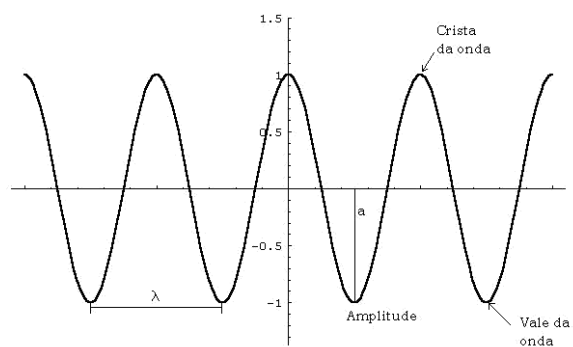








ONDAS e SONS

Prof. Rangel Martins Nunes



Outubro de 2018

CONTEÚDOS:

-  *Definição de onda;*
-  *Comprimento de onda, frequência e período;*
-  *Reflexão e difração de ondas*
-  *Tipos de onda;*
-  *Ondas Sonoras;*
-  *Intensidade Sonora;*

Introdução

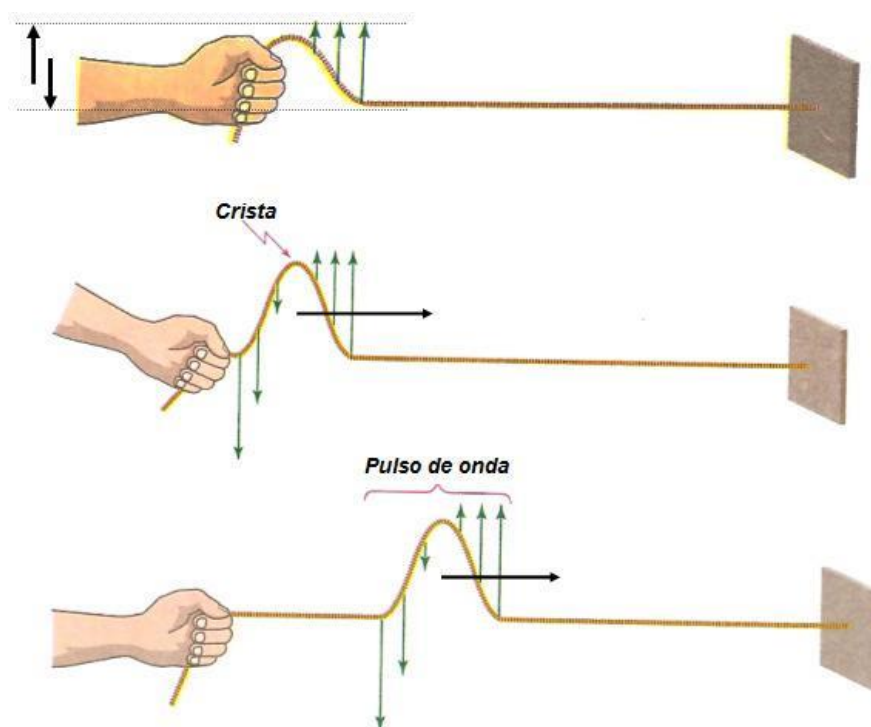
Estudaremos um dos fenômenos físicos mais importantes da Física: as ondas. Provavelmente todos já ouviram falar sobre ondas; ondas do mar, as microondas, ondas de rádio, ondas sonoras. O que são exatamente estas ondas e quais são suas características comuns. Veremos agora em detalhe o conceito de onda e suas principais características;

Definição de Onda

Onda ou pulso de onda é qualquer perturbação que se propaga através de um meio, transmitindo energia aos pontos do meio. Onda **é, portanto uma forma de transmissão de energia através de um meio** (substância ou material no qual a onda se propaga).

Podemos observar um fenômeno ondulatório de diversas formas: Quando você agita uma corda esticada; tocas um espelho d'água etc. Veremos que som e luz são também fenômenos ondulatórios (apesar de serem de naturezas distintas).

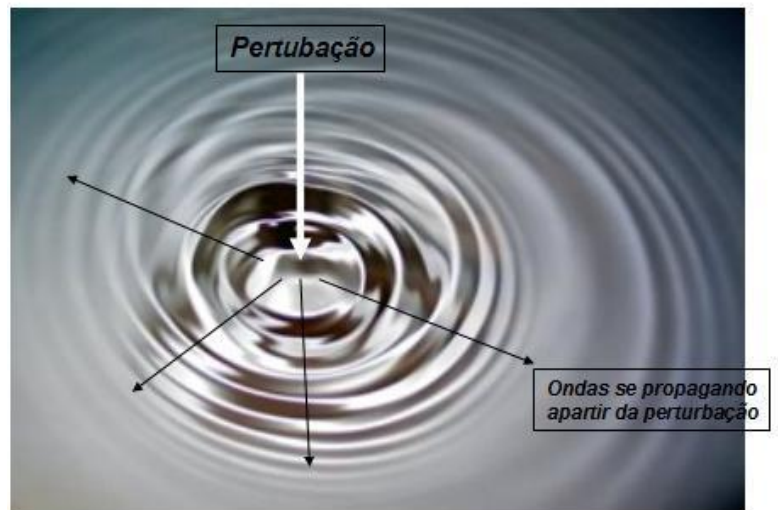
Agitação de uma corda: Em uma corda esticada com uma das extremidades presas, uma pessoa segura à extremidade livre e balança esta extremidade para cima e para baixo. Observa-se a propagação de uma perturbação com o mesmo tamanho do movimento executado pela mão da pessoa. Esta perturbação formada seguido do movimento da mão chama-se pulso (pulso de onda). Observe a sequência:



A ***crista***, a parte mais alta da onda, tem a mesma altura do movimento executado pela mão da pessoa. Cada ponto da corda exerce um movimento de sobe e desce, com a mesma amplitude do impulso dado pela mão.

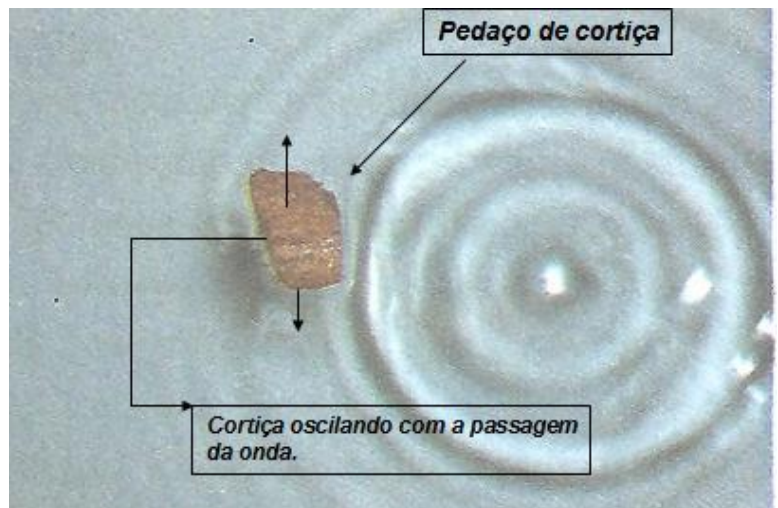
Onda em um espelho de água: Suponha um espelho d'água (uma poça, tanque de água) com água parada (sem qualquer perturbação). Quando um objeto toca nesta água aparecerão imediatamente ondas se propagando radialmente a partir do ponto de perturbação. Esta onda tem características semelhantes à onda que se propaga pela corda

Nestes dois exemplos a corda e a água, são os **meios** pela qual as ondas se propagam. A corda e a água não são empurradas, ou seja, não temos deslocamento da massa do meio.



O transporte de energia.

Vimos que ondas transportam energia. Vamos visualizar um exemplo: um pedaço de cortiça (rolha) está boiando em uma bacia de água. A água está em repouso juntamente com a cortiça. É deixado cair uma pedrinha no centro da bacia com água e quando a pedra bate na água surge uma onda que se propaga. A onda ao passar pela cortiça provoca nela um movimento de sobe e desce, porém ela não é arrastada no sentido de propagação da onda. A pedrinha possuía energia cinética, ao colidir com a água transfere parte desta energia para a água, sob a forma de onda; e esta onda entregou a energia cinética da pedra à cortiça.



A onda atuou, portanto como um meio de transmissão da energia cinética até a pedra.

