

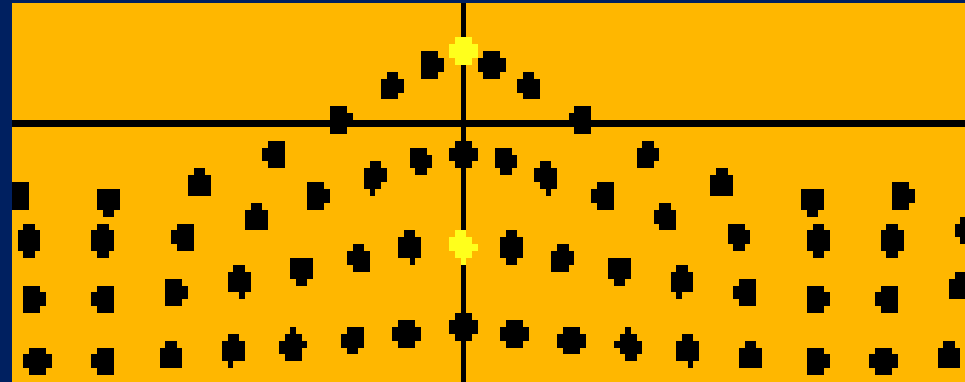
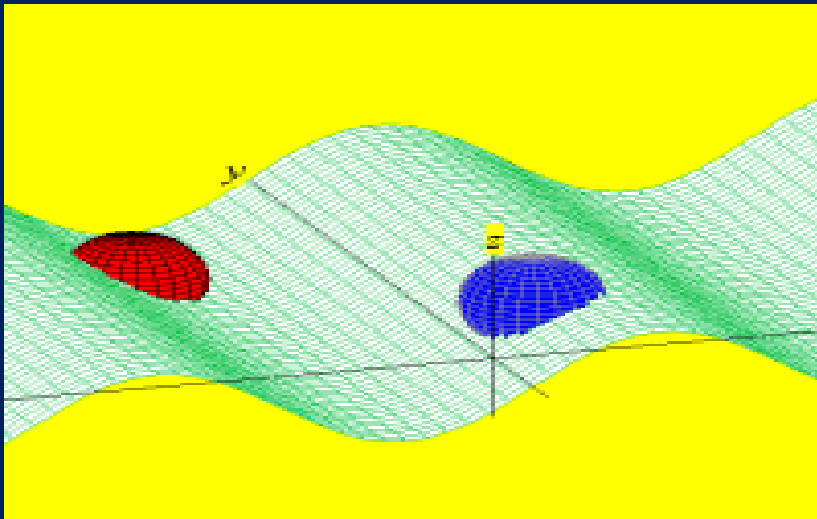
ONDULATÓRIA
Antonio Marcos

Física

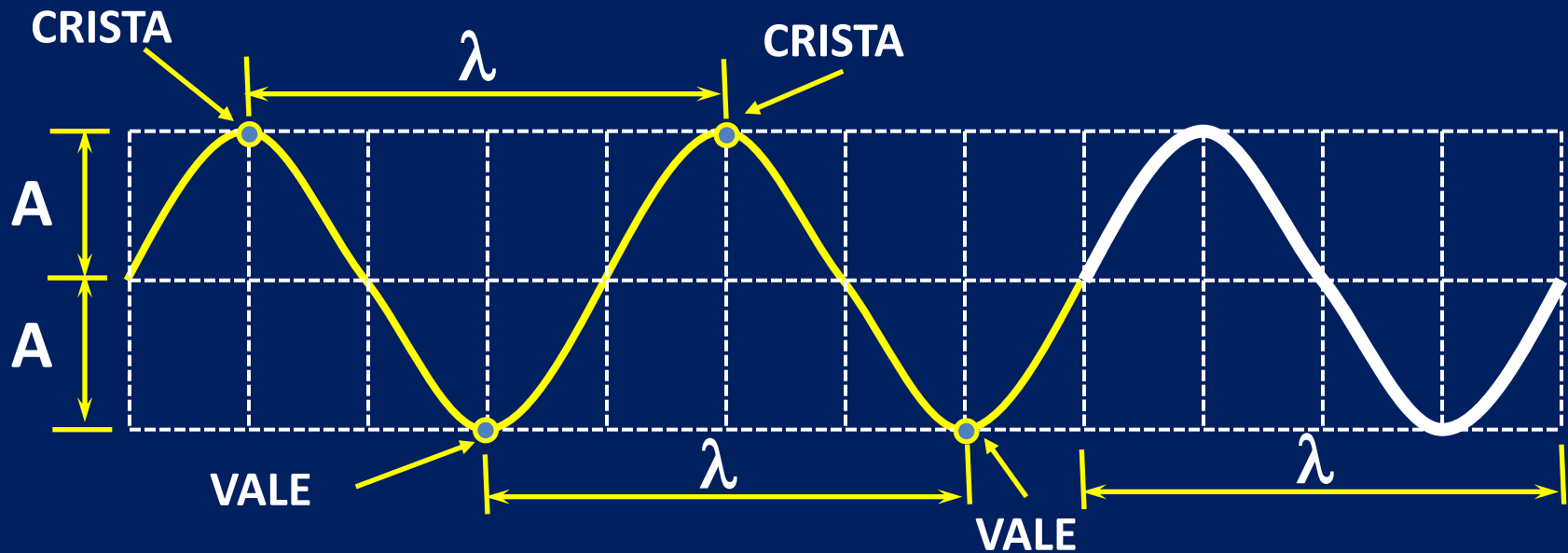
Supermed

ONDAS

São perturbações ou vibrações que transportam energia, quantidade de movimento, mas não transportam matéria.



ELEMENTOS DE UMA ONDA:



PERÍODO(T) Tempo gasto para completar uma oscilação.

Frequência(f): Determina o número de oscilações completas da onda em um determinado intervalo de tempo.

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



Em uma oscilação

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

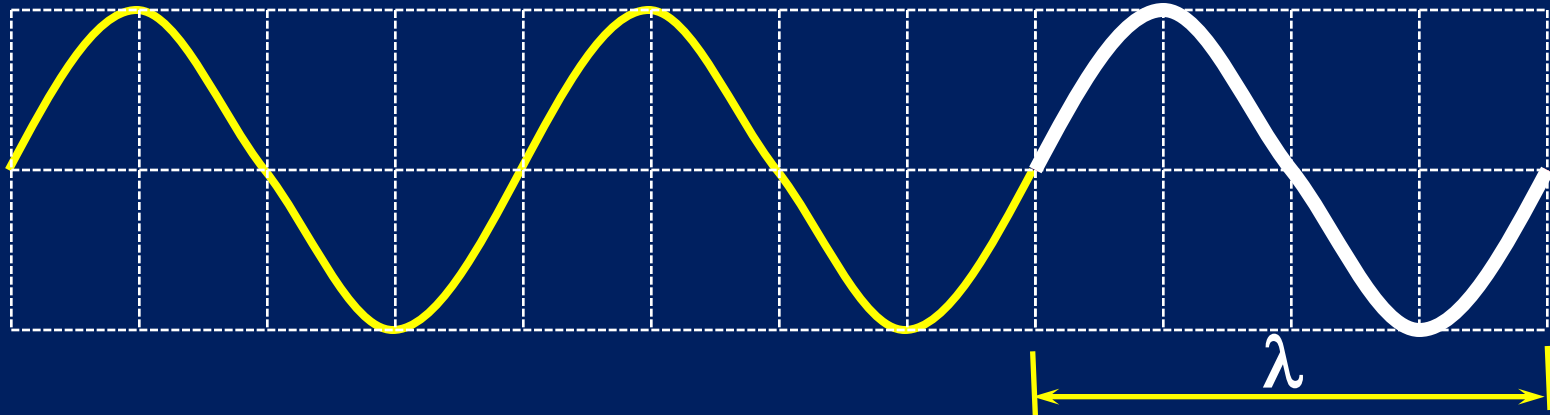
ou

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

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO (V):

Considerando uma oscilação completa de uma onda, temos:

$$\Delta S = \lambda \quad \text{e} \quad \Delta t = T$$



$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$



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



$$V = \lambda \cdot f$$

m/s

m

Hz

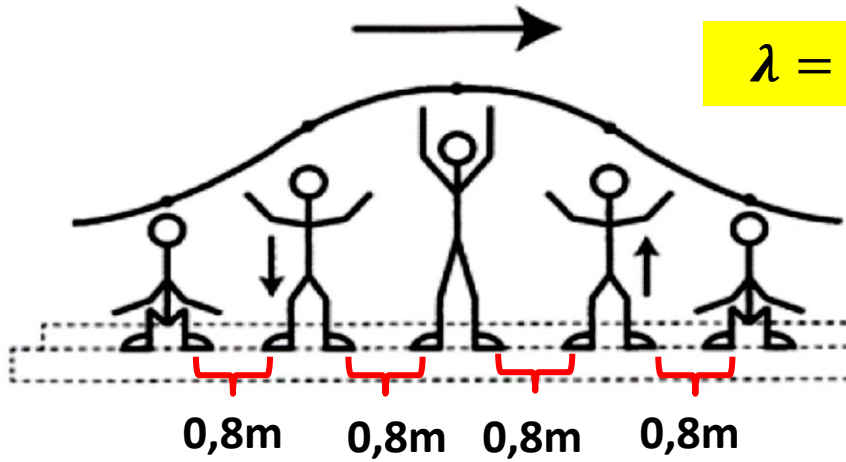


**Equação fundamental da
ondulatória**

QUESTÃO ENEM

Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a *ola mexicana*. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva conforme a ilustração.

