apresentada de forma mecânica, com usos de regras e fórmulas, gráficos, tabelas e perguntas sem contextualização com respostas prontas. Sendo essas algumas das razões para que o aluno desenvolva uma apatia com a respectiva disciplina (DELIZOICOV, 2009).

A atividade experimental se apresenta como uma alternativa para o aumento da apatia como a Física e a melhora da aprendizagem. Logo, uso de experimentos em sala de aula é importante na aprendizagem dos conteúdos apresentados nas áreas das Ciências da Natureza (SANTOS, 2013). Destacando-se ainda a proposta de indissociabilidade entre teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem sugeridas em documentos oficiais (BRASIL, 2018b). No entanto, a inexistência de um espaço físico ou até mesmo a falta completa de infraestrutura prejudica a prática dessas atividades experimentais, cenário bastante comum nas escolas. (BORGES 2002).

O experimento construído para auxiliar o produto educacional teve um custo de cinquenta reais para cada tubo montado. Os experimentos de baixo custo se revelam como uma ferramenta para que professores do Ensino Médio tenham recursos educacionais para o

entendimento de conceitos da física (PIZETA, 2017) e, mais especificamente, para os aspectos conceituais dos conteúdos de ondulatória e acústica (GUEDES, 2015).

Nas atividades desenvolvidas, amostras de som produzidas por instrumentos de cordas são capturadas e analisadas através de uma abordagem espectral. Propriedades físicas da corda do violão e guitarra são exploradas. Os resultados experimentais são comparados com as previsões teóricas, com uma concordância excelente. As ferramentas apresentadas podem ser utilizadas como material de apoio no estudo de instrumentos musicais, oscilações, ondas, equações diferenciais, análise harmônica baseada em transformações de Fourier e instrumentação para o laboratório de física (NASCIMENTO, 2015).

Estudos mostram que a utilização de experimentos em sala de aula é de grande importância na aprendizagem dos conteúdos apresentados nas áreas das Ciências da Natureza. Infelizmente, a inexistência de um espaço físico e a falta de infraestrutura prejudicam a prática dessas atividades experimentais. Esse cenário é bastante comum nas escolas públicas e em uma boa parcela das escolas particulares (BORGES 2002).

A Física está em constante transformações e precisa ser apresentada também de forma investigativa, para que o aluno consiga desenvolver a criticidade no seu aprendizado. Nesse aspecto, o presente trabalho traz uma proposta de estudo de ondas sonoras.

O projeto foi aplicado no colégio Patronato, em Fortaleza-CE. O desenvolvimento do trabalho iniciou-se em sala, com aulas expositivas sobre o respectivo assunto, em seguida no laboratório, com as quais os alunos construíram o conhecimento e, em seguida, identificaram as qualidades fisiológicas das ondas sonoras. Algumas grandezas são muito importantes na caracterização do som e são chamadas de qualidades fisiológicas do som. Essas qualidades estão relacionadas à sensação que o som produz no ouvido humano e são altura, intensidade e timbre.

Esse instrumento experimental será construído em sala com os alunos, a partir do planejamento proposto na dissertação, foi viabilizado para obter dados de frequência e comprimento de onda os quais são necessários para a obtenção da velocidade de propagação de uma onda sonora.

O experimento proposto será construído com material de baixo custo, e o produto aplicado será uma sequência didática que trará a possibilidade de uma aprendizagem, através da observação de uma onda estacionária, seus máximos e mínimos dentro de um tubo fechado,

e também possibilitará a observação e aferição de parâmetros importantes para o entendimento do processo.

A dissertação está dividida em seis capítulos, cuja distribuição é a seguinte: No capítulo 1, será a introdução, na qual será abordado uma prévia das atividades desenvolvidas. No capítulo 2, será abordado a fundamentação teórica e as técnicas de ensino, uma curta bibliografia sobre o assunto. No capítulo 3, aborda a parte de Física relacionado ao tema. No capítulo 4, o desenvolvimento do produto e o relato dos resultados obtidos com aplicação em sala de aula. No capítulo 5, a conclusão. No capítulo 6, as referências bibliográficas, em seguida os apêndices.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é de que professores que atuam na área de Física executem projetos experimentais e significativos através da construção e uso dos tubos de Kundt (que será falado no capítulo 3) com materiais de baixo custo para serem aplicados no estudo da acústica na educação básica, tendo assim, uma maior possibilidade de valorizar o processo de aprendizagem, trazendo uma contribuição para o conhecimento do conteúdo acústica com alunos do 2º ano das escolas públicas e privadas.

## Capítulo 2

### Referencial Teórico

---

#### 2.1 Vygotsky e a Experimentação

O respectivo trabalho apresentado aborda o conhecimento como um processo de construção permanente entre professor e aluno, para isso faz-se necessário o desenvolvimento de uma prática educativa sócio interacionista que se relacione com a prática da experimentação no ensino de Física. O conceito de sociointeracionismo é aplicado pelos Teóricos de Aprendizagem: Vygotsky(1988) e Ausubel (2003).

Os processos de desenvolvimentos mentais superiores no ser humano, segundo Vygotsky, tem como elementos mediadores:

- Instrumento são construídos para a realização de uma determinada atividade humana (atividade material).
- Signos são instrumentos psicológicos empregados nas atividades psíquicas.

Já o interacionismo é o transporte fundamental para a transmissão dinâmica sócio-histórico cultural construído, na qual, essa interação aconteceu no momento da aplicação do produto no laboratório, através de trocas de conhecimentos entre os alunos. A interação precisa de no mínimo duas pessoas, permutando conhecimentos e significados recíprocos entre os participantes envolvidos, trazendo, assim, diferentes conhecimentos, tanto qualitativos quanto quantitativos. Assim, o teórico Vygotsky acreditava que é fundamental a interação para um desenvolvimento cognitivo e linguístico.

A mediação compreendida com aquisição de conhecimentos por meio de um elo intermediário entre o ser humano e o ambiente, pressupõe relações colaborativas entre indivíduos. O educador é o maior regente do processo ensino aprendizagem, o qual facilita para o estudante a possibilidade de colocar em ação o conhecimento do seu cotidiano para as descobertas de novos conhecimentos com uma elaboração mais intelectual (VYGOTSKY, 1988).

Assim o professor de Física pode modificar a realidade do ensino tradicional, confeccionando experimentos pelos próprios alunos. A construção e a divulgação científica de Física por meios de experimentos podem ir além da sala de aula como ressalta (SILVA; LEAL, 2016).

As relações entre as interações sociais e o desenvolvimento cognitivos são os temas mais característicos de Vygotsky e estão em vigor na Psicologia contemporânea, na intersecção social e cognitiva, com aplicações práticas evidentes na educação.

De acordo com Wallon (1995), todas estas atividades são permeadas pelos atributos do aluno, logo atividades, as quais ele pode se colocar como pessoa e mostrar seu conhecimento em uma avaliação diferente contribuem na sua aprendizagem.

A zona de desenvolvimento proximal é definida por Vygotsky como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do aluno, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido através da solução de problemas sob orientação de um professor ou em colaboração com colegas de turma mais capazes (VYGOTSKY, apud MOREIRA 2011a, p. 114).

Sendo assim vale ressaltar que as ideias traçadas por Vygotsky abrangem aspectos diversos, formando, assim, uma trama muito rica responsável pelo estabelecimento de relações fecundas com o processo ensino aprendizagem. Portanto, as ideias exibidas nesta dissertação, dotadas de intencionalidade, buscam leituras fundamentadas para aplicação das práticas experimentais nas aulas de Física. Além disso as relações entre as aulas práticas e a teoria sócio interacionismo, é suscetível a experimentar uma discussão mais profunda que, a aqui, apresentada. Assim busca-se mostrar nesse trabalho a importância de uma fundamentação teórica para compreender e direcionar as atividades experimentais à construção do conhecimento e à aplicação do produto educacional na Física.

## 2.2 Aprendizagem significativa

Em destaque também, no respectivo trabalho, tem-se a teoria da aprendizagem significativa e a motivação necessária para que a aprendizagem ocorra.

A teoria ausubeliana é cognitiva construtivista, que procura relacionar o conhecimento pré existente do aluno a uma nova informação aplicada junto ao aprendiz. A esse conhecimento pré-existente na estrutura cognitiva do aluno é que David Ausubel chama de subsunçores ou conhecimento prévio. Assim, de maneira mais clara, pode-se dizer que no projeto, o estudo da

onda estacionária é o subsunçor necessário para que aconteça uma diferenciação para a progressividade do conhecimento. Novas informações são adquiridas pelo aluno e elementos já existentes em sua estrutura cognitiva podem organizar-se e adquirir novos significados (MOREIRA, 2011b, p.168).

Para Ausubel (2003), a Aprendizagem Significativa (AS) e Aprendizagem Mecânica (AM) não são dicotômicas, mesmo existindo diferença entre elas. Para Moreira (2011a), a AS e AM estão ao longo de um mesmo contínuo. A AS apresenta um caráter progressivo, ou seja, à medida que ocorre a interiorização de novos significados, eles vão se sucedendo em escalas de complexidade, progressivamente.

Assim, o conhecimento prévio é a variável isolada mais importante na promoção da AS de forma que ele pode ser alterado pela aprendizagem de novos conceitos, também pela reformulação dos próprios conhecimentos prévios.

Essencialmente, as condições para que ocorra uma aprendizagem significativa são o material de aprendizagem ser potencialmente significativo e os alunos terem uma predisposição para aprender. (MOREIRA, 2011a)

Na aprendizagem significativa ocorrem, ainda, dois processos que se relacionam, a saber: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Ao se submeter a uma nova informação, esta é aprendida, e o conceito ou proposição inclusiva sofre modificações. A inclusão, que ocorre uma ou mais vezes, motiva a diferenciação progressiva da informação. A recombinação dos elementos existentes mais vezes motiva a diferenciação progressiva da informação. A recombinação dos elementos existentes na estrutura cognitiva é denominada reconciliação integrativa (MOREIRA; MASINI, 2016).

A aprendizagem significativa, quando é observada a compreensão pura de um conjunto de conceitos, possibilita a posse de significados claros, preciosos, diferenciados e transferíveis (MOREIRA, 1999). Assim, sabe-se que os alunos não podem ser avaliados simplesmente com um teste final, daí, serão necessários encontros para se conseguir medir se houve ou não aprendizagem significativa.

Enfim, faz-se necessário desenvolver uma aprendizagem significativa crítica, na qual o aprendiz deixa de ser um receptor passivo e passa a articular significados que domina para obter os significados a serem aprendidos. Através disso, o aprendiz torna-se participativo na

construção do conhecimento na medida que difere a progressiva da reconciliação integradora para reorganização de um novo conhecimento, (MOREIRA, 1999).

Apresenta-se assim, uma breve introdução dos conceitos Sócio Interacionista e da Aprendizagem significativa, que serviram de apoio para o desenvolvimento do trabalho, com um intuito de relacionar o conhecimento dos teóricos ao produto educacional trabalhado junto aos educandos.

Neste trabalho usar-se-á alguns conceitos das teorias apresentadas de forma que a interação nas aulas e a construção do experimento possa fortalecer a zona de desenvolvimento proximal e promover significado ao longo da aplicação do produto educacional, aqui, proposto.

# Capítulo 3

## Acústica

Neste capítulo apresenta-se uma breve descrição da física ondulatória de ondas Harmônicas com destaque na fenomenologia para o produto que trata de ondas sonoras estacionárias em um tubo.

### 3.1 Ondas Mecânicas Harmônicas

Estar-se familiarizado com ondas na superfície da água, no entanto seu conceito está longe de se prender somente a este fenômeno. “Num sentido bastante amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio com velocidade definida” (NUSSENZVEIG, 1999, p. 98). Transportando energia e momento, como se pode observar acompanhando um objeto flutuante na superfície da água que, ao ser atingido por uma crista da onda, se move, permanecendo, em média, na mesma posição, após a passagem do sinal, crista.

Onda é toda perturbação que se propaga no meio material ou no vácuo, transportando energia, sem transportar matéria e pode ser transversal ou longitudinal. Transversal quando a perturbação ocorre perpendicular à velocidade da onda e longitudinal quando a oscilação ocorre na mesma direção da velocidade da onda. A Figura 1 três exemplos, (a), (c) e (d) de uma perturbação que se desloca através de um meio. Para o caso de uma perturbação periódica, (b) e (d) tem-se uma onda periódica se propagando na corda e na mola.

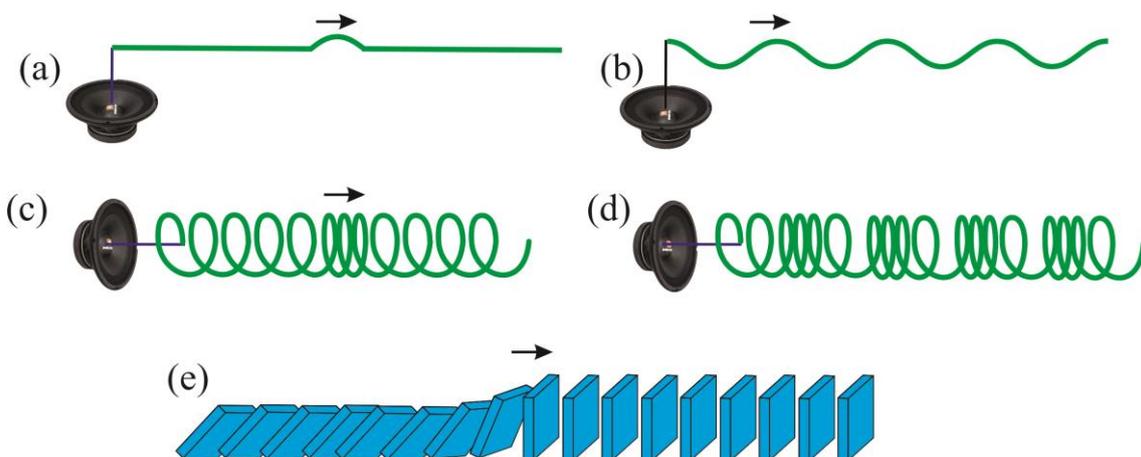


Figura 1: Figura esquemática (a) Primeiro um pulso perpendicular gerado pelo auto falante se propaga na corda. (b) Quando o pulso é periódico temos uma onda se propagando na corda presa a haste que oscila. (c) Pulso horizontal a direção de propagação da mola. (d) O mesmo pulso neste caso agora periódico. (e) Dominó em queda, uma perturbação que se propaga no meio como uma onda.

A auto falante pode produzir um movimento harmônico simples (MHS), ou seja, com uma frequência  $f$  e amplitude  $y_m$  bem definida, de modo que a ponta presa a corda ou a mola tenha a posição  $y(t)$  em função do tempo  $t$  dado pela função do oscilado Harmônico simples:

$$y(t) = y_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.1)$$

Sendo,  $y_m$  é a amplitude do oscilador,  $\omega$  é a frequência angular e  $\varphi$  a constante de fase. Na Figura 1 (b) a oscilação se da na direção  $y$  e em (d) na direção  $x$ .

Trataremos a partir de agora a onda como sendo uma transversal. Logo a posição  $y(x, t)$  em função do tempo, qualquer ponto  $x$  da corda pode ser expresso como:

$$y(x, t) = y_0 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi) \quad (3.2)$$

Sendo,  $k$  o número de onda que indica a quantidade de comprimentos  $\lambda$  em um determinado comprimento,  $k = 2\pi/\lambda$ . E  $\omega = 2\pi f$ . O termo  $kx - \omega t + \varphi$  é chamado de fase da onda. A equação também é chamada de equação da onda senoidal.

A velocidade da onda neste caso é encontrada considerando que a fase da onda não muda no tempo para um observador que se move com a mesma velocidade da onda ou velocidade da fase da onda (NUSSENZVEIG, 1981). Nesse caso, a derivada temporal da fase será igual a zero, ou seja,

$$\frac{\partial}{\partial t}(kx - \omega t + \varphi) = 0 \quad (3.3)$$

$$k \frac{\partial x}{\partial t} = \omega \quad (3.4)$$

Logo a velocidade de fase da onda,  $v = \omega/k$ . Também chamada de velocidade da onda, ou

$$v = \lambda f \quad (3.5)$$

Como o produto terá um foco em ondas estacionárias, tratar-se-á da interferência entre duas ondas.

### 3.1.1 Ondas Mecânicas Estacionárias

O princípio de superposição é explicado por (HALLIDAY E RESNICK, 2009)(NUSSENZVEIG, 1981) (SERWAY E JEWETT, 2014) duas ondas senoidais idênticas se propagando em um meio linear. Se duas ondas estão, se propagando, uma para a direita e outra para esquerda, e têm a mesma frequência, comprimento de onda e amplitude, em fases, pode-se expressar suas funções através de duas ondas individuais  $y_1(x, t)$  e  $y_2(x, t)$  como:

$$y_1(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (3.6)$$

e

$$y_2(x, t) = y_m \text{sen}(kx + \omega t) \quad (3.7)$$

As ondas citadas acima, são idênticas, mas com velocidade opostas

A onda resultante será a soma algébrica das duas ondas.

$$y(x, t) = [2y_m \text{sen}(kx)] \cos(\omega t) \quad (3.8)$$

Esta equação não é onda progressiva, o termo entre colchete é a amplitude de oscilação, logo, cada ponto da onda é um oscilador com amplitude variável, dada pelo termo entre colchetes.

Assim, “se duas ondas senoidais de mesma amplitude e mesmo comprimento de onda se propagam em sentidos opostos em uma corda, a interferência mútua produz uma onda estacionária”(HALLIDAY E RESNICK, 2009)

Nota-se que a amplitude máxima em cada ponto da onda varia com a posição, e há pontos nos quais a amplitude é nula, ou seja, quando

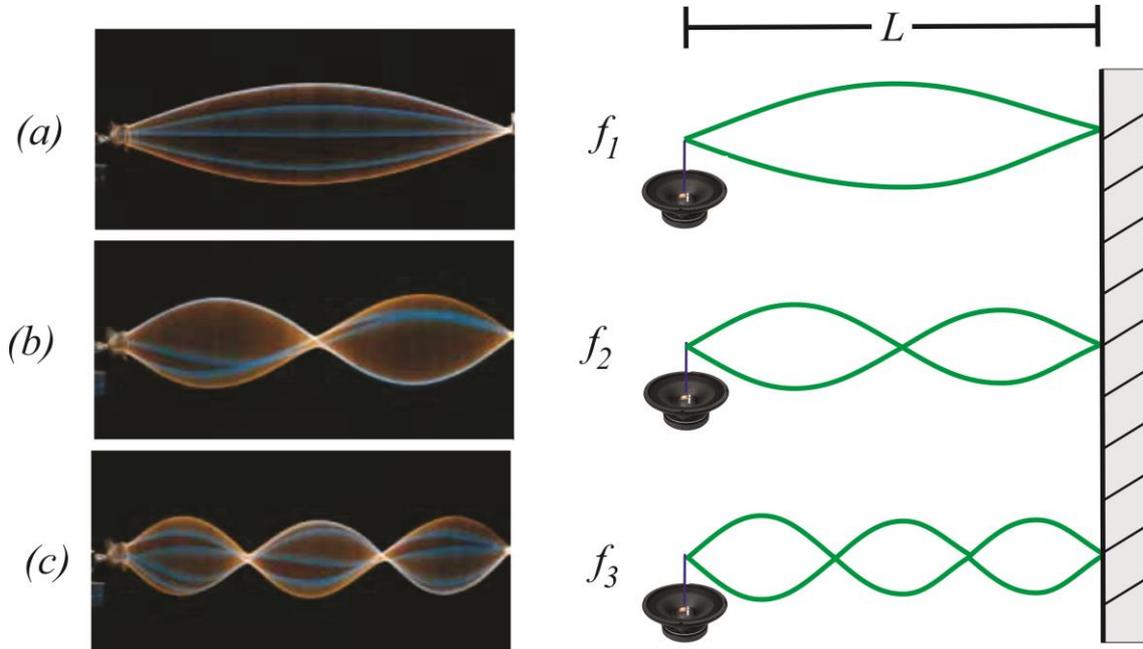
$$kx = n\pi \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.9)$$

Usando  $k = 2\pi/\lambda$ , encontra-se o ponto da onda que não se move, ou seja, o nó da onda estacionária em termos do comprimento de onda.

$$x = n \frac{\lambda}{2} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.10)$$

Já a amplitude da onda estacionária tem um valor máximo  $2y_m$ , que ocorre para valores de  $kx$  o qual  $|\text{sen } kx| = 1$ . Esses pontos são chamados de anti nós, e estes serão os valores para  $x$ , tal que

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.11)$$



**Figura 2:** Figura esquemática (a) Ondas estacionárias com um harmônico, é a figura estroboscópica e 2 é a esquemática.

A Figura 2: Figura esquemática (a) Ondas estacionárias com um harmônico, é a figura estroboscópica e 2 é a esquemática. Ambas apresentam três modos de vibração de uma onda estacionária em uma corda de comprimento  $L$ . Os números dos modos são indicados por  $n$  nas Equações 3.9 e 3.10, onde tem-se o caso de  $n = 1, 2$  e  $3$  respectivamente. Nota-se que em (a)  $L = \lambda/2$ , em (b)  $L = \lambda$  e em (c)  $L = 3\lambda/2$ . Logo,

$$L = n \frac{\lambda}{2} \text{ para } n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.12)$$

Ou

$$\lambda = 2 \frac{L}{n} \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.13)$$

Observa-se que nem todas as frequências são permitidas para uma corda de comprimento  $L$ , ou seja, estas frequências permitida será

$$f = n \frac{v}{2L} \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.14)$$

Tem-se assim que estas frequências naturais são também chamadas de frequências quantizadas associadas à vibração de uma corda com pontas presas (SERWAY E JEWETT, 2014). Logo, em uma onda estacionária para esse caso, há frequências que são permitidas, os chamados modos normais de vibração.