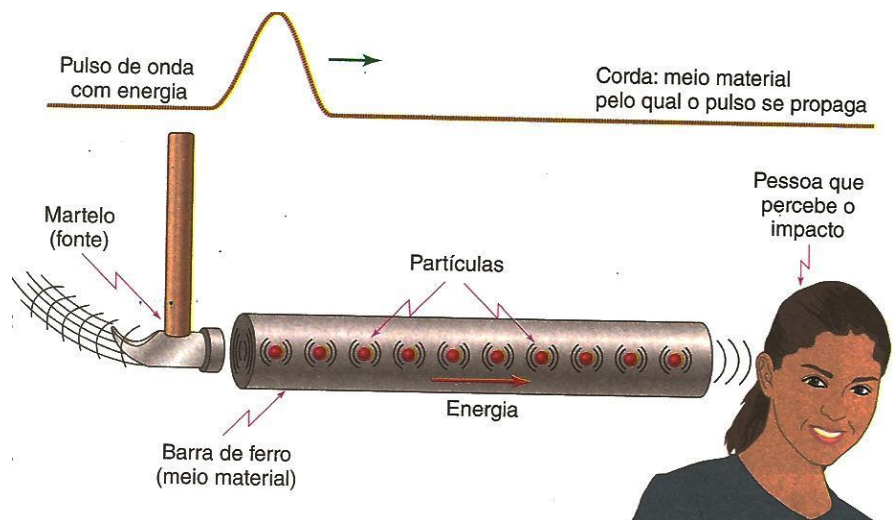
Você observa a mesma situação em uma lagoa com ondulações quando uma bóia executa movimentos de sobe desce, sem, no entanto ser carregada pela onda.

Uma onda não transporta matéria, apenas energia.

Ondas de pressão longitudinais

Além destes tipos de ondas, onde a deformação do meio é visível devido à passagem da onda, existem ondas que se propagam pelo interior dos materiais sólidos, líquidos e gasoso. Veremos que os sons são propagações de ondas.

Neste caso um impulso de pressão é aplicado no material e este impulso de pressão se transmite de partícula a partícula (que constitui o material). Também não há qualquer transporte de matéria, apenas energia. **A Figura ao lado faz uma comparação entre um pulso em uma corda e a propagação de um pulso de pressão.**



Características de uma onda.

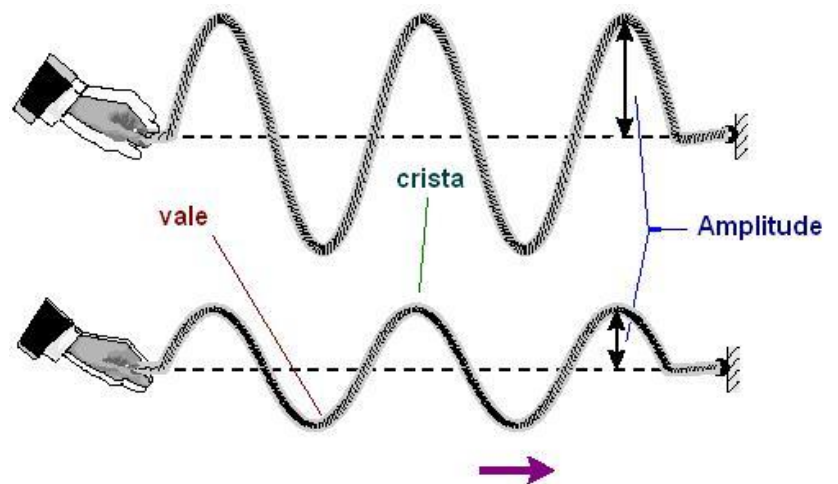
Vamos analisar detalhadamente uma onda:

Crista: é a parte (ponto do meio) mais elevada da onda em relação ao ponto de equilíbrio das partículas do meio material. Tem a mesma dimensão da movimentação da fonte geradora no meio.

Vale: na posição contrária a crista tem o vale ou cavado que corresponde ao ponto mais baixo da onda.

Amplitude: é a distância da crista ao ponto de equilíbrio das partículas do meio, ou seja, do meio em repouso.

Três grandezas são necessárias para caracterizar uma onda de qualquer tipo:

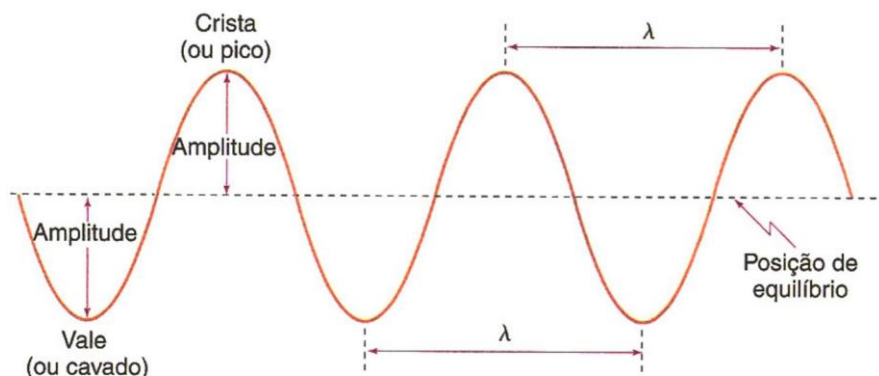


Comprimento de onda, período e frequência.

Comprimento de onda (λ): É a distância entre duas cristas sucessivas ou dois vales sucessivos. Um comprimento de onda é gerado quando o gerador de ondas volta à posição inicial (completa um ciclo). O comprimento de onda pode ser expresso em submúltiplos do metro (*m, cm, mm etc*).

Período (T): é o tempo necessário para o gerador de ondas gerarem um comprimento de onda, ou seja, um ciclo completo. No caso da corda, por exemplo, é o tempo de a pessoa levantar a mão e trazê-la a posição inicial (subir e descer). O período de uma onda é dado em unidade de tempo (no S.I é o **segundo**). **O período da onda é sempre igual ao período da fonte.**

Na figura abaixo, representação de uma onda senoidal transversal, com seus principais componentes:



Representação analítica de uma onda e suas componentes.

Frequência (f): é número de oscilações por unidade de tempo, ou seja, é o numero de comprimento de ondas ($n \cdot \lambda$) gerado por unidade de tempo (normalmente s).

$$f = \frac{n\lambda}{\Delta t}$$

Onde **n** é o numero de comprimentos de onda e **t** é o tempo correspondente.

A unidade de **frequência** no S.I. é o **Hertz (Hz)**. Nesta unidade, **t = 1s**. Esta unidade corresponde, portanto aos ciclos por segundo (comprimentos de onda por segundo). Podemos relacionar **T** e **f** pela equação:

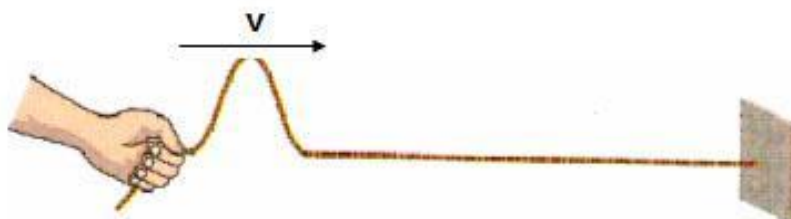
$$f = \frac{1}{T}$$

Como observamos na equação, frequência e período são inversamente proporcionais:

quanto maior o período menor é a frequência e vice-versa.

Velocidade de uma onda v: Os pulsos de onda se propagam pelo meio com uma determinada velocidade.

Esta velocidade depende da densidade do meio no qual a onda se propaga.



Pulso aplicado em uma corda que se propaga com velocidade v.

Quanto mais denso o meio (por exemplo, quanto mais pesada a corda) mais lenta será a onda. A velocidade de propagação de um pulso de onda no meio é constante e podemos relacionar com a frequência, período e velocidade com a seguinte equação:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{e} \quad T = \frac{1}{f} \quad \text{a velocidade de uma onda} \quad v = \lambda \cdot f$$

Exemplo

- 1) Um gerador de ondas cria ondas senoidais em uma cuba de ondas. Sabendo que a haste do gerador leva **2s** para subir e descer (completar um ciclo), determine:

- a) A frequência da onda;

$$T = 2\text{s e } f = 1/T$$

$f = 1/2$ ou $f = 0,5 \text{ Hz}$. Em 1s nós temos a formação de apenas meia onda.

