MNPEF
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UFRR

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MANUAL

De construção e aplicação do

TUBO DE RESSONÂNCIA DE BAIXO CUSTO

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....3
2 INTRODUÇÃO 4
3 PLANO DE AULA.....5
4 ONDAS 8
5 ONDAS MECÃNICAS.....10
5.1 REFLEXÃO DE UM PULSO.....,...13
5.2 ONDAS PERIÓDICAS.....16
5.3 FREQUÊNCIA E PERÍODO.....17
5.4 AMPLITUDE, FASE ECOMPRIMENTO DE ONDA 19
5.5 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO.....19
5.6 PRINCÍPIO DE SUPERPOSIÇÃO: INTERFERÊNCIA 23
5.7 ONDAS ESTACIONÁRIAS EM UMA CORDA.....24
5.8 MODOS NORMAIS DE UMA CORDA 26
5.9 MODOS NORMAIS EM TUBO.....28
6 RESSONÂNCIA NOS TUBOS 33
7 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES E MONTAGEM DO TUBO DE RESSONÂNCIA.....36
8 ATIVIDADE EXPERIMENTAL 45

1. Apresentação

O tubo de ressonância de baixo custo é um tubo baseado no equipamento de laboratório RESONANCE TUBE – WA 9495, uma versão industrializada que foi produzida pela empresa PASCO. O tubo tem o objetivo de demostrar, na prática, o fenômeno de ondas estacionárias, assim como os conceitos do estudo de ondas que estão correlacionados com o fenômeno.

Santos (2013), Batista (2009), Araújo (2003), demostram que o ensino nas escolas, principalmente no ensino médio, apresenta dificuldade na assimilação de conceitos da física que são apresentados com a mesma metodologia de estudo, abordada pela maioria das escolas de forma direta, sem levar em conta o conhecimento do aluno com o fenômeno para explorar a aplicação em exercício, além da aplicação dos conceitos no cotidiano, deixando de potencializar a aprendizagem dessa disciplina. Em busca de minimizar e oferecer um subsídio ao docente com bases metodológicas é que propomos esse experimento.

O experimento é uma ferramenta metodológica baseada na teoria de formação por etapas de Galperin.

Apresentaremos passo a passo a montagem, como também um exemplo da aplicação, procurando destacar a percepção dos conceitos correlacionados ao fenômeno.

Professor Ranylson Gomes leocádio

2. Introdução

A Física de acordo com os PCNs e a lei de diretrizes e bases da educação (LDB) garantem o estudo no currículo para que o aluno desenvolva competências e habilidades específicas da disciplina, de modo que o ser humano possa compreender e modificar a natureza em benefício social. Reis (2013), Cerbaro (2009), Libãnio(2006), santos (2004) demostram que os discentes têm dificuldade na abstração dos conceitos. Na teoria de formação por etapas de Galperin e seus colaboradores, ele institui ações hierárquicas que garante a formação de conceitos científicos na estrutura cognitiva do indivíduo e possibilita mecanismo para verificar a formação do mesmo. A ideia central é que há representações externas da estrutura psíquica e vice-versa, intermediada por um objeto e ações no objeto, que garanta a transposição das ações externas para internas, ou seja, a intrapsíquica.

Esses estágios serão aplicados na experiência realizada com o tubo de ressonância para que possamos compreender o estudo de ondas estacionárias e os conceitos correlacionados, por exemplo, velocidade do som, frequência, comprimento de onda, fenômeno de superposição, número de harmônicos.

3. Plano de aula

Professor: Ranylson Leocádio

Disciplina: Física

Serie: 2

Titulo da aula: Ressonância mecânica

Objetivo geral: Entender o conceito de ressonância sonora: produção de harmônicos (ondas estacionárias) pela intervenção do dispositivo.

Objetivos específicos:

- Compreender o tipo de ressonância no tubo;
- Entender os conceitos relacionados a produção dos harmônicos no tubo de ressonância de baixo custo;
- Calcular a velocidade do som.

Conteúdo programático:

- Conceito de ondas:
- Onda mecânica;
- Modos de vibração na corda e nos tubos aberto e fechado.

Metodologia:

A aula será ministrada de forma discussiva e contextualizada, auxiliada por texto com roteiro didático da aula do professor Ranylson sob titulo ressonância mecânica, com auxílio das referências Alberto Gaspar (2009), Nussenzveig (2002), apostilha ressonância do autor J.S.Y oneda (1882) e Sears, Zemansky, Young e Freedman, (2008), vídeo de título tubo ressonante, pincel, quadro branco e o experimento sob título tubo de ressonância de baixo custo. O procedimento metodológico da aula do produto está organizada em seis momentos, conforme descrevemos a seguir.

No primeiro momento da aula sobre o assunto a ser abordado, para determinar um ponto de partida para aplicação das aulas propostas, iniciaremos a discussão com um questionamento de forma verbal: já ouviram

falar sobre a palavra ressonância? cite um exemplo comum de ressonância encontrada no cotidiano?

No segundo momento, após ter elucidado cada subtítulo, isto é, ressonância, tipos de ressonância e ressonância no tubo, apresentaremos um vídeo de titulo tubo ressonante para reforçar os principais conceitos abordados.

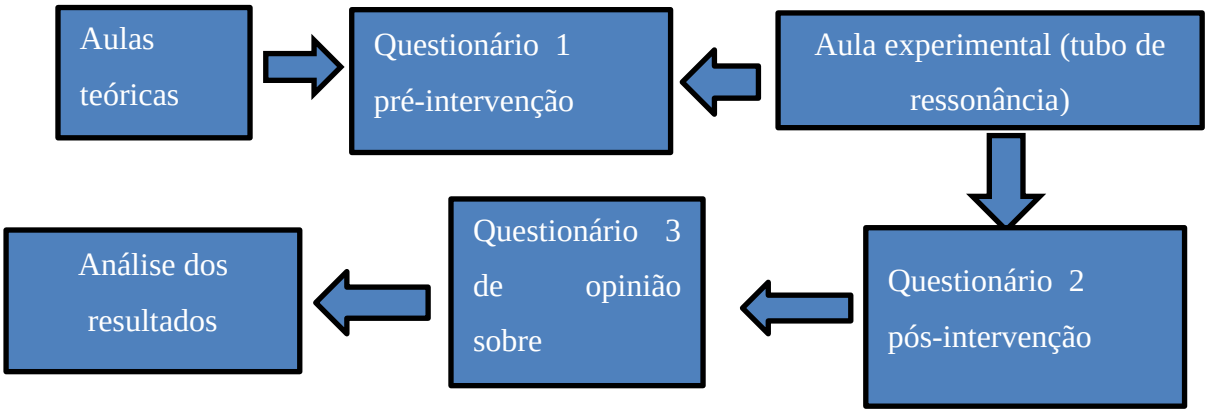
No terceiro momento, aplicaremos o Questionário 1 Pré-intervenção (APENDICE B) para verificar de que forma foram absorvidos os conceitos.

No quarto momento, correspondente a quarta ação, temos a aplicação do experimento tubo de ressonância de baixo custo, com o objetivo de calcular a velocidade do som. Assim vamos abordar, na prática, os conceitos dos tubos sonoros, procurando trabalhar as relações entre os conceitos e a percepção na prática dos fundamentos, isto é, a associação física do fenômeno com a parte fisiológica do ser humano.

No quinto momento, trata-se da aplicação do Questionário 2 Pós-intervenção (APENDICE C) para analisar de que forma os conceitos foram reformulados, evidenciando, por gráfico, o número de acertos dos conceitos em relação ao Questionário 1 Pré-intervenção (APENDICE B), destacando os efeitos e as influências do produto educacional, bem como a eficácia de determinação da velocidade do som no ar.

No sexto momento, aplicaremos o Questionário 3 Sobre opinião do discente (APÊNDICE D) para analisar as opiniões dos discentes sobre o produto.

Em resumo, os seis momentos podem ser organizados no seguinte fluxograma:



Conteúdo

Para compreender o fenômeno de ressonância, é necessário entender todos os conceitos que influenciam no fenômeno, quais sejam, abordaremos nessa aula um roteiro para que possamos trilhar esse caminho. E após os conceitos elucidados, propomos uma aula experimental de título tubo de ressonância de baixo custo, com o objetivo de dispor a experiência de percepção e manuseio da ressonância, e assim, coletar dados necessários para calcular experimentalmente a velocidade do som.

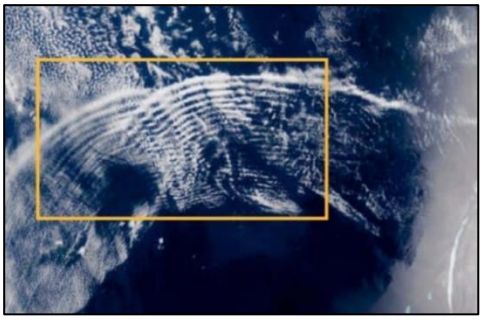
Iniciaremos a aula abordando os estudos de ondas mecânicas para entender conceitos fundamentais como comprimento de onda, frequência, amplitude e período. E depois, trataremos de fenômenos relacionados às ondas mecânicas, características de onda, como destacaremos reflexão de pulsos, refração de pulsos, princípio da superposição, interferência e ondas estacionárias, conforme estudos a seguir.

4. Onda

Segundo Nussenzveig (2002), onda é uma perturbação, gerada de um pulso que se que se transmite de um ponto a outro em um meio sólido, líquido, ou gasoso, com velocidade definida. Tem como característica intrínseca o transporte de energia sem que haja transporte de matéria de um desses pontos em relação ao outro.

Exemplos de ondas podem ser observados na figura 1 (Fig.1) apresentando ondas marítimas, ou seja, o movimento de vaivém das ondas do mar por uma garganta entre as rochas (destaque em amarelo) dá origem a ondas mecânicas que se propagam pela água (o meio elástico, água, nesse caso).