### 3.2 Ondas Sonoras

As ondas sonoras no ar são os exemplos mais importantes de ondas longitudinais, podem se propagar através de qualquer meio material, e sua velocidade depende das propriedades do meio. Já as ondas estacionárias é um padrão de oscilação que resulta de duas ondas que viajam em direções opostas. Matematicamente, a equação (3.8) parece mais com o movimento harmônico simples que com o movimento ondulatório de ondas progressivas. Cada elemento do meio oscila em movimento harmônico simples com a mesma frequência angular  $\omega$ , de acordo com o fator  $\cos \omega t$  na equação (SERWAY E JEWETT, 2014). O tubo de Kundt construído com material de baixo custo será o experimento usado para a observação dessa onda estacionária, na qual o som emitido é uma onda de pressão de equação:

$$\Delta P = P_{\text{máx}} \sin(kx - \omega t) \quad (3.15)$$

A amplitude da pressão  $P_{\text{máx}}$  é a variação máxima na pressão em relação ao valor de equilíbrio, e a Equação (3.15) representa a onda de pressão. A amplitude da pressão é proporcional à de deslocamento  $S_{\text{máx}}$ :

$$S_{\text{máx}} = \rho v \omega S_{\text{máx}} \quad (3.16)$$

Onde  $\rho$  é a densidade do meio,  $v$  a velocidade da onda e  $\omega S_{\text{máx}}$  a velocidade longitudinal máxima de um elemento do meio. São essas variações de pressão em uma onda sonora que resultam uma força oscilando no tímpano, levando à sensação de audição (SERWAY E JEWETT, 2014).

O som é toda vibração produzida por objetos materiais e é percebido pelo ouvido humano. Essas vibrações são transmitidas pelo ar, em forma de ondas sonoras, e a sensação que elas produzem quando chega aos ouvidos chama-se som. As ondas sonoras são perturbações que transportam energia e quantidade de movimentos em meios materiais, tais como: fluidos, atmosfera e sólidos.

Os sons audíveis pelo ouvido humano ocorrem somente num intervalo limitado de frequência, aproximadamente entre 20 Hz e 20000 Hz. Ondas sonoras com frequências abaixo

de 20 Hz são denominadas infrassons, enquanto as com frequências superiores a 20000 Hz são denominadas ultrassons. Não se pode escutar as ondas sonoras se estiver abaixo de um limiar de volume referente à curva de audibilidade humana (HEWITT, 2002, p.345).

O fato de que o som se propaga através de um meio material, sem que haja transporte de matéria de um ponto a outro, é uma indicação de sua natureza ondulatória. A velocidade finita de propagação do som pode ser observada pelo tempo decorrido entre o clarão de um relâmpago e o ruído de um trovão que o acompanha. A reflexão do som também é um efeito familiar, manifestado na produção de ecos (NUSSENVEIG, 2014, p.153).

Nas compressões, a pressão é mais elevada que seria, no caso, se não houvesse ondas (meio em equilíbrio). Nas rarefações, a pressão é mais baixa que no equilíbrio (NEWTON; HELOU e GUALTER, 2012, p.258).

### 3.2.1 Velocidade do Som

Robert Boyle, em 1660, verificou que o som precisa de um meio material para se propagar. Desta forma, o comportamento da onda sonora vai se alterar de forma significativa conforme o meio de propagação. Logo, tem-se alguns parâmetros importantes para a velocidade de propagação no ar: temperatura, variação da pressão no ar e o meio pelo qual a onda sonora vai se propagar. Assim, a construção e a aplicação junto aos alunos, de um tubo de Kundt, buscará uma resposta moderna e simples de medir a velocidade de propagação do som no ar.

A velocidade das ondas sonoras depende das propriedades do meio e não do movimento inicial da fonte sonora, isto é, a propriedade geral do movimento ondulatória. No ar, por exemplo, a velocidade de propagação do som é uma aproximação de 340 m/s, na água ela é aproximadamente cerca de 1500 m/s e uma aproximação de 5000 m/s no ferro.

Podemos classificar os meios onde as ondas podem se propagar das seguintes formas:

- meios lineares: se diferentes ondas de qualquer ponto particular do meio em questão podem ser somadas;
- meios limitados: se ele é finito em extensão, caso contrário são considerados ilimitados;
- meios uniformes: se suas propriedades físicas não podem ser modificadas de diferentes pontos;

- meios isotrópicos: se suas propriedades físicas são as mesmas em quaisquer direções.

### 3.2.2 Ondas estacionárias em tubos sonoros

Os tubos sonoros podem ser de extremidades abertas ou fechadas. As vibrações das colunas gasosas podem ser estudadas como ondas estacionárias e longitudinais resultantes da interferência do som enviado na embocadura de um instrumento e refletida na outra extremidade do tubo. Um tubo que possui uma extremidade fechada, sempre existe um nó de deslocamento (ou ventre de pressão), e, outro que possui extremidades abertas se caracteriza por ventre de deslocamento em consequentemente um nó de pressão [UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, (2010)].

Muitos instrumentos musicais utilizam tubos sonoros como ressoadores (por exemplo, a flauta, o saxofone, o clarinete, a corneta, o órgão de foles). Nesse tipo de instrumento, os sons são produzidos por fluxo de ar numa das extremidades. Esses sons compõem-se de várias frequências, mas só ressoam, ou se amplificam, aquelas que correspondem a frequências naturais, isto é, ao som fundamental e os harmônicos da coluna gasosa (NEWTON; HELOU;GUALTER, p.274, 2012)..

Desta maneira, as ondas que se formam dentro de um tubo sonoro ou em cordas podem apresentar um padrão estacionário, capaz de formar, a partir de uma superposição de duas ondas idênticas, com sentidos opostos e na mesma direção, com mesma amplitude, mesma frequência e o mesmo comprimento de onda conforme Figura 2.

### 3.2.3 Tubos sonoros fechados e abertos

Em um tubo sonoro fechado, em uma das extremidades, a frequência fundamental é calculada de acordo com a equação (3.14). A distância entre dois nós e um ventre adjacente é sempre igual a um quarto do comprimento da onda (YOUNG & FREEDMAN, 2003), e, somente os harmônicos de ordem ímpar na série são possíveis. Já os tubos sonoros abertos são aqueles que têm as duas extremidades abertas com um ventre de deslocamento (ou um nó de pressão). Tem-se alguns instrumentos musicais, como flauta, saxofone, corneta, clarinete, que o ar ou gás contido dentro de um tubo pode vibrar com frequência, cuja fundamental de um tubo aberto, é representado pela relação  $f = NV/2L$ , em que N é a ordem do harmônico e corresponde a quantidade de meios comprimentos de onda em cada configuração de onda

estacionária. Se  $N = 1$ , temos  $f = v/2L$ , assim, os nós e os ventres estão representados como se as ondas fossem transversais, quando, na realidade, elas são longitudinais. Para efeito de cálculo, porém esse artifício é válido (NEWTON;HELOU;GUALTER, p.275 e 276, 2012).

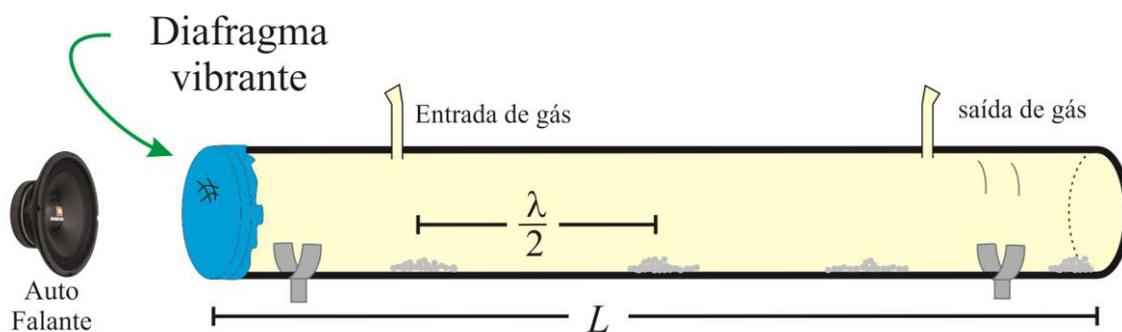
### 3.2.4 Tubo de Kundt

August Adolf Eduard Eberhard Kundt (18 de Novembro de 1839 – 21 de maio de 1894) foi um físico alemão, nasceu em Schwerin, em Meckelburg, e começou seus estudos científicos em Leipzig. Em seus trabalhos, Kundt foi especialista em dominar o som e a luz. Em 1866, desenvolveu o método de investigação de ondas sonoras através do ar em tubos. Com a observação da vibração através de tubos, ele pôde concluir a formação dos harmônicos e a possibilidade de medi-los. O aparato passou a ser chamado de tubo de Kundt, e este permitiu ao cientista medir a velocidade do som em diversos gases e ambientes.

O tubo de Kundt, foi construído exclusivamente para esse produto, um experimento de simples manuseio pelos educandos e com potencial exploratório de uma onda estacionária que se forma em um tubo sonoro fechado. Para visualização e quantificação das condições de ressonância das ondas estacionárias no tubo utiliza-se bolinhas de isopor. Estas se acumulam nos pontos nodais (ausência de movimento do meio onde a onda se propaga) da onda estacionária formada no tubo (SOUZA; DIEGO, 2010).

As ondas transversais em uma corda, incluindo as ondas estacionárias, são geralmente descritas somente em termos dos deslocamentos da corda. Porém, as ondas longitudinais em um fluido podem ser descritas tanto em termos de deslocamento do fluido quanto em termos de variação da pressão no fluido. Para evitar confusão, vamos usar a expressão nó de deslocamento para designar um ponto do fluido com deslocamento igual a zero, e ventre de deslocamento, o ponto no qual o deslocamento é máximo.

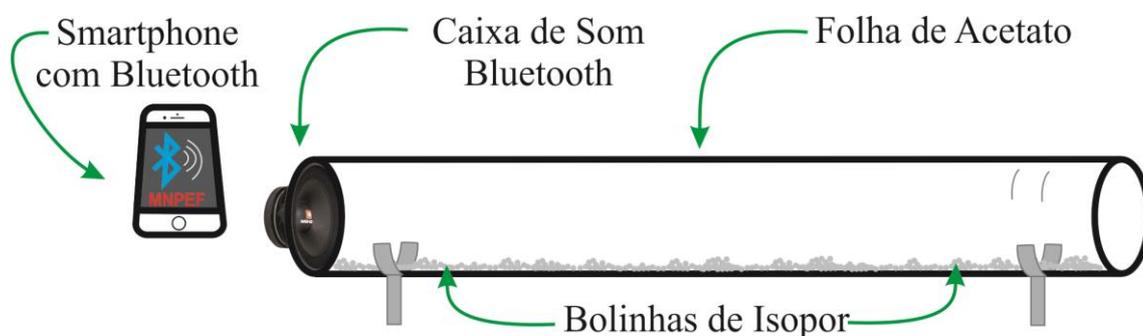
Na extremidade fechada do tubo, as ondas sonoras são refletidas. É espalhado uma pequena quantidade de bolinhas de isopor pela parte inferior do tubo e à medida que a frequência do som muda, as amplitudes das ondas sonoras podem se tornar tão grandes que as bolinhas podem ser varridas ao longo do tubo pelo gás com movimento. Portanto, a bolinha fica em repouso nos locais onde existem os nós de deslocamento, ou seja, onde o gás não se move. A distância entre dois nós adjacentes é igual à metade do comprimento de onda como já apresentado na seção sobre ondas estacionárias, e pode-se medir esta distância. E de posse da frequência fornecida ao alto falante calcular a velocidade do som no gás usando a Equação 3.5 (YOUNG E FREEDMAN, 2003).



**Figura 3:** Figura esquemática do Tubo de Kundt e do esquema montado para aprisionar diferentes gases e de como era possível identificar o comprimento das ondas e assim medir a velocidade da onda em diferentes gases.

A Figura 3 apresenta uma representação esquemática do Tubo de Kundt e de como era o aparato para medir a velocidade do som em diferentes gases.

Esse instrumento experimental proporciona um estudo paralelo de dois tubos sonoros de mesmo comprimento, um aberto e o outro fechado. Deste modo, é provável demonstrar as relações entre velocidade de propagação de uma onda com seus respectivos comprimentos de ondas, as frequências de oscilações e a intensidade sonora marcado pelo simulador de nível sonoro (Best Sound Meter).



**Figura 4:** A figura apresenta uma representação esquemática de um tubo de Kundt que será montado com pelos alunos com os materiais indicados.

A Figura 4 Apresenta a figura esquemática do tubo de Kundt usados e seus materiais. Note que o auto falante foi inserido diretamente no tubo, pois o importante, no momento, é somente no estudo das ondas no ar.

No Capítulo 4 detalha-se a construção do equipamento pelos alunos.

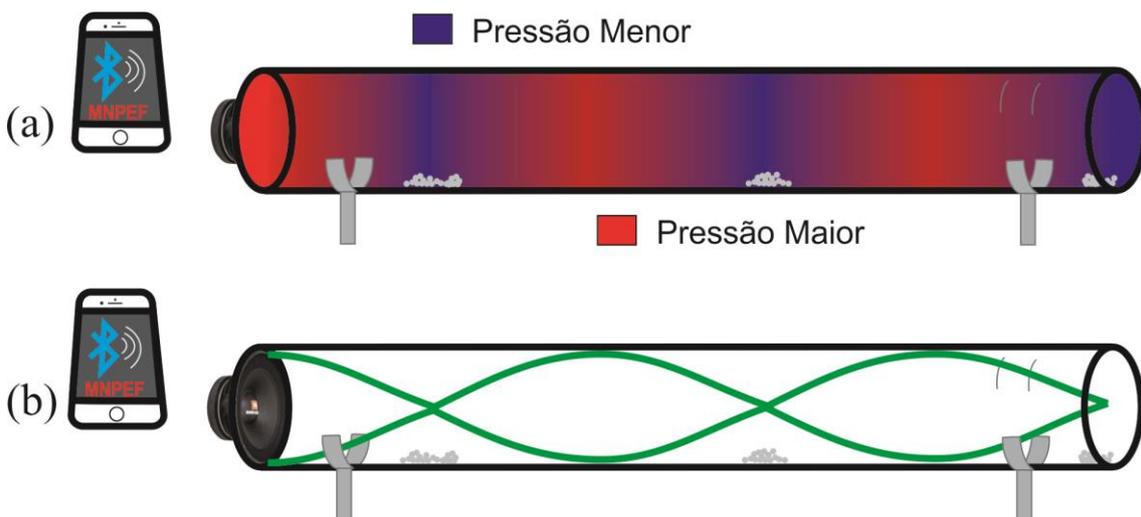
O Smartphone é usado como o precursor de funções, usando um aplicativo que gera sons em frequências específicas, no nosso caso foi usado o aplicativo (*frequency generator e decibel meter*)

A caixa de som com conexão *bluetooth* foi usada para emitir a onda sonora para o interior do tubo.

A folha de acetato enrolada em formato cilíndrico com dimensões 25cm x 100cm. A segunda dimensão é importante, pois será o L das Equações  $L = N\lambda/2$  e  $L = N\lambda/4$

As bolinhas de isopor serviram para a formação das ondas estacionárias.

O auto falante emite dentro do tubo a onda sonora com uma frequência bem definida que é refletido na parte final do tubo, de modo que a onda resultante pode apresentar um estado estacionário se a frequência e o comprimento do tubo coincidir com a Equação (3.13).



**Figura 5:** Representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. (a) Indicação da pressão, o vermelho indica um ponto de alta pressão, ou seja, as partículas do ar estão todas próximas e com velocidades maiores, vales da onda estacionária, o azul indica que o ponto de baixa pressão, as partículas do ar estão mais distantes e com velocidades menores.

A Figura 5 (a) apresenta uma representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. Indicação da pressão, o vermelho indica um ponto de alta pressão, ou seja, as partículas do ar estão todas próximas e com velocidades maiores. Devido à velocidade nos pontos próximos aos máximos da onda estacionária as bolinhas de isopor são varridas para pontos de baixa pressão, os nós da onda estacionária, ou seja, para a região azul que indica o ponto de baixa pressão.

A Figura 5 (b) apresenta uma forma de exposição da onda sonora estacionária em um tubo, que pode confundir o aluno de forma que a figura apresenta a onda sonora com uma onda transversal e não uma onda longitudinal, assim os nós são representados na região de baixa vibração do ar nesses pontos, se comparados com o ventre. Essa representação está presente em diversos livros, não só de nível médio, como também em livros de nível universitário. Em (HALLIDAY E RESNICK, 2009) é tomado o cuidado de apresentar a representação como curva de pressão em função da posição. Em (SERWAY E JEWETT, 2014) p. 71 os autores dizem: “As ondas estacionárias longitudinais são desenhadas como ondas transversais”.

### 3.2.5 Qualidades fisiológicas do som

Algumas grandezas físicas têm papel primordial na caracterização do som. Esses aspectos fisiológicos estão ligados à percepção dos estímulos do ser humano, como altura, intensidade, timbre e nível sonoro. Em tal perspectiva, pode-se, também, resgatar um estreito laço entre a física e a acústica musical, ciências que tiveram seus desenvolvimentos interligados, cujos resgates poderiam constituir-se numa importante ferramenta didática. Em seguida tem-se os conceitos dos respectivos aspectos fisiológicos citados acima:

- **Altura:** uma qualidade fisiológica do som determinada pela frequência da onda sonora. Sons altos (agudos) correspondem a frequências elevadas, e sons baixos (graves) correspondem a frequências baixas.
- **Intensidade:** uma qualidade associada à amplitude da onda sonora, ou seja, quanto maior a potência da fonte sonora, maior é a amplitude e maior a energia transportada pela onda.
- **Timbre;** a qualidade que permite distinguir uma nota musical de mesma frequência emitida por diferentes instrumentos;
- **Nível sonoro;** a qualidade do som que permite estabelecer a razão da intensidade de um som e a intensidade mínima percebida pelo ouvido humano. O nível de pressão sonora é medido em Decibéis (dB), em homenagem a Graham Bell, o inventor do telefone, isto significa que “Esta relação logarítmica é definida como Bel, mas é empregada a unidade que representa um décimo dela, que é mais conveniente, chamada decibel, designada como dB”.

## Capítulo 4

### O Produto Educacional

---

Neste capítulo, descreve-se o produto desenvolvido e aplicado neste trabalho, dando ênfase ao produto. Já os detalhes da aplicação do produto serão apresentados no capítulo seguinte.

Uma das exigências do Mestrado Nacional Profissional no Ensino e Física (MNPEF), é a elaboração de produtos educacionais, nos quais o objetivo é compreender, a partir do discurso de egressos de um mestrado profissional (MP) em Ensino de Ciências, como os elementos em torno à elaboração e reaplicação de produtos educacionais indicam a aproximação, ou não, entre pesquisa e a prática docente. Apesar da amplitude que caracteriza os enfoques da educação científica, corrente à ideia de que cabe a ela promover o acesso a informações que possibilitem a reflexão sobre os procedimentos, os desafios e as limitações da ciência como prática social (RICARDO, 2010, QUEIRÓS et al., 2013).

Falar-se-á, inicialmente sobre os alunos e a escola na qual o produto será aplicado, e, em seguida apresentar-se-á nosso produto educacional.

#### 4.1 Escola Patronato e Turma

A escola Patronato está localizada no município de Fortaleza – CE, no bairro Messejana, rua Guilherme Alencar 121, Cep 60840-340. A escola conta com turmas de Infantil, Ensino Fundamental I e II e Médio no turno matutino, também trabalha com integral. Atendendo cerca de 600 alunos, a escola é uma instituição privada das irmãs Josefinas, a qual sempre está buscando inovações para o processo ensino aprendizagem.

#### 4.2 O Produto Educacional

O produto consiste de uma sequência didática que contemplará 7 encontros de 50 minutos ao longo de 4 semanas.

Dentre outros destaca-se o objetivo de inserir conceitos básicos de Acústica para os alunos do 2º ano do Ensino Médio, do Colégio Patronato, em Fortaleza-Ce.

Estávamos interessados em vários conceitos no que diz respeito a ondas sonoras, dentre eles destacamos:

- frequência do som;

- período de oscilação;
- período de uma onda;
- comprimento de onda;
- velocidade de propagação do som.

Contíguo a esses conceitos básicos, foi trabalhado também as qualidades fisiológicas do som, tais como:

- timbre;
- altura;
- intensidade e nível sonoro
- ondas estacionárias em cordas e tubos sonoros abertos e fechados.

### 4.3 Sequência Didática

A descrição dos encontros de 50 minutos cada, duas vezes por semana.

#### **Encontro 01 – Teste prévio (questionário):**

Neste encontro realizou-se um teste prévio com problemas construídos de acordo com o conteúdo de acústica, como o objetivo de aplicar uma sequência didática para o conhecimento dos conceitos básicos de ondas sonoras, que seriam desenvolvidos no projeto experimental. As questões foram construídas, deixando claro o objetivo dos questionamentos, usando uma escrita que pode ser facilmente compreendida pelo aluno do 2º ano do Ensino Médio. Dessa maneira, deseja-se reconhecer a respeito de qual base se conseguiria construir novos conhecimentos físicos a respeito da ondulatória, tendo assim, sucesso nos resultados.

O teste prévio está no Apêndice A e, é composto de 10 das seguintes questões:

Questão 1: O que você entende sobre onda?

Questão 2: O que é o som? Qual a diferença entre o som grave do som agudo?

Questão 3: O que você entende sobre Acústica?

Questão 4: O que são ondas estacionárias?

Questão 5: O que é uma reflexão de onda sonora?

Questão 6: De acordo com as qualidades fisiológicas do som o que você entende sobre: altura, timbre, intensidade, nível sonoro.

Questão 7: O que é um tubo sonoro?

Questão 8: Qual a diferença de um tubo sonoro fechado para um tubo aberto?

Questão 9: O que é um tubo de Kundt?

Questão 10: Construa um desenho que represente ondas sonoras de acordo com sua imaginação.

Esse instrumento foi corrigido da seguinte forma: Questões certas, aproximou da resposta, questões erradas e não responderam.