- b) Se o comprimento da onda é de **40 cm**, determine a velocidade, em **m/s**, de propagação das ondas;

$$\lambda = 40 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 0,4 \text{ m}$$

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = 0,40 \cdot 0,5 = 0,2 \text{ m/s ou}$$

ainda 20 cm/s.

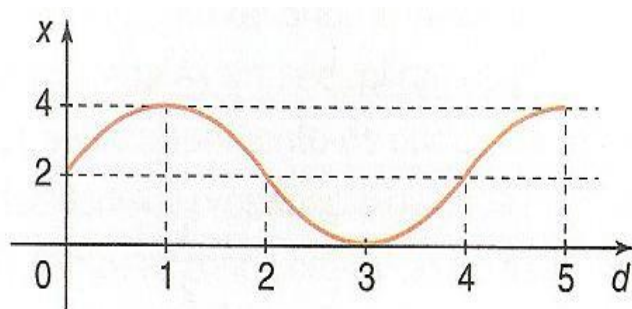
- 2) Uma onda, com frequência de **50 Hz**, propaga-se em uma corda com uma velocidade de **100 m/s**. Determine o seu comprimento de onda λ .

$$v = f \cdot \lambda$$

$$100 = 50 \cdot \lambda$$

$$\lambda = 100/50 = 2 \text{ m}$$

- 3) O gráfico mostra a variação da elongação x de uma onda com a distância d percorrida por ela



O **comprimento de onda** λ , em cm, e a **amplitude** A , também em cm, são respectivamente iguais a:

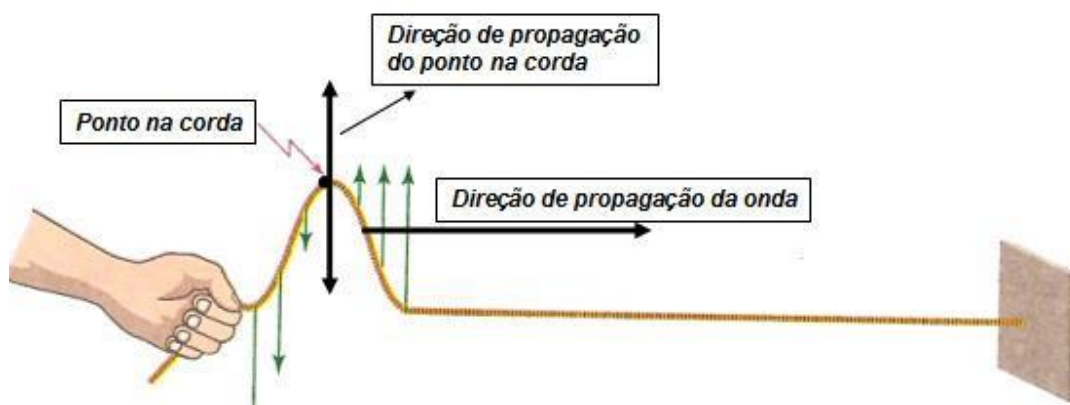
- a) 2 e 2. c) 3 e 2. e) 4 e 4.
b) 3 e 4. d) 4 e 2.

Tipos de ondas

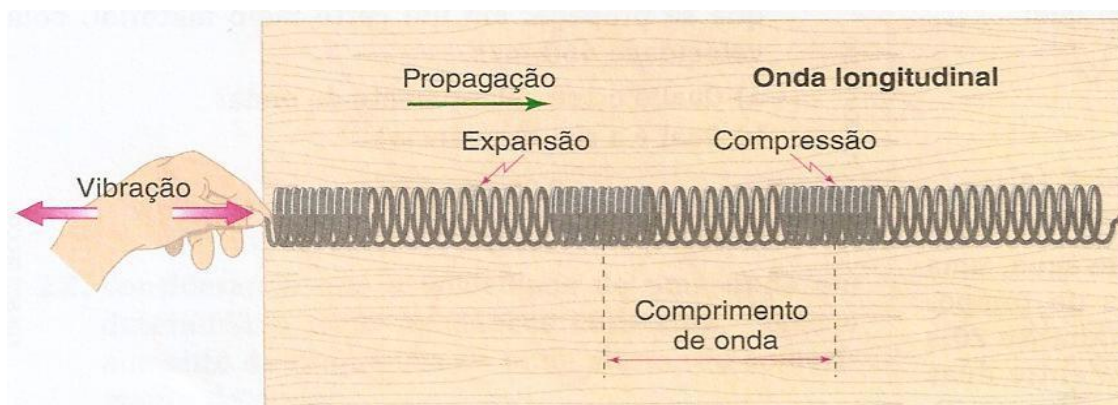
As ondas podem ser classificadas quanto à orientação de movimentação ou vibração das partículas do meio.

Podem ser **transversais** e **longitudinais**.

Ondas transversais: São as ondas cuja direção de vibração das partículas do meio é transversal (perpendicular) a direção de propagação da onda. As ondas na superfície d'água e em uma corda são exemplos deste tipo de onda. Em uma corda, como no exemplo abaixo, um ponto sobre ela vibra para cima e para baixo enquanto a onda propaga-se para direita.

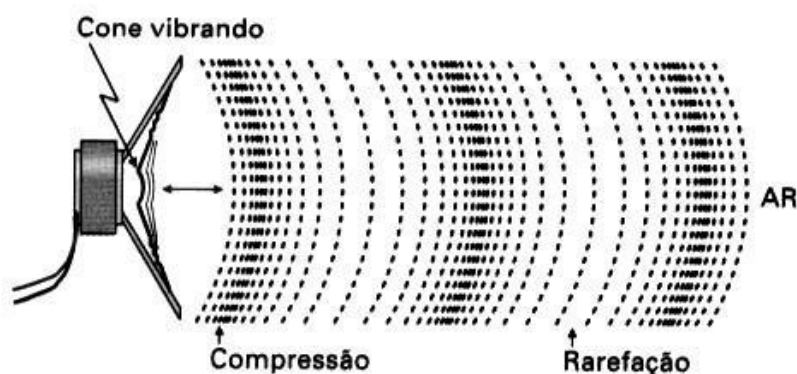


Ondas longitudinais: São as ondas cuja vibração das partículas do meio é na mesma direção da propagação das ondas. São exemplos destas ondas: **ondas sonoras**, **ondas no interior dos meios** e **ondas sísmicas**. São ondas de compressão e rarefação/expansão. Podemos visualizar este tipo de onda em uma mola **Slink** (brinquedo). Observe a figura abaixo:



Observamos este efeito de expansão e compressão na formação dos sons, quando um auto falante gera áreas de pressão e rarefação no ar. Estas áreas de pressão e rarefação no ar é que geram os sons.

Tomamos como exemplo a geração de som por um alto falante. Quando o cone do alto falante vai para frente gera área de pressão onde as moléculas de ar são comprimidas e quando o cone retorna a posição original, cria áreas de rarefação. Estas



Ondas de pressão e descompressão geradas no ar pelo auto falante.

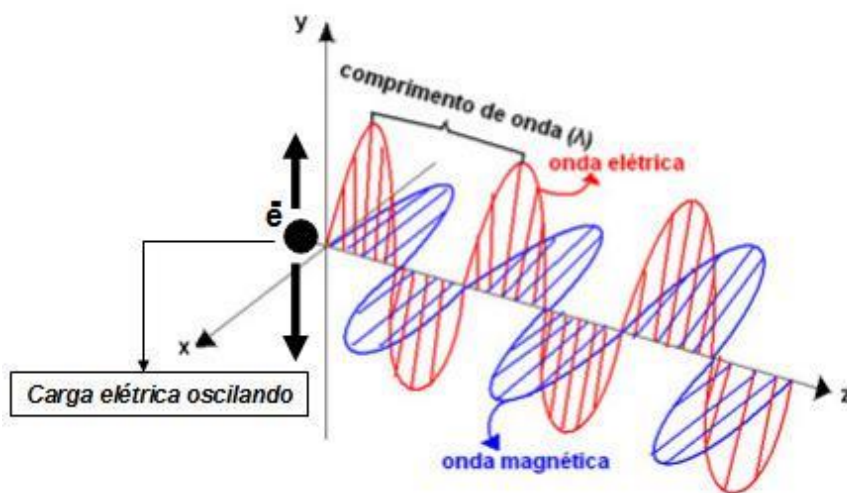
áreas de compressão irão vibrar o tímpano de nossos ouvidos. As ondas em sólidos e líquidos se propagam de maneira semelhante.