16 pessoas = 15 espaçamentos de 0,8m



$\lambda = 15 \cdot (0,8) = 12m$

$V = \frac{45km}{h} \div 3,6 = 12,5m/s$

$V = \lambda \cdot f$

$f = \frac{V}{\lambda}$

$f = \frac{12,5}{12}$



$f \cong 1Hz$

Calcula-se que a velocidade de propagação dessa “onda humana” é 45km/h, e que cada período de oscilação contém 16 pessoas que se levantam e sentam organizadamente e distanciadas entre si por 80cm.

Disponível e: www.ufsm.br. Acessado em: 7 dez. 2012 (adaptado)

Nessa *ola*, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de:

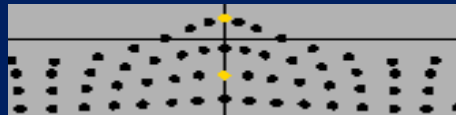
- a) 0,3
- b) 0,5
- c) 1,0
- d) 1,9
- e) 3,7

Classificação das ondas

Quanto à natureza

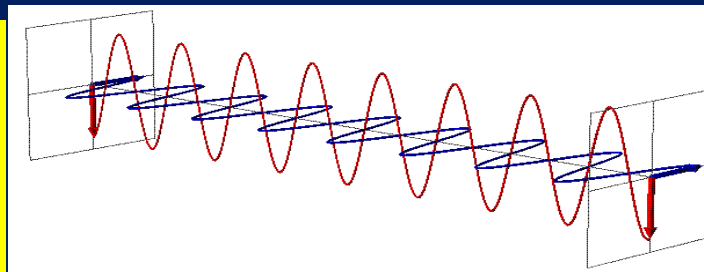
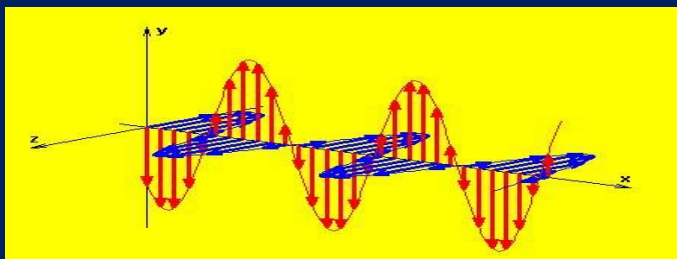
- Ondas mecânicas: são aquelas que *precisam de um meio material* para se propagar (não se propagam no vácuo).

Exemplo: Ondas em cordas, ondas sonoras (som) e ondas oceânicas.



- Ondas eletromagnéticas: **Não necessitam de uma meio material** para se propagar, podendo se propagar no vácuo.

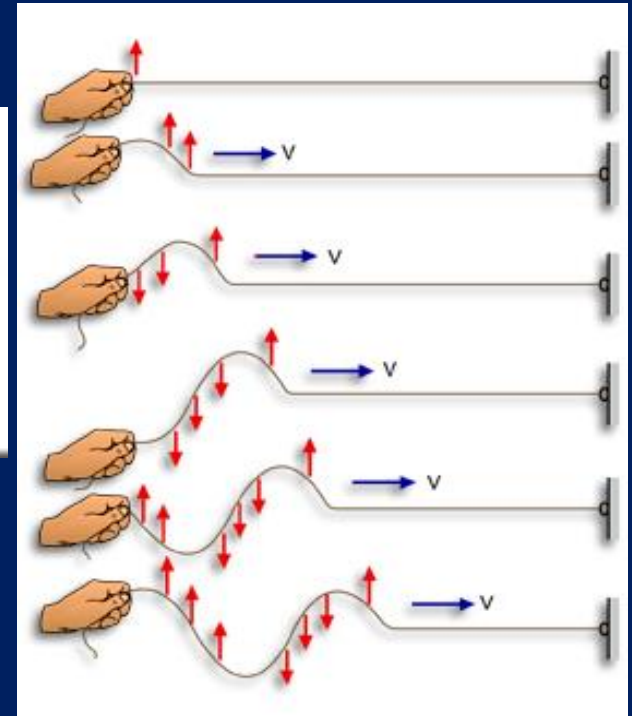
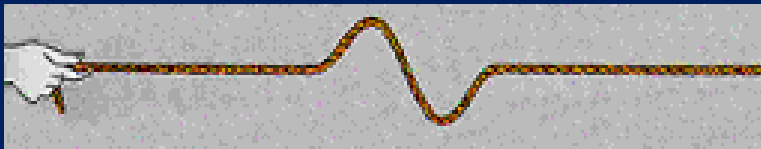
Exemplos: Ondas de rádio, de televisão, de luz, raios X, raios laser, ondas de radar etc.



TIPOS DE ONDAS

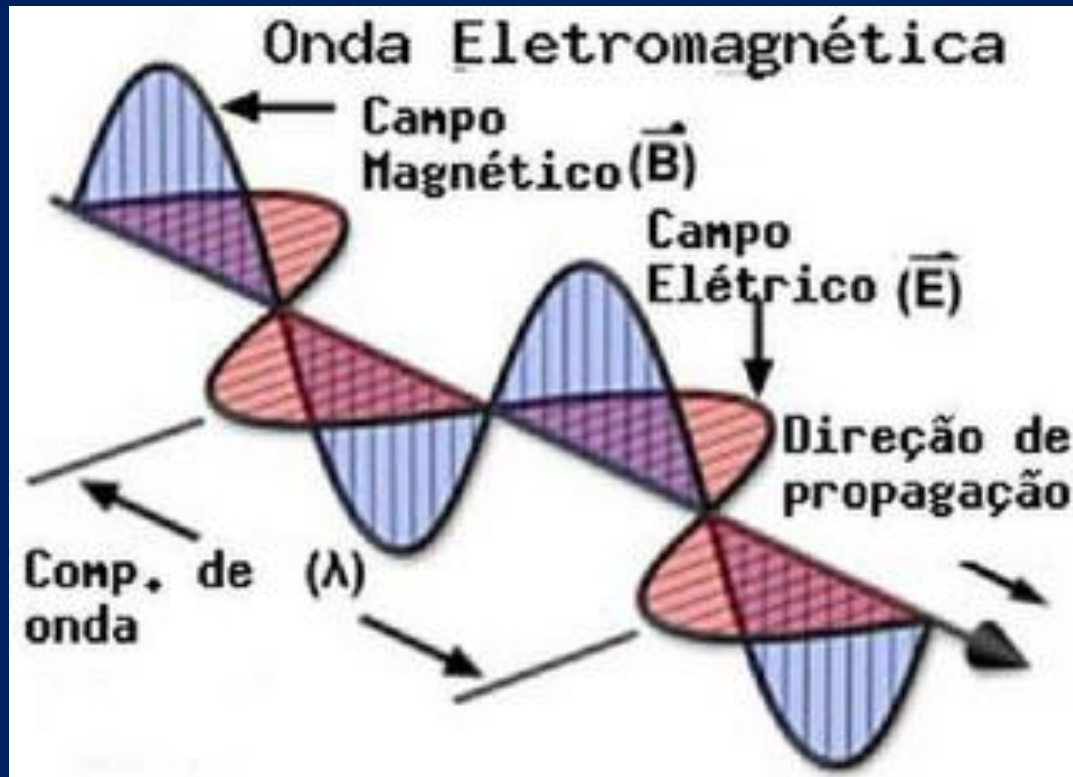
- **Onda transversal**

A vibração do meio é perpendicular à direção de propagação. Exemplo: onda numa corda

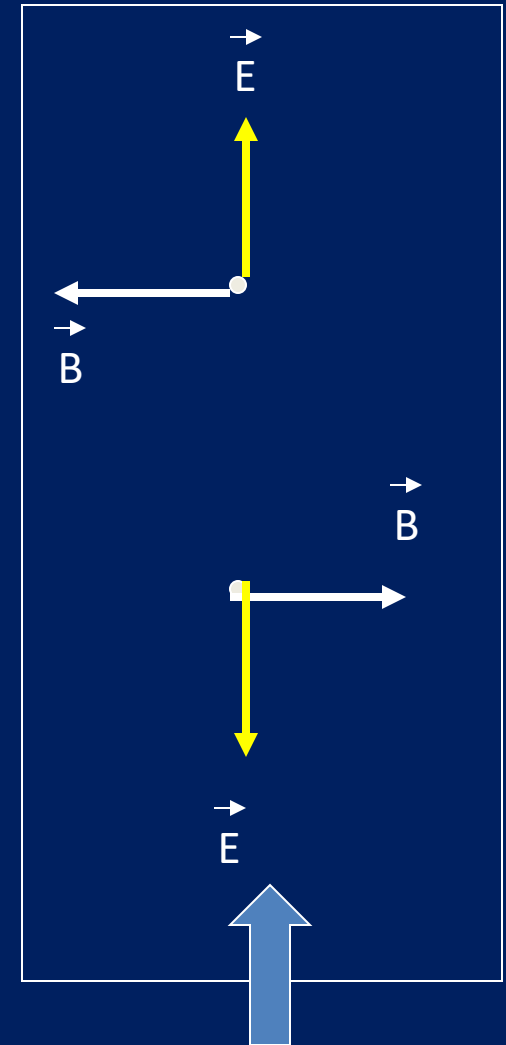


Não esquecer!

Todas as ondas eletromagnéticas são transversais!



Os campos elétrico e magnético oscilam em direções perpendiculares à propagação.