## **Encontro 02: Aula expositiva 1**

No segundo encontro teve-se uma aula expositiva 1 com slides montados pelo professor, fazendo que o aluno desperte o seu conhecimento prévio, sendo ele indispensável ou não para o procedimento da sequência didática, assim, a apresentação dos tópicos, previstos na sequência didática, foi satisfatória. Tem-se abaixo os seguintes temas:

- a. Descrição do conceito de ondas mecânicas (em especial as ondas sonoras).
- b. Relação entre frequência perceptual (sons agudos e graves) com período de oscilação nos tubos.
- c. O que é uma onda sonora?
- d. Comprimento de onda
- e. Velocidade de propagação de uma onda sonora em meios materiais diferentes.
- f. Definição das qualidades fisiológicas do som: timbre, altura, intensidade e nível sonoro.

Há também, uma atividade complementar com questões direcionadas aos cálculos simples envolvendo os conteúdos citados acima. Atividade complementar está no Apêndice B.

## **Encontro 03: Aula expositiva 2**

No encontro 3, tem-se a aula expositiva 2, no qual usamos aulas expositivas com slides, através de simulação computacional, direcionado ao assunto aplicado na atividade experimental, em formas de conceitos gerais e termos simples. Nesta aula, conheceu-se os aplicativos que serão baixados para o uso na prática experimentada e também para exposição de alguns temas:

- a. Velocidade de propagação da onda em um tubo sonoro aberto ou fechado.
- b. O que são ventres e nós?
- c. O que são ondas estacionárias?
- d. Frequência de uma onda em um tubo sonoro aberto
- e. Aplicativos no smartphone para o uso na atividade experimental.

Houve também uma atividade complementar do livro tópicos da Física para casa, na qual havia uma preparação para a atividade experimental, que está abaixo e no Apêndice B.

#### **Encontro 04 – Construção com os materiais disponibilizados**

No encontro 4, houve a construção do experimento com a interação dos alunos, auxiliados pelo professor de Física, para uma abordagem no estudo da Acústica, em especial nos tubos sonoros fechados. Construir e aplicar os tubos de Kundt foi um dos objetivos da prática experimental.

Neste encontro foi disponibilizado os seguintes materiais: folha de acetato, uma base, e previamente foi solicitado aos alunos, bolinhas de isopor, silicone em líquido, régua, estilete caixa *bluetooth* e a instalação do aplicativo, para o uso.

Na medida que os alunos iam se acomodando com seus grupos, foi passado o material para a construção do experimento: uma folha de acetato de 40 cm × 100 cm, o aplicativos *frequency generator* e um simulador de nível sonoro, *Best Sound Meter*, para serem baixados no celular ou tablet, uma base de MDF de 20 cm × 100 cm, um alto falante, bolinhas de isopor, cola silicone e a caixinha de som *bluetooth*.

Após a aula, os alunos tiveram que produzir em casa, um relatório sobre a relação do interacionismo com a construção do tubo.

#### **Encontro 05 – Aplicação do roteiro experimental:**

No encontro cinco, houve uma discussão sobre os dados e análises feitas na aula anterior e explicar o passo a passo da construção do tubo com um relatório experimental.

Foi distribuído a cada grupo um roteiro de prática experimental, este que está presente nos anexos e no produto, contendo tabelas e questões a serem seguidas na aula, auxiliados pelo professor no laboratório.

Complementando, os alunos confeccionaram um relatório da prática experimental aplicada, com a construção de gráficos e tabelas, resultados estes que serão debatidos no encontro seguinte.

O Roteiro experimental que foi trabalhado no encontro cinco, está abaixo e no Apêndice C:

#### **Encontro 06 – Construção e análise dos gráficos obtidos**

No encontro 6, foi trabalhado a correção das atividades da aula anterior, na qual foram debatidos os relatórios dos alunos. Em continuidade ao encontro, explorou-se a construção e análise dos gráficos obtidos, através das frequências e dos comprimentos de ondas usados para o desenvolvimento na prática. A discussão gerado em sala, foi propício ao processo ensino aprendizagem, desta forma o professor conduzirá a aula junto aos alunos no laboratório sobre os gráficos construídos por eles.

#### **Encontro 07 – Teste final:**

No encontro sete, e último, foi aplicado um Teste final, para assim se avalia a aprendizagem do aluno, através da aplicação do produto educacional. O teste foi individual e teve uma duração de uma hora em sala de aula.

O teste final, foi composto de dez questões, das quais 30% deverá ser questões subjetivas e 70% objetivas. Esse padrão de avaliação é o indicado pela escola na qual o produto foi aplicado.

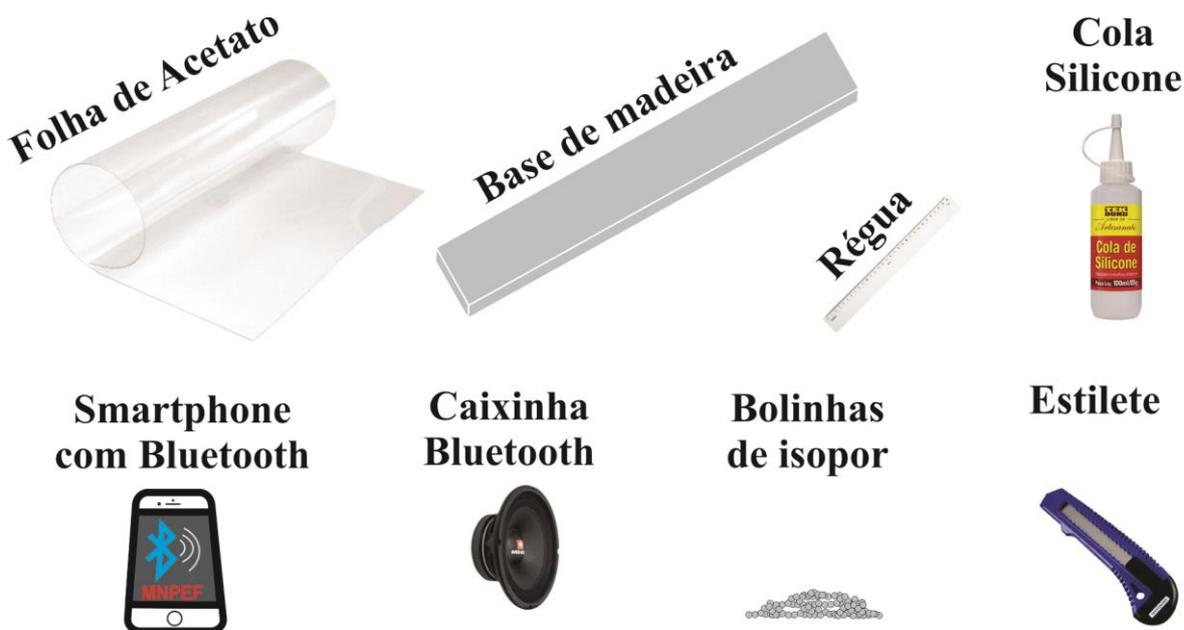
O teste final está abaixo e no Apêndice D.

#### **4.4 Construção do Tubo de Kundt**

No encontro cinco, sugeriu-se a construção do tubo de Kundt pelos alunos, materiais estes de baixo custo. A experimentação no ensino de Física como instrumento de sustentação

ao processo ensino-aprendizagem, utilizando materiais de baixo custo, é de uma relevância positiva para o processo.

Usou-se como materiais uma base de 15 cm × 100 cm × 1,0 cm, cola tipo silicone líquido, régua, estilete, bolinhas de isopor e uma folha de acetato de 25 cm × 100 cm, caixinha de som, *smartphone*. A Figura 8 apresenta um esquema dos materiais usados para a construção do tubo pelos alunos em uma das fases da sequência didática.



**Figura 6:** Materiais básicos para a construção dos tubos de Kundt pelos alunos ao longo da sequência didática.

Os alunos se dividiram em grupo de quatro, e, cada grupo recebeu os materiais citados, para assim, o professor orientar o passo a passo da construção do experimento, que serviu para auxiliar o produto educacional. Abaixo tem-se algumas imagens dos materiais que foram usados no experimento.



**Figura 7:** alunos recebendo a orientação para a construção do tubo no laboratório

## 4.5 Materiais didáticos utilizados

A produção de materiais didáticos serviu para a realização da sequência didática para os alunos, foram utilizados os seguintes materiais: Um questionário para o teste prévio (encontro 1), listas de exercícios (encontro 2), slides (encontro 3), textos preparatórios (encontro 4), roteiro para ser usado na (encontro 5), análise de gráficos(encontro 6 ) e um teste final no (encontro 7).

O questionário e o teste prévio foram aplicados ao longo das aulas, com o objetivo de certificar alguns subsunçores, relacionando-os com o resultado obtido por cada aluno. Outro fator importante na aplicação do produto foi construir os grupos para a atividade experimental.

Houve também, uma lista de exercícios para ser feita no período extra classe (contra turno). Essa lista foi construída de tal modo que os alunos não aplicassem só o que foi aprendido no encontro, mas investigassem novos conhecimentos a respeito do conteúdo abordado em sala de aula. A lista foi preparada de quatro maneiras: a primeira foi o questionário prévio que está relacionado ao conceito de onda sonora. Na segunda parte, aplicou-se exercícios que aludem sobre os conceitos, de frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação da onda em tubo sonoros e cordas, ventres e nós e ondas estacionárias. Na terceira parte, foi aplicado exercícios específicos ao estudo das frequências e dos comprimentos de ondas em tubos sonoros fechados. E por fim, a produção de um mapa conceitual com os conceitos florescentes nessa aula.

Foi preparado um texto para a construção do experimento com os alunos para a prática laboratorial projetada. Nele, foram aplicados textos sobre o andamento dos tubos sonoros fechados e abertos. Também, observado o funcionamento do instrumento experimental aplicado, bem como todo material utilizado para construção. Uma parte dessas, foi determinada pelo próprio docente, outras por cada um dos educandos. Em adição a, há uma seção sobre o conceito de harmônicos produzidos por ondas estacionárias nos tubos sonoros. Esse conceito é de suma importância para provar um dos procedimentos experimentais empregados na prática laboratorial do produto.

Já no roteiro experimental foi usado somente no dia da aula de laboratório, está acessível no website do produto educacional. Esse roteiro delinea as atitudes que devem ser invadidas para a execução da atividade proposta. Com os dados sendo colhidos, há uma parte no roteiro, que explica como será analisado esses dados em quatro partes, nas quais em cada parte há um manuseio da Matemática, gráficos ou tabelas, para o alcance de algum resultado físico.

Sendo assim, foi proposta uma atividade para casa, na qual o aluno metodizou todo o processo feito na parte experimental em um relatório.

## Capítulo 5

### Aplicação do Produto Educacional

---

Neste capítulo descreve-se a aplicação do produto educacional na turma descrita na seção 4.1 bem como os resultados dos testes avaliativos, destacando algumas respostas interações e respostas relevantes.

A turma na qual o produto foi aplicado foi o 2º ano do Ensino Médio do Colégio Patronato, localizado no bairro Messejana, Fortaleza- Ce, no ano de 2019, no período de 2 de maio à 17 de maio, que conta com 25 alunos, dos quais alguns deles, por algum motivo casual, deixaram de participar de algumas fases do processo de construção do projeto e foram eliminados da pesquisa.

Os outros alunos atuaram como sujeitos da pesquisa e receberam a avaliação inicial, a intervenção e a avaliação final. O procedimento de construção e aplicação dos experimentos junto aos alunos, é também chamado de intervenção nessa dissertação.

Dividiu-se este capítulo na descrição da aplicação do produto e na análise das respostas.

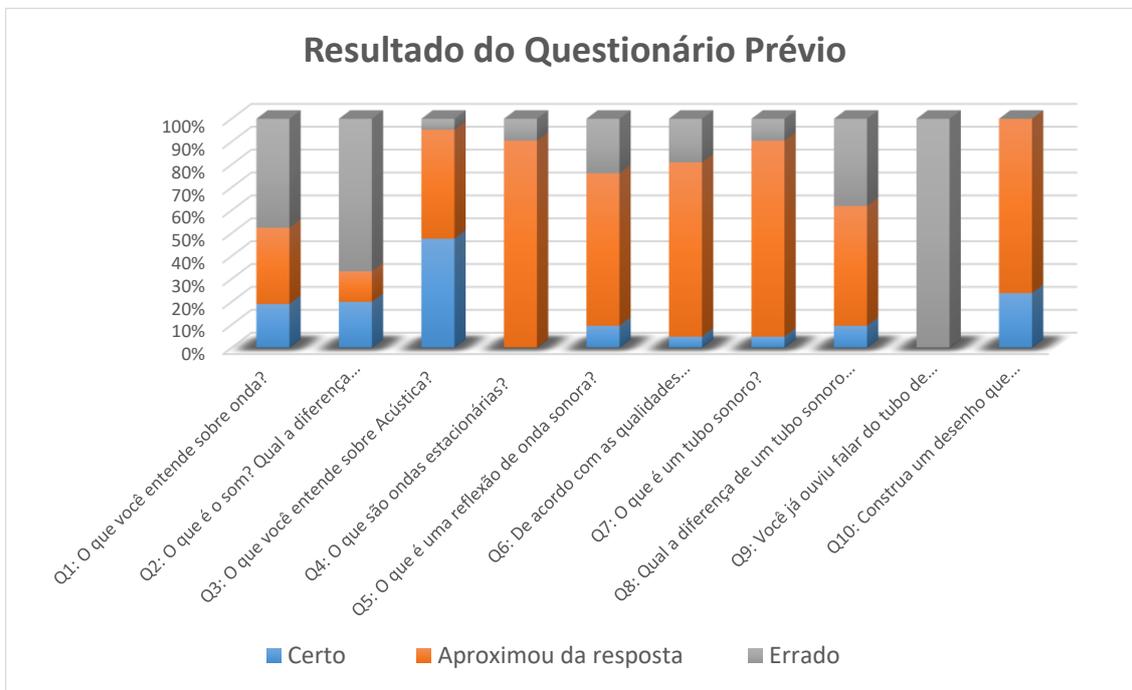
#### 5.1 Encontro 01: Teste Prévio

Com o intuito de levantar o conhecimento prévio junto aos educandos, foi aplicado em sala de aula um questionário prévio com 10 questões, descrito no capítulo anterior contou com a participação de 21 alunos.



**Figura 8:** Alunos aplicando o Questionário prévio.

Este instrumento foi corrigido da seguinte forma: Questões certas, aproximou da resposta, questões erradas e não responderam. Assim obteve-se os resultados obtidos das questões feitas pelos alunos, por meio do gráfico da Figura 11.



**Figura 9:** A Figura apresenta o gráfico do resultado do questionário prévio

Através dos resultados obtidos no questionário prévio, diagnosticou-se que, o estudo da acústica deve ser trabalhado de forma clara usando algumas ferramentas para a aprendizagem junto aos alunos, por causa das dificuldades que eles tiveram de entender fenômenos ondulatórios que estão no nosso cotidiano. O gráfico acima, demonstra essas lacunas de dificuldades que deverão ser solucionadas com a aplicação do produto educacional. Segue, abaixo, algumas respostas dadas pelos alunos na aplicação do teste prévio.

Na Questão 01, que trata do que é uma onda nota-se que a soma das respostas certas representa pouco mais da metade da turma, 11 alunos. Logo os alunos tinham pouco ou nenhum conhecimento sobre ondas, ou não souberam responder de maneira satisfatória durante a aplicação do questionário, tendo em vista que somente 4 alunos responderam de forma satisfatória.

Na Questão 02, que trata do que é som, obteve-se uma quantidade de aproximadamente 3 alunos acertando, 10 alunos aproximando da resposta, 8 alunos errando e nenhum deixou a questão sem resposta, deixando claro que os alunos não tinham o conhecimento prévio sobre a definição do som.

Na Questão 03, que trata do que é acústica, os resultados foram o seguinte: 9 alunos responderam certo, 3 alunos aproximaram da resposta e 9 alunos responderam errado e nenhum aluno deixou de responder. Com esses resultados constatou-se que a aprendizagem não está satisfatória, necessitando um melhoramento após a aplicação de toda a sequência didática.

Na Questão 04, que pergunta o que são ondas estacionárias, teve-se uma surpresa, nenhum aluno respondeu certo, 18 alunos responderam errado e só 3 alunos aproximaram da resposta, isso fez que o professor aplicador tivesse uma responsabilidade redobrada para fazer que os alunos entendessem a definição da onda estacionária, assunto primordial na aplicação do tubo de Kundt.

Na Questão 05, a pergunta foi o que é reflexão de uma onda sonora, os resultados foram 3 alunos responderam certo, 13 alunos responderam errado e 5 alunos se aproximaram da resposta. O gráfico mostra também, que na questão 06, que trata das qualidades fisiológicas do som, os resultados ficaram muito parecidos com os da questão 5.

As Questões 07, 08 e 09 abordam sobre tubos sonoros. Muitos alunos relacionaram o tubo com instrumentos musicais, mas a definição física deixou a desejar, obtendo os seguintes resultados aproximados em média: 1 aluno respondeu certo, 17 alunos responderam de forma errado e 3 alunos aproximaram da resposta.

Na questão 10, foi pedido que eles construíssem um desenho que assemelhasse com uma onda sonora, obteve-se os seguintes resultados: quase 5 alunos acertaram e 17 alunos fizeram a imagem de uma onda não parecida com uma longitudinal ou estacionária.

Assim, analisado os resultados obtidos do questionário prévio, identificou-se pouca familiaridade com o assunto antes da aplicação da sequência didática

De posse desses resultados os próximos encontros serão de suma importância para a aprendizagem, onde aplicarei as expositivas e experimentais nos encontros, para, assim, conseguir fazer que os alunos aprendam os respectivos conteúdos.

## 5.2 Encontro 02: Aula expositiva 1

O encontro 02, foi realizado em sala de aula com duração de 50 min, em uma aula expositiva, para tal foi preciso a construção de slides, computador e um projetor.

A aula expositiva foi bem produtiva, pois os alunos tiveram o primeiro contato com a explicação do conteúdo de acústica junto ao professor, e, também, houve concentração e

curiosidade nas perguntas entre eles para a aprendizagem do assunto que, ali, estava sendo explanado. Os conteúdos abordados foram:

- a. descrição do conceito de ondas mecânicas (em especial as ondas sonoras).
- b. relação entre frequência perceptual (sons agudos e graves) com período de oscilação nos tubos.
- c. o que é uma onda sonora?
- d. comprimento de onda
- e. velocidade de propagação de uma onda sonora em meios materiais diferentes.
- f. definição das qualidades fisiológicas do som: Timbre, altura, Intensidade e nível sonoro.



**Figura 11:** As aulas expositivas tiveram o uso de projetor.

Ao final do segundo encontro foi disponibilizado, para ser realizado no horário extra classe, a atividade que está nos (Anexos) com referência a (Newton, Helou e Gualter (2012), e, serviu para familiarizar os alunos com os novos conceitos para os encontros seguintes para a parte experimental.

### 5.3 Encontro 03: Aula expositiva 2

Iniciou-se o encontro 03, fazendo-se a correção e tirando-se as dúvidas de algumas questões aplicadas para a complementação do conteúdo, essas questões foram extras e estão no Apêndice da dissertação. Em seguida, foi aplicada nova aula expositiva com slides e projetor em sala de aula, com duração de 50 min. Os conteúdos trabalhados no encontro 02 foram os seguintes:

- a. velocidade de propagação da onda em um tubo sonoro aberto ou fechado.
- b. o que são ventres e nós?
- c. o que são ondas estacionárias?
- d. frequência de uma onda em um tubo sonoro aberto e fechado.
- e. aplicativos no smartphone.



**Figura 12: Alunos com o professor se preparando para a aula expositiva 2**

Houve também, uma atividade complementar do livro “Tópicos da Física” para casa, a qual foi uma preparação para a atividade experimental, esta atividade encontra-se no Apêndice.

### 5.4 Encontro 04: Construção com os materiais disponibilizados

No encontro 04 com uma duração de 50 minutos, cujo encontro foi ministrado no laboratório, trabalhado com a construção do experimento, usando o processo de aprendizagem interacionista de Vygotsky.

Os alunos foram orientados sobre os cuidados que se deve ter no laboratório, lugar este que dificilmente faziam atividades.

Na medida que os alunos iam se acomodando em grupos, era passado a eles, o material para a construção do experimento, já indicados anteriormente, os aplicativos *frequency generator* e um simulador de nível sonoro, *Best Sound Meter*.

*Frequency generator* é um emissor de frequências que tem no googleplay dos smartphones ou no play store, aplicativo este usado para emissão de frequências.

*Best Sound Meter* é um aplicativo para celular que simula e capta os níveis sonoros, também tem no googleplay dos smartphones ou no play store.

A prática foi realizada de forma interessante. O professor/mestrando passou de grupo em grupo fornecendo orientações cabíveis à construção do projeto. Outro fator bastante interessante foi o silêncio e a atenção dos alunos, fazendo que a realização da prática fosse satisfatória para o processo de aprendizagem. Por isso que “O professor tem o papel explícito de interferir na zona de desenvolvimento proximal dos alunos, provocando avanços que não ocorreriam espontaneamente” (OLIVEIRA, 1997).

O roteiro experimental, que está nos (Anexos) deveria ser seguido pelos grupos formados. Foi identificado que nem todos os alunos leram com propriedade o roteiro, assim tentaram copiar o que algumas equipes estavam fazendo. Isso foi verificado rapidamente pelo educador, que procurou orientar os alunos de acordo com o roteiro entregue, houve assim, o entendimento da importância das orientações para a prática por parte deles que acarretou uma demora para a construção do tubo e a aplicabilidade das medições das frequências e do nível sonoro pelos aplicativos citados, para a continuidade do projeto.

O projeto experimental tinha como objetivo incentivar a atuação ativa de todos os alunos presente no laboratório, além do que, consentir que cada grupo possuísse uma coleção de dados experimentais, para uma boa análise do experimento. Com as análises, foram realizados debates bastante interessantes, a fim de aproximar os objetivos propostos do roteiro experimental.