As ondas ainda podem ser classificadas quanto a sua natureza, sendo de dois tipos:

Ondas mecânicas: São as ondas que necessitam de um meio material para se propagarem, como as ondas em uma corda, na água e as ondas sonoras.

Ondas eletromagnéticas: São as ondas que não precisam de um meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo. São as ondas eletromagnéticas (estudaremos no terceiro ano) que são variações simultâneas na intensidade do **campo elétrico** e **magnético** que uma carga elétrica que oscila no espaço. Estas ondas são do tipo transversal.

São ondas eletromagnéticas: luz visível, infravermelho, ultravioleta, raios X, micro-ondas, ondas de rádio etc.



Onda eletromagnética gerada pelo movimento oscilatório de uma carga elétrica (elétron).

Reflexão (Eco) e refração de ondas

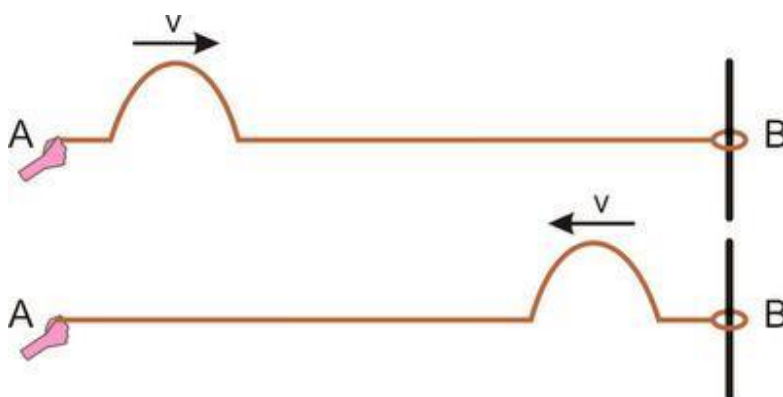
As ondas podem sofrer desvios de sua trajetória original, semelhante a corpos que se chocam em obstáculos:

Veremos dois tipos de efeitos decorrentes do encontro das ondas com obstáculos ou meios de densidades diferentes.

Reflexão perpendicular: Ocorre quando a onda choca-se com um meio de densidade muito alta, no qual a onda não se propaga. Se a onda incidir perpendicularmente no meio refletor, ela será rebatida para o sentido oposto (de volta para o gerador).

Na figura ao lado uma onda com velocidade v propaga-se em direção ao anteparo B, sendo refletida de volta neste anteparo. **A onda refletida**

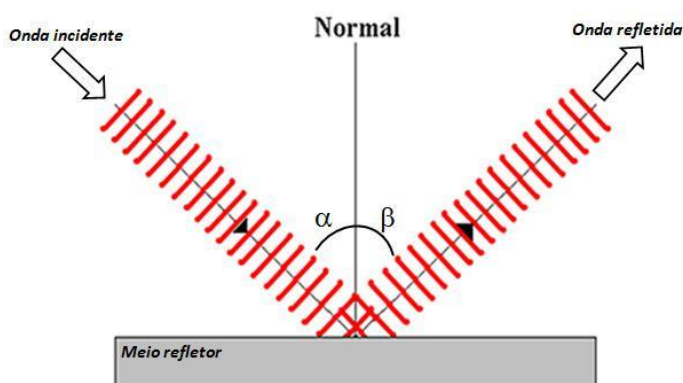
voltara no sentido oposto com a mesma velocidade v caso o anteparo não absorva a energia da onda



Reflexão em ângulo: Ocorre quando a incidência não é perpendicular a superfície do meio refletor, mas em ângulo. Neste tipo de reflexão, o ângulo que a onda incidente faz com uma reta normal a superfície refletora, é o mesmo ângulo que a onda refletida faz com a mesma reta perpendicular.

Na figura uma onda incide no meio refletor com um **ângulo α** (em relação à reta normal) e é refletida com um **ângulo β** (em relação à reta normal). O eco sonoro é decorrente da reflexão de ondas sonoras, que se propagam

no ar ou na água, em meios muito densos. A repetição de um som que escutamos no eco é a reflexão do som emitido que chega até nossos ouvidos. A onda refletida como no primeiro caso, terá mesma velocidade, amplitude e frequência caso o meio não absorva energia da onda.



Refração de ondas

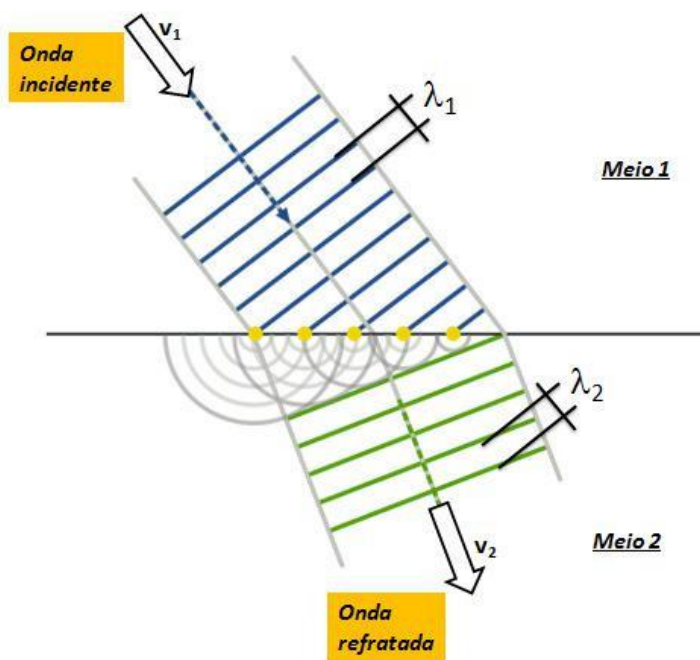
É o fenômeno que ocorre quando uma onda passa de um meio para outro de características distintas, tendo sua direção desviada.

Independente de cada onda, sua frequência não é alterada na refração, no entanto, a velocidade e o comprimento de onda podem se modificar.

Através da refração é possível explicar inúmeros efeitos, como o arco-íris, a cor do céu no pôr-do-sol e a construção de aparelhos astronômicos.

A refração de ondas obedece duas leis que são:

- **Primeira Lei da Refração:** O raio incidente, a reta perpendicular à fronteira no ponto de incidência e o raio refratado estão contidos no mesmo plano.
- **Lei de Snell:** Esta lei relaciona os ângulos, as velocidades e os comprimentos de onda de incidência de refração, sendo matematicamente expressa por:



A relação entre os comprimentos de onda, velocidade e ângulos (de incidência e refração) estão expressos na equação seguir:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

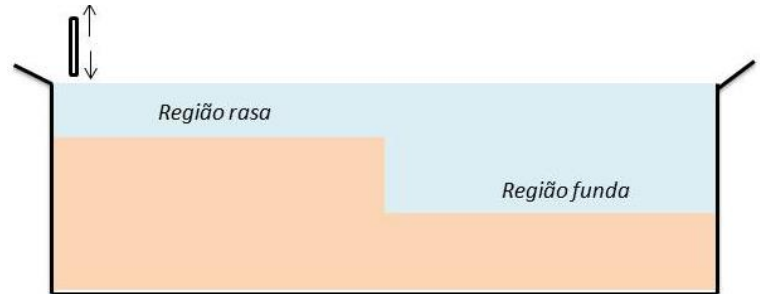
Onde θ_1 e θ_2 são os ângulos de incidência e refração, respectivamente.

EXEMPLO 1) Uma onda se propaga por uma superfície líquida, com $v = 5 \text{ cm/s}$, ao atravessar uma interface com um outro líquido, incidindo a 60° , sua velocidade aumenta para 2 cm/s . Determine:

- o ângulo de refração (r);
- Se o comprimento da onda incidente é de 2 cm , qual será o comprimento da onda refratada (λ_2)?