Figura 1 – ondas no mar



Fonte: Alberto Gaspar

Outro exemplo, a propagação de ondas em uma mola, observamos na figura 2 (Fig.2), quando se faz oscilar a mola a partir de um pulso vertical provocado em uma das extremidades da mola, através de uma sacudida rápida da mola para cima e para baixo, conforme é indicado pela dupla seta, a oscilação gera uma onda mecânica que se propaga pela mola (meio elástico).

Figura 2 - Ondas propagando-se em uma mola

Fonte: Alberto Gaspar

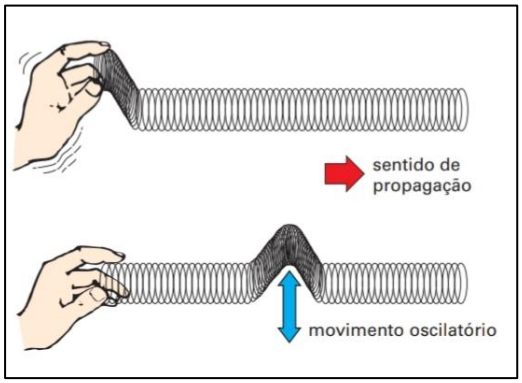
Esses exemplos mostram propagações ondulatórias que, por serem visíveis, torna mais fácil o estudo de comportamento do movimento do sistema físico. Por isso, serão apresentadas as medidas físicas fundamentais logo a seguir.

5. Ondas mecânicas

Segundo Alberto Gaspar (2009), Consideremos que alguém faça um único movimento de vaivém, vertical, na extremidade de uma mola estendida horizontalmente. Então, observa-se um pulso propagando-se ao longo da mola.

Enquanto o pulso se propaga horizontalmente, cada ponto da mola executa um movimento oscilatório vertical. A oscilação que gera o pulso, produzida na extremidade da mola, é perpendicular (ou transversal) à direção em que ela se propaga: trata-se de um **pulso transversal**. A figura 3 (Fig.3) ilustra e destacam os pontos ressaltados com essas características, uma mão aplica um movimento oscilatório no sentido horizontal na extremidade da mola, o pulso é gerado e se propaga no sentido horizontal indicado pela seta vermelha, e ao mesmo instante observado, o pulso é também transversal em relação a direção e sentido de oscilação.

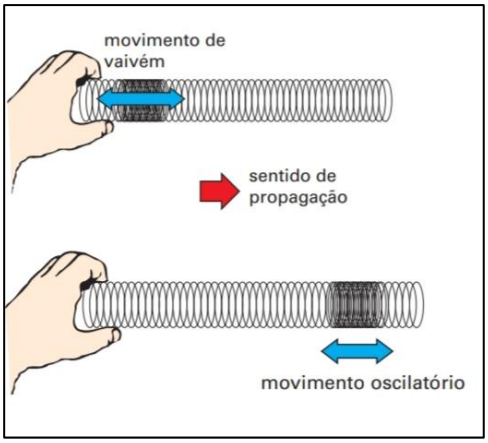
Figura 3 – pulso transversal



Fonte: Alberto Gaspar

Se o movimento for feito na mesma direção em que a mola está estendida, temos um **pulso longitudinal**. A figura 4 (Fig.4) ilustra pulsos dessa natureza, e destacando os pontos relevantes ressaltados, uma mão exerce uma força em uma das extremidades da mola em um movimento denominado vai e vém, indicado pela primeira seta em azul de cima para baixo. O resultado é um pulso que se propaga no mesmo sentido do movimento de vaivém, o que é indicado pela segunda seta em azul de cima para baixo, e essa seta mostra o movimento oscilatório (ver figura 4 (Fig.4)).

Figura 4 - Pulso longitudinal



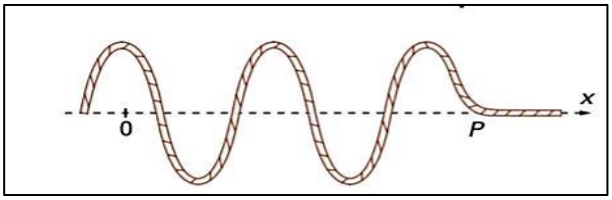
Fonte: Alberto Gaspar

Uma sequência de pulsos transversais ou longitudinais dá origem respectivamente, **ondas transversais** ou **ondas longitudinais**. A oscilação geradora do movimento ondulatório tem também a mesma direção da propagação.

A seguir, ressaltearemos outra característica de onda. Referente à dimensão de propagação, a onda, é classificada como unidimensional, bidimensional ou tridimensional

No exemplo da figura 5 (Fig.5), os pulsos e as ondas são **unidimensionais** porque é possível determinar a posição da frente da perturbação, chamada de **frente de onda,** por meio de um único eixo de coordenadas (eixo das abscissas x). Nas ondas unidimensionais a frente de onda é um **ponto material,** representado pelo ponto P, conforme mostra aspectos relevantes na (Fig.5).

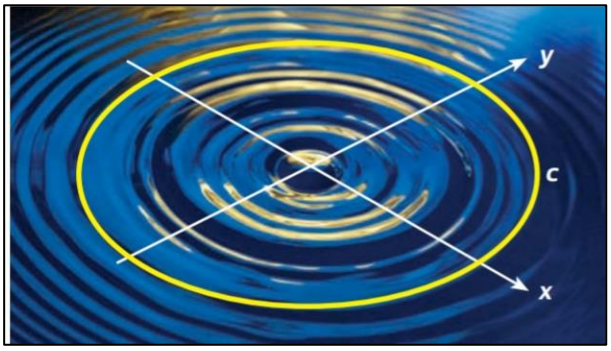
Figura 5 – Ondas unidimensionais



Fonte: Alberto Gaspar

Outro exemplo, as ondas na superfície da água que são **bidimensionais**. Para a sua descrição matemática são necessários dois eixos coordenados (eixos da abcissa x e da ordenada y) sua frente de onda é uma **curva plana**. Na figura 6 (Fig.6), a frente de onda é representada pelo círculo C, em amarelo, em que a posição de cada ponto material é determinada pelas coordenadas medidas nos eixos x e y.

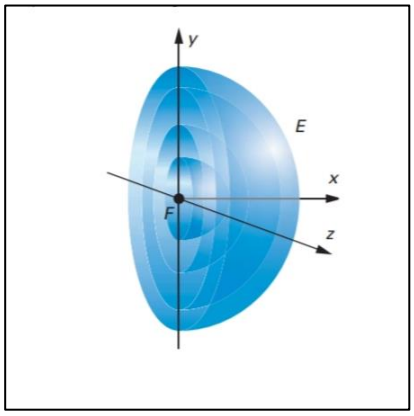
Figura 6 - Ondas bidimensionais



Fonte: Alberto Gaspar

Outro exemplo, são ondas sonoras que propagam-se por todo o espaço (ver (Fig.7)). São ondas **tridimensionais**, ou seja, a sua descrição matemática exige um sistema de três coordenadas (x, y e z). A frente de ondas tridimensionais é sempre uma **superfície**. No caso das ondas sonoras, podem ser superfícies esféricas. A na figura 7 (Fig.7) representa ondas tridimensionais, e para o caso da onda sonora (está representada por semiesferas por razões didáticas). A frente de onda é a superfície esférica - E, de centro em F (fonte), descrita pelos eixos x, y e z. A (Fig.6) vem reforçar esses aspectos ressaltados.

Figura 7 – ondas tridimensionais



Fonte: Alberto Gaspar

Existem outras características, porém, para atingir o objetivo do projeto focaremos nas características necessárias para compreender o fenômeno de ressonância.

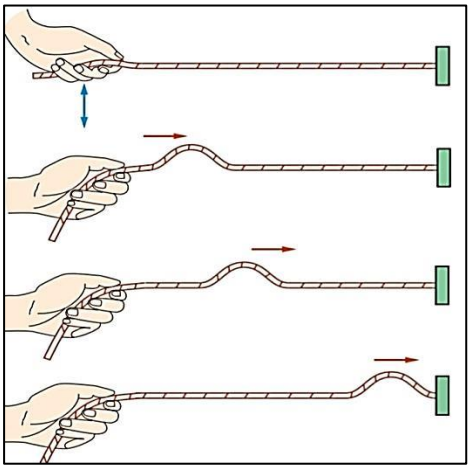
Apresentaremos a seguir conceitos e fenômenos relacionados as ondas mecânicas que é fundamental para o estudo físico de ressonância.

5.1 Reflexão de um pulso

Para Alberto Gaspar (2009), Observe o exemplo de um pulso provocado uma corda, mostrado figura 8 (Fig.8). Como podemos observar, temos um pulso que é produzido em uma das extremidades da corda pelo movimento (sacudida) feito pela mão indicado com a seta em azul na (Fig.8).

O que acontece quando o pulso atinge a outra extremidade da corda?

Figura 8 – Reflexão de um pulso



Fonte: Alberto Gaspar

À medida que o pulso se propaga, a corda se deforma (indicado pela seta vermelha em (Fig.8)) e depois volta à posição inicial. Trata-se de uma deformação elástica, à qual está associada uma energia potencial. Portanto, a propagação do pulso equivale à propagação da energia potencial elástica fornecida à corda no pulso inicial.

Pelo princípio da conservação da energia mecânica, essa energia potencial elástica não pode desaparecer quando o pulso atinge a outra extremidade da corda. Mas a corda acaba. O que acontece? Se não há mais corda para o pulso percorrer para frente, ele passa a percorrê-la para trás. O pulso volta, ele se **reflete**.

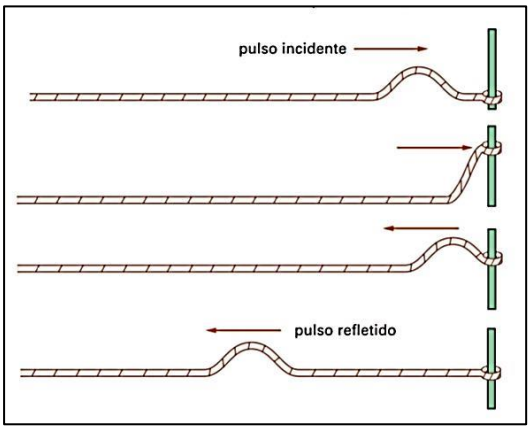
O fenômeno da reflexão é característico de qualquer propagação ondulatória que encontra uma alteração no meio em que se propaga o limite desse meio, ou um obstáculo.