Figura13: Alunos e professor no laboratório com os materiais para a construção do tubo de Kundt.



Figura14: Início da Montagem do tubo de Kundt.

Houve também, análise da proposta no roteiro experimental e suas respectivas fontes de erro. Para casa, os alunos ficaram responsáveis em resolver o exercício proposto no roteiro experimental.



**Figura15: Detalhe da Montagem experimental dos alunos.**



**Figura16: Detalhe do professor/mestrando com os materiais e a turma. Explanando sobre a montagem do tubo de Kundt.**

## 5.5 Encontro 05: Aplicação do roteiro experimental

No encontro 05 na aplicação do experimento, foi dividido os grupos, uns com cinco e outros com 4 componentes, cada grupo ficou responsável por levar a caixa acústica bluetooth da forma como combinado, foi entregue um roteiro experimental para a prática ser seguida. Desta forma, interação entre eles e o professor no momento da aplicação, foi de grande importância para que a aplicabilidade ocorresse como havia sido planejado.

Um fato interessante foi a percepção de um aluno, no momento que se marcava o nível sonoro com o aplicativo decibelímetro, de que este ficava oscilando muito pelo barulho que outros alunos faziam na quadra, vizinha ao laboratório. Este fato proporcionou aos discentes de perceberem que as medidas podem apresentar variações e flutuações, e, que os dados coletados devem ser analisados. Dando continuidade, o professor se pronunciou sobre a qualidade dos aplicativos baixados no celular sobre a captação dos sons.

Abaixo há imagem do tubo construído e a formação das ondas estacionárias, ventres e nós formadas pelas bolinhas de isopor dentro do tubo fechado.



**Figura17:** Figura apresenta uma fotografia do tubo já montado em uso pelos alunos. Nota-se a o acumulo das bolinhas de isopor onde ficam os nós da onda estacionária.

A Figura apresenta uma fotografia do registro dos alunos ao produzir a onda estacionária no tubo e a formação do padrão característico da onda estacionária.

Após a pratica experimental, houve à discussão dos dados experimentais adquiridos por cada grupo, e uma avaliação a respeito do que foi exposto na pratica. Como os grupos já haviam respondido às atividades iniciais do projeto, conseguiram contribuir de uma forma mais produtiva a discussão.

Na maior parte do projeto, os alunos se manifestaram de forma positiva a respeito da prática experimental que haviam aplicado na aula. Concluído o diálogo, o professor/mestrando procedeu com uma explicação de como deve ser determinado a resolução das atividades do roteiro experimental. Ao ser tirada todas as dúvidas, o educador marcou a entrega do relatório em uma data específica, para a conclusão da aula 06 da sequência didática aplicada. Nesse relatório, foi abordado um simples repertório das resoluções das atividades do roteiro experimental e uma apresentação dos dados coletados pelos alunos.

## 5.6 Encontro 06: Construção e análise dos gráficos obtidos

No roteiro experimental acima e na Apêndice, a questão 08 pede para construir os gráficos  $f \times \lambda$ ,  $f$  (frequência) e  $\lambda$  (comprimento de onda) e  $I \times N$ , onde  $I$ ( intensidade sonora em  $w/m^2$ ) e  $N$ ( nível sonoro em dB) de acordo com os dados coletados na tabela a seguir.

Nesse encontro, os alunos tiveram dificuldades na construção dos gráficos, pelo fato de alguns terem alegado não terem trabalhados com gráficos em séries anteriores, fazendo que a aula não fluísse de forma planejada. Nesse encontro, além dos 50 minutos, houve mais tempo no laboratório, ou seja, uns 20 minutos para, assim, se conseguir concluir e debater a construção dos gráficos pelos respectivos grupos.

## 5.7 Encontro 07 – Teste Final

No encontro 07 da sequência didática, foi aplicado o teste final. O objetivo principal foi determinar a medida da aquisição dos conceitos básicos aplicados no projeto. Para o teste final, foi usado questões similares às atividades para casa, que estão na seção, e foi acrescentado, também, uma questão sobre a prática experimental. Assim, o teste final teve a participação de 23 alunos, composto de dez questões, das quais 70% foram objetivas e 30% subjetivas.



Figura 18: Aplicação do teste final.

O teste final está citado abaixo e no Apêndice D da dissertação.

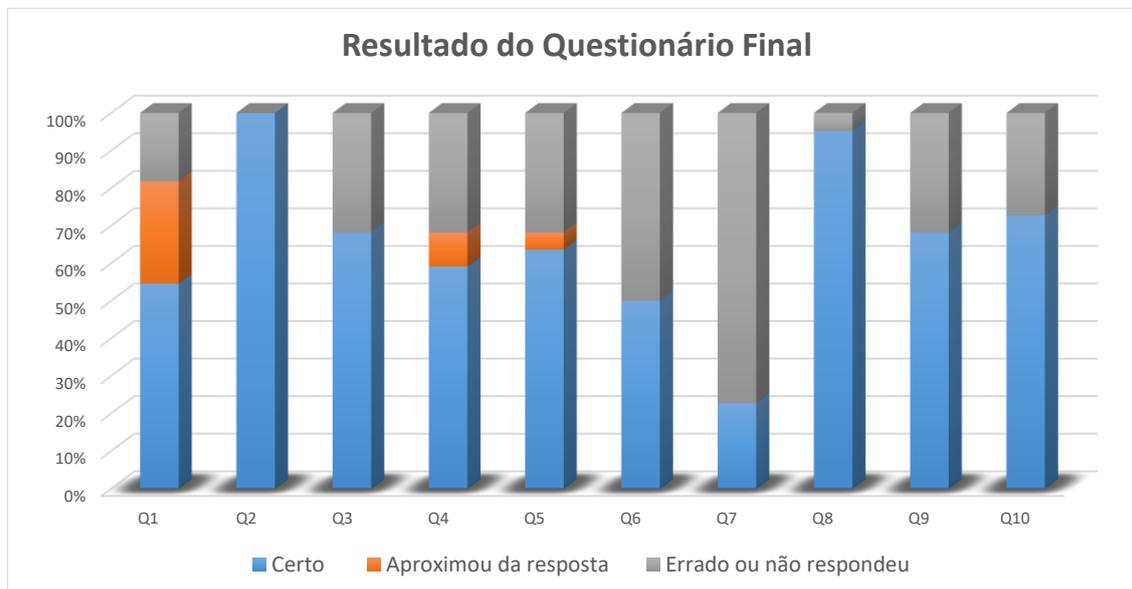


Figura 19: A figura apresenta o Resultado do questionário final.

A Figura 19 apresenta os resultados com respeito ao acerto, erro ou aproximação das respostas do questionário Final.

Observa-se um bom resultado no que diz respeito aos acertos, exceto na questão 7 o nível de acerto foi superior a 50%.

Nas questões 01, 02, 03, 04, 05, 08, 09 e 10 obteve-se resultados acima de 50%, e nas questões 06 e 07 resultados que não foram satisfatórios, ou seja, abaixo de 50%. Assim sendo, a média dos resultados final foi bastante satisfatória para o ensino aprendizagem dos alunos participantes do projeto.

Conforme o gráfico citado acima, foram coletados os dados dos resultados da prova final, que corresponde à aula 7 da sequência didática. Os dados coletados para serem esboçados no gráfico, seguiram o mesmo padrão do questionário prévio acima, onde foi usado da seguinte forma: questões certas, aproximadas dos resultados, erradas e sem respostas.

Sendo assim, com base nesses resultados do teste final, acredita-se que o objetivo de uma aprendizagem, através das teorias de aprendizagem significativa e sóciointeracionista, foi alcançada. Haja vista que os resultados alcançados pelos alunos, na maioria das vezes, foram de forma coerente, ocorrendo alguns equívocos por parte de alguns alunos em algumas situações.

Após a aplicação do teste final, foi solicitado que os alunos respondessem a duas perguntas, a primeira o que são ondas estacionária? E a segunda foi o que eles acharam da aula de Acústica? A primeira pergunta se encontra no questionário prévio e com um resultado não satisfatório do conhecimento. Embaixo há o gráfico gerado após a aplicação do produto.

### 5.7.1 Questões Extras

Após uma semana, solicitou-se aos alunos que respondessem a duas questões no que diz respeito à aplicação do produto:

**Questão Extra 01 (QX01):** O que são ondas estacionárias?

**Questão Extra 02 (QX02):** O que vocês acharam das aulas da aplicação do produto?

Foram dados aos alunos 20 minutos para responder a estas questões simples e que ajudaria ainda mais nas análises dos resultados.

Destaca-se então, algumas respostas de alguns alunos, as quais se indica por letras do alfabeto, transcritas.

**Aluno A:**

Resposta da QX01: “As ondas Estacionárias são o resultado da superposição de duas ondas que se propagam com a mesma frequência”.

Resposta da QX02: “Contribuiu positivamente para a quebra de aulas monótonas e sem graça impostas pelo sistema de ensino atual, além de promover uma maior interação entre os alunos”.

**Aluno B:**

Resposta da QX01: “É formada por duas ondas em superposição que tem a mesma amplitude, comprimento de onda e frequência, mas sentidos oposto”.

Resposta da QX02: “As aulas forma excelentes, tiveram grande proveito e resultaram em grande aprendizado, pois o professor conseguiu passar com sucesso o conteúdo para os alunos por meio de aulas “tradicionais” e por meio do experimento do tubo de kundt, que foi uma experiência diferenciada e enriquecedora”.

**Aluno C:**

Resposta da QX01: “São ondas que possuem padrão de vibração estacionário. Forma-se a partir de uma superposição de duas ondas idênticas mas em sentidos opostos”.

Resposta da QX02: “Gostei, pois consegui aprender mais sobre acústica, e esse é u assunto que eu gosto”.

**Aluno D:**

Resposta da QX01: “São configurações físicas (estacionárias) ”.

Resposta da QX02: “Gostei, foi um tempo proveitoso e de grande aprendizado, uma experiência única onde junto ao professor realizamos um ótimo trabalho em equipe”.

Percebe-se que o Aluno A deu uma resposta próxima da certa, no que diz respeito à QX01 e o aluno B uma excelente resposta sobre o entendimento de uma onda estacionária. Claro que a resposta correta deveria ter mais detalhes, no caso do aluno A, no entanto, a onda estacionária deverá apresentar a característica indicada por ele, sendo mais completa a resposta de B.

O aluno C usa o termo “superposição de duas ondas”, sendo esta uma boa resposta aproximada, mostrando que houve aprendizado.

Já o aluno D está errado, pois afirmou que são configurações físicas (estacionárias).

Já para a resposta QX02, o aluno A apresentou uma insatisfação no que diz respeito às aulas que deve estar acostumado a assistir. Destaca-se sua fala referindo-se a interação entre os alunos.

A interação entre os alunos está presente em todas as respostas de A, B, C e D.

Destacando o sócio interacionismo de Vygotsky, valoriza a mesma ação/interação de Piaget, porém situada em um contexto sócio histórico-cultural. É pela relação com os mais experientes e pela força da linguagem que o sujeito se apropria ativamente do conhecimento

social e cultural do meio no qual está inserido. As influências e mudanças são recíprocas ao sujeito e ao meio o qual se encontra.

No que diz respeito a questão QX01, avaliou-se conforme a figura



**Figura 20:** Análise da questão extra 01 para todos os alunos presentes na semana seguinte.

O gráfico acima confirma um percentual de questões certas e próximo da resposta de 65% e, 35% dos alunos responderam errado a questão extra 01 que se trata da definição do que são ondas estacionárias. Assim, pode-se observar que houve um crescimento na aprendizagem em relação aos acertos no que se tratando das ondas estacionárias, questão está que também foi perguntada na 04 do questionário prévio e somente 3 alunos tiveram próximo da resposta, 18 alunos erraram e nenhum aluno acertou.

## Capítulo 6

### Conclusão e Perspectivas

---

Sendo assim, o resultado da aula sete da sequência didática foi bastante satisfatória e serviu para motivar os alunos por meio do conhecimento construído através de práticas experimentais. A motivação para aprendizagem se caracteriza como um dos principais desafios enfrentados pelos professores em sala de aula. Estudos conduzidos nas últimas décadas reconhecem o processo motivacional como elemento essencial da aprendizagem e como fator decisivo do desempenho escolar dos estudantes (PAIVA, BARBATO, JOÃO E MUNIZ, 2018).

Na maior parte do projeto, os alunos se manifestaram de forma positiva a respeito da prática experimental que haviam aplicado na aula. Concluído o diálogo, o professor/mestrando procedeu com uma explicação de como deve ser determinado a resolução das atividades do roteiro experimental. Ao ser tirada todas as dúvidas, o educador marcou a entrega do relatório em uma data específica, para a conclusão da aula seis da sequência didática aplicada. Nesse relatório foi abordado um simples repertório das resoluções das atividades do roteiro experimental e uma apresentação dos dados coletados pelos alunos.

Além de avaliar o interacionismo e a aprendizagem significativa dos alunos, o projeto tem como objetivo fomentar os conhecimentos significativos dos educandos através da construção e aplicação. Este trabalho foi ministrado por uma sequência didática de sete aulas de uma hora cada para o estudo da acústica, com o auxílio das ondas estacionárias construídas no tubo de Kundt. Do mesmo modo, foi apresentado um produto educacional que auxilia o estudo desse fenômeno com os educandos do 2º ano do Ensino Médio.

O desenvolver do projeto não foi uma tarefa fácil, pois houve algumas dificuldades, como horários disponíveis no laboratório, o conteúdo que não fazia parte da grade curricular do professor aplicador, a falta de alguns alunos nas datas marcadas e déficit no processo ensino aprendizagem por parte de alguns educandos. Com toda a dificuldade, todo o grupo se mostrou disponível diariamente para vencer na vida através dos estudos, e assim, atingirem com êxito o objetivo de ingressar numa universidade pública ou particular nos cursos que almejem.

Em relação aos resultados, atingi-los é uma tarefa bastante árdua, mas não impossível. Já do ponto de vista do ensino aprendizagem houve um resultado satisfatório, como mostra o gráfico da figura 19. O primeiro gráfico sobre o questionário prévio mostrou um grande índice

de erros, mas a partir das aulas expositivas e da aplicação do produto, houve uma mudança dos resultados após a aplicação do teste final, no qual os resultados passaram a serem satisfatórios com um índice de acertos bem mais convincentes. Deste modo a maioria dos alunos tinham curiosidade e interesse de aprender o conteúdo através das práticas experimentais no laboratório, técnica essa não muito utilizada para estudar Física nas escolas.

No entanto, o cronograma da sequência didática, a atividade do roteiro experimental e o entusiasmo utilizado pelo professor demonstram o produto educacional como um material eventualmente significativo, fazendo que os alunos tivessem uma pré disposição ao processo de aprendizagem, segundo as teorias da Aprendizagem Significativa e da teoria Sócio interacionista.

As teorias acima tiveram uma grande importância no trabalho desenvolvido e, auxiliaram a reflexão da prática pedagógica praticada pelo autor da presente dissertação. Ao ler alguns trabalhos como artigos científicos, dissertações já concluídas no site da MNPEF e pesquisa desenvolvidas, as aulas passam a ser imaginada, levando em consideração o conhecimento prévio dos alunos, a construção do material a ser utilizado na aula prática e a pré disposição deles a aprender. Deste modo, é necessário que o professor tenha o conhecimento da Física como também das práticas metodológicas que sejam capazes de melhorar o processo de ensino da Física aos educandos.

A dificuldade para confeccionar até atingir o ponto de configuração desejada do presente experimento foi bastante significativo nos processos das aulas da sequência didática aplicada. A construção e aplicação acontecem em três momentos no laboratório: o primeiro foi a demonstração de como construir o tubo, no qual os alunos observaram a técnica de construção que foi orientada pelo professor. Já no segundo momento, usou-se a aplicação do experimento acompanhado de um roteiro experimental e dos aplicativos de frequência e nível sonoro, aplicativos estes já citados e que poderão deslumbrar das ondas estacionárias construídas no tubo de Kundt. No terceiro momento houve uma análise de gráficos, em que os resultados esperados foram aceitáveis.

Dessa forma, o professor que se interessar em utilizar esse produto educacional nas aulas, poderá organizá-las de acordo com o conteúdo programático no tempo desejado, para, assim, ocorrer um bom desempenho do produto de acordo com suas necessidades e da escola em que leciona.

Portanto, os objetivos propostos na introdução da dissertação como a aprendizagem significativa de David Ausubel e a teoria sóciointeracionista de Vygotsky foram compreendidos de forma coerente por parte dos alunos, a partir de uma metodologia utilizada com embasamento nos teóricos citados no segundo capítulo. Além disso, houve uma mudança bastante positiva em relação às aulas ministradas com essa prática, pois antes trabalhava-se somente com aulas tradicionais e com a aplicação do produto, portanto os resultados foram satisfatórios para esse processo de ensino aprendizagem.

# Apêndices A

---

Apêndice A: Questionário prévio

Questão 1: O que você entende sobre onda?

Questão 2 :O que é o som? Qual a diferença entre o som grave do som agudo?

Questão 3: O que você entende sobre Acústica?

Questão 4: O que são ondas estacionárias?

Questão 5: O que é uma reflexão de onda sonora?

Questão 6: De acordo com as qualidades fisiológicas do som o que você entende sobre: Altura, Timbre, Intensidade, Nível sonoro.

Questão 7: O que é um tubo sonoro?

Questão 8: Qual a diferença de um tubo sonoro fechado para um tubo aberto?

Questão 9: O que é um tubo de Kundt?

Questão 10: Construa um desenho que represente ondas sonoras de acordo com sua imaginação.

## Apêndices B – Atividade complementar

---

### Questão 01

(UFTM-MG) Conhecida pelo nome de seu idealizador, a sonda de Behm determinava com precisão a profundidade do leito oceânico. Consistia em um cartucho explosivo que era detonado na água, em um dos lados do casco do navio. O abalo produzido, propagando-se na água, atingia o leito do mar e refletia-se para a superfície onde, do outro lado da embarcação, um microfone protegido do som inicial pelo casco do navio recolhia o eco proveniente do fundo. Um navio em águas oceânicas, após detonar uma sonda, registra o eco 1,2 s após a detonação. Sabendo-se que a velocidade de propagação do som na água do mar é  $1,4 \cdot 10^3$  m/s, a profundidade local do leito é, aproximadamente, em m,

- a) 260.
- b) 420.
- c) 840.
- d) 1 260.
- e) 1 680.

### Questão 02

Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro.

Essa diferenciação se deve principalmente ao(a)

- a) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical
- d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

### Questão 03

A menor intensidade sonora que uma pessoa de audição normal pode perceber é de  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup> e a máxima que ela suporta é de  $10^{-4}$  W/cm<sup>2</sup>, quando já começa a sentir dor. Uma fonte sonora de pequenas dimensões emite som que um bom ouvinte percebe até uma distância de, no máximo, 100 km. Determine, desprezando dissipações na propagação e considerando  $\pi = 3$ :

- a) a potência sonora da fonte;
- b) a distância da pessoa à fonte, quando ela começa a sentir dor.

### Questão 04

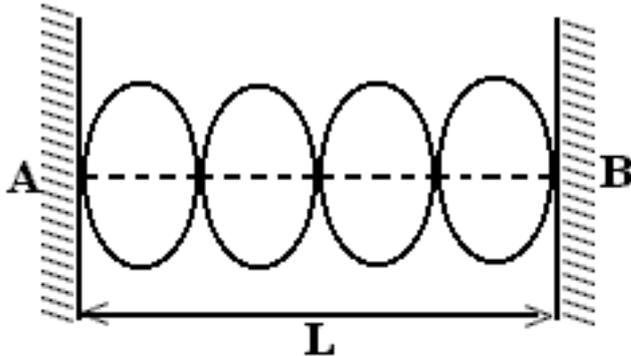
Numa corda tensa, abalos transversais propagam-se a 100 m/s. Sendo de 2 m o comprimento da corda, calcule sua frequência de vibração:

- a) no modo fundamental;

b) no terceiro harmônico.

**Questão 05**

Uma corda de massa  $m = 240 \text{ g}$  e comprimento,  $L = 1,2 \text{ m}$  vibra com frequência de  $150 \text{ Hz}$ , no estado estacionário esquematizado a seguir:



Determine a velocidade de propagação das ondas que originam o estado estacionário nessa corda e a intensidade da força tensora.

**Questão 06**

Um tubo sonoro aberto, contendo ar, tem  $34 \text{ cm}$  de comprimento. Considerando a velocidade do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ , determine a frequência:

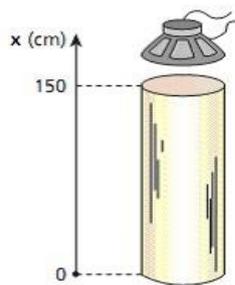
- a) do som fundamental emitido pelo tubo;
- b) do quarto harmônico que esse tubo pode emitir.

**Questão 07**

Um tubo sonoro contendo ar tem  $1 \text{ m}$  de comprimento, apresentando uma extremidade aberta e outra fechada. Considerando a velocidade do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ , determine as três menores frequências que esse tubo pode emitir.

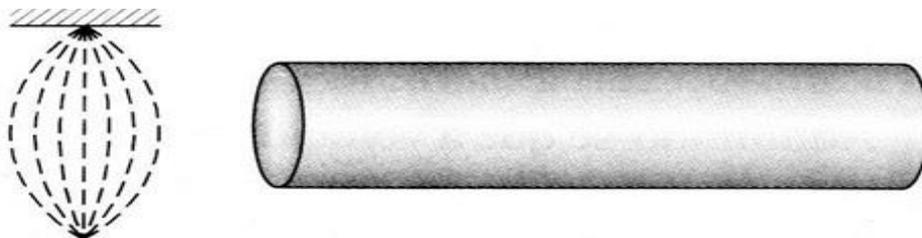
**Questão 08**

Um alto-falante que emite um som com frequência de  $330 \text{ Hz}$  (devido a um gerador de áudio) é colocado próximo à extremidade aberta de um vaso cilíndrico vazio, como mostra a figura abaixo. Despejando água lentamente no vaso, em certas posições do nível da água percebemos que a intensidade sonora passa por valores máximos (ressonância). Determine os valores de  $x$  correspondentes a essas posições do nível da água, considerando a velocidade do som no ar igual a  $330 \text{ m/s}$ .