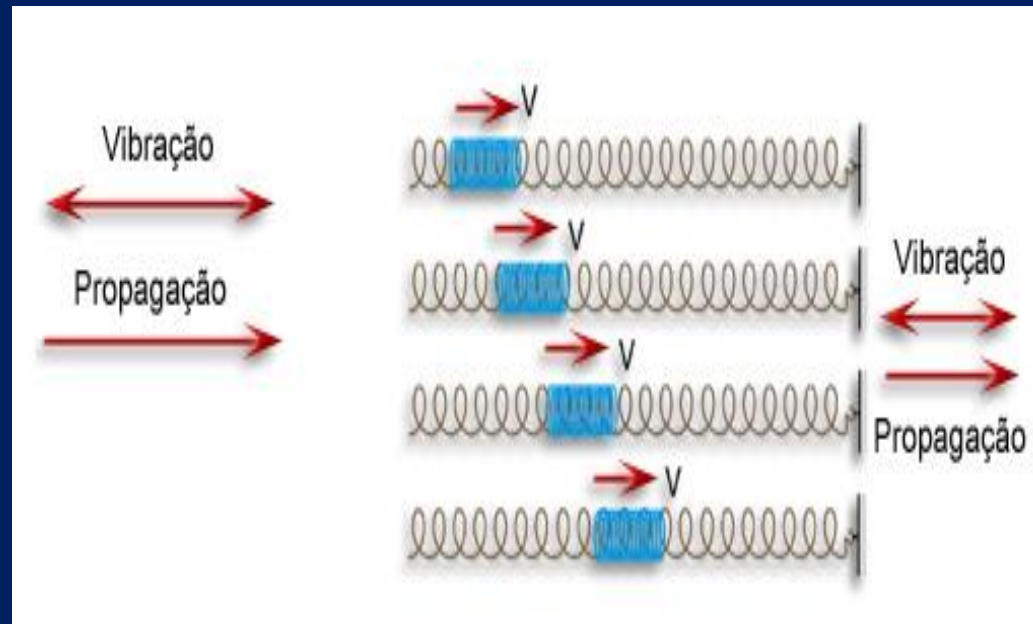
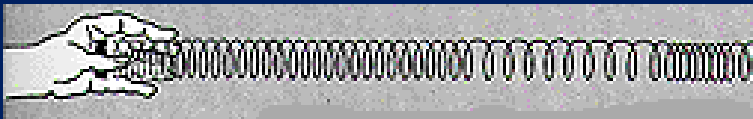


Vista de Frente

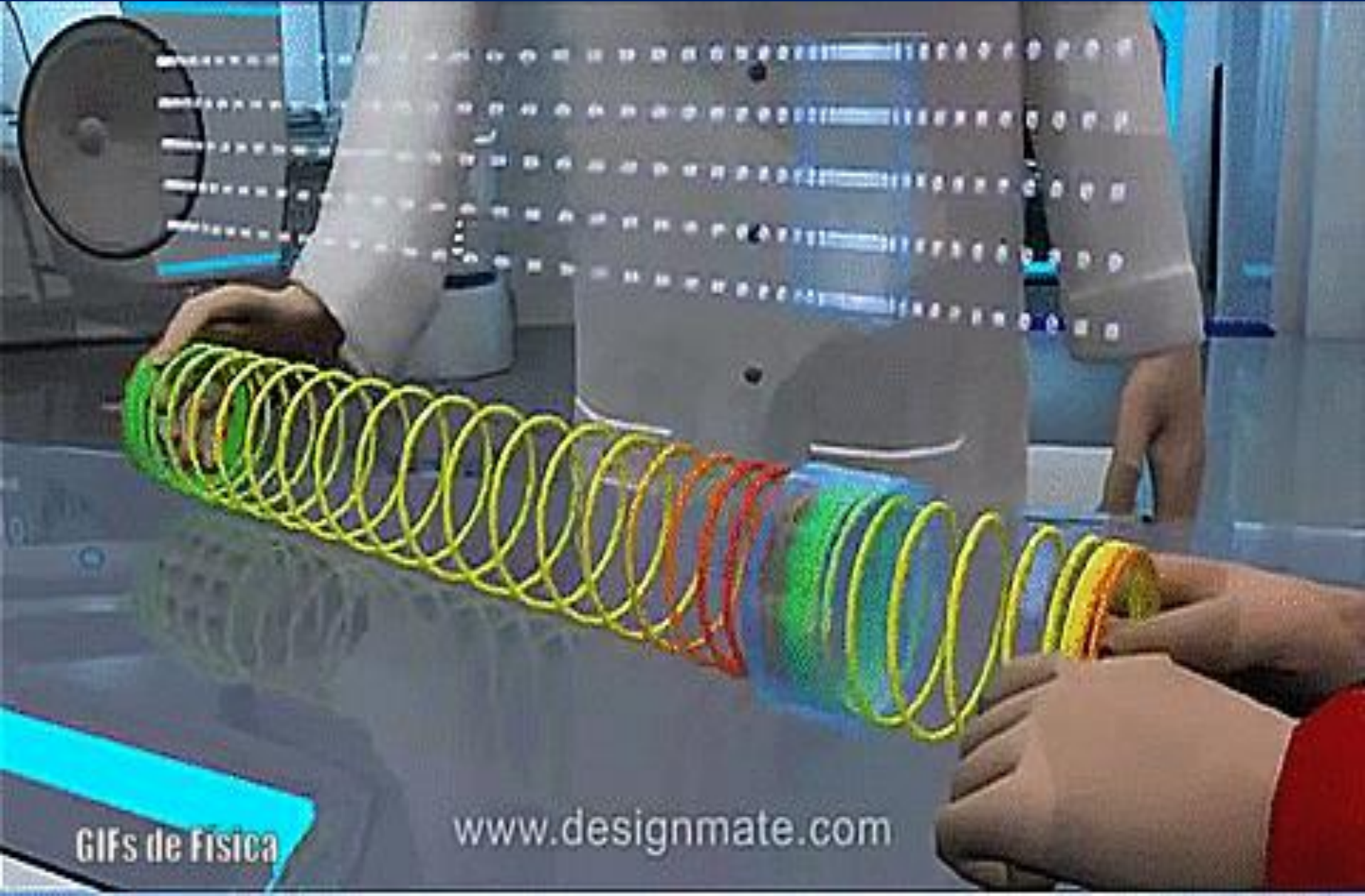
TIPOS DE ONDAS

- **Onda longitudinal**

A vibração do meio ocorre na mesma direção que a propagação. Ex: ondas em uma mola, ondas sonoras no ar.



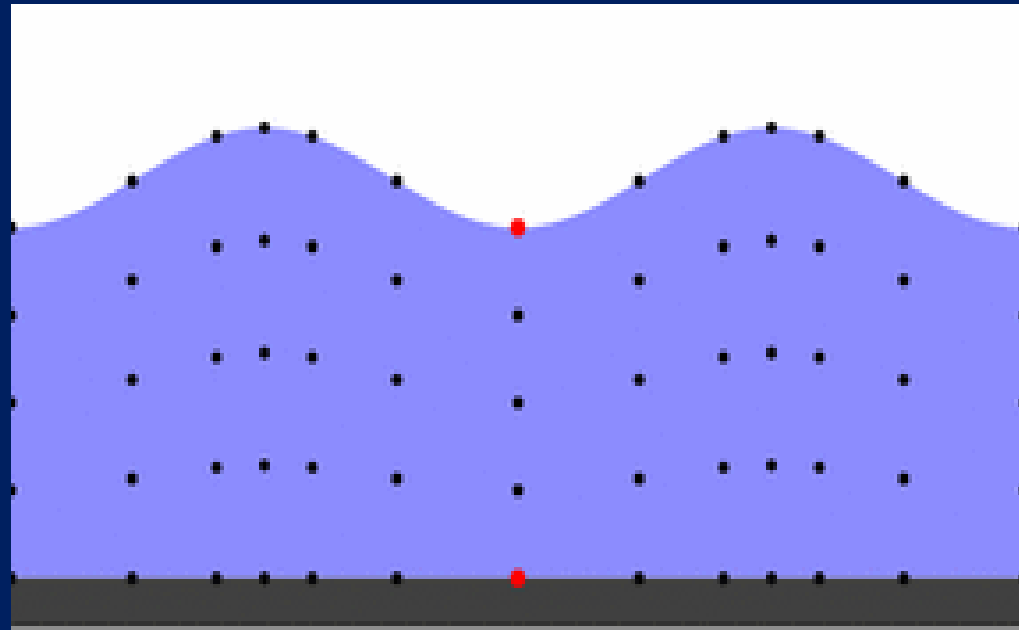
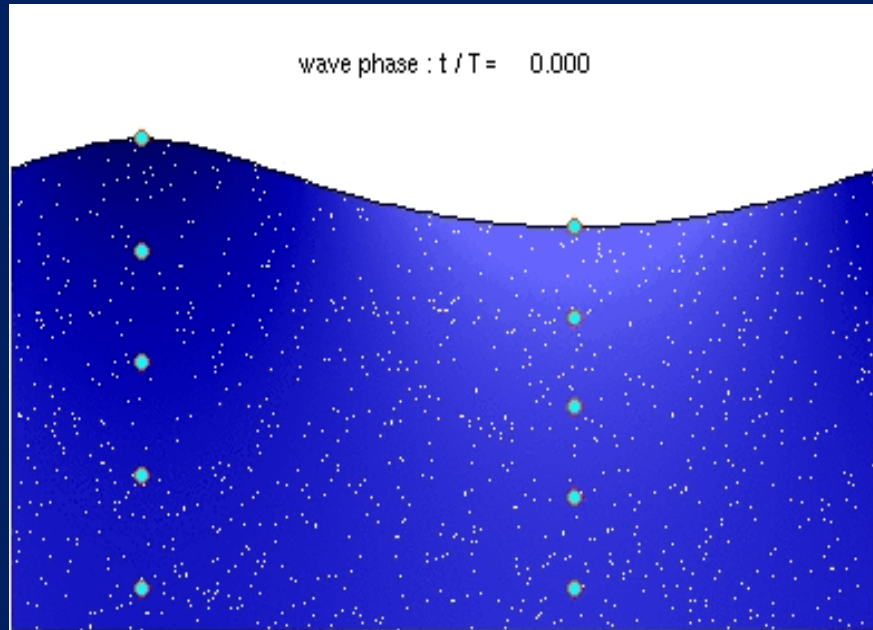
As Ondas sonoras são Longitudinais.