Assim como os pulsos ou as ondas se refletem ao atingir a extremidade da corda, também as ondas sonoras ou luminosas se refletem ao atingir um anteparo ou o limite do meio em que se propagam. No entanto, a reflexão tem características específicas em cada tipo de propagação ondulatória. Demostraremos a seguir dois casos particulares da reflexão.

Como primeiro exemplo, temos os pulsos que se propagam em cordas, esses refletem-se mantendo a mesma forma do pulso original, como ilustrado

na (Fig.9), também chamado de **pulso incidente** para corda com uma **extremidade móvel**. Assim, dizemos que a reflexão ocorre **sem inversão de fase** (quando a crista se mantém para cima, e de modo análogo, para baixo). Observe que na figura 9, o pulso refletido tem a mesma fase do pulso incidente (ao chegar e ao voltar, a crista se mantém para cima).

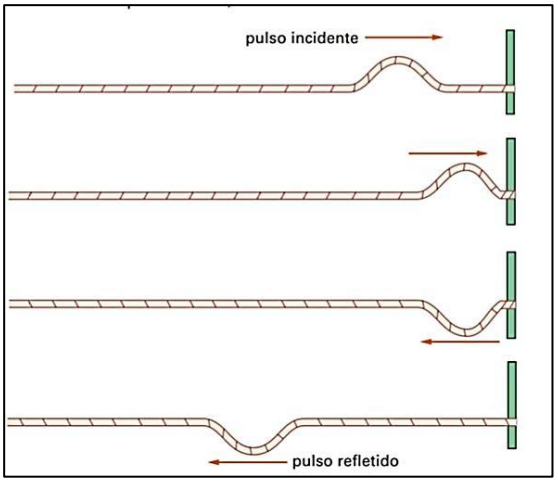
Figura 9 – pulso incidente



Fonte: Alberto Gaspar

Outro exemplo é quando a corda tiver a **extremidade fixa**, dessa forma, o pulso refletido será **invertido** em relação ao pulso incidente. Na figura 10 (Fig10), a fase do pulso refletido é invertida em relação à fase do pulso incidente (ao atingir a extremidade fixa, a crista está voltada para cima; e ao refletir-se, voltada para baixo).

Figura 10 - Reflexão pulso invertido



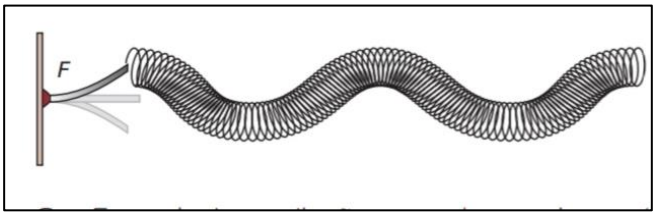
Fonte: Alberto Gaspar

Note que, enquanto na reflexão em uma extremidade fixa o pulso tem que está preso para refletir-se, na extremidade livre, ele pode refletir-se mesmo estando completamente solto. A haste e o anel em torno dos quais a extremidade da corda oscila não são necessários, pois eles costumam ser colocados apenas para facilitar a representação gráfica do fenômeno.
A seguir abordaremos os conceitos de amplitude, período, frequência, que são fundamentais para entender o conceito de ressonância.

5.2 Ondas periódicas

Segundo Alberto Gaspar (2009), Embora a propagação de pulsos seja de natureza ondulatória, o seu estudo não permite a abordagem de todas as características desse movimento. Para isso, é necessário considerar uma série contínua de pulsos. A figura 11 (Fig.11) representa uma foto instantânea de uma onda gerada em uma mola por uma fonte oscilante F (diapasão, uma régua vibrando, lâmina vibrante...).

Figura 11 – Onda gerada em uma mola



Fonte: Alberto Gaspar

Se a fonte F produzir oscilações regulares, de período constante, a mola será percorrida por **ondas periódicas**. Se as oscilações forem harmônicas simples, ou seja, no caso em que cada ponto da mola pode oscilar com **movimento harmônico simples (MHS),** onde vão gerar pulsos que se propagam pela mola em ondas harmônicas simples.

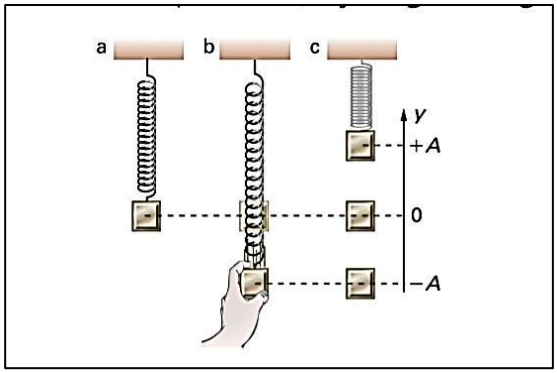
Para entender o que é MHS, considere a situação na figura 12 (Fig.12), isto é, uma mola presa por uma das extremidades, e na outra extremidade tem

um bloco que é puxado por uma mão no sentindo vertical e solto, então, o sistema passa a oscilar com MHS.

Quando o bloco estiver preso à mola (Fig.12-a), este é puxado e solto (Fig.12-b), assim, este adquire um movimento oscilante, periódico, chamado de **movimento harmônico simples** (MHS). Acrescentando ao movimento um referencial vertical Oy, com origem (O) no ponto de repouso, as posições extremas serão $+A$ e $-A$ (Fig.12-c) (**amplitude A** do movimento).

O intervalo de tempo gasto pelo bloco para descrever uma oscilação completa é o **período (T)** do movimento. Isto é, a mola passará duas vezes sucessivas pela mesma posição de equilíbrio. O inverso do período corresponde **à frequência (f)**, ou seja, número de oscilações completas descritas pelo bloco em uma unidade de tempo.

Figura 12- Movimento harmônico simples

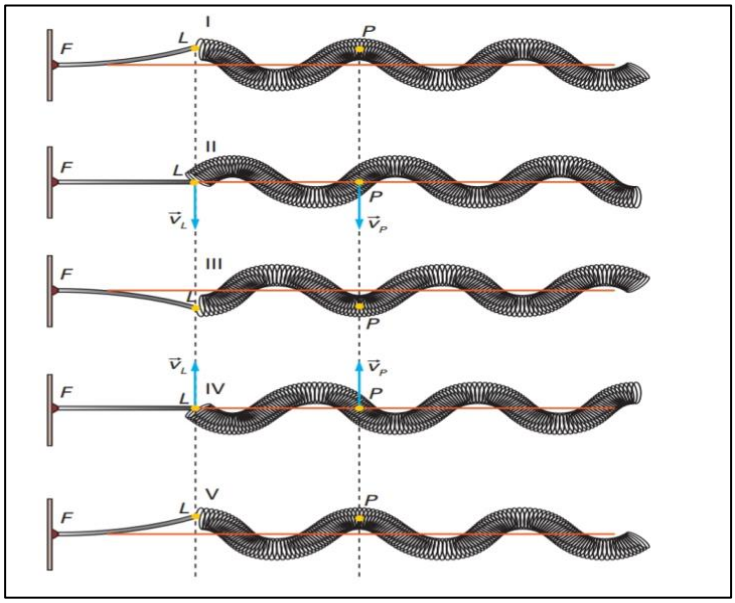


Fonte: Alberto Gaspar

5.3 Relação entre frequência e período

Segundo Alberto Gaspar (2009), Na figura 13 (Fig.13) é apresentado perfis instantâneos sucessivos (I, II, III, IV, V) de onda em uma mola, posto a oscilar por uma fonte oscilante F (lâmina vibrante). A onda gerada propaga-se em uma mola, em cinco instantes sucessivos. Nos perfis instantâneos II e IV, os pontos L e P estão momentaneamente em repouso. E nos perfis I, III e V, suas velocidades são máximas (observe a (Fig.13)).

Figura 13 – Perfis instantâneos sucessivos de ondas



Fonte: Alberto Gaspar

Consideremos um ponto L na extremidade da lâmina (supõe-se que as oscilações nesse ponto sejam suficientemente pequenas para que ele se movimente em um pequeno segmento de reta) e um ponto P na mola, na mesma fase de L (veremos o conceito de fase logo a seguir). A oscilação vertical da extremidade L, vinculada à extremidade da mola, gera a onda que nela se propaga e faz o ponto P da mola oscilar também verticalmente.

Então observa-se, na (Fig.13), que os pontos L e P descrevem uma oscilação completa (de I a V) no mesmo intervalo de tempo. Assim, podemos concluir que o período (T) e a frequência (f) da oscilação da extremidade L da lâmina (fonte da onda) são iguais ao período e à frequência da própria onda, sendo, para ambas, válidas as relações:

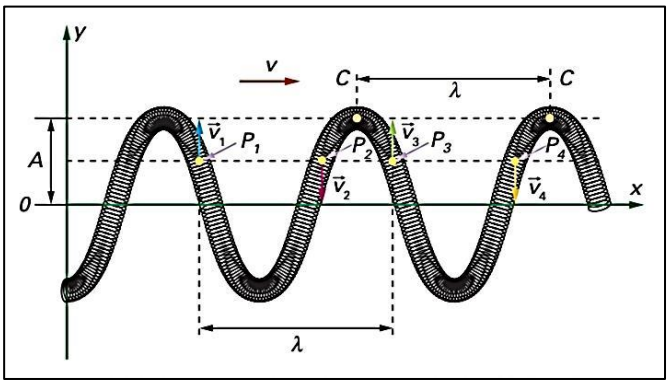
$$\boxed{T = \frac{1}{f}} \quad \boxed{f = \frac{1}{T}}$$

A seguir, vamos ver outras características de ondas mecânicas fundamentais para originar o fenômeno de ressonância.

5.4 Amplitude, fase e comprimento de onda

Na figura 14 (Fig.14) é mostrado o referencial, assim como a amplitude A de uma onda. O módulo da ordenada máxima de um ponto dessa onda corresponde a amplitude.