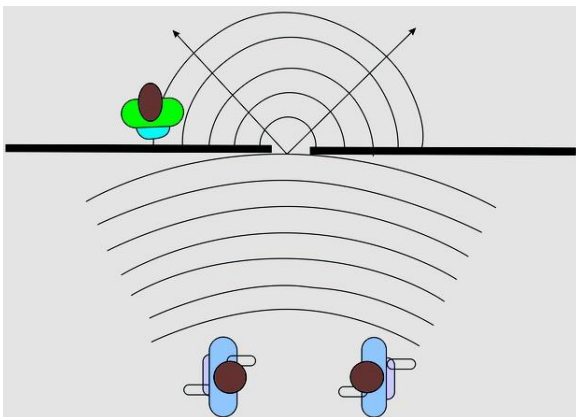
EXEMPLO 2) A figura mostra uma cuba de ondas onde há uma região rasa e outra profunda, com uma régua são provocadas perturbações periódicas retas a cada **0,4s**, que se propagam na superfície da água. Sabendo que λ_1 (comprimento de onda na região rasa) é de **2 cm**, i (ângulo de incidência) é igual a **30°** e v_2 (velocidade da onda na região funda) é igual a **5.√2 cm/s**, determine:

- A velocidade (v_1) na região rasa;
- O comprimento de onda (λ_2) na região funda;
- O ângulo de refração (r);

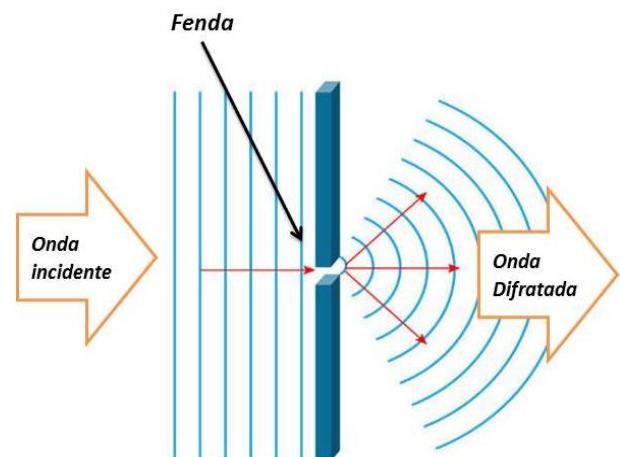


Difração de ondas

Chama-se difração de uma onda o encurvamento sofrido pelos seus raios quando a onda encontra um obstáculo a sua propagação. É pelo efeito de difração que conseguimos escutar sons de uma fonte sonora que esta atrás de um obstáculo.



Ouvinte (verde) escuta os de barulho de pessoas (azuis) através de uma fenda.



Onda incidente é difratada ao propagar-se por uma fenda estreita. A fenda atua como uma nova fonte sonora.

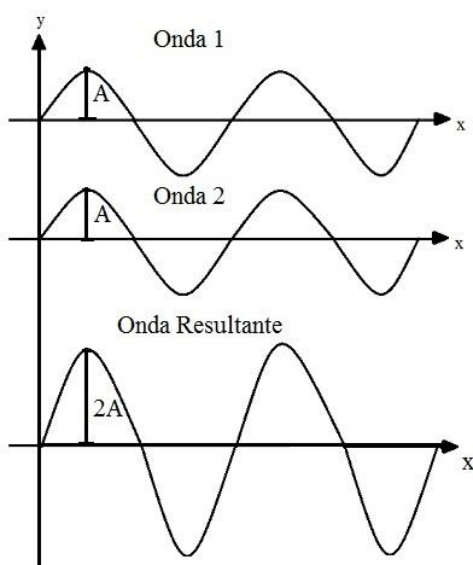
Quando uma onda incidente passa por fendas (como mostrado na figura da direita), cada fenda se comporta como um ponto gerador de ondas. Este fenómeno é conhecido como **Princípio de Huygens**.

- Links para assistir: <https://www.youtube.com/watch?v=AjHMKqKTJJY>
<https://www.youtube.com/watch?v=3-tymln0b1U>

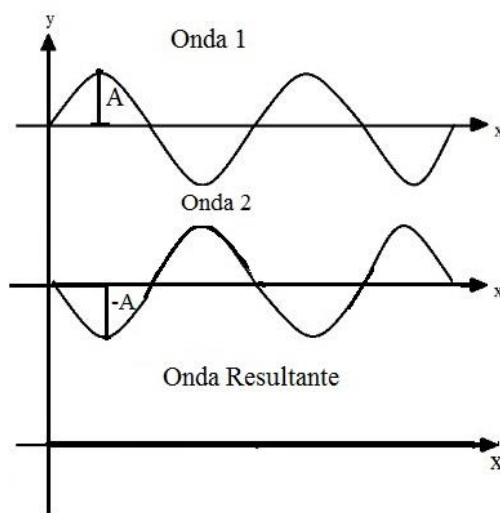
INTERFERENCIA CONSTRUTIVA E DESTRUTIVA

É o fenômeno no qual duas ou mais ondas, que se propagam em um mesmo meio, se combinam de forma a aumentar a amplitude da onda resultante, ou se estiverem em inversão de fase, se cancelam mutuamente, resultando em uma onda de amplitude nula.

Se as ondas se combinam ganhando amplitude, a interferência é do tipo **CONSTRUTIVA**, se as ondas em inversão de fase, se cancelam, dizemos que a interferência é **DESTRUTIVA**.



Interferência construtiva (onda resultante com $2A$).



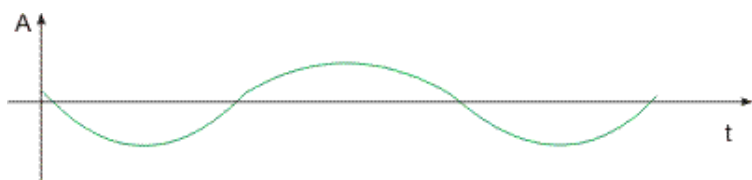
Interferência destrutiva (onda resultante com $A = 0$).

RESSONÂNCIA

O fenômeno de ressonância ocorre quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações de frequências iguais a uma de suas frequências naturais de vibração. Com esta energia o sistema passa a vibrar com amplitudes cada vez maiores. Na ressonância um sistema mecânico pode ter seu limite de elasticidade ultrapassado, o que pode provocar seu rompimento.

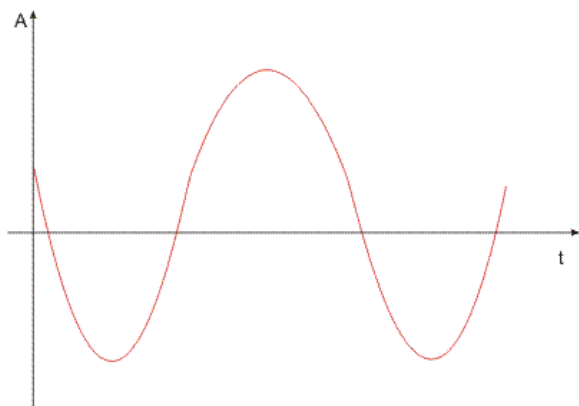
O rompimento da ponte **Tacoma Narrows**, em 1940, pode ter sido provocado por um efeito de ressonância.

Imagine que esta é uma ponte construída no estilo pênsil, e que sua frequência de oscilação natural é dada por:



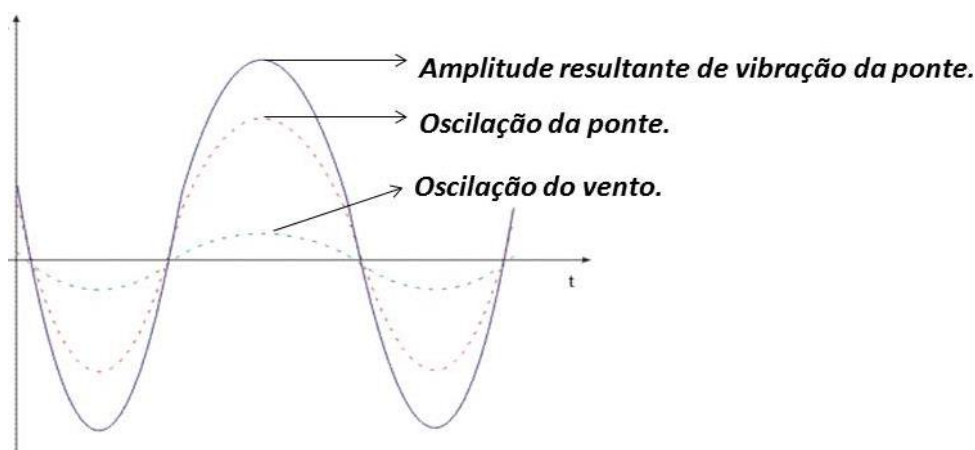
Ponte Tacoma Narrows, colapsou em 1940 devido a um efeito de ressonância com o vento que passava sob a ponte.