FIQUE ATENTO!

As Ondas oceânicas apresentam, em função de sua propagação, projeções circulares em sua superfície, determinando com isso, características simultâneas de ondas longitudinais e ondas transversais. Por essa razão, são denominadas ondas MISTAS.

wave phase : $t / T = 0.000$



CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

- **Ondas unidimensionais**

Quando se propagam numa só direção. Ex: uma perturbação numa corda.

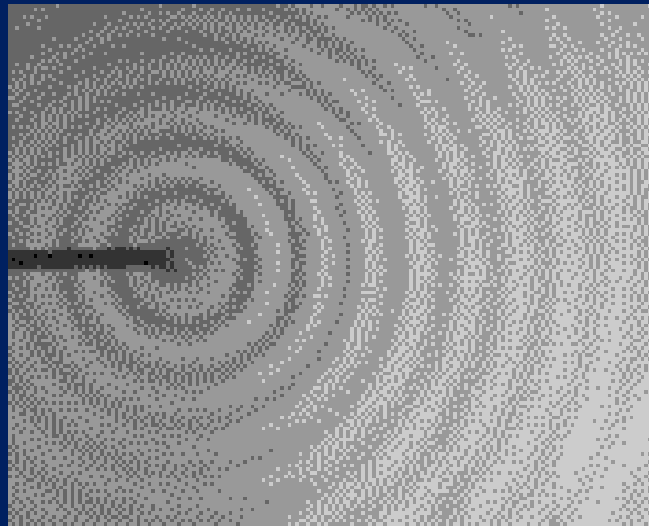


CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

- **Ondas bidimensionais**

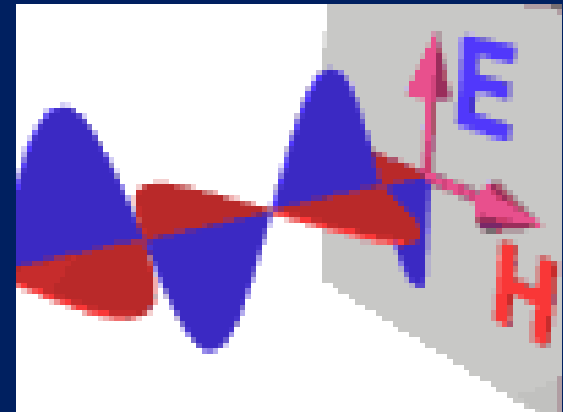
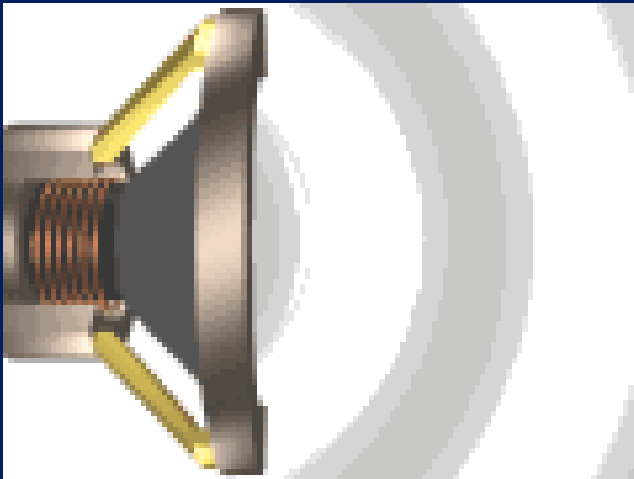
Quando se propagam ao longo de um plano.

Ex: ondas na superfície da água.

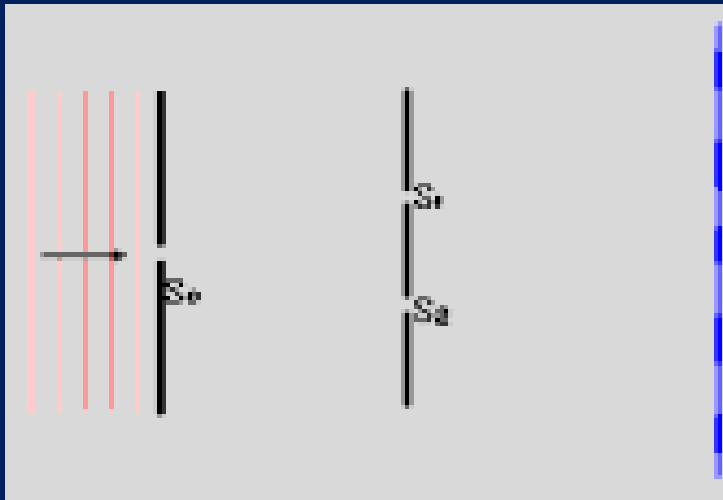
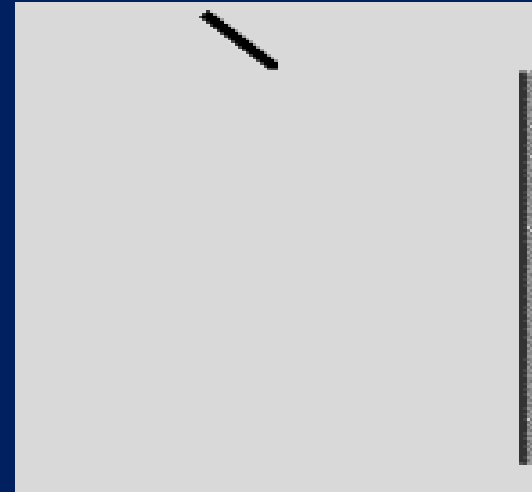
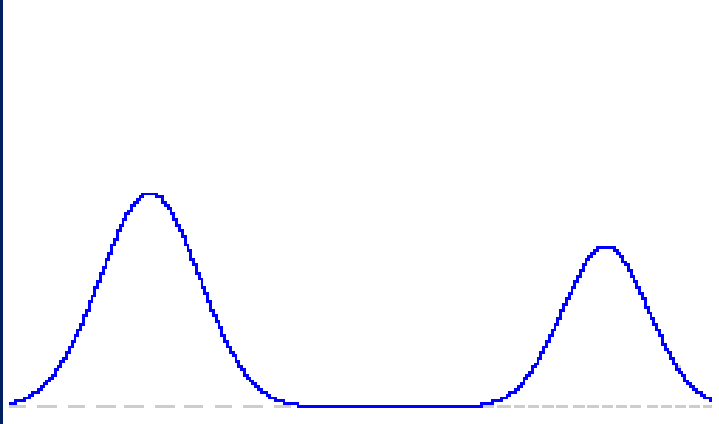


CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

- **Ondas tridimensionais**
Quando se propagam em todas as direções.
Ex: ondas sonoras e ondas luminosas.

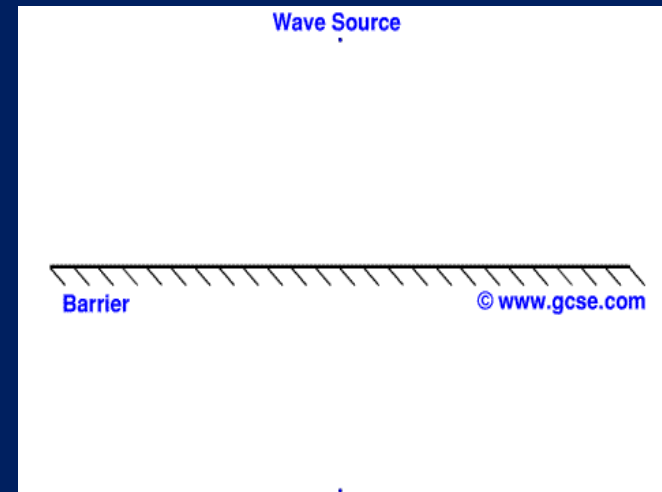
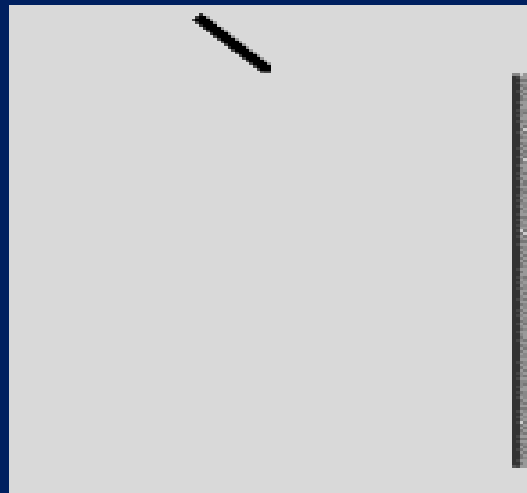
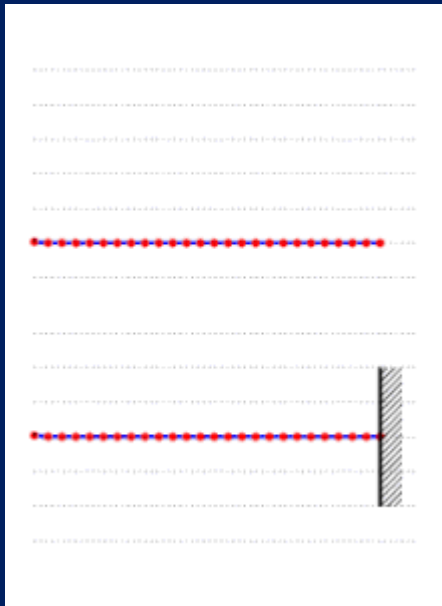


FENÔMENOS ONDULATÓRIOS



Reflexão de ondas

Quando uma onda que se propaga num dado meio encontra uma superfície que separa esse meio de outro, essa onda pode, parcial ou totalmente, retornar para o meio em que estava se propagando mantendo frequência constante.