Figura 14 – Ondas na mola



Fonte: Alberto Gaspar

Os pontos P1, P2, P3 e P4 têm a mesma ordenada y (observando a (Fig,14)), mas não têm velocidades de mesmo sentido. Enquanto os pontos P1 e P3 sobem, P2 e P4 descem. Por essa razão, só os pares (P1,P3) e (P2, P4) estão na mesma fase. A distância entre eles é o comprimento de onda, representado pela letra grega λ (lambda). Em qualquer onda existem muitos pontos na mesma fase, como exemplo o ponto C que se repete na crista (pontos de ordenada máxima) da onda mostrada na (Fig.14). Assim, observa-se o **comprimento de onda** (λ) como a menor distância entre dois pontos na mesma fase.

5.5 Velocidade de propagação

Segundo Alberto Gaspar (2009), Para a propagação ondulatória, o conceito de velocidade média (vetorial), velocidade instantânea (vetorial), e velocidade escalar média). Assim, da expressão $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, obtemos a **velocidade de propagação**, dividindo o espaço que a onda percorre pelo correspondente intervalo de tempo.

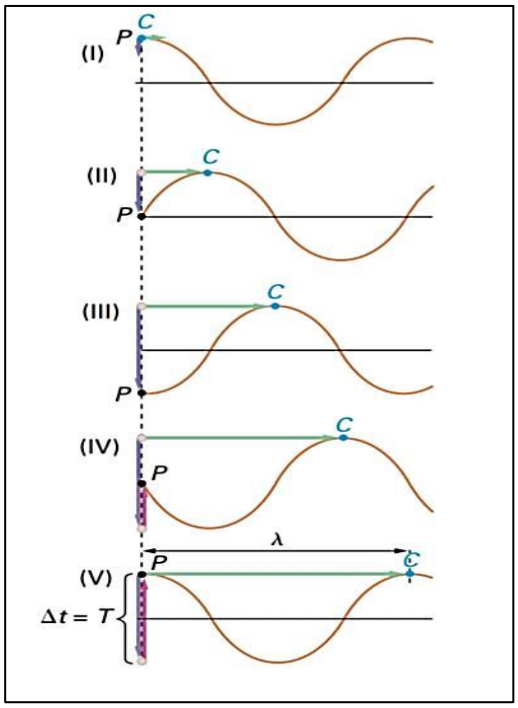
A velocidade de propagação de uma onda não é a mesma quantidade que expressa à velocidade de uma partícula. A grande diferença entre esses conceitos reside no caráter vetorial da velocidade da partícula, que não existe na velocidade de propagação da onda.

Por exemplo, considere o sistema de lançamento de projétil, é possível decompor a velocidade de um projétil, em um lançamento oblíquo, para determinar o alcance ou a altura máxima que ele atinge.

Em outro exemplo, considere o sistema de movimento de um barco e correnteza, pode-se somar, vetorialmente, a velocidade do barco com a velocidade da correnteza, mas não é possível somar assim (dessa forma) com movimentos ondulatórios. Logo, se duas ondas atravessam a mesma região do espaço, suas velocidades não se somam, nem algébrica e nem vetorialmente. A razão física para essas diferenças é simples: enquanto a velocidade de uma partícula se relaciona a algo que efetivamente se desloca — a partícula —, a velocidade de propagação não e relaciona a nenhum deslocamento de partículas — em uma onda elas apenas oscilam não se deslocam nem, a rigor, “fazem parte” da onda, mas do meio em que ela se propaga. O que se desloca é a forma da onda. É por meio da forma que a onda transmite a energia para o ambiente. Por isso a velocidade de propagação é também chamada de **velocidade de fase**, pois a fase é uma grandeza estritamente ligada à forma da onda.

Na figura 15 (Fig.15) são mostradas perfis instantâneos em cinco momentos sucessivos de uma onda unidimensional, evidenciando pontos relevantes P (ponto a oscilar da corda) e C (crista da corda) para determinar uma relação de velocidade de propagação da onda. Observe a (Fig.15).

Figura 15 - Onda unidimensional



Fonte: Alberto Gaspar

Na sequência de I a V, enquanto a crista C percorre a distância correspondente a um comprimento de onda, o ponto P efetua uma oscilação completa. Portanto, o intervalo de tempo correspondente a esse percurso é igual ao período T da onda. Assim, voltando à expressão da velocidade escalar média, enquanto a crista C da onda percorre a distância $\Delta x = \lambda$, o intervalo de tempo transcorrido é $\Delta t = T$. Portanto, a velocidade de propagação da onda é:

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

ou, lembrando que $T = \frac{1}{f}$:

$$\boxed{v = \lambda f}$$

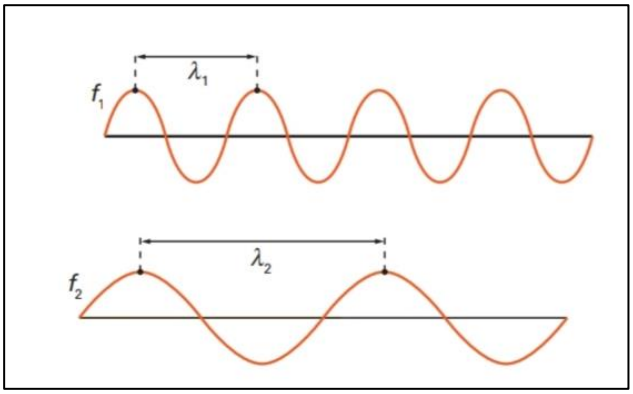
Se a fonte é harmônica simples, o período e a frequência são constantes. O comprimento de onda também é constante, porque a velocidade de propagação da onda é constante, pois depende apenas das propriedades do meio em que ela se propaga. Assim, pode-se demonstrar que a velocidade de propagação de uma onda numa corda é dada por:

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}}$$

Em que F é o módulo da tensão na corda e μ a sua densidade linear.

Se a velocidade de propagação da onda é constante, a partir da expressão $v = \lambda f$, concluímos que frequência e comprimento de onda são sempre grandezas inversamente proporcionais. Assim, quando a frequência da fonte geradora de uma onda dobra, triplica ou quadruplica, o comprimento de onda se reduz, respectivamente, à metade, a um terço ou a um quarto. Veja a figura 16 que ilustra essa relação, comparando as duas imagens da figura16 $f_1 > f_2$ logo para o comprimento de onda segundo o inverso da proporcionalidade temos $\lambda_1 < \lambda_2$, o que é ilustrado na (Fig.16) observe:

Figura 16 - proporcionalidade entre frequência e comprimento de onda



Fonte: Alberto Gaspar

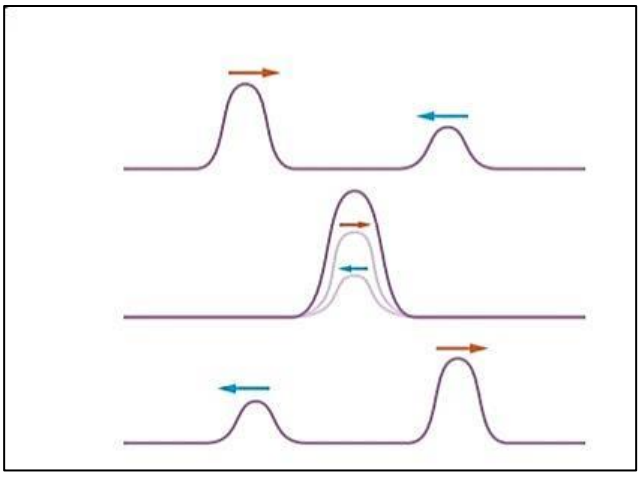
Na seção a seguir, elucidaremos dois conceitos: princípio da superposição - interferência e as ondas estacionárias que auxilia fundamentar e explicar o fenômeno de ressonância.

Segundo o site só física, todo sistema físico oscilante, possuem uma frequência natural, quando uma frequência igual a de sua frequência natural, fornece energia ao sistema, suas amplitudes aumentam consideravelmente

5.6 Princípio da superposição: interferência

Para Alberto Gaspar (2009), O que ocorre quando esses pulsos se cruzam? E depois do cruzamento? A figura 17 (Fig.17) ilustrará os momentos antes do cruzamento dos pulsos, durante e posterior. Observe que dois pulso (indicado pelas setas vermelhas e azul) se propagam no mesmo meio e no mesmo sentido, em um instante posterior os pulsos se encontrar-se no mesmo espaço ao mesmo tempo, no instante seguinte ambos os pulsos continua sua trajetória permanecendo com suas mesma característica , veja na (Fig.17).

Figura 17 – Princípio da superposição



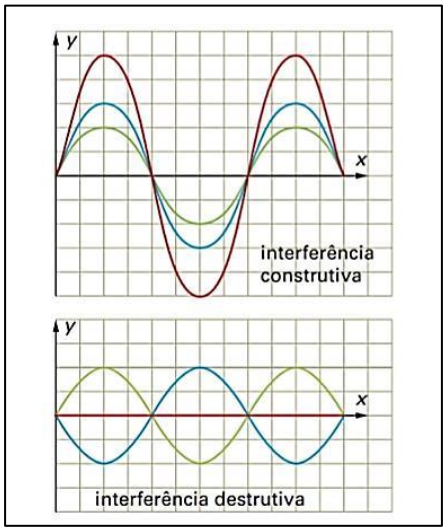
Fonte: Alberto Gaspar

Durante o cruzamento, a ordenada de cada ponto do pulso resultante é a soma algébrica das ordenadas de cada um dos pontos que se cruzam nesse instante. Essa afirmação denomina-se **princípio da superposição**. Depois do cruzamento, no entanto, cada pulso continua com suas próprias características (frequência, comprimento de onda...), como se nada houvesse acontecido. Ao fenômeno e à configuração resultante dessa soma algébrica das ordenadas de cada ponto dá-se o nome de **interferência**. Veja na figura 18 (Fig.18) que as

ondas componentes são representadas em verde e azul; a interferência, resultante da superposição, está representada em vermelho.