### Questão 09

Uma corda de 100 g de massa e 1 m de comprimento vibra no modo fundamental próxima de uma das extremidades de um tubo aberto de 4 m de comprimento. O tubo então ressoa, também no modo fundamental. Sendo de 320 m/s a velocidade do som no ar do tubo, calcule a força tensora na corda.

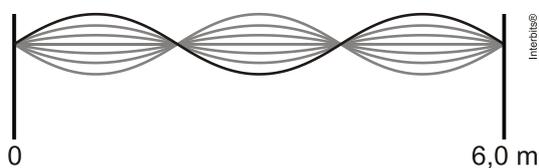


### Questão 10

Num estádio de futebol, o nível de intensidade sonora é normalmente de 65 dB. No momento de um gol a intensidade sonora amplia-se 1 000 vezes. Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora no momento do gol?

### Questão 11

(Pucrj 2012) Uma corda presa em suas extremidades é posta a vibrar. O movimento gera uma onda estacionária como mostra a figura.



Calcule, utilizando os parâmetros da figura, o comprimento de onda em metros da vibração mecânica imposta à corda.

- a) 1,0
- b) 2,0
- c) 3,0
- d) 4,0
- e) 6,0

# Apêndices C

---

## Apêndice C: Roteiro experimental

### Roteiro de Física Experimental

#### Experiência - Ondas Sonoras Estacionárias: O Tubo de Kundt

##### 1 – OBJETIVOS

- Estudar ondas sonoras estacionárias em um tubo fechado;
- identificar os harmônicos possíveis para um dado tubo sonoro fechado;
- aplicar frequências com o aplicativo (frequency generator), através do tablet ou celular;
- conceituar e medir comprimentos de ondas sonoras, em tubos sonoros fechados;
- determinar a velocidade de propagação do som no ar;
- Calcular a intensidade sonora através da medição dos níveis sonoros captados pelo aplicativo.

##### 2 – INTRODUÇÃO

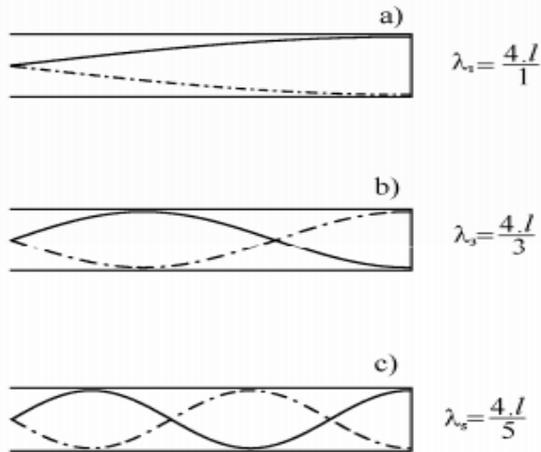
Através da Física experimental certas leis básicas da Física são observadas ou comprovadas. No que diz respeito ao ensino de Física, pesquisas parecem indicar que o método de ensino mais eficaz é aquele o qual o aluno é levado a descobrir os princípios físicos, observando experimentalmente. Neste trabalho, foi construído um Tubo de Kundt que é um dispositivo capaz de fornecer a verificação experimental de vários fenômenos físicos a saber, ondas em tubos, velocidade de propagação da onda sonora, ondas estacionárias em tubos fechados, nodos e ventres, harmônicos (Revista de Ensino de Física, vol.13, 77-85, 1991).

Em um tubo sonoro fechado em uma das extremidades, a frequência fundamental é

$f_1 = V/4L$ . A distância entre dois nós e um ventre adjacente é sempre igual a um quarto do comprimento da onda (YOUNG, 2008), e, somente os harmônicos de ordem ímpar na série são possíveis.

As frequências dos modos normais desse tipo de tubo são dadas por  $f_n = V/\lambda_n = nV/4L$ , sendo  $n = 1, 3, 5, \dots$  (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Faculdade de Engenharia campos Gama, art.2, 5898, 2010).

Observe abaixo, ventres de pressão ou um nó de deslocamento nas extremidades de um tubo sonoro fechado.



([www.ebah.com.br/content/ABAAEujEAJ/relatorio-fisica-ondas-sonoras](http://www.ebah.com.br/content/ABAAEujEAJ/relatorio-fisica-ondas-sonoras))

Nível sonoro(dB)

Através de um aplicativo que mede nível sonoro temos que, as intensidades podem variar de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  a  $1 \text{ W/m}^2$ , assim ouve um incentivo dado pela lei de Weber – Fechner, para a definição de um nível relativo de intensidade sonora (N). Para lidar com um intervalo tão grande de valores, recorreu-se aos logaritmos.

$$N = 10 \cdot \log I/I_0, \text{ onde}$$

10 é uma constante de proporcionalidade;

I è a intensidade sonora de um som;

N é o nível relativo de intensidade em relação a um som de referência de intensidade  $I_0$ .

### 3 – MATERIAL NECESSÁRIO

- Tubo de Kundt de acetato com suporte de madeira;
- escala milímetrada,
- pó de cortiça ou bolinhas de isopor;
- oscilador de áudio;
- frequencímetro e decibelímetro digital;
- alto falante.

### 3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1- Medir o comprimento  $L$  e o raio  $R$  do tubo que será usado na experiência.
- 2 - Verificar se o gerador de frequências e o medidor de frequências e o decibelímetro do aplicativo baixado no celular está ligado e conectado na entrada.
- 3 - Ligar o oscilador variável, regule a amplitude do sinal (volume) para um dado valor e deixe-o fixo (não mexendo mais neste potenciômetro).
- 4 - Varie a frequência em torno de 200 Hz ou em torno de 1.250 Hz e procure observar uma onda estacionária no pó de cortiça ou nas bolinhas de isopor.
- 5- Desligue o oscilador e trace a envoltória da onda estacionária, observada através do pó de cortiça.

6 - Qual a relação existente entre o comprimento “L” do tubo sonoro e o comprimento de onda encontrado? (Expresse sua resposta sob forma de fração).

= \_\_\_\_\_  $\lambda$ .

7 - Preencha a tabela de acordo com o valor da frequência fundamental dos primeiros 3 harmônicos para o tubo com as extremidade fechada.

Frequência(Hz)	Nível sonoro(dB)	Intensidade sonora(W/m <sup>2</sup> ) N=10.log I/I <sub>0</sub> I <sub>0</sub> = 10 <sup>-12</sup> W/m <sup>2</sup>	Comprimento de onda(m) $\lambda = 4L/n$	Velocidade de propagação da onda f = nV/4L
f <sub>1</sub> =	N <sub>1</sub> =	I <sub>1</sub> =	$\lambda_1$ =	V <sub>1</sub> =
f <sub>2</sub> =	N <sub>2</sub> =	I <sub>2</sub> =	$\lambda_2$ =	V <sub>2</sub> =
f <sub>3</sub> =	N <sub>3</sub> =	I <sub>3</sub> =	$\lambda_3$ =	V <sub>3</sub> =

8 – Construa o gráfico f x  $\lambda$  de acordo com os dados encontrados na questão anterior.

# Apêndices D

---

## Apêndice D: Teste final

### Questões do teste Final:

**Questão 1:** Um ser humano com boa audição é capaz de ouvir vibrações acústicas entre 20 Hz e 20 000 Hz aproximadamente. Considerando a velocidade do som no ar igual a 340 m/s, determine os comprimentos de onda do som mais grave (mais baixo) e do som mais agudo (mais alto) que ele consegue ouvir.

**Questão 2:** Numa corda tensa, abalos transversais propagam-se a 100 m/s. Sendo de 2 m o comprimento da corda, calcule sua frequência de vibração:

a) no modo fundamental; b) no terceiro harmônico.

**Questão 3(Objetiva):** O italiano Luciano Pavarotti, conhecidíssimo cantor da ópera, possui uma extensão de voz que varia aproximadamente entre o “dó” (128 Hz) e o “lá” (440 Hz), sendo classificado como tenor. Já um contralto compreende uma extensão de voz que vai, pelo menos, de “sol” (196 Hz) a “mi” (669 Hz). A classificação citada, que pode ainda envolver barítonos, baixos, sopranos e mezzo-sopranos, está calcada na qualidade fisiológica do som conhecida como:

a) intensidade. b) altura. c) timbre. d) volume. e) reverberação.

**Questão 4:** Um tubo sonoro aberto, contendo ar, tem 33 cm de comprimento. Considerando a velocidade do som no ar igual a 330 m/s, determine a frequência:

a) do som fundamental emitido pelo tubo; b) do quarto harmônico que esse tubo pode emitir.

**Questão 5 (Objetiva):** Um alto-falante que emite um som com frequência de 330 Hz (devido a um gerador de áudio) é colocado próximo à extremidade aberta de um vaso cilíndrico vazio, como mostra a figura abaixo. Despejando água lentamente no vaso, em certas posições do nível da água percebemos que a intensidade sonora passa por valores máximos (ressonância). Determine os valores de  $x$  correspondentes a essas posições do nível da água, considerando a velocidade do som no ar igual a 330 m/s.

a)124, 70 e 80 b)125,75 e 25 c)125, 85 e 35 d)124, 75 e 85 e)125, 85, 10

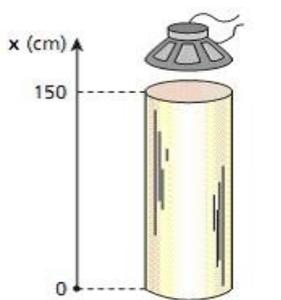


Figura 3: Figura utilizada na questão 5.

**Questão 6(Objetiva):** Num estádio de futebol, o nível de intensidade sonora é normalmente de 60 dB. No momento de um gol a intensidade sonora amplia-se 1 000 vezes. Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora no momento do gol?

a)90 dB      b)100 dB      c)120 dB      d)140 dB      e)150 dB

**Questão 7 (Objetiva):** Em uma flauta, as notas musicais possuem frequências e comprimentos de onda ( $\lambda$ ) muito bem definidos. As figuras mostram esquematicamente um tubo de comprimento  $L$ , que representa de forma simplificada uma flauta, em que estão representados: em A o primeiro harmônico de uma nota musical (comprimento de onda  $\lambda_A$ ), em B seu segundo harmônico (comprimento de onda  $\lambda_B$ ) e em C o seu terceiro harmônico (comprimento de onda  $\lambda_C$ ), onde  $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$ .

Em função do comprimento do tubo, qual o comprimento de onda da oscilação que forma o próximo harmônico?

- a)  $\frac{L}{4}$    b)  $\frac{L}{5}$    c)  $\frac{L}{2}$    d)  $\frac{L}{8}$    e)  $\frac{6L}{8}$

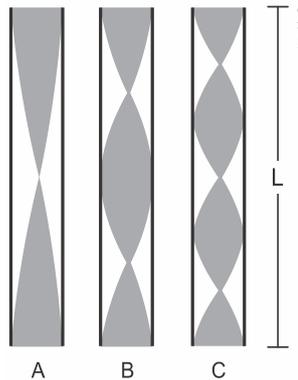


Figura 4: Figura referente a questão 7

**Questão 8(Objetiva):** Uma corda presa em suas extremidades é posta a vibrar. O movimento gera uma onda estacionária como mostra a figura.

Calcule, utilizando os parâmetros da figura, o comprimento de onda em metros da vibração mecânica imposta à corda.

- a) 1,0   b) 2,0   c) 3,0   d) 4,0   e) 6,0

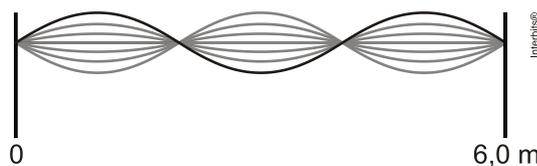


Figura 5: Figura referente a questão 8.

**Questão 9(Objetiva):** Uma onda se propaga numa corda, da esquerda para a direita, com frequência de 2,0 hertz, como é mostrado na figura.

De acordo com a figura e a escala anexa, é correto afirmar que:

- a) o período da onda é de 2,0 s.  
 b) a amplitude da onda é de 20 cm.  
 c) o comprimento da onda é de 20 cm.  
 d) a velocidade de propagação da onda é de 80 cm/s.  
 e) todos os pontos da corda se movem para a direita.

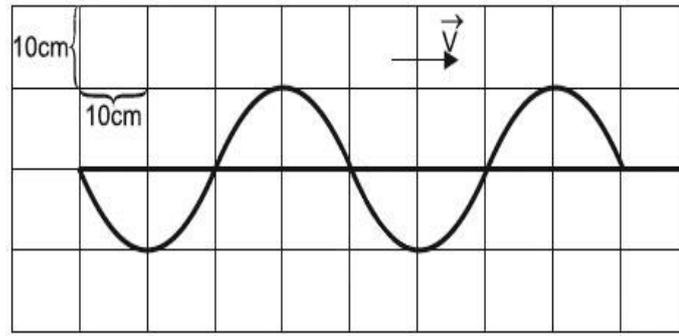


Figura 6: Figura referente a questão 9.

**Questão 10 (Objetiva):** Um tubo sonoro aberto emite o seu quinto harmônico com frequência de 1,7kHz. A velocidade do som, no ar que preenche o tubo, tem módulo igual a 340 m/s. O comprimento do tubo vale:

- a) 5,0 m b) 0,5 m c) 0,25 m d) 0,025 m e) 2,0 m

# Referências Bibliográficas

---

- A.J.SANTIAGO, C.A.DE AZEVEDO E R.A.GONÇALVES LEDO. **Teor didático de um tubo de Kundt: Análise qualitativa de um experimento**. Revista de Ensino de Física, vol.13, 77-85, 1991.
- AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo Editora, 2003.
- BORGES, A. Tarciso. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Colégio Técnico da UFMG. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n.3: p.291-313, dez. 2002.
- BRASIL. **RESOLUÇÃO Nº3 Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/CNE/CEB 2018a.
- \_\_\_\_\_. **Base Nacional Curricular Comum**. Brasília: MEC 2018b.
- \_\_\_\_\_. **Instrução Normativa RFB nº 971**, de 13 de novembro de 2009, art. 3º, inciso III.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Martha Maria. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2009.
- FERNANDES, E.; SANTOMAURO, B. **Aula expositiva: O professor no centro das atenções**, revista nova escola, 2011.
- FEYNMAN, R.P. **Contribuições ao ensino de Física**. Física na Escola, v. 16, n. 2, 2018.
- GASPAR, ALBERTO; MONTEIRO, ISABEL CRISTINA DE CASTRO. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotsky**. Investigações em ensino de ciências, V.10.2, 2005.
- GUEDES, ADERSON GUIMARÃES. **Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones**. Revista Brasileira de Ensino e Física, v. 37, n. 2, 2502, 2015.
- Halliday, D., & Resnick, R. (2009). *Fundamentos de Física. Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. LTC.
- HELOU, D.; GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B. **Tópicos de Física**, vol.2. São Paulo, editora Saraiva, 2012
- HEWITT, PAUL G. **Física conceitual**, 9ª edição, 2002.
- LIBÂNEO, J.C. **Didática**. 16ª reimpressão. São Paulo: Cortez, 1998, p.161
- MARCONDES, MARIA E. R.; PEIXOTO, Hebe R. da C. **INTERAÇÕES e TRANSFORMAÇÕES – Química para o Ensino Médio: uma Contribuição para a Melhoria do Ensino**. In: ZANON, Lenir; MALDANER, Otávio A. (org). Fundamentos e Propostas de Ensino de Química para a educação Básica no Brasil. Ijuí/RS: Ed. Unijuí, p.43-65, 2007.

MAURÍCIO DANTAS, SILVANA PEREZ. **Gamificação e jogos no ensino de mecânica newtoniana**. Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, CEP 66075-110. **Revista do Professor de Física de Brasília**.vol.2.n.2, 2018.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011b.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica**. Madrid: 2006. Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa.

MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. *Aprendizagem Significativa em Revista (Meaningful Learning Review)*. v. 1, n. 3, p. 2546, 2011a.

MOREIRA, M. A.; MASINI, Elcie F. Salzano. *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel*. São Paulo: Centauro, 2016.

MOREIRA, Marco Antônio. **Subsídios metodológicos para o professor pesquisador em ensino de ciências**. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2009. Compilação de trabalhos publicados ou apresentados em congressos sobre o tema Métodos Qualitativos e Quantitativos a fim de subsidiar teoricamente o professor investigador, em particular a área de ensino de ciências.

MOREIRA, M. A.; SOUZA, C. M. S. G. de; SILVEIRA, F. L. da. **Organizadores Prévios como Estratégia Para Facilitar a Aprendizagem Significativa**. *Cadernos de Pesquisa*, São Paulo, p.41-53, fev. 1982. Trimestral. Disponível em: . Acesso em: 29 jul. 2016

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

NACIMENTO, S. A. et al. **Espectro sonoro da flauta transversal**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 2305. 2015.

NUSSENZVEIG, H. M. (1981). *Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor* (Vol. 2). Edgar Bluncher LDTA.

OLIVEIRA, M. K. Vygotsky: **aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997.

PAIVA, F.F, BARBATO, D.M. L, PAIVA, M.L.M.F, JOÃO, H.A, MUNIZ, S.R. **Orientações motivacionais de alunos do ensino médio para física: considerações psicométricas**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 40, nº 3, e3404, 2018.

QUEIROZ, L.R.S, **ESCOLA, CULTURA, DIVERSIDADE E EDUCAÇÃO MUSICAL: DIÁLOGOS DA CONTEMPORANEIDADE**, v.19, n.37, 2013.

SAAB, S.C.; CASSARO F.A.M. Laboratório caseiro: **Tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar**. 114 *Cad. Bras. Ens. Fís*, v.22, n.1: p.112-120, abr. 2005.

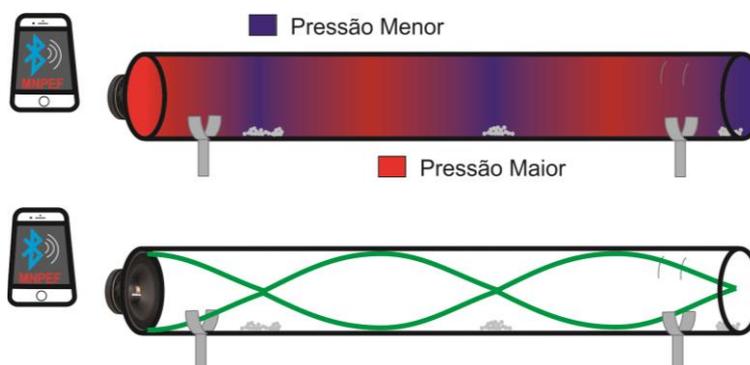
- SANTOS, E.M. et al. **Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, p. 2507 2013
- SERWAY, R., & JEWETT, J. (2014). **Princípios de física - Oscilações, ondas e termodinâmica** (Vol. 2). Cengage Learning.
- SILVA, S.T da. **Propagação som: conceitos e experimentos**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SILVA, J.C.X.; LEAL, C.E dos S. Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 39, n. 1, p.1-5, out. 2016.
- SOUZA, A.R DE. **Experimentos em ondas mecânicas**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SOUZA,D.D; **Experimentos para medição da velocidade do som**. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE JARAGUÁ DO SUL Jaraguá do Sul – 04 de Outubro de 2010.
- UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, **Faculdade de Engenharia campos Gama**, art.2, 5898, (2010).
- VIEIRA, L.P.; AMARAL, D.F.; LARA, V.O.M.; **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 1504 (2014).
- VILLANI, A. Perfil subjetivo: **Estudo de caso**. Cadernos Brasileiro de Ensino de Física, v. 20, n. 3: p. 336-371, dez. 2003.
- VIGOTSKY, L. S. **A formação sócia da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.
- VYGOTSKY, L. S. **A Formação Social da Mente**. São Paulo, Martins Fontes, 1988.
- VYGOTSKY, L.S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- VYGOTSKY, L.S.; LURIA, A.R.; LEONTIEV, A.N. **Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem**. 10<sup>a</sup> ed. São Paulo: Ícone, 2006.
- VYGOTSKY, Lev S. **A formação social da mente – O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- WALLON, H.(1945-1995). **A evolução psicológica da criança**. Lisboa, Edições 70
- YOUNG; FREEDMAN. Física II, 12<sup>a</sup> edição, **termodinâmica e ondas**, 2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SEMI ÁRIDO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

## PRODUTO EDUCACIONAL

UMA PROPOSTA DIDÁTICA DE ENSINO DE ONDAS AUXILIADA PELA  
CONSTRUÇÃO DE UM TUBO DE KUNDT



Produto Educacional de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal do Semi-Árido( UFRSA) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Mossoró



## Sumário

---

Apresentação .....	1
Capítulo 1 O Produto Educacional .....	2
1.1 Sequência Didática .....	2
Apêndices A.....	10
Apêndices B – Atividade complementar.....	11
Apêndices C.....	14
Através da Física experimental certas leis básicas da Física são observadas ou comprovadas. No que diz respeito .....	14
Apêndices D.....	17
Apêndices E .....	20
Referências Bibliográficas .....	21

# Apresentação

---

Prezado professor,

A finalidade desse material, é de oferecer-lhe apoio na organização de um planejamento de suas respectivas aulas, nas turmas do 2º ano do ensino médio, no conteúdo acústica, através de uma metodologia didática, baseada na teoria sócio interacionismo de Vygotsky e na aprendizagem significativa de Ausubel e auxiliada pela construção de um tubo de Kundt.

A sequência didática aqui mostrada, constitui-se no produto educacional que será o fator integrante do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física(MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), do polo 09 ligado à Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA).

Assim, esse material deverá servir de apoio ao professor para a contribuir no processo ensino aprendizagem, sem nenhum impedimento de realização de adequações.

# Capítulo 1

## O Produto Educacional

---

Nosso produto consiste de uma sequência didática que contemplará 7 encontros de 50 minutos ao longo de 4 semanas.