Reflexão de ondas em cordas

Extremidade fixa



Conclusão

Ocorre inversão de fase

Não se alteram

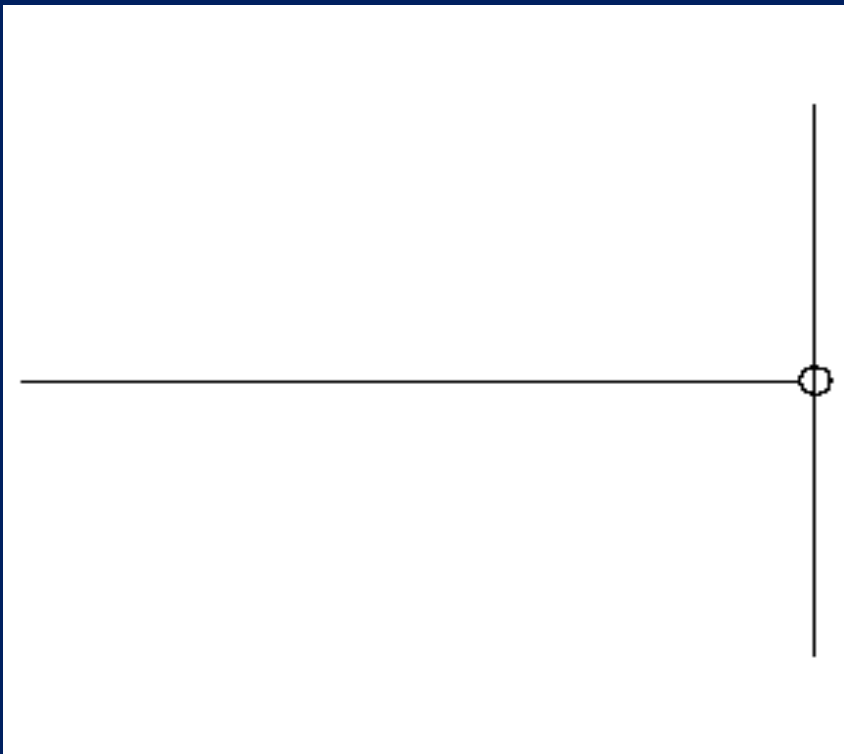
Velocidade

Frequência

Comprimento de onda

Reflexão de ondas em cordas

Extremidade móvel ou livre



Conclusão

Não ocorre inversão de fase

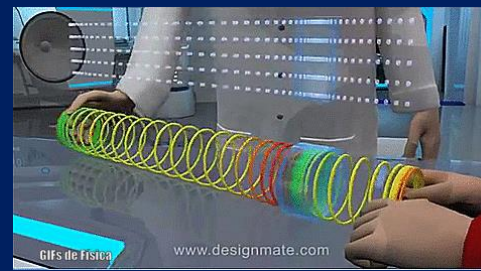
Não se alteram

Velocidade

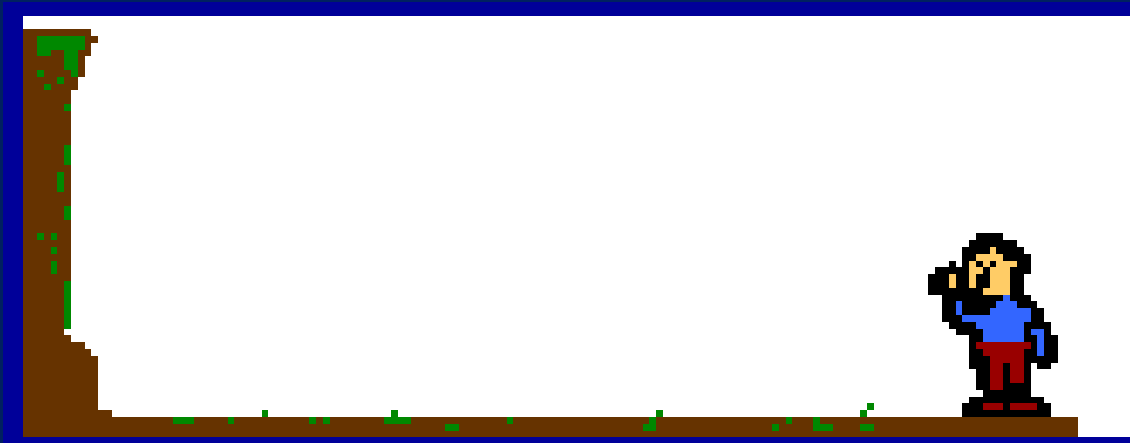
Frequência

Comprimento de onda

Reflexão do Som



- Δt = intervalo de tempo para que o som que foi emitido pelo observador e refletido seja recebido pelo mesmo.



- **Eco:** ocorre quando $\Delta t > 0,1s$. O observador ouve separadamente o som direto e o som refletido.
- **Reverberação:** ocorre quando $\Delta t < 0,1s$. Há um prolongamento da sensação auditiva.
- **Reforço:** ocorre quando $\Delta t \cong 0s$. Há somente um aumento da intensidade sonora.

Refração de ondas

É o fenômeno segundo o qual uma onda muda seu meio de propagação, alterando sua velocidade e mantendo a frequência constante.

Refração na corda

Não muda:

Fase

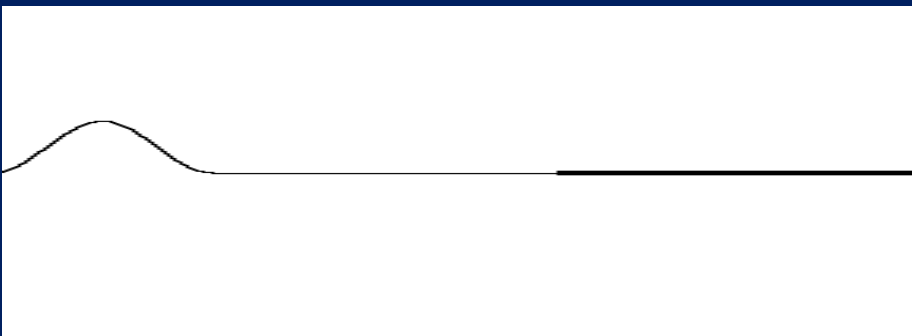
Frequência

Variam na mesma proporção:

Velocidade

Comprimento de onda

Densidade de A < Densidade de B



Observa-se **INVERSÃO** da fase da onda refletida.

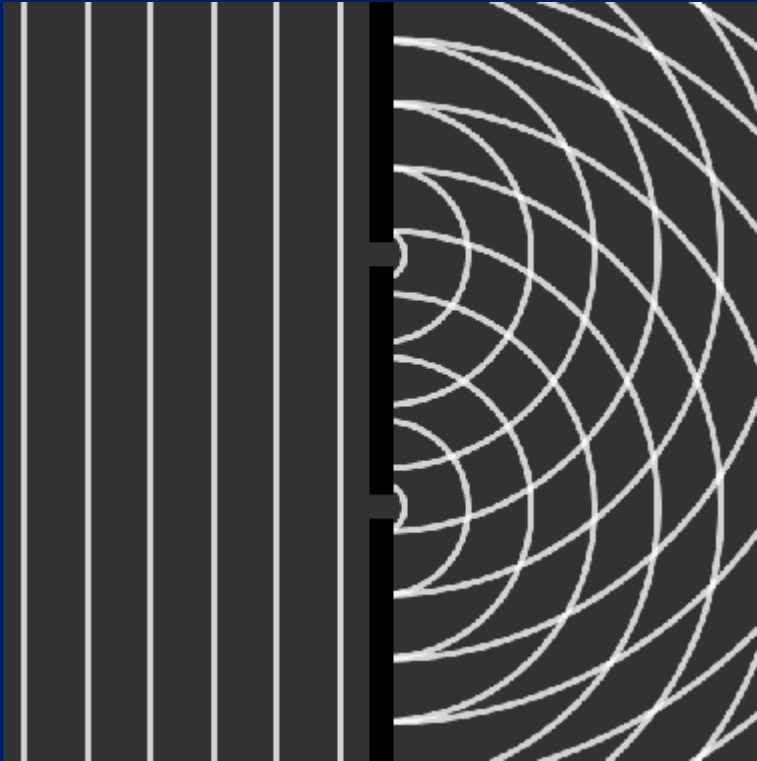
Densidade de A > Densidade de B



Observa-se a **NÃO** inversão da fase da onda refletida.