Quando a onda resultante tem sua amplitude aumentada, ocorre uma **interferência construtiva**; quando a amplitude se reduz ou se anula, tem-se uma **interferência destrutiva**.

Figura 18 – interferência e destrutiva



Fonte: Alberto Gaspar

Outro fenômeno que é uma consequência dos fenômenos de reflexão e do princípio de superposição, é o de ondas estacionárias, sendo que esses fenômeno é o objeto de estudo para explorar o fenômeno de ressonância. Veja a seguir como se origina as ondas estacionárias em uma corda.

5.7 Ondas estacionárias em uma corda

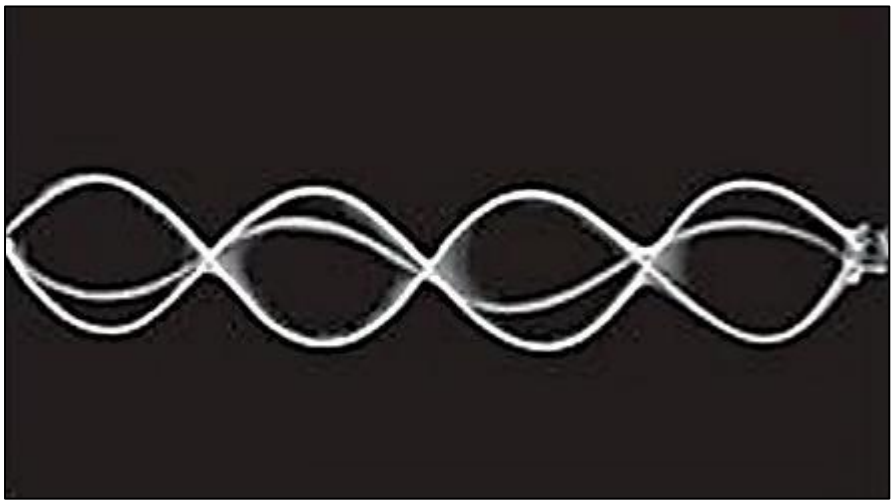
Segundo Sears, Zemansky, Young e Freedman, (2008), examinaremos o que ocorre quando uma onda senoidal é refletida pela extremidade fixa de uma corda, vamos novamente considerar a superposição de duas ondas que

se propagar através da corda, uma representando a onda incidente e a outra a onda refletida na extremidade fixa.

A figura 19 (Fig.19) mostra uma corda que estar presa em sua extremidade esquerda, sua extremidade direita oscila de cima para baixo em MHS e produz uma onda que se propaga para a esquerda; a onda refletida pela extremidade fixa se desloca para a direita.

O movimento resultante quando as duas ondas se combinam não mais se parece com duas ondas que se propagam em sentidos opostos. A corda parece estar subdividida em diversos segmentos, conforme indica a (Fig19).

Figura 19 – Ondas em uma corda de extremidades presas

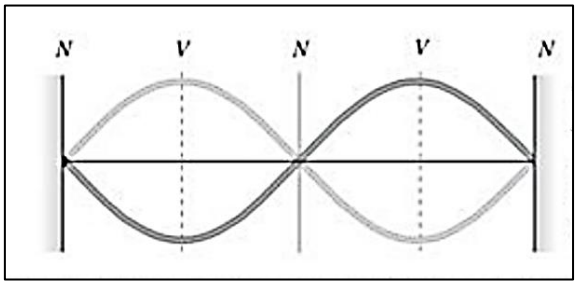


Fonte: Yong e Freedman

Em uma onda em que se propagar em uma corda, a amplitude e constante e a configuração da onda se desloca com a velocidade igual à velocidade da onda. No caso presente, ao contrário, a configuração da onda permanece inalterada ao longo da corda e sua amplitude flutua.

Na figura 20 (Fig.20) e apresentado um diagrama das ondas resultantes da (Fig.19). Observe que existem pontos particulares que nunca se movem; cada um desses pontos constitui um **nó** (indicado pela letra N na (Fig20)). No meio de dois nós consecutivos existe um ponto chamado **ventre** (indicado pela letra V na (Fig.20)), onde a amplitude do movimento e máxima.

Figura 20 - Representação de ondas estacionárias



Fonte: Yong e Freedman

Como a configuração da onda não parece mover-se o longo da corda, ela é chamada de **ondas estacionária** (para acentuar a diferença, uma onda que se move ao longo da corda denomina-se **onda progressiva**).

Esse sistema oscilante possui uma frequência mínima (modos de vibração) para determina o estado estacionário.

Destacaremos na seção seguinte, os modos de vibração para que possamos entender que os modos de vibração resultam no fenômeno de ressonância, em um estado físico oscilante.

5.8 Modos normais de uma corda

Segundo Sears, Zemansky, Young e Freedman, (2008), Quando descrevemos ondas estacionárias em uma corda com uma das extremidades mantidas fixas em certas extremidades rígidas, como indicado na (Fig.19), não fizemos nenhuma hipótese sobre o comprimento da corda ou sobre a extremidade que não estar fixa. Vamos agora considerar uma corda comprimento fixo l, preso rigidamente a ambas as extremidades. Esse tipo de corda e encontrado em muitos instrumentos musicais, inclusive em violino, piano e guitarra. Quando você puxa a corda de uma guitarra, uma onda se propaga na corda; essa onda se reflete sucessivamente nas duas extremidades, produzindo-se uma onda estacionária. Essa onda estacionária da origem a onda sonora que se propagar no ar, com a frequência determinada com as propriedades das cordas.

As ondas estacionárias resultante deve possuir nós em ambas extremidades da corda. Vimos na seção precedente que a distância entre dois nós adjacente é igual a meio comprimento de onda ($\lambda/2$), de modo que o comprimento da corda deve ser igual a $\lambda/2$, ou 2($\lambda/2$), ou 3($\lambda/2$), ou de um modo geral igual a um número inteiro múltiplo de meio comprimento de onda:

$$\boxed{l = n\frac{\lambda}{2}} \quad \text{(n= 1,2,3...)}$$

(corda fixa nas duas extremidades)

Ou seja, se uma corda de comprimento L possui as duas extremidades fixas, uma onda estacionária só pode existir quando seu comprimento de onda satisfizer à equação a cima.

Exemplificando λ nessa equação e identificando os valores possível de λ com o símbolo λ_n encontramos

$$\boxed{\lambda_n = \frac{2l}{n}} \quad \text{(n= 1,2,3...)}$$

(corda fixa nas duas extremidades)

É possível a existência de onda na corda que não possuem esses comprimentos de onda, porem tais ondas não podem formar ondas estacionárias com nós e ventre, e a onda resultante não pode ser estacionária.

Correspondendo a uma serie de valores possível de λ_n há uma serie de frequência f_n, cada uma delas uma delas relacionados aos respectivos comprimentos de onda por meio da relação $f_n = v/\lambda_n$. A menor frequência f_1 corresponde ao maior comprimento de onda (o caso n=1), $\lambda_1 = 2l$;

$$\boxed{f_1 = \frac{v}{2l}}$$

(cordas fixas nas duas extremidades)

É esse valor e chamado de **frequência fundamental**. As outras frequências das ondas estacionárias são $f_2 = 2\,v/2l$, $f_3 = 3\,v/2l$,e assim por

diante. Esses valores múltiplos inteiro da frequência fundamental f_1, tais com $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ e assim por diante, generalizando:

$$\boxed{f_n = n\frac{v}{2l}}$$

(cordas fixas nas duas extremidades)

Essas frequências são chamadas de **harmônico,** a série desses valores denomina-se **série harmônica**.

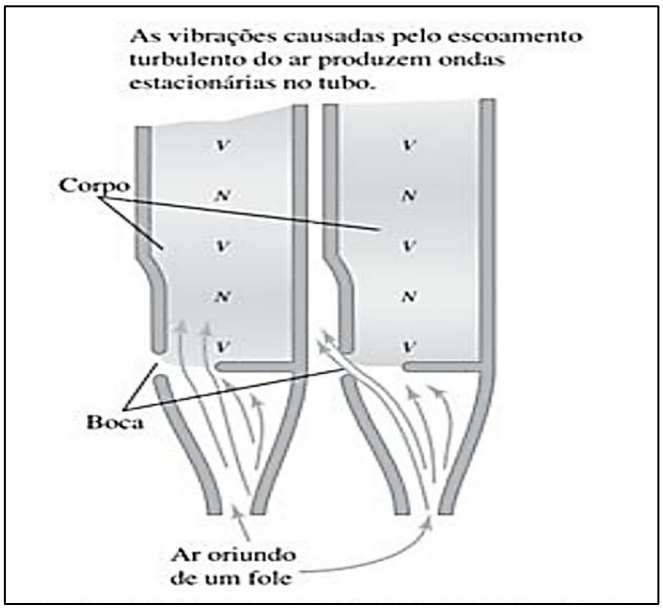
Um **modo normal** de um sistema oscilante é um movimento no qual todas as partículas do sistema se movem senoidal com a mesma frequência. Para um sistema constituído por uma corda de comprimento L que possui duas extremidades fixas, cada um dos comprimentos de onda é fornecido pela equação $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ corresponde a uma configuração com modo normal possível e uma dada frequência. Cada modo com sua configuração de vibração e suas frequências características.

Na seção seguinte continuaremos nosso estudo sobre os modos, porem veremos essa aplicação em tubos específicos com condições especificas (tubos aberto e tubo fechado), o fenômeno no tubo de ressonância de baixo custo.

5.9 Modos normais em tubos

Segundo Sears, Zemansky, Young e Freedman, (2008), Considere o tubo da figura 21 (Fig.21), O ar é fornecido por foles e ventoinhas, com uma pressão manométrica de ordem de 10^3 Pa ($10^{-2}atm$) na extremidade inferior do tubo da (Fig.21). Uma corrente de ar emerge da abertura estreita da superfície e a seguir e direcionada para a parte superior da abertura chamada boca do tubo.