Ao ser balançado por um vento de frequência:



*Um sistema físico é dito em **RESSONÂNCIA** com um agente excitador quando recebe excitações Periódicas numa frequência igual a uma de suas Frequências naturais de vibração.*

A amplitude de oscilação da ponte passará a ser dada pela **superposição das duas ondas** (do vento e da frequência natural de vibração da ponte):

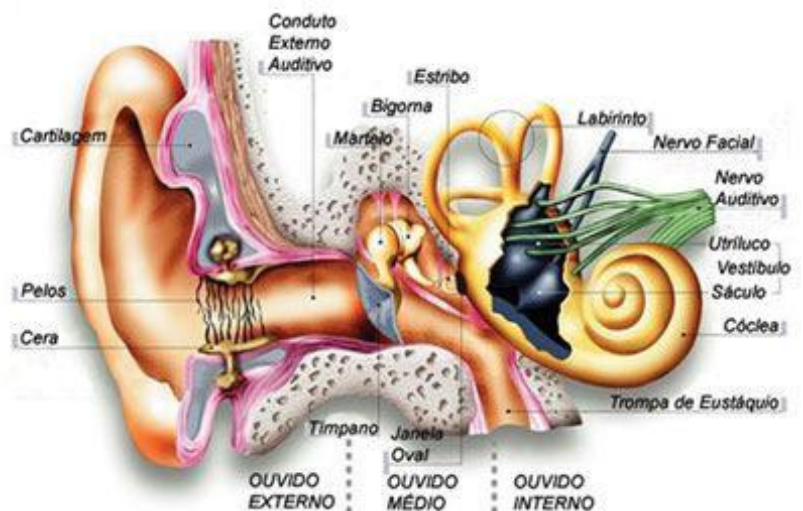
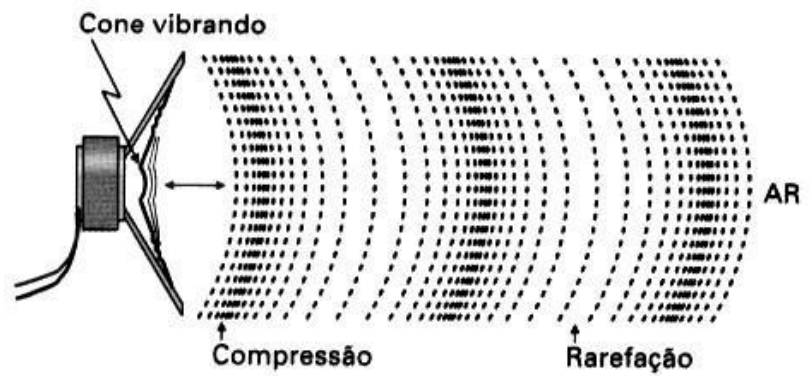


ONDAS SONORAS

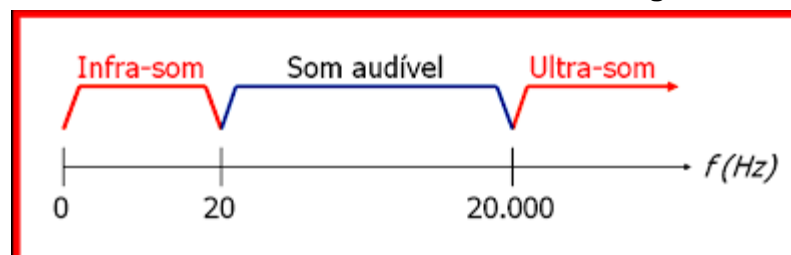
São **ondas mecânicas longitudinais** que se propagam em meios sólidos, líquidos e gasosos. Como vimos estas ondas são formadas por uma série de compressões e rarefações nas moléculas que constituem o meio de propagação.

Nosso ouvido, e também de outros animais, é o órgão responsável por captar este tipo de onda que carrega “informações sonoras”. As ondas sonoras fazem vibrar o **tímpano** (na mesma frequência) e este por sua vez, através de uma **série de**

ossículos, excita o nervo auditivo que transmite impulsos elétricos ao cérebro como informação. Porém não é qualquer onda sonora que excita o tímpano mais ondas em determinadas frequências, na faixa dos **20 Hz a 20000 Hz**. Esta é chamada faixa audível e abaixo de **20 Hz** temos os **infrassons** e acima do **20000 Hz** temos os **ultrassons**. Alguns animais, como os cachorros, conseguem ouvir **infrassons** e **ultrassons**. Os ultrassons são utilizados em imageamentos clínicos, como o ultrassom fetal.



Fisiologia do ouvido.



F A faixa audível do ser humano é entre 20Hz a 20 KHz.

Volume Sonoro

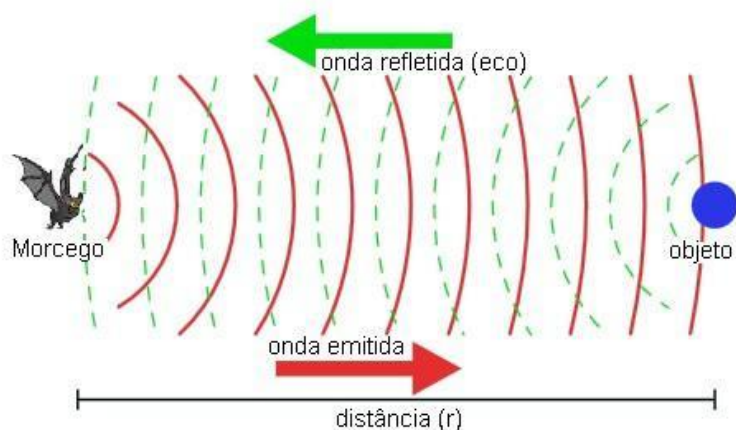
O volume de um som (som alto ou baixo) refere-se à **amplitude A** da onda sonora.

Velocidade do som

A velocidade de propagação das ondas sonoras depende da densidade do meio. O som se propaga com maior velocidade em sólidos, seguido e gasoso. **No ar a velocidade de propagação da onda sono é de aproximadamente 340 m/s.** Como vimos o som é uma onda mecânica, logo precisa de um meio material para se propagar, logo ele não se propaga no vácuo.

O Radar e a Eco Localização (Biosonar)

Radar é um sistema de localização e medida de distância a um ponto remoto. Baseia-se na emissão de uma onda de **radiofrequência** ($\lambda \approx 1\text{m}$) de uma determinada frequência e a posterior captação do eco da onda emitida no alvo. Com este sistema é possível saber a distância do radar (emissor da onda) até o alvo (onda a onda é refletida novamente para o radar) e a velocidade de deslocamento do alvo.



Esquema da ecolocalização em morcego

O **biossonar** é um radar natural utilizado por alguns animais para localizar presas e desviar-se de barreiras. Golfinhos e morcegos, por exemplo, são espécimes que possuem biossonar. As ondas emitidas são **ultra-sônicas** na faixa de **20 kHz a 150 kHz**.

Altura do som: A altura do som esta relacionado à amplitude da onda sonora.

EXEMPLO 1) Um estudante, ao ver a queda de uma raio, escuta o barulho do trovão **4s** após a visualização do raio. Qual é aproximadamente a distancia da queda do raio ao estudante? considera **$V_{\text{som}} \approx 340 \text{ m/s}$** .

EXEMPLO 2) - (PUC – Campinas) 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 aproximadamente **340 m/s**. Determine o comprimento de onda do som mais grave e do som mais agudo que ele consegue ouvir.

Intensidade sonora e nível de intensidade sonora β

A intensidade do som é a qualidade que nos *permite caracterizar se um som é forte ou fraco e depende da energia que a onda sonora transfere*. A medida de intensidade sonora é utilizada para classificar os efeitos danosos dos sons ao nosso sistema auditivo.

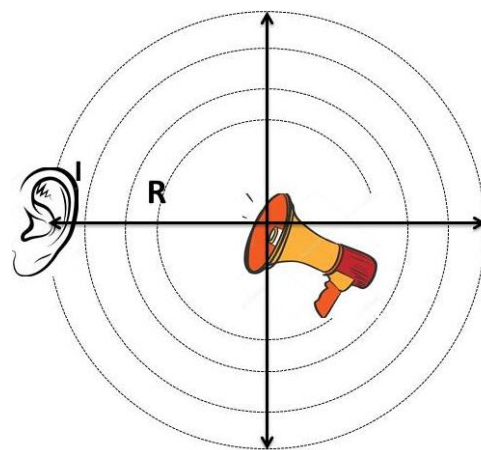
A unidade de medida do nível intensidade sonora é o decibel (**dB**), é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou Intensidade) em relação a um nível de referência especificado. Uma relação em decibéis é igual a dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre duas quantidades de energia (a intensidade a ser medida e a referência). Um decibel é um décimo de um bel, uma unidade raramente usada.