Difração

Propriedade da onda contornar obstáculos

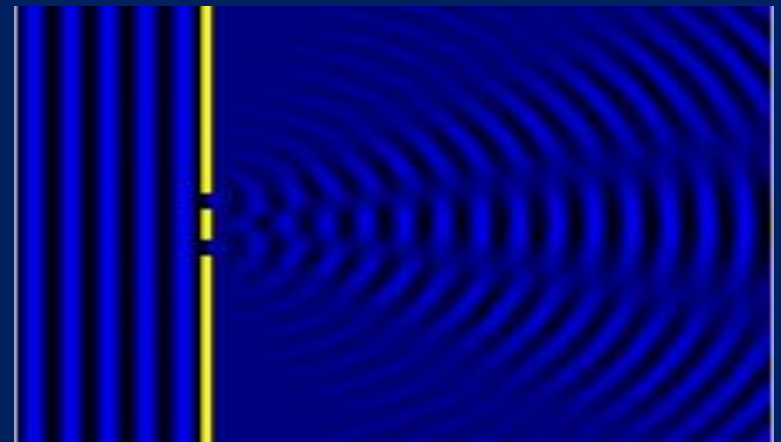
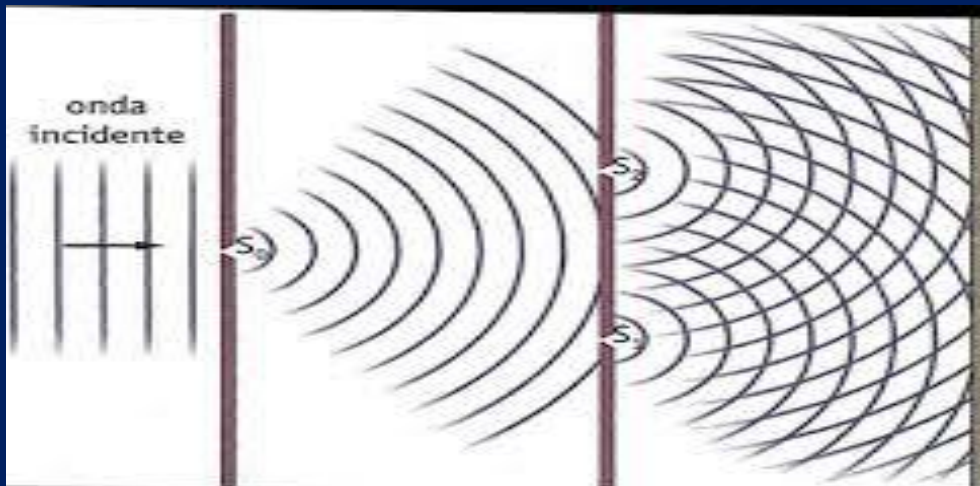
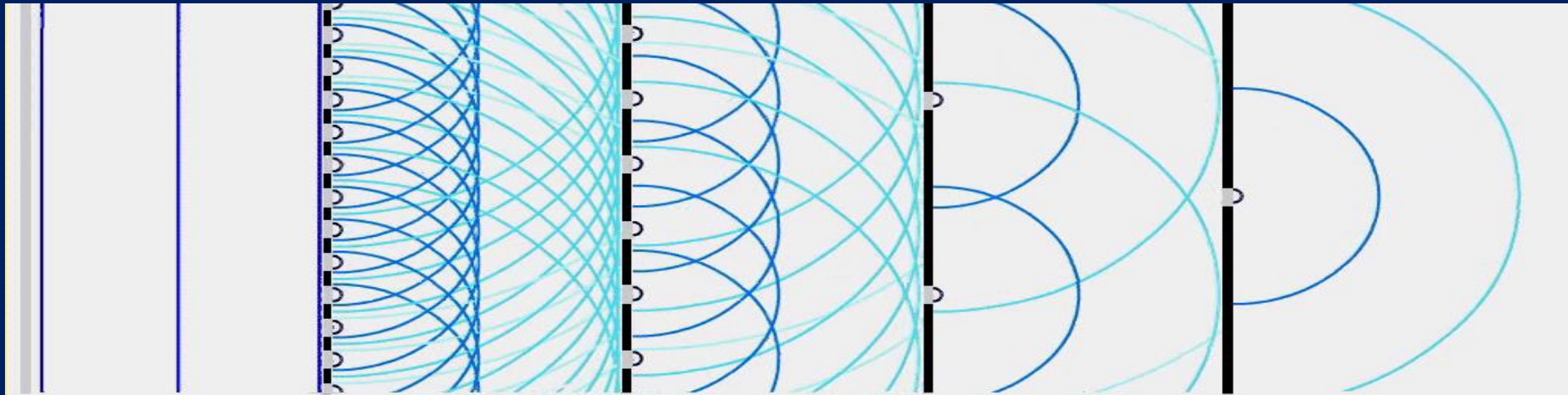


Na difração a frequência permanece constante

DIFRAÇÃO

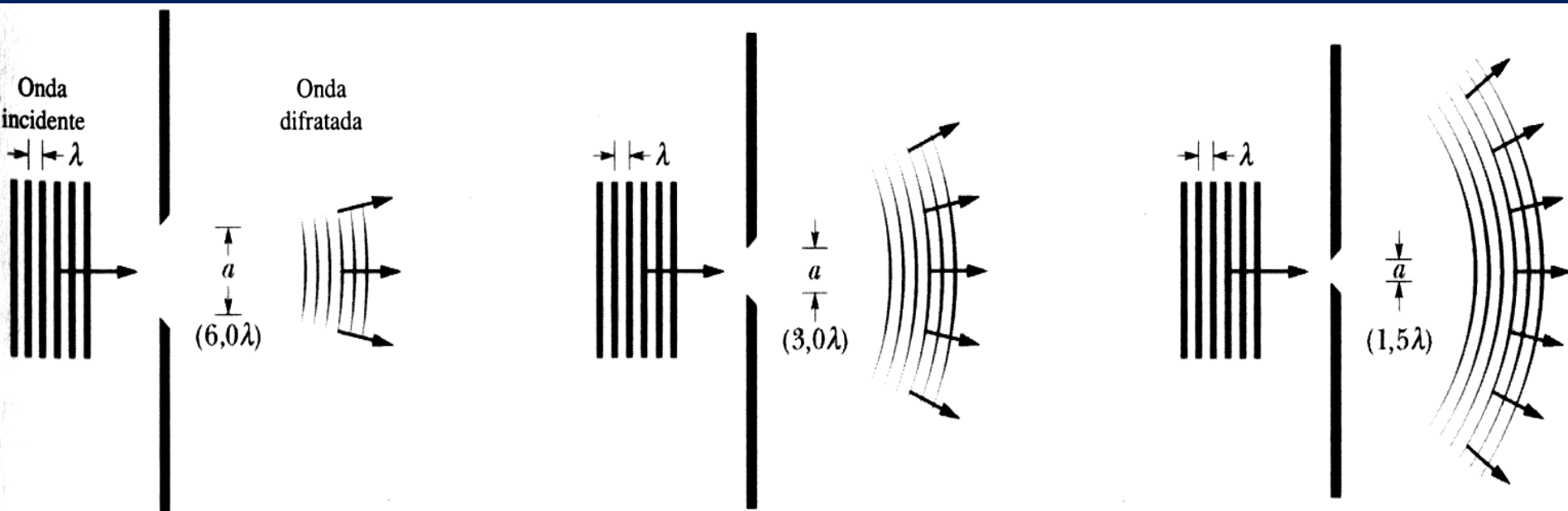
A difração obedece ao princípio de Huygens:

Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como *fontes pontuais* para ondas secundárias.



DIFRAÇÃO

IMPORTANTE: Quanto maior a abertura da fenda, menor será a capacidade de difração da onda

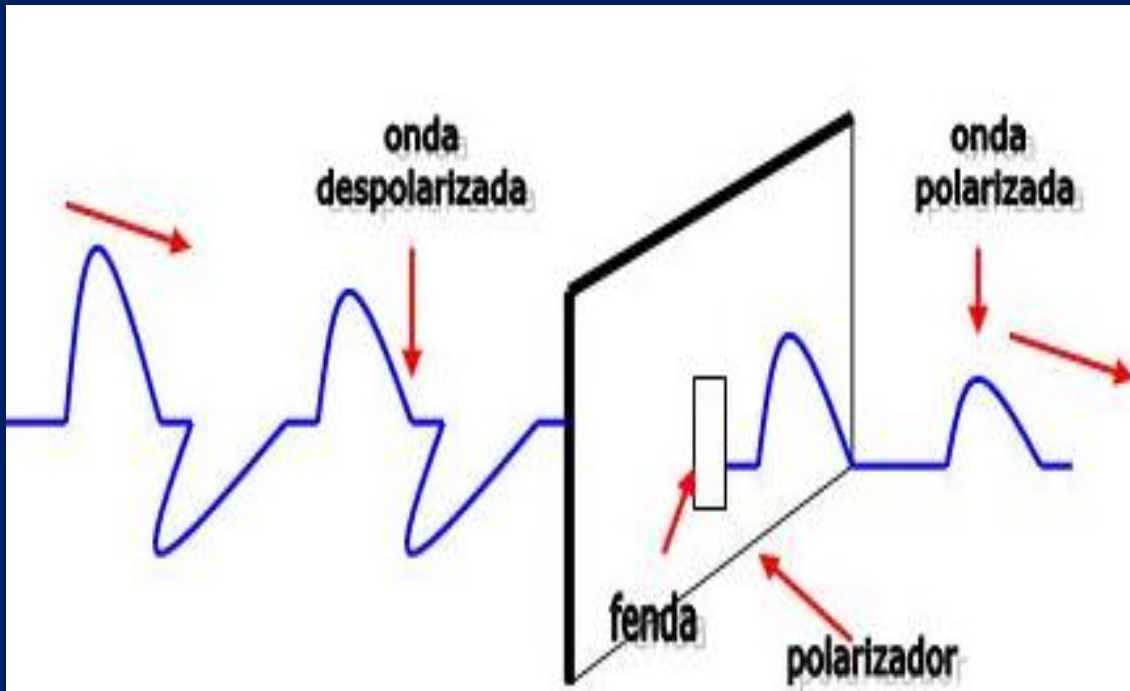


CONDIÇÃO: Para que ocorra a **difração das ondas**, é necessário que o tamanho da fenda ou do obstáculo seja comparável ao comprimento de **onda**, ou seja, à distância entre as duas cristas ou vales da **onda** incidente; no entanto, se o comprimento do obstáculo for muito maior que o comprimento de **onda**, não ocorrerá **difração**.