Dentre outros destacamos o objetivo de inserir conceitos básicos de Acústica para os alunos. Desse modo, estávamos interessados em vários conceitos no que diz respeito a ondas sonoras, dentre eles destacamos:

- frequência do som;
- período de oscilação;
- período de uma onda;
- comprimento de onda;
- velocidade de propagação do som.

Contíguo a esses conceitos básicos, foi trabalhado também as qualidades fisiológicas do som, tais como:

- timbre;
- altura;
- intensidade e nível sonoro
- ondas estacionárias em cordas e tubos sonoros abertos e fechados.

Para alcançar este objetivo sugerimos a seguinte sequência didática:

### 1.1 Sequência Didática

Nossa sequência sugerida é de sete encontros, mas pode ser adaptado pelo professor conforme seu tempo disponível e interesses.

A descrição dos encontros de 50 minutos cada é a seguinte:

#### **Encontro 01 – Teste prévio (questionário):**

Neste encontro realizar-se-á um teste prévio com problemas construídos de acordo com o conteúdo de acústica. E tem como objetivos, resgatar e reconhecer as habilidades instrumentais e operacionais do aluno, conhecimentos sobre conceitos básicos de ondas sonoras, que seriam desenvolvidos no projeto experimental. As questões foram construídas, deixando claro o objetivo dos questionamentos, usando uma escrita que pode ser facilmente compreendida pelo aluno do 2º ano do Ensino Médio. Dessa maneira, desejamos reconhecer a respeito de qual base conseguiríamos construir novos conhecimentos físicos a respeito da ondulatória, tendo assim, na minha concepção, sucesso nos resultados.

O teste prévio está no Apêndice A e, é composto de 10 das seguintes questões:

Questão 1: O que você entende sobre onda?

Questão 2: O que é o som? Qual a diferença entre o som grave do som agudo?

Questão 3: O que você entende sobre Acústica?

Questão 4: O que são ondas estacionárias?

Questão 5: O que é uma reflexão de onda sonora?

Questão 6: De acordo com as qualidades fisiológicas do som o que você entende sobre: Altura, Timbre, Intensidade, Nível sonoro.

Questão 7: O que é um tubo sonoro?

Questão 8: Qual a diferença de um tubo sonoro fechado para um tubo aberto?

Questão 9: O que é um tubo de Kundt?

Questão 10: Construa um desenho que represente ondas sonoras de acordo com sua imaginação.

Este instrumento pode ser corrigido da seguinte forma: Questões certas, aproximou da resposta, questões erradas e não responderam. De forma a identificar os conhecimentos prévios do aluno.

## **Encontro 02: Aula expositiva 1**

No segundo encontro temos uma Aula expositiva 1 com slides montados pelo professor, fazendo com que o aluno desperte o seu conhecimento prévio, sendo ele indispensável ou não

para o procedimento da sequência didática, assim, a apresentação dos tópicos previstos na sequência didática, foi satisfatória. Temos abaixo os seguintes temas:

- a. Descrição do conceito de ondas mecânicas (em especial as ondas sonoras).
- b. Relação entre frequência perceptual (sons agudos e graves) com período de oscilação nos tubos.
- c. O que é uma onda sonora?
- d. Comprimento de onda
- e. Velocidade de propagação de uma onda sonora em meios materiais diferentes.
- f. Definição das qualidades fisiológicas do som: Timbre, altura, Intensidade e nível sonoro.

No Apêndice E, apresentamos os slides usados na aplicação do produto pelo autor.

Temos também, uma atividade complementar com questões direcionadas aos cálculos simples envolvendo os conteúdos citados acima. Atividade complementar está no Apêndice B.

### **Encontro 03: Aula expositiva 2**

No encontro 3, tivemos a aula expositiva 2, onde usamos aulas expositivas com slides, através de simulação computacional, direcionado ao assunto que será aplicado na atividade experimental, em formas de conceitos gerais e termos simples. Nesta aula, conhecemos os aplicativos que serão baixados para o uso na prática experimental e também a exposição de alguns temas:

- a. Velocidade de propagação da onda em um tubo sonoro aberto ou fechado.
- b. O que são ventres e nós?
- c. O que são ondas estacionárias?
- d. Frequência de uma onda em um tubo sonoro aberto
- e. Aplicativos no smartphone para o uso na atividade experimental.

Houve também uma atividade complementar do livro tópicos da Física para casa, onde teremos uma preparação para a atividade experimental, esta atividade está abaixo e nos Apêndice B.

## Encontro 04 – Construção do Tubo de Kundt com os materiais disponibilizados

No encontro 4, teremos a construção do experimento com a interação dos alunos, auxiliados pelo professor de Física, para uma abordagem no estudo da Acústica, em especial nos tubos sonoros fechados. Construir e aplicar os tubos de Kundt foi um dos objetivos da prática experimental.

Neste encontro foi disponibilizado os seguintes materiais: Folha de acetato, uma base, e previamente foi solicitado aos alunos, bolinhas de isopor, silicone em líquido, régua, estilete caixa *bluetooth* e a instalação do aplicativo, para a geração das ondas no autofalante.

Na medida que os alunos iam se acomodando com seus grupos, será passado o material para a construção do experimento: uma folha de acetato de 40 cm × 100 cm, o aplicativos *frequency generator* e um simulador de nível sonoro, *Best Sound Meter*, para serem baixados no celular ou tablet, uma base de MDF de 20 cm × 100 cm, um alto falante, bolinhas de isopor, cola silicone e a caixinha de som *bluetooth*.

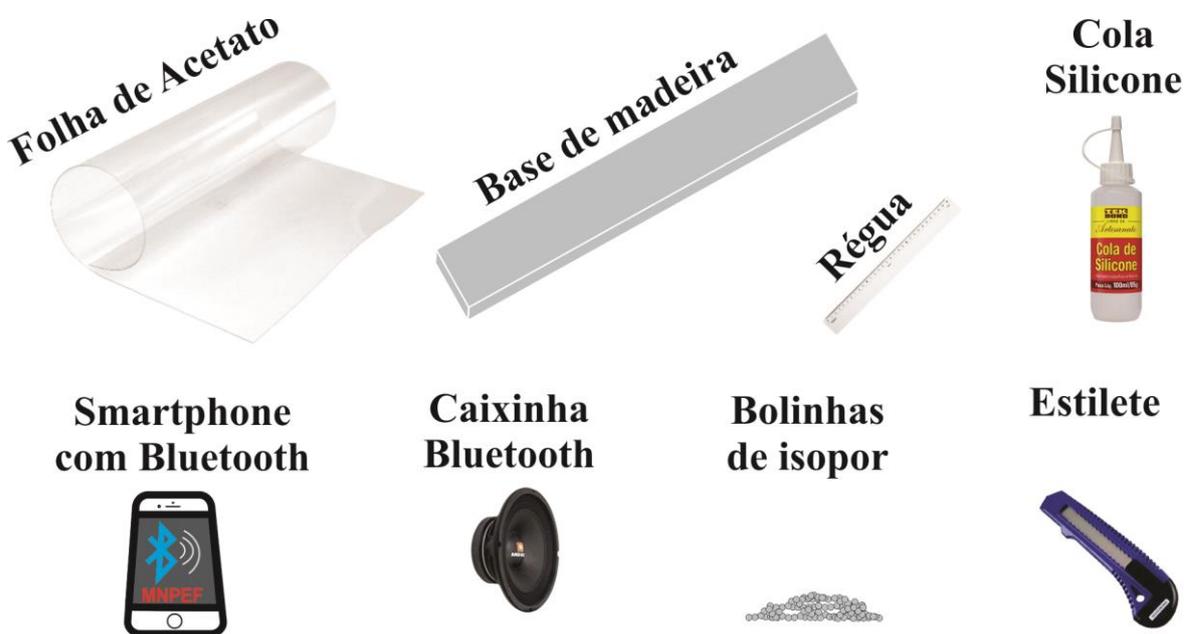


Figura 1: Materiais básicos para a construção dos tubos de Kundt pelos alunos ao longo da sequência didática.

O Smartphone é usado como o gerador de funções, usando um aplicativo que gera sons em frequências específicas, no nosso caso foi usado o aplicativo (*frequency generator* e *decibel meter*)

A caixa de som com conexão *bluetooth* foi usada para emitir a onda sonora para o interior do tubo.

A folha de acetato enrolada em formato cilíndrico com dimensões 25cm x 100cm. A segunda dimensão é importante pois será o L das Equações  $L = N\lambda/2$  e  $L = N\lambda/4$

As bolinhas de isopor serviram para a formação das ondas estacionárias.

O auto falante emite dentro do tubo a onda sonora com uma frequência bem definida que é refletido na parte final do tubo, de modo que a onda resultante pode apresentar um estado estacionário se a frequência e o comprimento do tubo coincidir com a Equação (3.13).

A Figura 1 mostra os materiais necessários para a construção em sala de aula do tubo de Kundt.

A Figura 2 mostra de forma esquemática como o tubo de Kundt ficará após a construção.

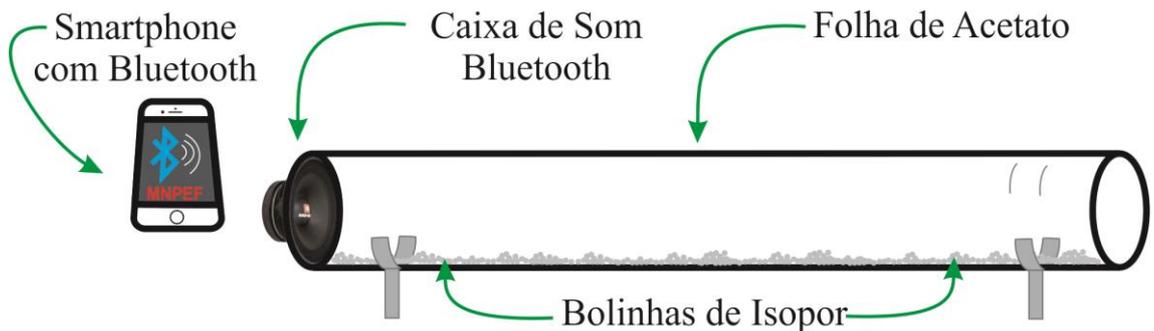


Figura 2: A figura apresenta uma representação esquemática de um tubo de Kundt que será montado com pelos alunos com os materiais indicados.

Após a aula, os alunos tiveram que produzir em casa, um relatório sobre a relação a construção do tubo.

Dependendo do tempo já se pode tentar obter as ondas estacionárias no tubo.

Reforçar o fato de que onda sonora o que vibra é o ao, logo temos uma propagação de um pulso de variação de pressão, logo o padrão estacionário pode se explicado pela Figura 3 (a). De modo que a equação de uma onda sonora em função da posição  $x$  e do tempo  $t$  é dada por:

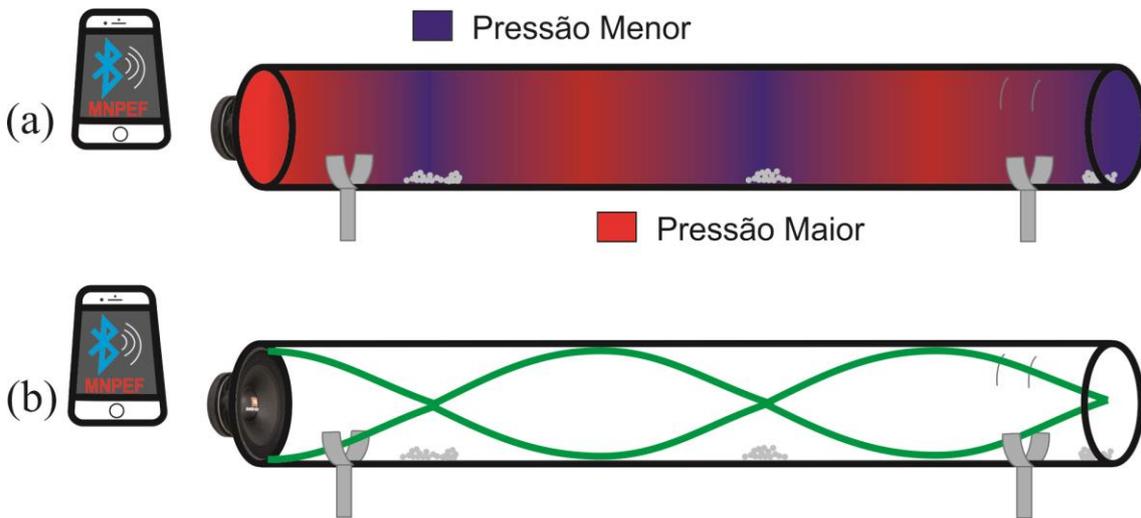
$$\Delta P(x, t) = P_{\text{máx}} \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1)$$

Onde  $\Delta P$  é a variação de pressão,  $P_{\text{máx}}$  é a amplitude de pressão,  $k$  é o número de onda,  $\omega$  a frequência angular

Muitas vezes há uma confusão por partes dos alunos, pois pensam em termos de uma onda em uma corda. Até pela representação da Figura 3 (b), onde a linha verde representa a amplitude de pressão que é proporcional à de deslocamento  $S_{m\acute{a}x}$ :

$$S_{m\acute{a}x} = \rho v \omega S_{m\acute{a}x} \quad (3.16)$$

Onde  $\rho$  é a densidade do meio,  $v$  a velocidade da onda e  $\omega S_{m\acute{a}x}$  a velocidade longitudinal máxima de um elemento do meio. São essas variações de pressão em uma onda sonora que resultam em uma força oscilando no tímpano, levando à sensação de audição (Serway & Jewett, 2014).



**Figura 3:** Representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. (a) Indicação da pressão, o vermelho indica um ponto de alta pressão, ou seja, as partículas do ar estão todas próximas e com velocidades maiores, vales da onda estacionária, o azul indica que o ponto de baixa pressão, as partículas do ar estão mais distantes e com velocidades menores.

A Figura 5 (a) apresenta uma representação esquemática da onda estacionária no tubo de Kundt. Indicação da pressão, o vermelho indica um ponto de alta pressão, ou seja, as partículas do ar estão todas próximas e com velocidades maiores. Devido a velocidade nos pontos próximos aos máximos da onda estacionária as bolinhas de isopor são varridas para pontos de baixa pressão, os nós da onda estacionária, ou seja para a região azul que indica que o ponto de baixa pressão.

A Figura 5 (b) apresenta uma forma de exposição da onda sonora estacionária em um tubo, que pode confundir o aluno de forma que a figura apresenta a onda sonora com uma onda transversal e não uma onda longitudinal. Esta representação está presente em diversos livros, não só de nível médio, como em livros de nível universitário. Em (Halliday & Resnick, 2009) é tomado o cuidado de apresentar a representação como curva de pressão em função da posição.

Em (Serway & Jewett, 2014) p. 71 os autores dizem: “As ondas estacionárias longitudinais são desenhadas como ondas transversais”.

### **Encontro 05 – Aplicação do roteiro experimental:**

No encontro cinco, será a obtenção e discussão sobre os dados e análises feitas na aula anterior e explicar o passo a passo da construção do tubo com um relatório experimental.

Distribuir a cada grupo um roteiro de prática experimental, roteiro este, que está presente nos anexos e no produto, contendo tabelas e questões a serem seguidas na aula, auxiliados pelo professor no laboratório.

Complementando a prática, os alunos confeccionaram um relatório da prática experimental aplicada, com a construção de gráficos e tabelas, resultados estes que serão debatidos no encontro seguinte.

O Roteiro experimental que será trabalhado no encontro cinco, está abaixo e no Apêndice C.

Espera-se além disso que os alunos observem os padrões estacionários conforme as bolinhas de isopor na Figura 3 (b) e encontrar os outros harmônicos.

### **Encontro 06 – Construção e análise dos gráficos obtidos**

No encontro 6, deverá ser trabalhado, a correção das atividades da aula anterior, onde serão debatidos os relatórios dos alunos. Em continuidade ao encontro, exploraremos a construção e análise dos gráficos obtidos, através das frequências e dos comprimentos de ondas usados para o desenvolvimento na prática. A discussão e o debate gerado em sala, deverá ser propício ao processo ensino aprendizagem, desta forma o professor conduzirá o debate entre os grupos no laboratório sobre os gráficos.

### **Encontro 07 – Teste final:**

No encontro sete, e último, foi aplicado um Teste final, para assim avaliarmos a aprendizagem do aluno, através da aplicação do produto educacional. O teste deverá ser individual e ter uma duração de uma hora em sala de aula.

O teste final, será composto de dez questões, onde 30% deverá ter questões subjetivas e 70% das questões deverá ser objetiva. Este padrão de avaliação é o indicado pela escola na qual o produto foi aplicado.

O teste final está abaixo e no Apêndice D.



# Apêndices A

---

## Apêndice A: Questionário prévio

Questão 1: O que você entende sobre onda?

Questão 2 :O que é o som? Qual a diferença entre o som grave do som agudo?

Questão 3: O que você entende sobre Acústica?

Questão 4: O que são ondas estacionárias?

Questão 5: O que é uma reflexão de onda sonora?

Questão 6: De acordo com as qualidades fisiológicas do som o que você entende sobre: Altura, Timbre, Intensidade, Nível sonoro.

Questão 7: O que é um tubo sonoro?

Questão 8: Qual a diferença de um tubo sonoro fechado para um tubo aberto?

Questão 9: O que é um tubo de Kundt?

Questão 10: Construa um desenho que represente ondas sonoras de acordo com sua imaginação.

## Apêndices B – Atividade complementar

---

### Questão 01

(UFTM-MG) Conhecida pelo nome de seu idealizador, a sonda de Behm determinava com precisão a profundidade do leito oceânico. Consistia em um cartucho explosivo que era detonado na água, em um dos lados do casco do navio. O abalo produzido, propagando-se na água, atingia o leito do mar e refletia-se para a superfície onde, do outro lado da embarcação, um microfone protegido do som inicial pelo casco do navio recolhia o eco proveniente do fundo. Um navio em águas oceânicas, após detonar uma sonda, registra o eco 1,2 s após a detonação. Sabendo-se que a velocidade de propagação do som na água do mar é  $1,4 \cdot 10^3$  m/s, a profundidade local do leito é, aproximadamente, em m,

- a) 260.
- b) 420.
- c) 840.
- d) 1 260.
- e) 1 680.

### Questão 02

Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro.

Essa diferenciação se deve principalmente ao(a)

- a) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical
- d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

### Questão 03

A menor intensidade sonora que uma pessoa de audição normal pode perceber é de  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup> e a máxima que ela suporta é de  $10^{-4}$  W/cm<sup>2</sup>, quando já começa a sentir dor. Uma fonte sonora de pequenas dimensões emite som que um bom ouvinte percebe até uma distância de, no máximo, 100 km. Determine, desprezando dissipações na propagação e considerando  $\pi = 3$ :

- a) a potência sonora da fonte;
- b) a distância da pessoa à fonte, quando ela começa a sentir dor.

### Questão 04

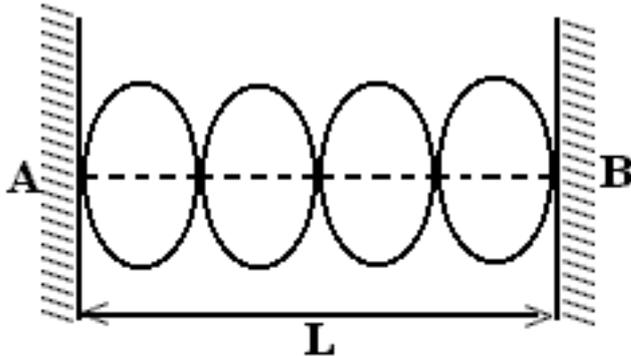
Numa corda tensa, abalos transversais propagam-se a 100 m/s. Sendo de 2 m o comprimento da corda, calcule sua frequência de vibração:

- a) no modo fundamental;

b) no terceiro harmônico.

**Questão 05**

Uma corda de massa  $m = 240 \text{ g}$  e comprimento,  $L = 1,2 \text{ m}$  vibra com frequência de  $150 \text{ Hz}$ , no estado estacionário esquematizado a seguir:



Determine a velocidade de propagação das ondas que originam o estado estacionário nessa corda e a intensidade da força tensora.

**Questão 06**

Um tubo sonoro aberto, contendo ar, tem  $34 \text{ cm}$  de comprimento. Considerando a velocidade do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ , determine a frequência:

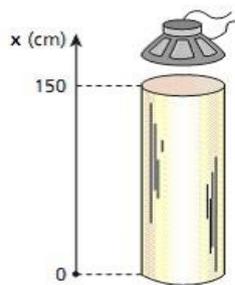
- a) do som fundamental emitido pelo tubo;
- b) do quarto harmônico que esse tubo pode emitir.

**Questão 07**

Um tubo sonoro contendo ar tem  $1 \text{ m}$  de comprimento, apresentando uma extremidade aberta e outra fechada. Considerando a velocidade do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ , determine as três menores frequências que esse tubo pode emitir.

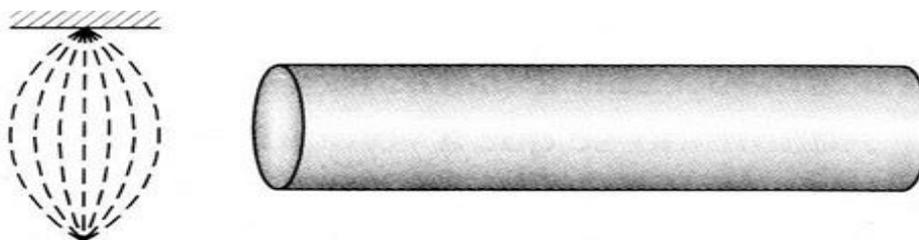
**Questão 08**

Um alto-falante que emite um som com frequência de  $330 \text{ Hz}$  (devido a um gerador de áudio) é colocado próximo à extremidade aberta de um vaso cilíndrico vazio, como mostra a figura abaixo. Despejando água lentamente no vaso, em certas posições do nível da água percebemos que a intensidade sonora passa por valores máximos (ressonância). Determine os valores de  $x$  correspondentes a essas posições do nível da água, considerando a velocidade do som no ar igual a  $330 \text{ m/s}$ .