A **intensidade sonora (I)** está diretamente ligada à potência da fonte emissora (**P_{ot}**) e a área no espaço que será atingido pela onda sonora. A propagação das ondas sonoras é tridimensional e esférica (radial), logo a área atingida por uma onda sonora será circular e

$$A = 2.\pi.R^2$$

A **intensidade sonora I** será dada por:

$$I = \frac{P_{ot}}{A} \rightarrow I = \frac{P_{ot}}{4\pi R^2}$$



Para que a orelha humana perceba a onda sonora como som, ela deve ter intensidade aproximadamente entre **10^{-12} W/m^2** (quase silêncio absoluto) e **1 W/m^2** (limiar da dor)

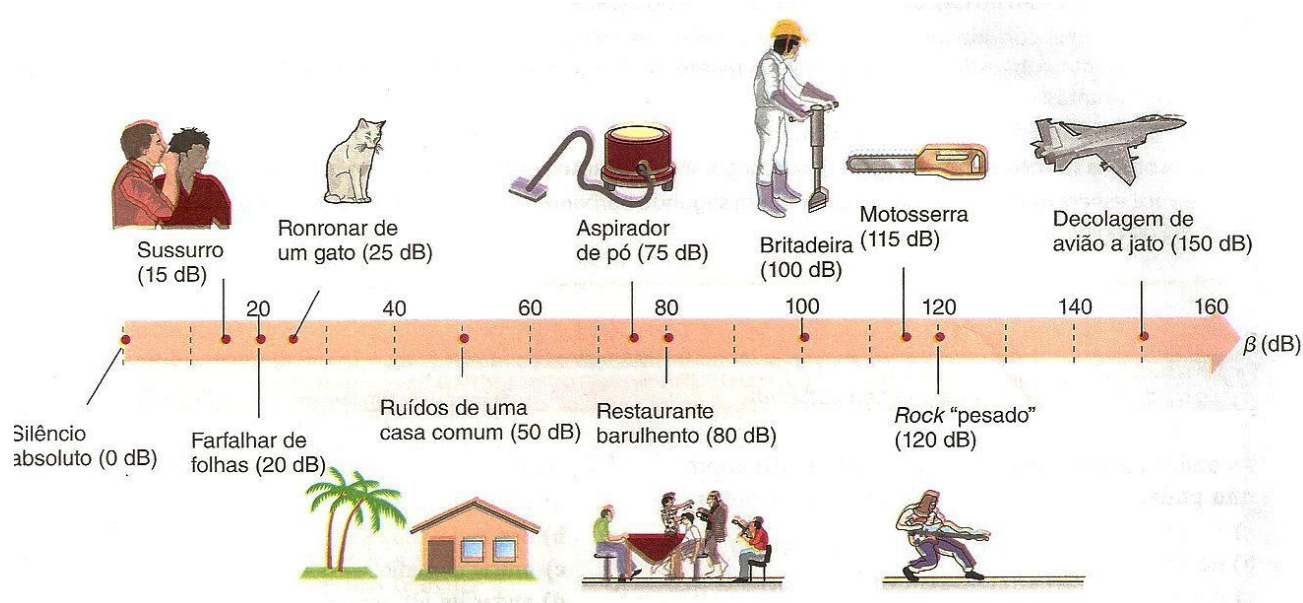
O **nível de intensidade sonora (β)** medido em **dB** é a intensidade sonora no qual a audição humana é sensível e esta medida é em relação ao som mais baixo que podemos sentir (**10^{-12} W/m^2**). Nossos ouvidos detectam som em **escala logarítmica**, ou seja, x10, x100, x1000 etc.

Calculamos o **nível de intensidade sonora** (β):

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_{ref}}$$

Assumiremos, $I_{ref} = I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$

Onde **I** é a intensidade sonora medida e **I₀** é a menor intensidade sonora que o ouvido humano detecta, **I₀ = 10⁻¹² W/m²**. Na figura abaixo, abaixo alguns níveis de intensidade sonora e exemplos.



PROPRIEDADES DOS LOGARITMOS

1. $\log_a 1 = 0$	→ logaritmo de 1 na base a = 0
2. $\log_a a = 1$	→ logaritmo na base a de a = 1 <ul style="list-style-type: none"> A base anula ou simplifica o valor do logaritmando ou argumento.
3. $\log_a b = \frac{1}{\log_b a}$	→ Inverso do logaritmo <ul style="list-style-type: none"> O logaritmo de b na base a é igual a fracção de 1 a dividir pelo logaritmo de a na base b.
4. $\log_a b = x \Rightarrow b = a^x$	→ regra geral do logaritmo <ul style="list-style-type: none"> O logaritmo na base b na base a é igual a x, é o mesmo que; b é igual a a levantado ao resultado do logaritmo x.

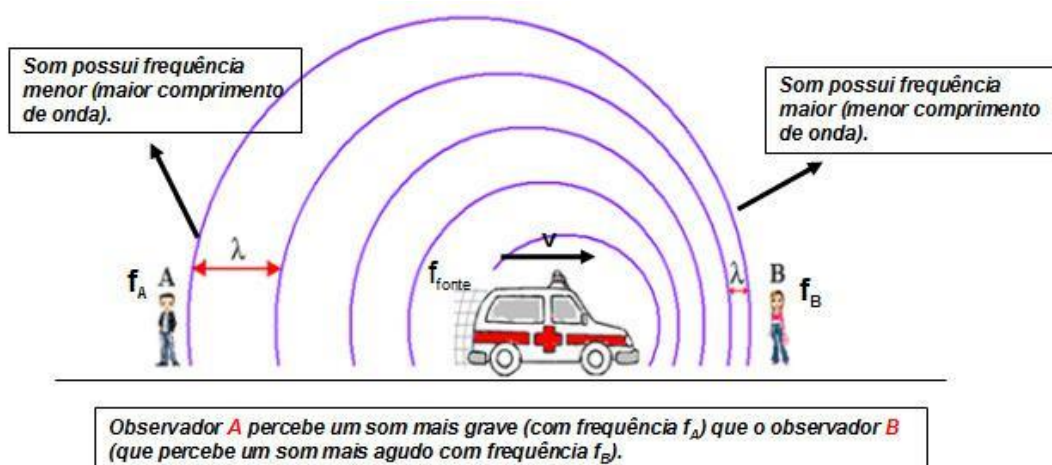
EXEMPLO 3)

A potência de um som automotivo é **1000 W RMS**. Qual a intensidade de nível sonoro (em dB) a 10 m de distância desta fonte. Sabendo que a intensidade mínima audível é $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Efeito Doppler

É um efeito que acontece com qualquer tipo de onda (mecânica ou eletromagnética) e está relacionado a aumento ou diminuição da frequência das ondas (compressão ou alongamento das ondas) devido ao movimento relativo da fonte e/ ou do observador. Observamos este efeito, no caso de ondas sonoras, quando uma ambulância ou viatura se aproxima de nós e em seguida se afasta. Ao se aproximar notamos que o som da sirene fica gradativamente mais alto e agudo e à medida que se afasta o som fica gradativamente mais baixo e grave.

Temos o mesmo efeito se os observadores se aproximarem ou se afastarem da fonte em alta velocidade. Suponha que a ambulância do exemplo acima esteja parada. Se o observador **B** se aproximar em alta velocidade perceberá o som mais agudo e alto. Se o observador **A** se afastar em alta velocidade, perceberá o som gradativamente mais grave.



A frequência aparente recebida pelo receptor devido ao efeito doppler:

$$f' = f \cdot \left(\frac{v \mp v_0}{v \mp v_f} \right)$$

Em que: v : velocidade da onda sonora;

v_f : velocidade da fonte;

v_0 : velocidade do observador;

f : frequência emitida pela fonte;

f' : frequência aparente recebida pelo receptor.