Polarização

Ocorre quando uma onda que se propaga em várias direções passa a se propagar em uma única direção.

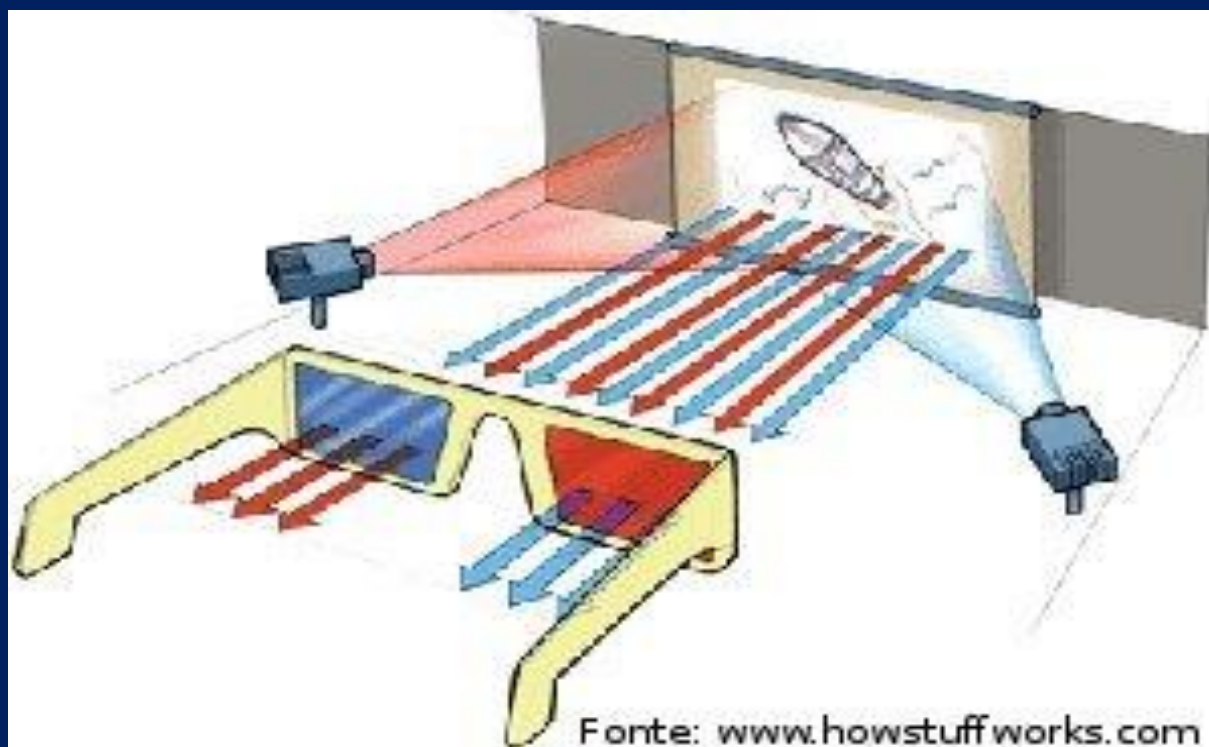
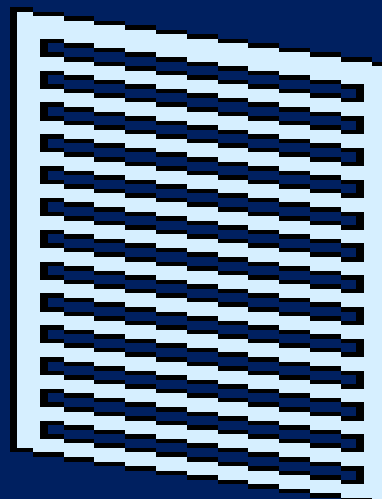
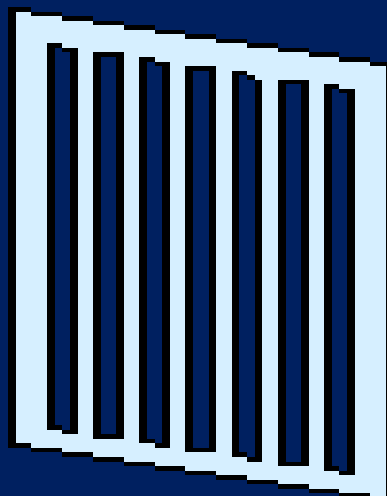
Somente ondas transversais podem ser Polarizadas