Figura 21- Condições do tubo

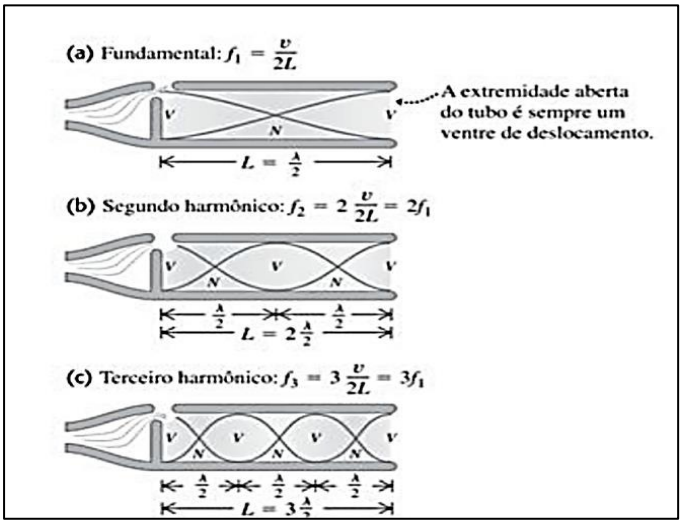


Fonte: Yong e Freedman

A coluna de ar no tubo começa a vibrar e ocorrem diversos modos normais possíveis, tal como de uma corda esticada. A boca sempre funciona como uma extremidade aberta; logo, ela é um nó de pressão e ventre de deslocamento. A outra extremidade do tubo pode estar fechada ou aberta.

Observe que na figura 22 (Fig.22) as duas extremidades do tubo estão abertas, de modos que elas são nó de pressão e ventre de deslocamento.

Figura 22 – Tubo aberto



Fonte: Yong e Freedman

Um tubo de órgão que possui as duas extremidades abertas é chamado de tubo aberto. A frequência fundamental f_1 corresponde a uma configuração de ondas estacionárias com um ventre em cada extremidade e um nó de deslocamento no meio do tubo. Na (Fig.22 - a) mostrar que a distância entre dois ventres adjacentes é sempre igual a meio comprimento de onda e, neste caso, ele é igual o comprimento L do tubo $L = \lambda/2$. A frequência fundamental correspondente, obtida da relação $v = \lambda f$ é dada por;

$$\boxed{f_1 = \frac{v}{2l}} \text{ (tubo aberto)}$$

As (Fig.22 – b, c) mostra o segundo e o terceiro harmônico respectivamente seus padrões de vibração apresenta dois e três nós de deslocamento, respectivamente. Para estes, meio comprimento de onda é igual a $L/2$ e $L/3$, respectivamente, e as frequências são o dobro e o triplo da fundamental respectivamente. Ou seja $f_2 = 2f_1$ e $f_3 = 3f_1$. Para qualquer modo normal de um tubo de comprimento L deve existir um múltiplo inteiro de meio comprimento de onda, e os comprimentos de ondas λ_n possíveis e dado por

$$\boxed{L = n\frac{\lambda_n}{2}} \text{ ou } \boxed{\lambda_n = \frac{2L}{n}} \text{ (n = 1,2,3...)}$$

(tubo aberto)

As frequências correspondentes f_n são obtidas $f_n = v/\lambda_n$, de modo que todas as frequências do s modos normais para um tubo aberto nas duas extremidades são dadas por

$$\boxed{f_n = \frac{nv}{2L}} \text{ (n = 1,2,3...) (tubo aberto)}$$

O valor n = 1 fornece a frequência fundamental, n = 2 fornece o segundo harmônico, e assim por diante. Alternativamente podemos escrever

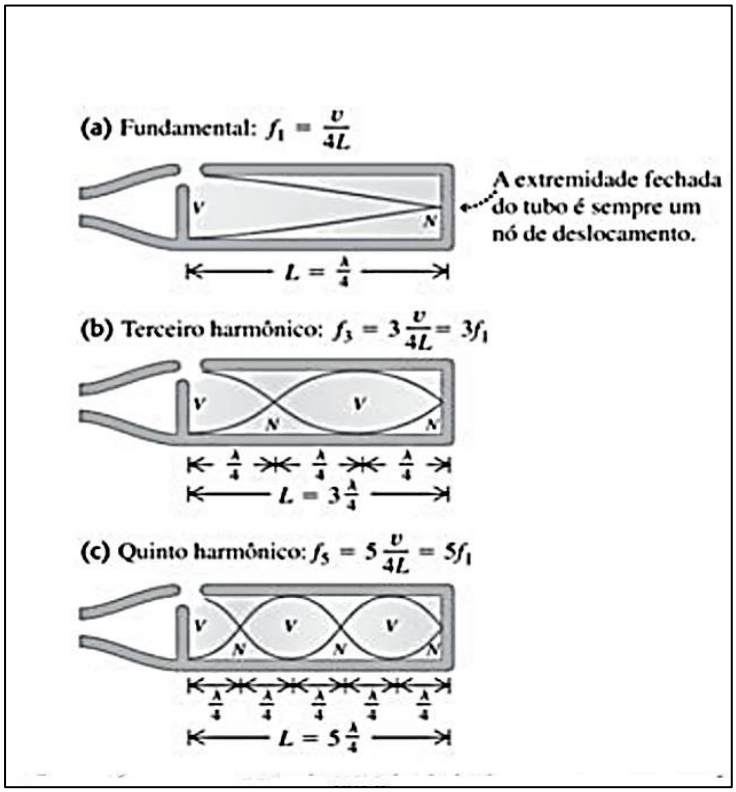
$\boxed{f_n = nf_1}$ (n= 1,2,3...) (tubo aberto)

Onde f_1 e dada pela equação da frequência fundamental $f_1 = \frac{v}{2l}$.

A figura 23 (Fig.23) mostra um tubo aberto na extremidade esquerda, mais fechada na extremidade da direita. Este tubo e chamado de tubo fechado em uma extremidade, ou simplesmente tubo fechado. A extremidade esquerda (aberta) é um ventre de deslocamento (nó de pressão), porém a extremidade da direta (fechada) corresponde a um nó de deslocamento (ventre de pressão).

A distancia entre um nó e um ventre adjacentes é sempre igual a um quarto do comprimento de onda. A figura 23 – a (Fig.23 - a) mostra o modo com a frequência mais baixa.

Figura 23 – Tubo fechado



Fonte: Yong e Freedmam

Antes de prosseguir observa-se que o comprimento do tubo e igual a um quarto do comprimento de onda ($\lambda/4$). A frequência fundamental é $f_1 = v/\lambda_1$ ou

$$\boxed{f_1 = \frac{v}{4L}} \quad \text{(tubo fechado)}$$

Este valor e a metade da frequência fundamental de um tubo aberto de mesmo comprimento. A (Fig.23 - b) mostra o modo seguinte, em que o comprimento de onda do tubo é três quarto do comprimento de onda, correspondendo a uma frequência $3f_1$. Na (Fig. 23 - c), $L = 5\lambda/4$ e a frequência é igual a $5f_1$. Os comprimentos de onda possível são

$$\boxed{L = n\frac{\lambda_n}{4}} \quad \text{ou} \quad \boxed{\lambda_n = \frac{4L}{n}} \quad \text{(n = 1,3,5...)} \quad \text{(tubo fechado)}$$

As frequência de modos normais são dadas por $f_n = v/\lambda_n$, ou

$$\boxed{f_n = \frac{nv}{4L}} \quad \text{(n = 1,3,5...)} \quad \text{(tubo fechado)}$$

Ou

$$\boxed{f_n = nf_1} \quad \text{(n= 1,3,5...) (tubo fechado)}$$

Onde f_1 e dado pela equação $f_1 = \frac{v}{4L}$. Vimos que todos os harmônicos pares não estão presentes. Em um tubo fechado em umas das extremidades a frequência fundamental é $f_1 = v/4L$ e somente os harmônicos de ordem impa na série ($3f_1, 5f_1, ...$) são possíveis.

Com todos os conceitos fundamentais elucidados podemos agora explicar o que e o fenômeno de ressonância na secção a seguir.

6 Ressonância nos tubos

Muitos sistemas mecânicos têm modos normais de oscilações. Como vimos esse modo incluem colunas de ar (como em um órgão de tubo) e cordas esticadas (como em guitarra). Em cada modo cada partícula do sistema descreve um MHS com a mesma frequência deste modo. Colunas de ar e cordas esticadas possuem uma série infinita de modos normais, porem o conceito básico está intimamente relacionado com oscilador harmônico simples, que possui um único modo normal (ou seja, uma única frequência com o qual ele oscilar depois de ser perturbado).

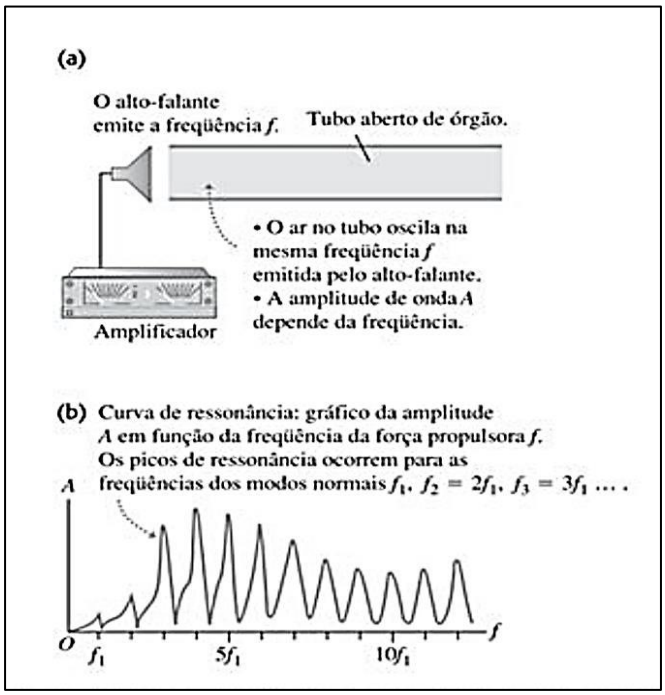
Suponha que você aplique uma força variando periodicamente sobre um sistema que pode oscilar. O sistema então e forçado a oscilar com a mesma frequência da força aplicada (chamada de força propulsora). Este movimento denomina-se oscilação forçada deum oscilador harmônico. Em particular descrevemos o fenômeno de **ressonância mecânica**. Um exemplo simples de ressonância e quando se empurra uma criança em um balanço. O balanço e um pêndulo; ele possui apenas um modo normal cuja frequência é determinada pelo comprimento do pêndulo. Quando empurramos o pêndulo periodicamente com essa frequência, podemos fazer a amplitude do movimento aumentar. Porem quando empurramos o balanço com uma frequência diferente, este praticamente não se move.