Manipulação correta da expressão:

Se a pessoa se aproxima da fonte, $+V_0$; se ele se afasta da fonte, $-V_0$. Se a fonte se afastada pessoa, $+V_f$; se a fonte se aproxima dela, $-V_f$. A trajetória é positiva no sentido positivo do eixo x.

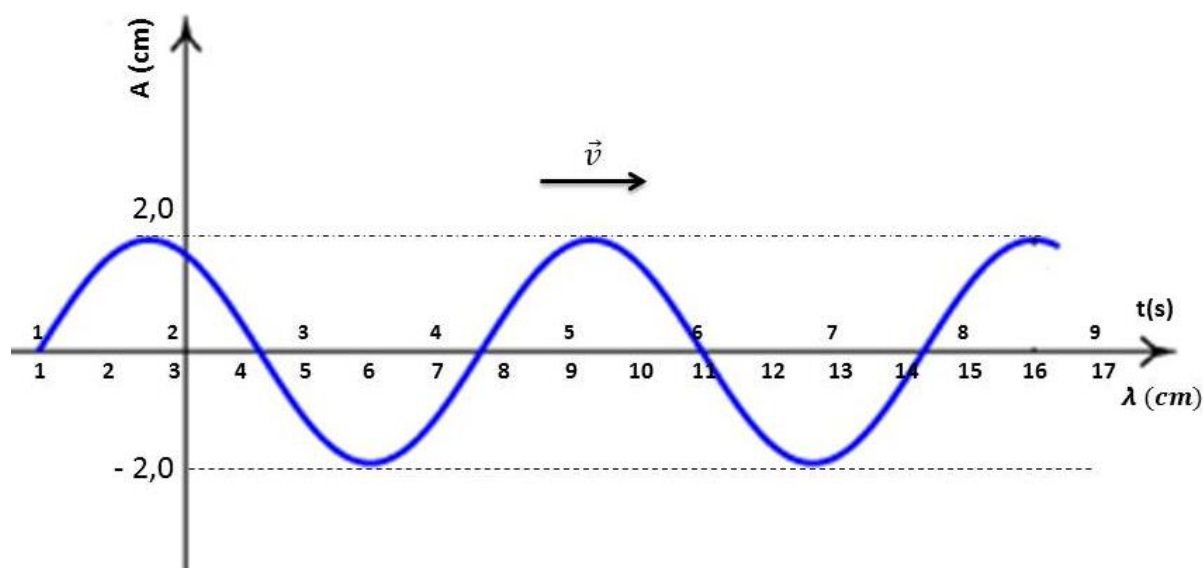
EXEMPLO 4)

Um avião emite um som de frequência $f = 600 \text{ Hz}$ e percorre uma trajetória retilínea com velocidade $v_a = 300 \text{ m/s}$. O ar apresenta-se imóvel. A velocidade de propagação do som é 330 m/s . Determine a frequência do som recebido por um observador estacionário junto a trajetória do avião:

- a) Enquanto o avião aproxima-se do observador;
- b) Quando o avião afasta-se do observador.

Ondas

1) Uma onda é representada em espaço de fase, como mostrado abaixo.



Determine:

- A amplitude;
- O **comprimento de onda**;
- O **período** (aproximadamente);
- A velocidade de propagação (em **m/s**).

2) Qual o comprimento de onda, em metros, de uma onda sonora de **1200 Hz** que se propaga a velocidade **1220 km/h** no ar.

3) Uma onda mecânica se propaga a **45 cm/s** com comprimento (λ) de onda de **5 cm**.

Determine:

- A frequência em hertz;
- O período;

4) João deseja saber a distância de sua casa a uma montanha próxima. João sabe que nesta montanha costuma cair muitos raios em dias de tempestade. Num destes dias, com um cronometro em mãos, verifica que após visualizar o raio na montanha, o tempo para escutar o trovão é de **20s**. Descreva (e calcule) como João poderá calcular a distância aproximada entre sua casa e a montanha.

5) (ENEM) Dentre os vários aparelhos eletromagnéticos usados em benefício da Medicina, o mais comum é o aparelho de raios X e o mais sofisticado é o aparelho de ressonância magnética. A técnica usada nesse último, para se obter imagens dos núcleos de tecidos do corpo humano, consiste em submeter o paciente a um intenso campo magnético, com ondas de frequência igual a 1 MHz. Sabendo-se que toda radiação eletromagnética gerada naquele momento propaga-se a velocidade da luz, podemos determinar que o comprimento de onda gerado nesse aparelho vale:

- a) 3 m b) 30 m c) 300 m d) 0,03 e) 0,3

6) Uma estação de rádio AM opera na faixa de **80 kHz**. Sabendo que a onda de rádio é eletromagnética e sua velocidade é de **380.000.000 m/s**, qual o comprimento de onda pela estação AM?

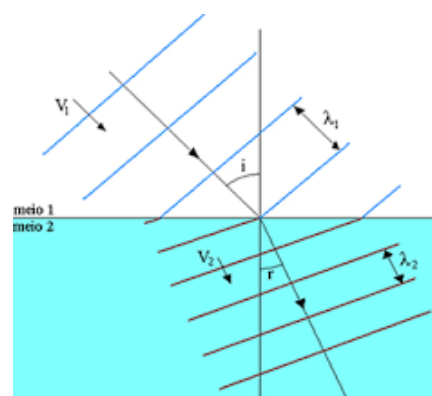
Refração de Ondas e Mudança de velocidade

7) Uma onda se propaga por uma superfície líquida, com **$v = 3 \text{ cm/s}$** , ao atravessar uma interface com um outro líquido, incidindo a **30°** , sua velocidade aumenta para **2 cm/s** . Determine:

- a) o ângulo de refração (**r**);
b) Se o comprimento da onda incidente é de **2 cm**, qual será o comprimento da onda refratada (**λ_2**)?

8) Uma onda se propaga pela superfície de uma substancia (**meio 1**) com uma velocidade de **5 cm/s** . Ao penetrar em uma segunda substancia (**meio 2**), sua velocidade cai para **3 cm/s** refratando em **30°** . Determine:

- a) O provável ângulo de incidência;
b) Se o comprimento de onda nomeio 1 é de **1,0 cm**, qual será o comprimento de onda ao se propagar no meio 2?



Nível relativo de Intensidade Sonora.

9) A potência de um som automotivo é **1200 W RMS**. Qual a intensidade de nível sonoro (em dB) a **20 m** de distância desta fonte. Sabendo que a intensidade mínima audível é $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

10) Em danceterias as pessoas são submetidas a uma intensidade sonora de **10 W/m²**. Considerando $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, determine:

- O nível sonoro (em **DB**) do som ouvido;
- Se as pessoas ficam, em média, a **10 m** do sistema de sonorização, qual a potência deste sistema?

Efeito Doppler

11) Dois trens A e B tem apitos idênticos. Um observador parado numa estação houve o apito A mais agudo que o apito B. Qual (quais) das situações abaixo podem viabilizar o caso proposto?

- Os trens A e B aproximam-se do observador;
 - Os trens A e B afastam-se do observador;
 - O trem B afasta-se do observador, enquanto o trem A esta parado;
 - O trem A afasta-se do observador, enquanto o trem B esta parado;
 - O trem B afasta-se do observador, enquanto o trem A aproxima-se.
- Somente I e II;
 - Somente III e V;
 - Somente I, II, III e V;
 - Somente I, II e III
 - Somente V

12) Duas fontes sonoras **A** e **B** emitem sons puros de mesma frequência, igual a **680 Hz**. A fonte **A** esta fixa no solo e **B** move-se para direita, afastando-se de A com velocidade de **62 m/s** em relação ao solo. Um **observador** entre as fontes move-se para direita, com velocidade de **30 m/s** também em relação ao solo. Determine:

- A frequência do som proveniente da fonte A, ouvida pelo observador;
- A frequência do som proveniente da fonte B, ouvida pelo observador.

RESPOSTAS

- 1) a) 2,0 cm b) 0,075 m c) $\approx 4,3$ s d) 0,02 cm/s
- 2) 28 cm
- 3) a) 9Hz b) 0,11 s
- 4) 6,8 km
- 5) 300 m
- 6) 4750 m
- 7) a) $\approx 19,5^\circ$ b) 1,3 cm
- 8) a) $\approx 56,4^\circ$ b) 0,006 m (6mm)
- 9) 113,8 dB
- 10) 130 dB
- 11) Alt. b)
- 12) a) 620 Hz b) 626 Hz