**Questão 09**

Uma corda de 100 g de massa e 1 m de comprimento vibra no modo fundamental próxima de uma das extremidades de um tubo aberto de 4 m de comprimento. O tubo então ressoa, também no modo fundamental. Sendo de 320 m/s a velocidade do som no ar do tubo, calcule a força tensora na corda.

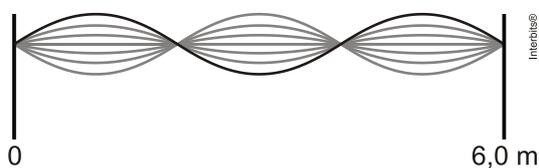


**Questão 10**

Num estádio de futebol, o nível de intensidade sonora é normalmente de 65 dB. No momento de um gol a intensidade sonora amplia-se 1 000 vezes. Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora no momento do gol?

**Questão 11**

(Pucrj 2012) Uma corda presa em suas extremidades é posta a vibrar. O movimento gera uma onda estacionária como mostra a figura.



Calcule, utilizando os parâmetros da figura, o comprimento de onda em metros da vibração mecânica imposta à corda.

- a) 1,0
- b) 2,0
- c) 3,0
- d) 4,0
- e) 6,0

# Apêndices C

---

## Apêndice C: Roteiro experimental

### Roteiro de Física Experimental

#### Experiência - Ondas Sonoras Estacionárias: O Tubo de Kundt

##### 1 – OBJETIVOS

- Estudar ondas sonoras estacionárias em um tubo fechado;
- identificar os harmônicos possíveis para um dado tubo sonoro fechado;
- aplicar frequências com o aplicativo (frequency generator), através do tablet ou celular;
- conceituar e medir comprimentos de ondas sonoras, em tubos sonoros fechados;
- determinar a velocidade de propagação do som no ar;
- Calcular a intensidade sonora através da medição dos níveis sonoros captados pelo aplicativo.

##### 2 – INTRODUÇÃO

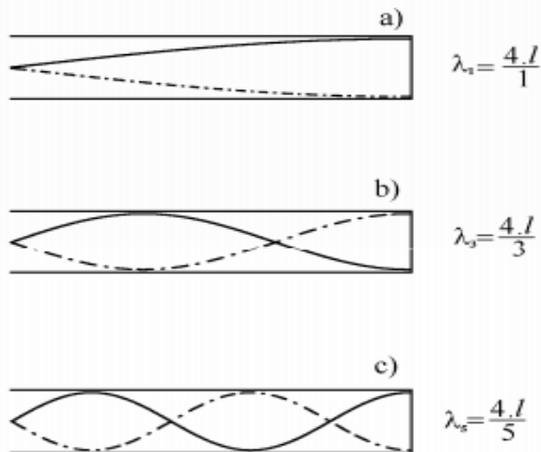
Através da Física experimental certas leis básicas da Física são observadas ou comprovadas. No que diz respeito ao ensino de Física, pesquisas parecem indicar que o método de ensino mais eficaz é aquele o qual o aluno é levado a descobrir os princípios físicos, observando experimentalmente. Neste trabalho, foi construído um Tubo de Kundt que é um dispositivo capaz de fornecer a verificação experimental de vários fenômenos físicos a saber, ondas em tubos, velocidade de propagação da onda sonora, ondas estacionárias em tubos fechados, nodos e ventres, harmônicos (Revista de Ensino de Física, vol.13, 77-85, 1991).

Em um tubo sonoro fechado em uma das extremidades, a frequência fundamental é

$f_1 = V/4L$ . A distância entre dois nós e um ventre adjacente é sempre igual a um quarto do comprimento da onda (YOUNG, 2003)e, somente os harmônicos de ordem ímpar na série são possíveis.

As frequências dos modos normais desse tipo de tubo são dadas por  $f_n = V/\lambda_n = nV/4L$ , sendo  $n = 1,3,5,\dots$ (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Faculdade de Engenharia campos Gama, art.2, 5898, 2010).

Observe abaixo, ventres de pressão ou um nó de deslocamento nas extremidades de um tubo sonoro fechado.



([www.ebah.com.br/content/ABAAEujEAJ/relatorio-fisica-ondas-sonoras](http://www.ebah.com.br/content/ABAAEujEAJ/relatorio-fisica-ondas-sonoras))

Nível sonoro(dB)

Através de um aplicativo que mede nível sonoro temos que, as intensidades podem variar de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  a  $1 \text{ W/m}^2$ , assim ouve um incentivo dado pela lei de Weber – Fechner, para a definição de um nível relativo de intensidade sonora (N). Para lidar com um intervalo tão grande de valores, recorreu-se aos logaritmos.

$$N = 10 \cdot \log I/I_0, \text{ onde}$$

10 é uma constante de proporcionalidade;

I è a intensidade sonora de um som;

N é o nível relativo de intensidade em relação a um som de referência de intensidade  $I_0$ .

### 3 – MATERIAL NECESSÁRIO

- Tubo de Kundt de acetato com suporte de madeira;
- escala milímetrada,
- pó de cortiça ou bolinhas de isopor;
- oscilador de áudio;
- frequencímetro e decibelímetro digital;
- alto falante.

### 3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1- Medir o comprimento  $L$  e o raio  $R$  do tubo que será usado na experiência.
- 2 - Verificar se o gerador de frequências e o medidor de frequências e o decibelímetro do aplicativo baixado no celular está ligado e conectado na entrada.
- 3 - Ligar o oscilador variável, regule a amplitude do sinal (volume) para um dado valor e deixe-o fixo (não mexendo mais neste potenciômetro).
- 4 - Varie a frequência em torno de 200 Hz ou em torno de 1.250 Hz e procure observar uma onda estacionária no pó de cortiça ou nas bolinhas de isopor.
- 5- Desligue o oscilador e trace a envoltória da onda estacionária, observada através do pó de cortiça.

6 - Qual a relação existente entre o comprimento “L” do tubo sonoro e o comprimento de onda encontrado? (Expresse sua resposta sob forma de fração).

= \_\_\_\_\_  $\lambda$ .

7 - Preencha a tabela de acordo com o valor da frequência fundamental dos primeiros 3 harmônicos para o tubo com as extremidade fechada.

Frequência(Hz)	Nível sonoro(dB)	Intensidade sonora(W/m <sup>2</sup> ) N=10.log I/I <sub>0</sub> I <sub>0</sub> = 10 <sup>-12</sup> W/m <sup>2</sup>	Comprimento de onda(m) $\lambda = 4L/n$	Velocidade de propagação da onda f = nV/4L
f <sub>1</sub> =	N <sub>1</sub> =	I <sub>1</sub> =	$\lambda_1$ =	V <sub>1</sub> =
f <sub>2</sub> =	N <sub>2</sub> =	I <sub>2</sub> =	$\lambda_2$ =	V <sub>2</sub> =
f <sub>3</sub> =	N <sub>3</sub> =	I <sub>3</sub> =	$\lambda_3$ =	V <sub>3</sub> =

8 – Construa o gráfico f x  $\lambda$  de acordo com os dados encontrados na questão anterior.

# Apêndices D

---

## Teste final

### Questões do teste Final:

**Questão 1:** Um ser humano com boa audição é capaz de ouvir vibrações acústicas entre 20 Hz e 20 000 Hz aproximadamente. Considerando a velocidade do som no ar igual a 340 m/s, determine os comprimentos de onda do som mais grave (mais baixo) e do som mais agudo (mais alto) que ele consegue ouvir.

**Questão 2:** Numa corda tensa, abalos transversais propagam-se a 100 m/s. Sendo de 2 m o comprimento da corda, calcule sua frequência de vibração:

a) no modo fundamental; b) no terceiro harmônico.

**Questão 3(Objetiva):** O italiano Luciano Pavarotti, conhecidíssimo cantor da ópera, possui uma extensão de voz que varia aproximadamente entre o “dó” (128 Hz) e o “lá” (440 Hz), sendo classificado como tenor. Já um contralto compreende uma extensão de voz que vai, pelo menos, de “sol” (196 Hz) a “mi” (669 Hz). A classificação citada, que pode ainda envolver barítonos, baixos, sopranos e mezzo-sopranos, está calcada na qualidade fisiológica do som conhecida como:

a) intensidade. b) altura. c) timbre. d) volume. e) reverberação.

**Questão 4:** Um tubo sonoro aberto, contendo ar, tem 33 cm de comprimento. Considerando a velocidade do som no ar igual a 330 m/s, determine a frequência:

a) do som fundamental emitido pelo tubo; b) do quarto harmônico que esse tubo pode emitir.

**Questão 5 (Objetiva):** Um alto-falante que emite um som com frequência de 330 Hz (devido a um gerador de áudio) é colocado próximo à extremidade aberta de um vaso cilíndrico vazio, como mostra a figura abaixo. Despejando água lentamente no vaso, em certas posições do nível da água percebemos que a intensidade sonora passa por valores máximos (ressonância). Determine os valores de  $x$  correspondentes a essas posições do nível da água, considerando a velocidade do som no ar igual a 330 m/s.

a)124, 70 e 80 b)125,75 e 25 c)125, 85 e 35 d)124, 75 e 85 e)125, 85, 10

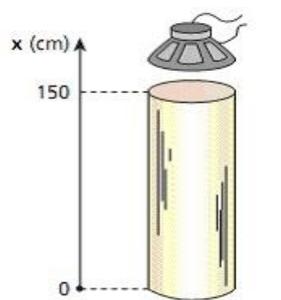


Figura 7: Figura utilizada na questão 5.

**Questão 6(Objetiva):** Num estádio de futebol, o nível de intensidade sonora é normalmente de 60 dB. No momento de um gol a intensidade sonora amplia-se 1 000 vezes. Qual é, em dB, o nível de intensidade sonora no momento do gol?

a)90 dB      b)100 dB      c)120 dB      d)140 dB      e)150 dB

**Questão 7 (Objetiva):** Em uma flauta, as notas musicais possuem frequências e comprimentos de onda ( $\lambda$ ) muito bem definidos. As figuras mostram esquematicamente um tubo de comprimento  $L$ , que representa de forma simplificada uma flauta, em que estão representados: em A o primeiro harmônico de uma nota musical (comprimento de onda  $\lambda_A$ ), em B seu segundo harmônico (comprimento de onda  $\lambda_B$ ) e em C o seu terceiro harmônico (comprimento de onda  $\lambda_C$ ), onde  $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$ .

Em função do comprimento do tubo, qual o comprimento de onda da oscilação que forma o próximo harmônico?

- a)  $\frac{L}{4}$    b)  $\frac{L}{5}$    c)  $\frac{L}{2}$    d)  $\frac{L}{8}$    e)  $\frac{6L}{8}$

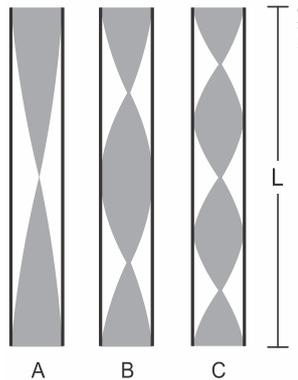


Figura 8: Figura referente a questão 7

**Questão 8(Objetiva):** Uma corda presa em suas extremidades é posta a vibrar. O movimento gera uma onda estacionária como mostra a figura.

Calcule, utilizando os parâmetros da figura, o comprimento de onda em metros da vibração mecânica imposta à corda.

- a) 1,0   b) 2,0   c) 3,0   d) 4,0   e) 6,0

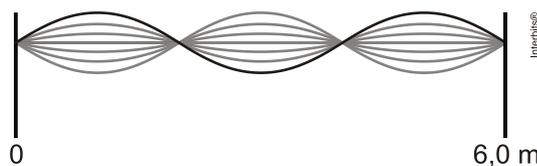


Figura 9: Figura referente a questão 8.

**Questão 9(Objetiva):** Uma onda se propaga numa corda, da esquerda para a direita, com frequência de 2,0 hertz, como é mostrado na figura.

De acordo com a figura e a escala anexa, é correto afirmar que:

- a) o período da onda é de 2,0 s.  
 b) a amplitude da onda é de 20 cm.  
 c) o comprimento da onda é de 20 cm.  
 d) a velocidade de propagação da onda é de 80 cm/s.  
 e) todos os pontos da corda se movem para a direita.

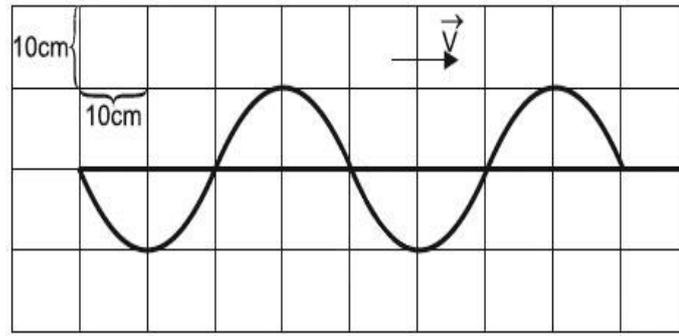


Figura 10: Figura referente a questão 9.

**Questão 10 (Objetiva):** Um tubo sonoro aberto emite o seu quinto harmônico com frequência de 1,7kHz. A velocidade do som, no ar que preenche o tubo, tem módulo igual a 340 m/s. O comprimento do tubo vale:

- a) 5,0 m b) 0,5 m c) 0,25 m d) 0,025 m e) 2,0 m

## Referências Bibliográficas

---

Halliday, D., & Resnick, R. (2009). *Fundamentos de Física. Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. LTC.

HELOU, D.; GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B. **Tópicos de Física**, vol.2. São Paulo, editora Saraiva, 2012

NUSSENZVEIG, H. M. (1981). *Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor* (Vol. 2). Edgar Bluncher LDTA.

OLIVEIRA, M. K. Vygotsky: **aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997.

Portal da educação-<https://www.portaldaeducacao.com.br>

QUEIROZ, L.R.S, **ESCOLA, CULTURA, DIVERSIDADE E EDUCAÇÃO MUSICAL: DIÁLOGOS DA CONTEMPORANEIDADE**, v.19, n.37, 2013.

YOUNG; FREEDMAN. Física II, 12ª edição, **termodinâmica e ondas**, 2003

# Apêndices E

---

Sugestão de Slides das aulas:



**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

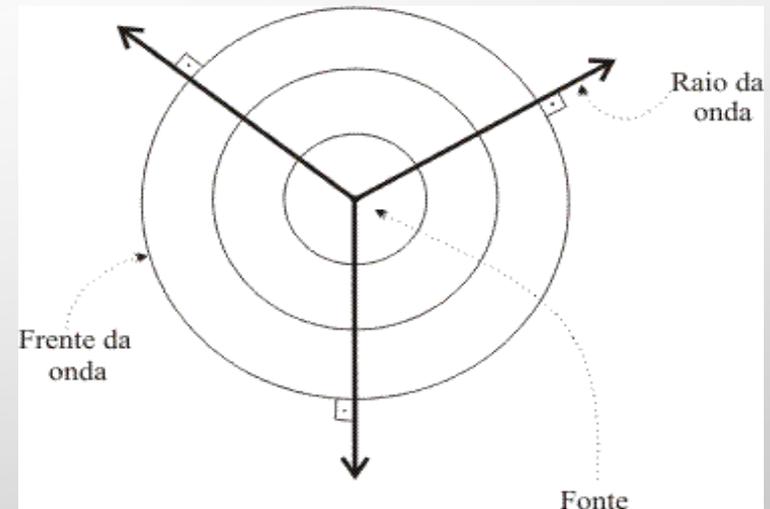
# AULA EXPOSITIVA

## ACÚSTICA

RAIMUNDO HÉLISON GILÓ NUNES

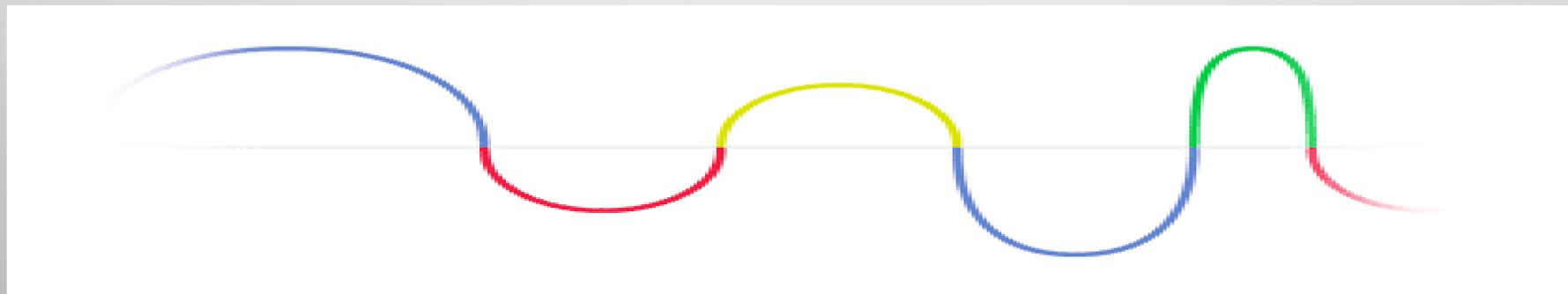
# Onda

É toda perturbação que se propaga transportando energia e quantidade de movimento sem o transporte de matéria.



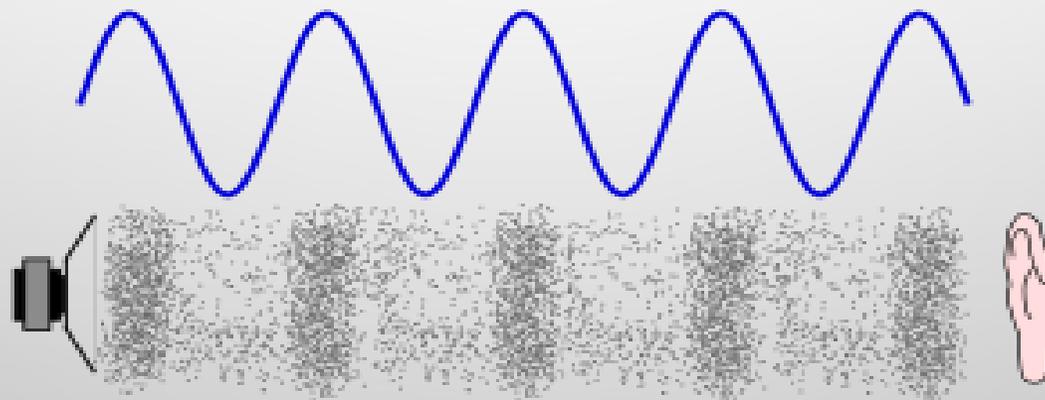
## Classificação das ondas:

- 1.NATUREZA
- 2.VIBRAÇÃO (forma)
- 3.DIMENSÕES



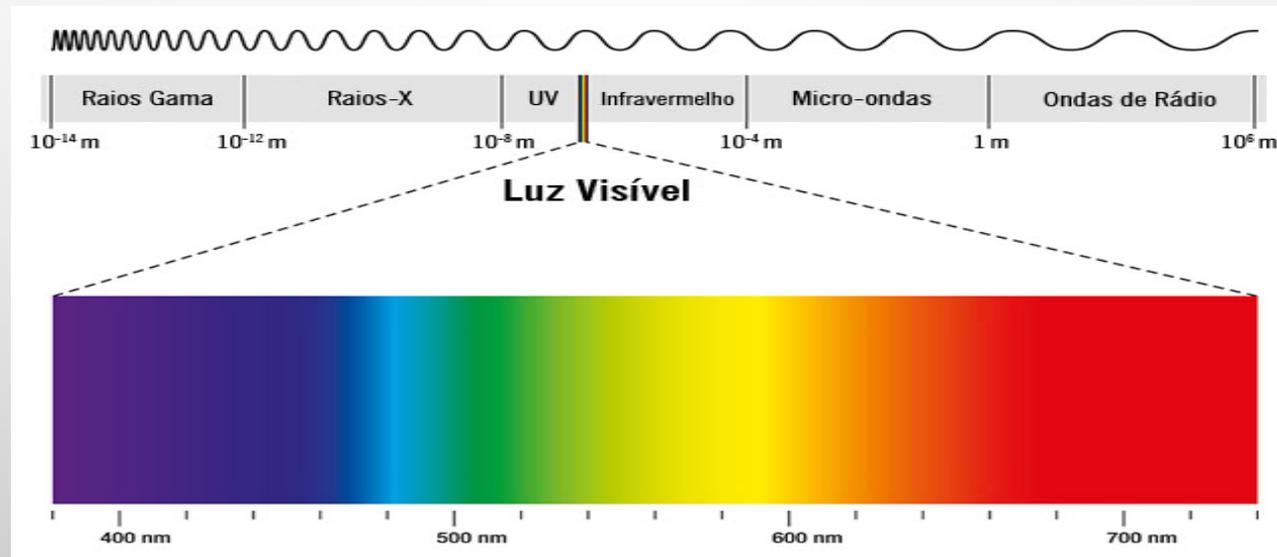
## Ondas mecânicas

são perturbações que transportam energia cinética e potencial através de um meio material, por exemplo: **ondas** marítimas, sísmicas e sonoras. Ela pode acontecer somente num meio material, mas não transportam matéria e, sim, energia.