A ressonância também ocorre quando uma força periódica e aplicada a um sistema com muitos modos normais de vibração.

Um tubo aberto de um órgão e colocado nas proximidades de um alto-falante alimentado por um amplificador, emitindo ondas senoidal puras com frequência f que pode varia ajustando-se o amplificador. O ar no interior do tubo aberto é forçado a oscilar com a mesma frequência f da força propulsora produzida pelo alto-falante de acordo com a figura 24 – a (Fig.24 – a). Em geral, a amplitude desse movimento é relativamente pequena, e ao no interior no interior do tubo não se move em nenhum dos modos normais mostrados. Entretanto, quanto a frequência f da força propulsora tiver um valor próximo ao de uma frequência de modos normais, o ar no interior do tubo oscilará com a mesma frequência do modo normal, é a amplitude alimentará

consideravelmente. A figura 24 - b (Fig.24 - b) mostra a amplitude das oscilações no ar no tubo em função da frequência f da força propulsora, a forma desse gráfico e chamada de **curva de ressonância** do tubo; ela forma **picos** quando o valor da frequência f é igual a uma das frequências dos modos normais do tubo. Observe a (Fig.24)

Figura -24 Curvas de ressonância



Fonte: Yong e Freedmam

A forma detalhada da curva de ressonância depende da geometria do tubo.

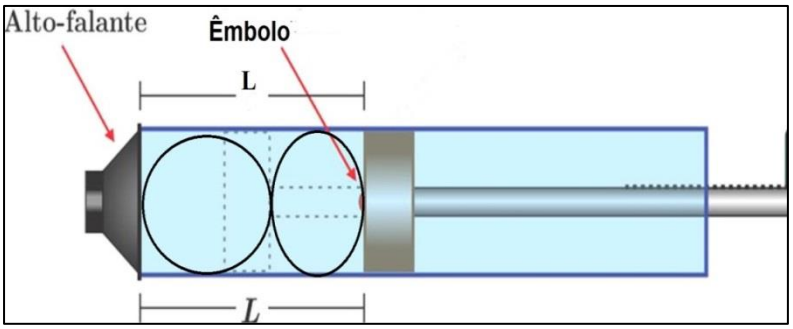
Os mesmo principio físico se aplicar ao tubo fechado a diferença e que na extremidade fechada tem um nó, porém não alteram o as características do fenômeno.

Observe na figura 25 (Fig.25) que é inserido na extremidade de um tubo uma fonte (alto-falante) que emite ondas sonoras com frequência f, produzindo ondas incidentes e refletidas que resultam em ondas estacionárias dentro do tubo. Na outra extremidade, é inserido um êmbolo (pistão) variável, o que permite amentar ou diminuir o comprimento l do tubo.

Com esse mecanismo podemos detectar os modos de vibrações que se formam nos múltiplos da frequência fundamental, com o movimento do êmbolo,

pois na região de picos (amplitude máxima ou mínima) segundo o referencial teórico teremos uma acentuação (aumento) na intensidade das ondas sonoras, isto é, detectar os ponto de ressonância do sistema mecânico.

Figura 25 – Ressonância no tubo fechado



Fonte: www.scielo.br

.Na figura 26 (Fig.26) é apresentado um modelo de tubo fechado, denominado Tubo de Ressonância de Baixo Custo, desenvolvido com a finalidade de detectar os modos de vibrações e calcular a velocidade do som.

Figura 26 – Tubo de ressonância de baixo custo

Para reforça os conceitos de ondas estacionária e ressonância sugerimos o vídeo dos procedimentos de montagem e manuseio com atividade experimental desse tubo, segue o linkin <www.youtube.com/watch?v=ITERTJ-KV5o&t=58s>

7 Descrição dos componentes e Montagem do tubo de ressonância

Um problema na aplicação da metodologia experimental é que a maioria dos experimentos produzidos por empresa tem custo elevado, dificultando a implementação, de metodologia, uma alternativa acessível é explorar experimentos de baixo custo para resolver o problema, portanto esse tópico é dedicado a construção e manuseio de um guia de fabricação do experimento:

O tubo de ressonância necessita:

Três canos de comprimentos e diâmetros assim descritos:

Figura 27 - Tubos

Fonte: Arquivo pessoal

- ✓ 1 Cano de 50 mm de diâmetro e 1 m de comprimento;
- ✓ 1 Cano de 40 mm de diâmetro e 1 m de comprimento;
- ✓ 1 Cano de 20 mm de diâmetro e 1,05 m de comprimento.

Duas tampas:

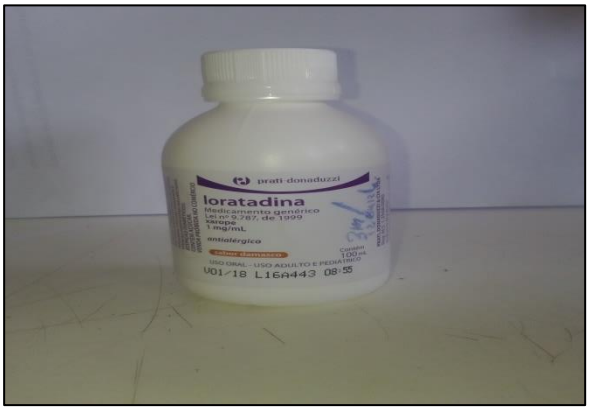
Figura 28 -Tampões

Fonte: Arquivo pessoal

- ✓ 1 tampão para cano de 40 mm de diâmetro;
- ✓ 1 tampão para cano de 20 mm de diâmetro.

Um frasco pequeno, semelhante ao de medicamento, sugerindo-se:

Figura 29 - Frasco de remédio loratadina

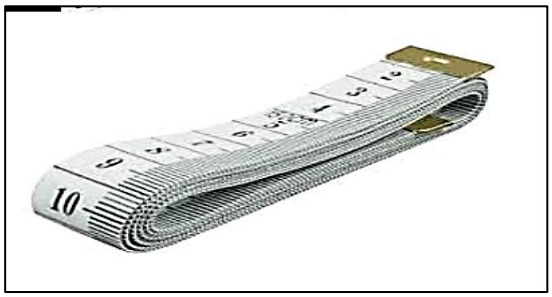


Fonte: Arquivo pessoal

- ✓ 1 um frasco do medicamento loratadina.

Uma fita métrica:

Figura 30 - Fita métrica



Fonte: Arquivo pessoal

- ✓ 1 fita métrica.

Dois adaptadores de rosca um de um de 60 mm e outro de 50 mm

Figura 31 - Adaptadores de redução

Fonte: Arquivo pessoal

Uma mini caixa de som speaker.

Figura 32 - Mini caixa de som

Fonte: Arquivo pessoal

Procedimento de montagem do tubo de ressonância:

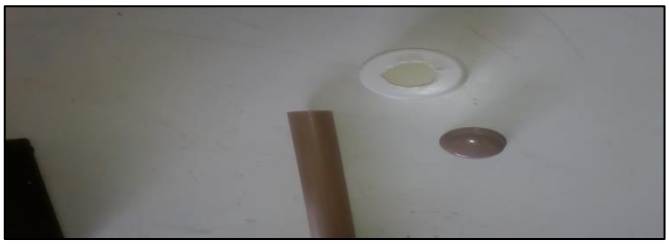
1 ° passo - construção do 1° tubo interno: com auxílio de utilização de fogo, aquecer a ponta do cano de 20 mm para amolecer e dilatar-se, ajustando-se ao tamanho da ponta do frasco. E para a montagem do tubo interno, colocar a ponta do frasco, sem a tampa, do medicamento loratadina, por dentro do cano de 20 mm de 1,05 m de comprimento.

Figura 33 - Introdução do frasco no cano 20 mm, 1° tubo interno

Fonte: Arquivo pessoal.

2° passo - construção do 2° tubo interno (coaxial, eixo central paralelos): fazer um furo no tampão de cano de 40 mm, onde o orifício tem que ser de tamanho suficiente para a outra ponta do cano de 20 mm ultrapassá-lo.

Figura 34 - Tampão de 40 mm furado



Fonte: Arquivo pessoal

3° passo - montagem do conjunto de 1° e 2° tubos internos: insira no cano de 40 mm o cano de 20 mm, em seguida coloque na outra ponta o tampão, sendo que o cano de 20 mm vai passar por dentro do orifício, em seguida coloque o tampão de 20 mm.

Figura 35 - Montagem do 2° tubo interno

Fonte: Arquivo pessoal

4° passo - introdução de escala métrica: firme (fixar) uma fita métrica com fita adesiva transparente sobre o cano de 40 mm, e o restante da fita métrica deve-se inserir por dentro do cano de 40 mm, observando que o início da escala métrica definida deve coincidir com a extremidade do cano de 50mm.