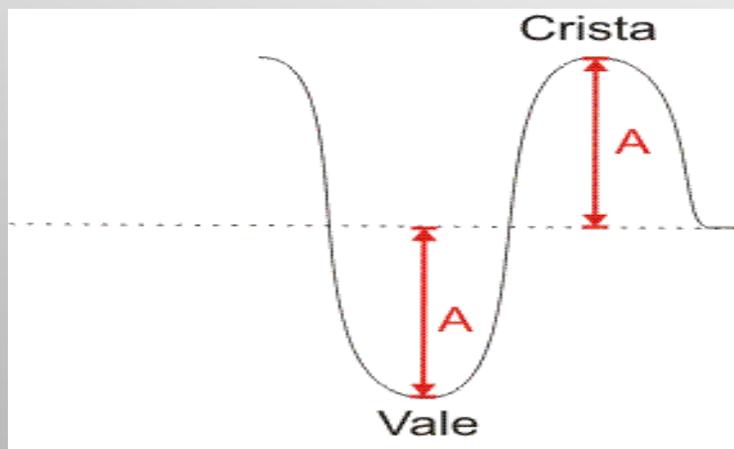
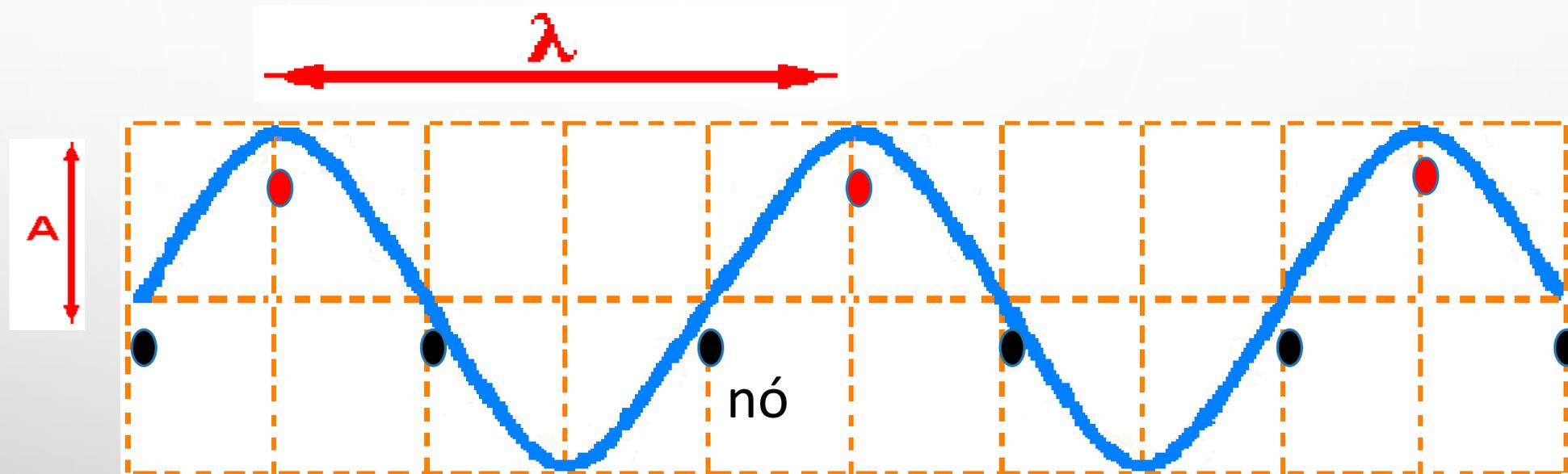


# Ondas Eletromagnéticas

Ondas eletromagnéticas são aquelas que resultam da libertação das fontes de energia elétrica e magnética em conjunto no vácuo.



## Elementos de uma onda



$\lambda$  = comprimento de onda

$A$  = amplitude da onda

## Velocidade de propagação da onda:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad , \quad \text{mas } \Delta S = \lambda \quad , \quad \text{assim:}$$
$$\Delta t = T$$

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

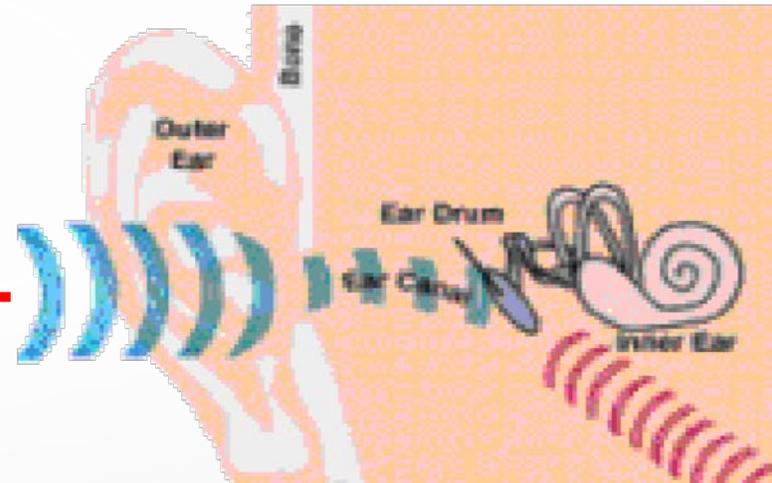
ou

$$v = \lambda \cdot f$$

$T$  = período (SI : s)

$f$  = frequência (SI : Hz)

# ACÚSTICA



- É o segmento da Física que interpreta o comportamento das ondas sonoras audíveis frente aos diversos fenômenos ondulatórios.
- ONDA SONORA: Onda mecânica, longitudinal e tridimensional.

# Velocidade do som

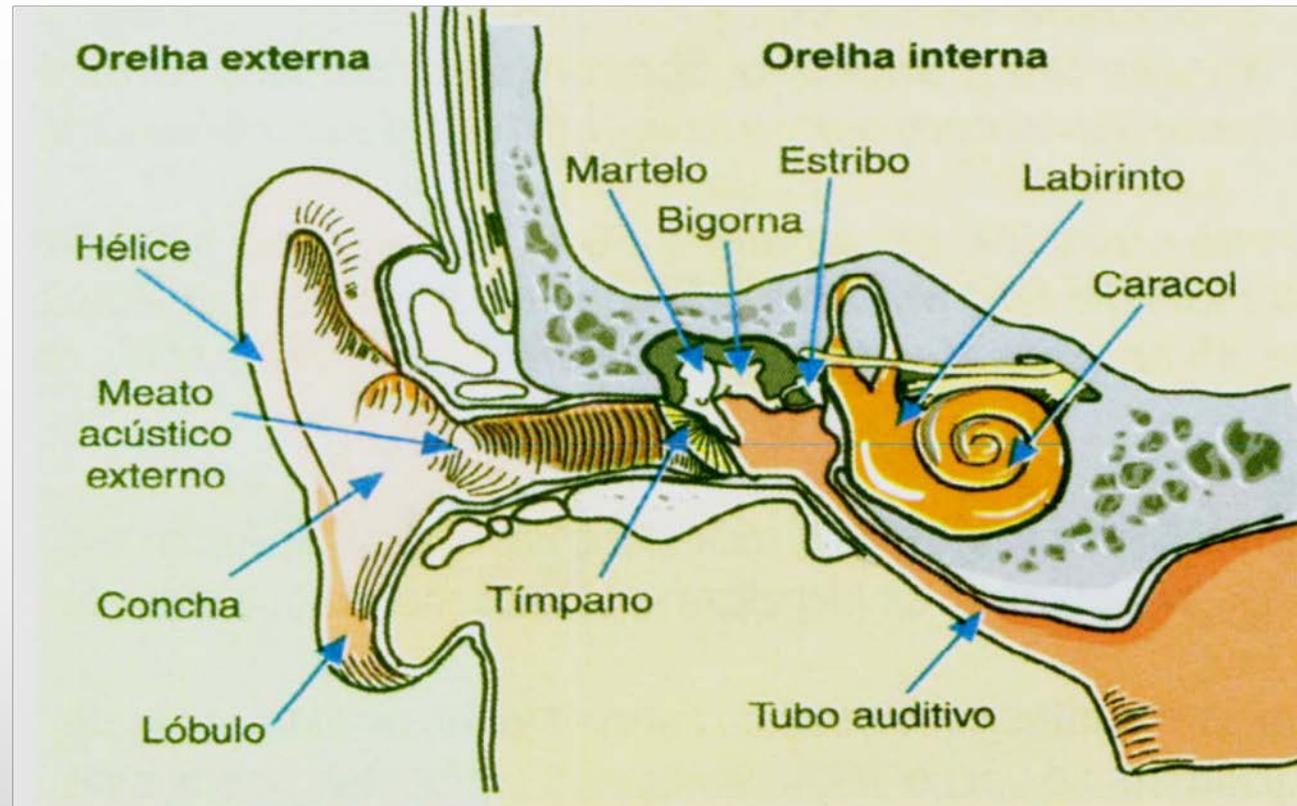
A velocidade do som depende do meio de propagação.

Sólidos	
Vidro (20 °C)	5130 m/s
Alumínio (20 °C)	5100 m/s
Líquidos	
Glicerina (25 °C)	1904 m/s
Água do mar (25 °C)	1533 m/s
Água (25 °C)	1493 m/s
Mercúrio (25 °C)	1450 m/s
Gases	
Hidrogênio (0 °C)	1286 m/s
Hélio (0 °C)	972 m/s
Ar (20 °C)	343 m/s
Ar (0 °C)	330 m/s

# Fisiologia da audição

**Ouvido externo:**  
capta o som.

Tímpano leva o som para o **ouvido médio** (martelo, bigorna e estribo)



Quando o som chega ao **ouvido interno** ele é amplificado de 30 a 60 vezes pela janela oval no início do labirinto e caracol.



No ouvido interno estão as terminações nervosas que se comunicam com o cérebro).

# Altura (ou tom)

- Faz com que o ouvido possa distinguir um som baixo (grave) de um som alto (agudo).
- Som baixo (grave) – baixa frequência.  
Som alto (agudo) – alta frequência.

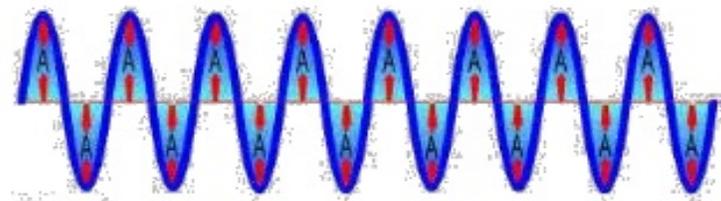


Figura 1

agudo

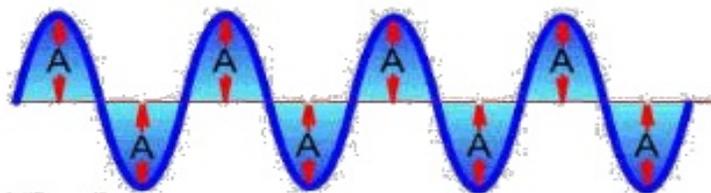
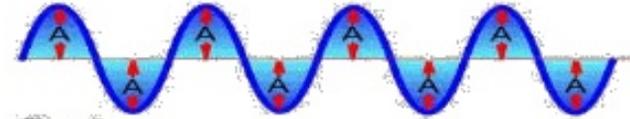


Figura 2

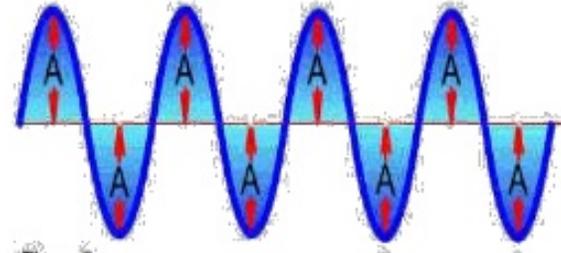
grave

# Intensidade (Volume)

- É a qualidade que diferencia sons fracos e fortes.
- Intensidade sonora é a *potência sonora por unidade de área*<sup>1</sup>.
- A intensidade mínima da audição é, geralmente,
- $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .



FRACO



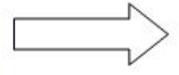
FORTE

# INTENSIDADE SONORA

$$I = \frac{Pot}{a}$$



Potência da fonte  
(Watts)



Área atravessada pelo  
som (m<sup>2</sup>)

SILENCIO  
ABSOLUTO

SOM FISIOLÓGICO

POLUIÇÃO  
SONORA



LIMIAR DE AUDIBILIDADE

# NÍVEL SONORO

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Obs.:

$$\log 10^x = x$$

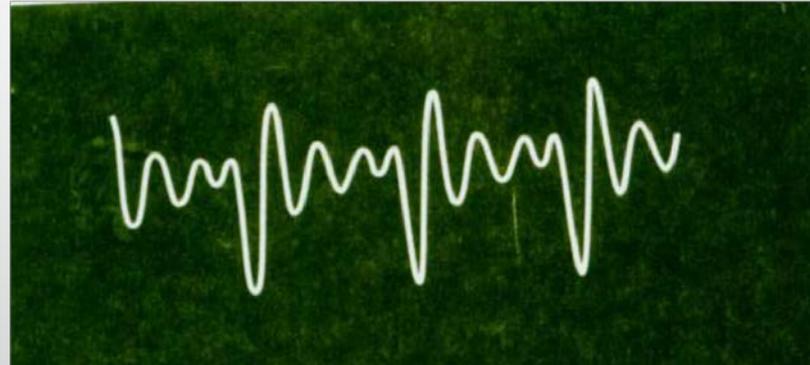
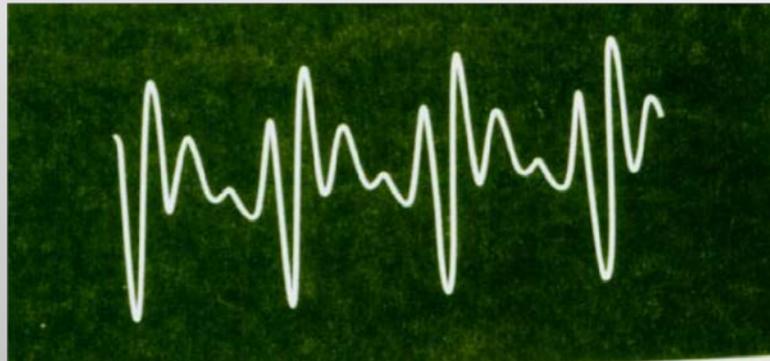
$$\log (x \cdot y) = \log x + \log y$$

$$\log A = x \Rightarrow A = 10^x$$

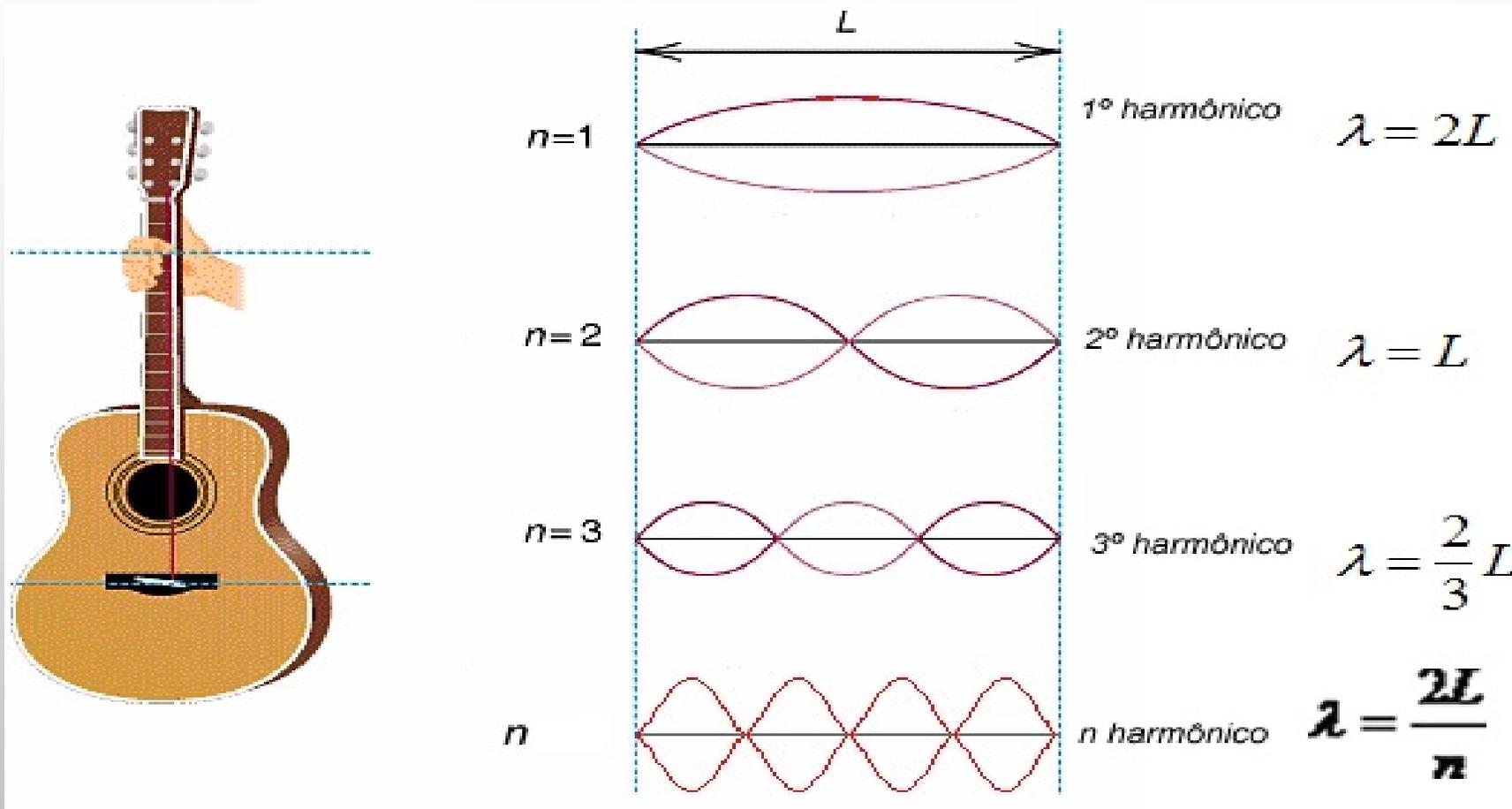
$$1 \text{ B} = 1 \text{ bel} = 10 \text{ decibels} = 10\text{dB}$$

# Timbre

- Está relacionado à forma da onda.
- Permite distinguir dois sons de mesma altura e mesma intensidade, emitidos por fontes distintas.

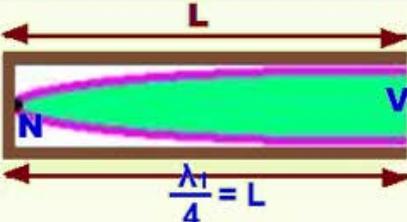


# Cordas Sonoras



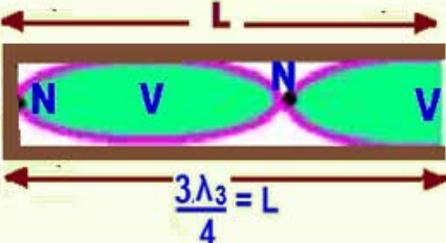
# Tubos Sonoros fechados

**Som fundamental**  
**Primeiro harmônico**



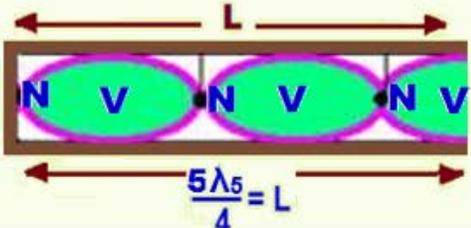
$\frac{\lambda_1}{4} = L \rightarrow \lambda_1 = 4L \rightarrow v = \lambda_1 \cdot f_1 \rightarrow f_1 = \frac{v}{\lambda_1} \rightarrow f_1 = \frac{v}{4L}$

**Terceiro harmônico**



$\frac{3\lambda_3}{4} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{4L}{3} \rightarrow v = \lambda_3 \cdot f_3 \rightarrow f_3 = \frac{v}{\lambda_3} \rightarrow f_3 = \frac{3v}{4L}$

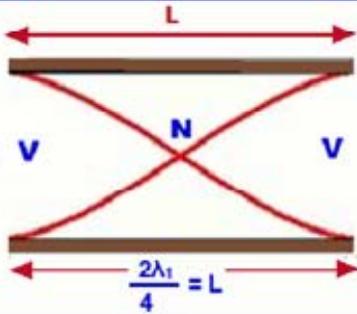
**Quinto harmônico**



$\frac{5\lambda_5}{4} = L \rightarrow \lambda_5 = \frac{4L}{5} \rightarrow v = \lambda_5 \cdot f_5 \rightarrow f_5 = \frac{v}{\lambda_5} \rightarrow f_5 = \frac{5v}{4L}$

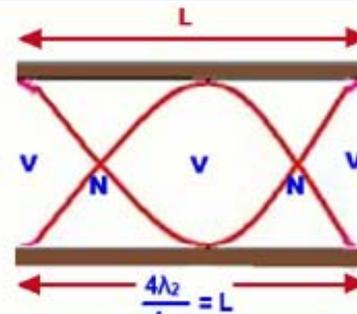
# Tubos Sonoros abertos

Som fundamental  
Primeiro harmônico



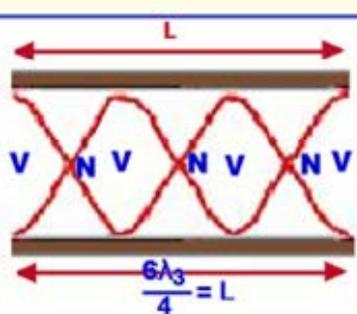
$\frac{2\lambda_1}{4} = L \rightarrow \lambda_1 = 2L \rightarrow V = \lambda_1 f_1 \rightarrow f_1 = \frac{V}{\lambda_1} \rightarrow f_1 = \frac{V}{2L}$

Segundo harmônico



$\frac{4\lambda_2}{4} = L \rightarrow \lambda_2 = L \rightarrow V = \lambda_2 f_2 \rightarrow f_2 = \frac{V}{\lambda_2} \rightarrow f_2 = \frac{V}{L}$

Terceiro harmônico



$\frac{6\lambda_3}{4} = L \rightarrow \lambda_3 = \frac{2L}{3} \rightarrow V = \lambda_3 f_3 \rightarrow f_3 = \frac{V}{\lambda_3} \rightarrow f_3 = \frac{3V}{2L}$

$\lambda_n = \frac{2L}{n}$

$f_n = \frac{nV}{2L}$

$n = 1, 2, 3, \dots$