Figura 36 - Finalização do 2° tubo interno

Fonte: Arquivo pessoal

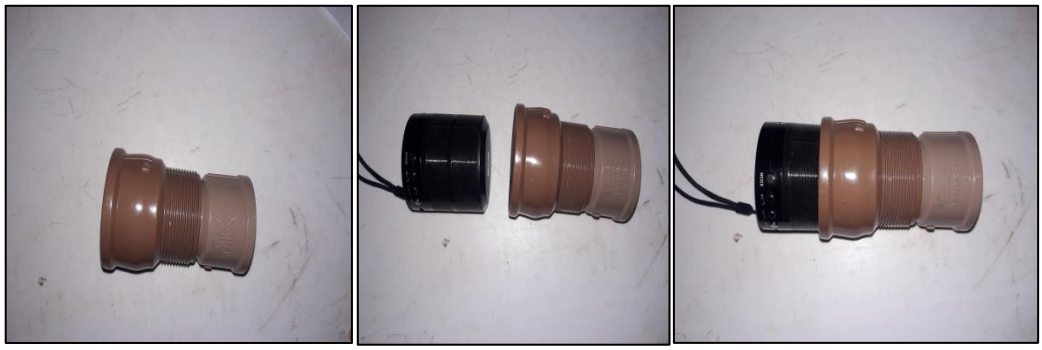
5° passo - montagem do conjunto de 2 tubos internos e 1 externo: insira o cano de 40 mm dentro do cano de 50 mm

Figura 37 - Introdução do cano interno de 40 mm no externo de 50 mm

Fonte: Arquivo pessoal

6° encaixe os adaptadores pela rosca, com o auxilio de um isqueiro aqueça a parte interna do adaptador de 60 mm de modo que o plástico fique maleável em seguida introduza a caixa de som e retire rapidamente antes do pvc retorna ao estado natural.

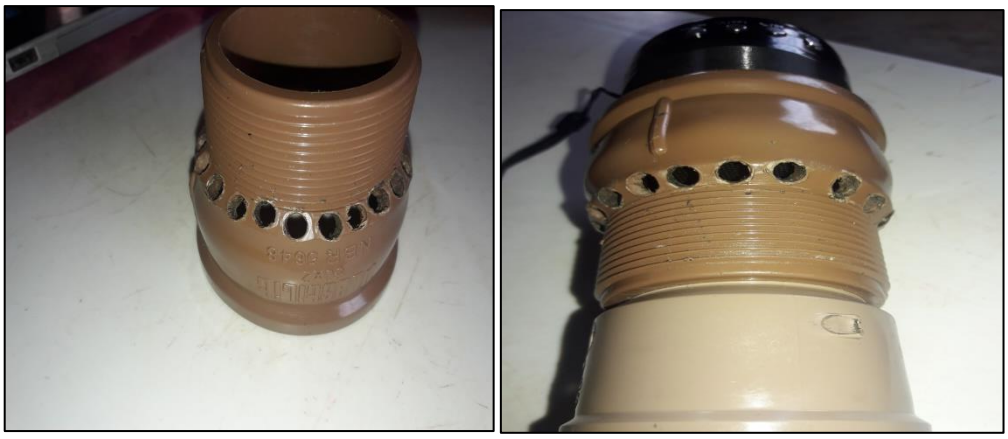
Figura 38 - Encaixe dos adaptadores e caixa de som



Fonte: Arquivo pessoal

7° com auxilio de uma chave de fenda aquecida fure o adaptador de 60 mm.

Figura 39 - Adaptador de 60 mm furado



Fonte: Arquivo pessoal

8° passo encaixe os adaptadores na extremidade do tubo.

Figura 40 - Tubo completo

Fonte: Arquivo pessoal

9° passo - o tubo está concluído, no entanto, para funcionamento deste, necessitamos de um modulador de frequência que pode ser baixado gratuito na loja (www.play store.com) play store.

Figura 41 - Simples tone generator

Fonte: Arquivo pessoal

Em conclusão, com a condução dos procedimentos, o kit completo fica de acordo com a figura 42 (Fig.42).

Figura 42 - Produto tubo de ressonância

Fonte: Arquivo pessoal

Modelo alternativo Sem os adaptadores na figura 43 (Fig.43).

Figura 43 - Modelo alternativo

Fonte: Arquivo pessoal

Observação qualquer dúvida sobre montagem confira a processo no linkin <www.youtube.com/watch?v=ITERTJ-KV5o&t=58s**>.**

Comprovação de produção e percepção de ondas estacionárias

Com o experimento concluído o emissor de ondas sonoras (caixa de som) é programado para emitir ondas com a mesma frequência pelo modulador de frequência. As ondas são conduzidas pela tubulação até o pistão que, segundo o fenômeno de reflexão, estas ondas produzidas retornarão (voltarão) no sentido oposto ao da fonte, coincidindo em determinados pontos do espaço, ocorrendo assim outros dois fenômenos ondulatórios (característicos de

ondas), o principio de superposição e o fenômeno de interferência de ondas, originando ondas construtivas e destrutivas em uma perspectiva de ondas estacionárias.

A comprovação de e ressonância por ondas estacionárias é percebida com a movimentação do pistão, onde podemos localizar os pontos onde a onda apresenta propriedade de elasticidade por compressão e rarefação, o aparelho auditivo apontará uma diminuição na intensidade do som, nos pontos de rarefação chamados de nós da onda (amplitude e igual zero) nesse ponto, nos pontos onde a amplitude é máximos os de compressão chamados de ventre o aparelho auditivo acusará uma atenuação do som o que detecta os modos de vibração de ressonância.

8 ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Utilizando o tubo de ressonância de baixo custo (Fig. 43 ou 44) calcule a velocidade do som.

1. Calcule a velocidade do som.

Frequência de onda f_n (Hz)	Comprimento do tubo L (m)	Número do harmônico	Velocidade do som (m/s)	Comprimento de onda λ (m)

Para calcular a velocidade do som necessitamos das informações acima sendo assim:

Figura 43 – Tubo de ressonância de baixo custo (com adaptador)

Fonte: autor

Figura 44 – Modelo Alternativo do tubo (sem adaptador)

Fonte: autor

O experimento e composto basicamente por três materiais:

- Um celular com aplicativo (simples gerador de tone)
- Caixa de som de preferência as da figura 42 e 43
- Um tubo de 1 m de comprimento com um pistão variável

Manuseio

- O preenchimento da coluna da frequência e determinada pelo aplicativo simples gerador de tone (ao digita-la no espaço apropriado), de preferência na faixa de 200 a 600 Hz, sempre aumentando 100 Hz até 600 Hz

- Calibre o dispositivo na primeira frequência 200 Hz, varie o comprimento do tubo ao movimentar o pistão, procure a última oscilação, isto é aumento do som (ventre), que será detectado de acordo com a teoria uma acentuação (aumento) na amplitude do som detectado pelo aparelho auditivo.

- O último ventre determinará o comprimento L do tubo, o tubo e equipado com uma fita métrica que ao variar o comprimento demostrará o comprimento final que será preenchido na coluna do comprimento, observe que o comprimento esta em cm, será necessário transforma para m antes dos cálculos.

- No modelo com adaptador será necessário que se acrescente mais 8 cm no final de cada comprimento l, referente a distância interna dos adaptadores entre o pistão e caixa de som. No modelo alternativo o comprimento l não é necessário o acréscimo de 8 cm no comprimento final do tubo.

- Para preencher a coluna número do harmônico representado pela letra n, que significa o número de ventres ou rarefação. De acordo com os fundamentos nesse caso partícula n = 1, 3, 5, 7,... confira a tabela: ou seja, para uma frequência determinada:

Pico de atenuação do som (modos normais)	(n) número de ventre
1	1
2	3
3	5

E assim sucessivamente, observando que n ocorrem somente para valores ímpares.

- Com os dados coletados usando a expressão $f_n = \frac{n\ .\ v}{4L}$, e isolando v obtemos $v = \frac{f_n.4L}{n}$ onde v e a velocidade, L comprimento do tubo, f_n a frequência e n o número de ventre.
- Para calcular o comprimento de onda λ basta utilizar $v = \lambda.f_n$ correspondente a cada modo de vibração.
- Após a anotação de todas as velocidades do som anotadas de cada frequência, calcule a média aritmética, e esse será o resultado final da experiência e argumente suas conclusões.

Observação: QUALQUER dúvida sobre manuseio pertinente confira o uso desse dispositivo no linkin **<www.youtube.com/watch?v=xgRwdS_xueA>**

Comprovação de produção e percepção de ondas estacionárias

Com o experimento concluído o emissor de ondas sonoras (caixa de som) é programado para emitir ondas com a mesma frequência pelo modulador de frequência. As ondas são conduzidas pela tubulação até o pistão que, segundo o fenômeno de reflexão, estas ondas produzidas retornarão (voltarão) no sentido oposto ao da fonte, coincidindo em determinados pontos do espaço, ocorrendo assim outros dois fenômenos ondulatórios (característicos de ondas), o principio de superposição e o fenômeno de interferência de ondas,

originando ondas construtivas e destrutivas em uma perspectiva de ondas estacionárias.

A comprovação de ondas estacionárias é percebida com a movimentação do pistão, onde podemos localizar os pontos onde a onda apresenta propriedade de elasticidade por compressão e rarefação, o aparelho auditivo apontará uma diminuição na intensidade do som, nos pontos de rarefação da onda (amplitude mínima) nesse ponto, nos pontos onde a amplitude é máximos os de compressão o aparelho auditivo acusará uma atenuação do som.

2. Defina o que é som? De que maneira o som pode se propagar?

3. Classifique onda sonora em mecânica ou em eletromagnética? Justifique?

4. Qual é o valor da velocidade do som? Esse valor é constante? Justifique?

5. O que são ondas construtivas e destrutivas?

6. Como se origina ondas estacionárias em um tubo com uma das extremidades fechada?

7. De acordo com as características de ondas estacionárias explique o que é ventre no tubo com uma extremidade fechada?

8. De acordo com as características de ondas estacionárias explique o que é nó no tubo com uma extremidade fechada?

9. (UFRJ) o canal que vai do tímpano à entrada do ouvido pode ser considerado um tubo cilíndrico de 2,5 cm de comprimento, fechado em uma extremidade e aberta em outra. Considere a velocidade do som no

ar igual 340 m/s. calcule a frequência fundamental de vibração da coluna de ar contida nesse canal.

10. Suponha que a velocidade do som em determinada região seja 336 m/s. Qual a frequência fundamental que um boiadeiro pode conseguir com um berrante de 1,2 m de comprimento nessa região? Obs: (considere o berrante como um tubo com uma das extremidades fechada)

11. (Ufes) em determinada flauta faça um esboço dos três primeiros modos de vibração.