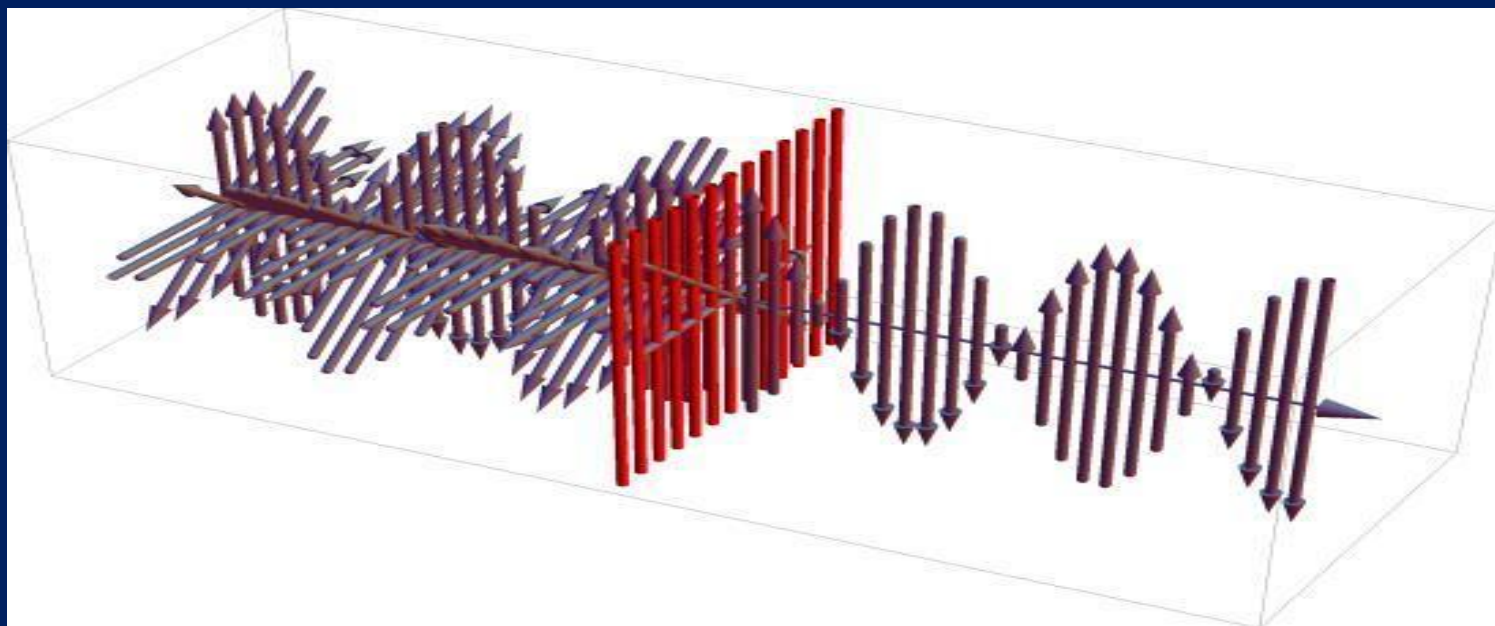
LUZ - sim

SOM - não

Todas as ondas eletromagnéticas podem ser polarizadas



Fonte: www.howstuffworks.com



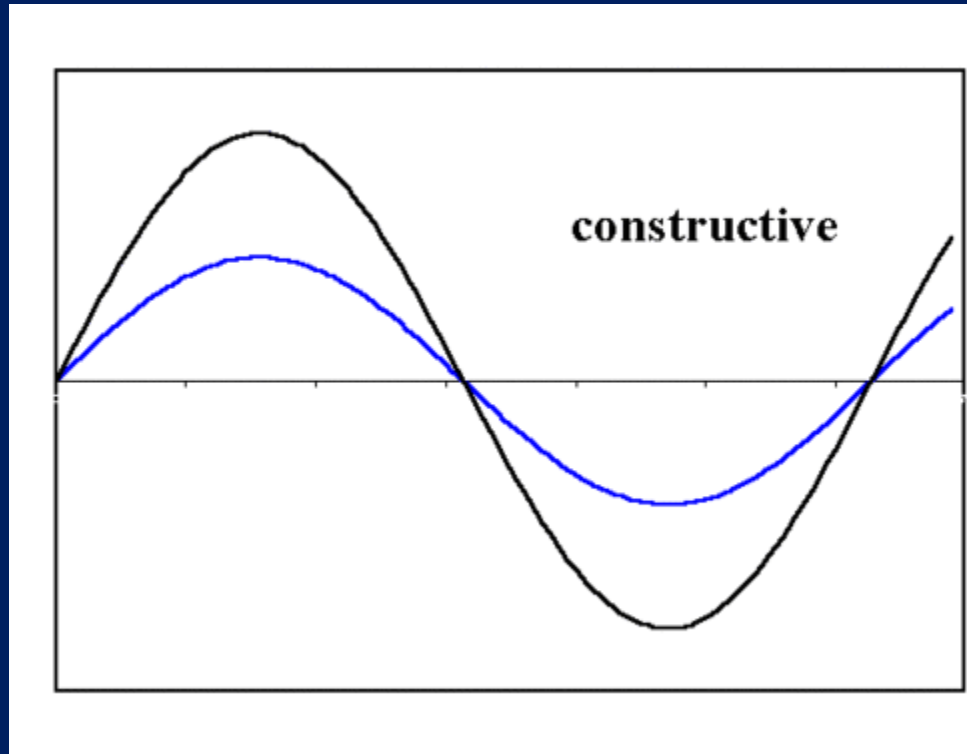
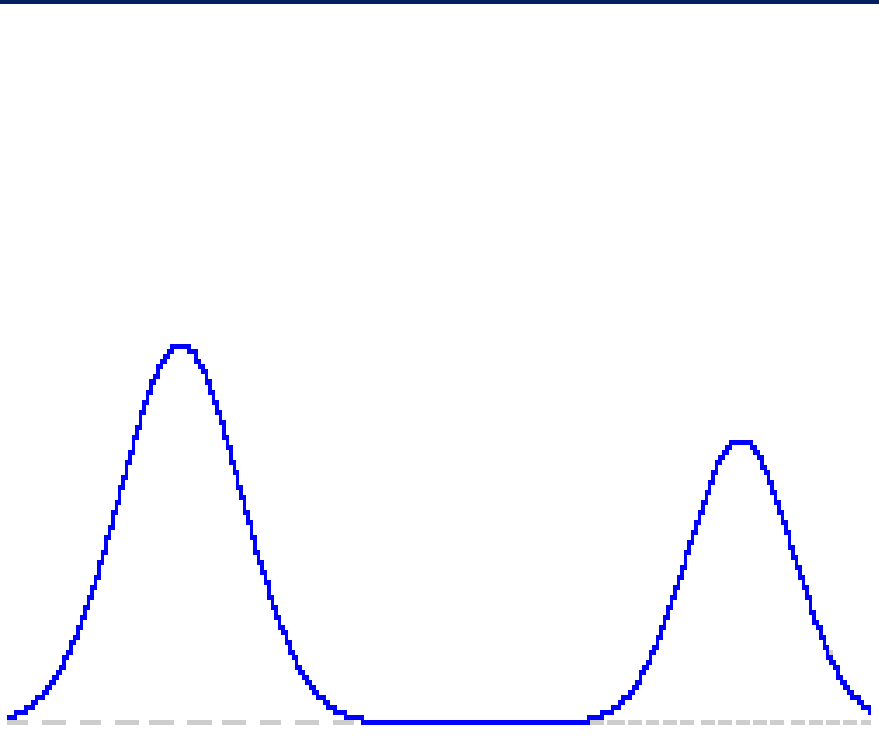
Polarização

Máquinas de fotografar modernas usam o efeito da polarização para melhorar suas imagens. A primeira fotografia foi tirada com o auxílio do polarizador. Já a segunda não utilizou a tecnologia.



Interferência

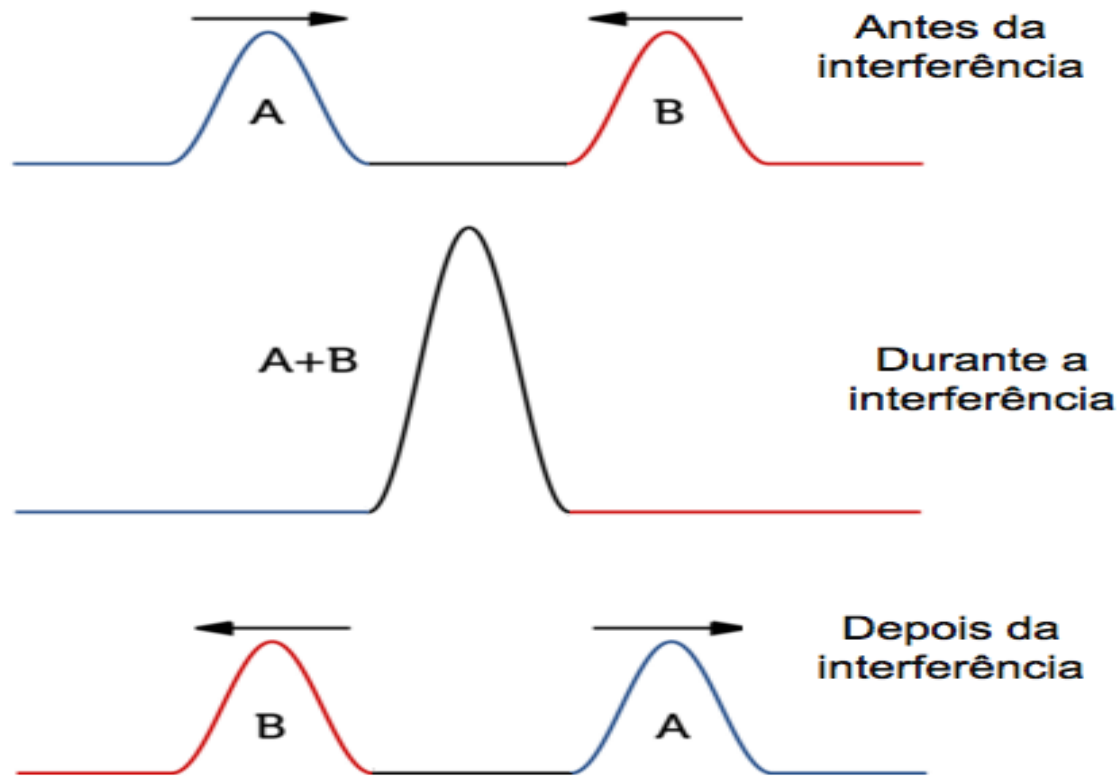
Ocorre com a superposição de duas ou mais ondas nos mesmos pontos do espaço vibratório.



INTERFERÊNCIA

ONDAS EM CONCORDÂNCIA DE FASE

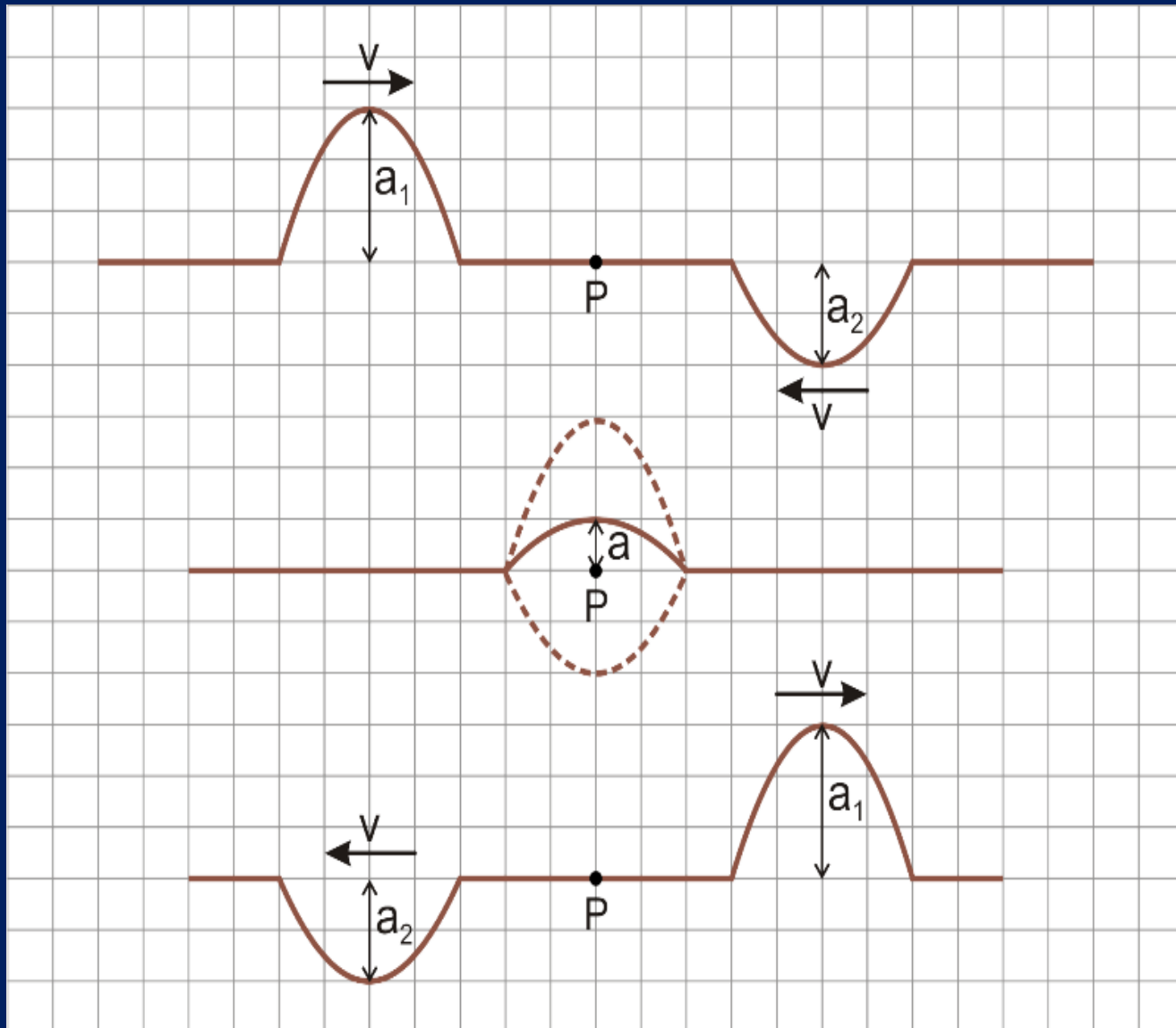
Interferência construtiva



www.resumov.com.br

$$A_{RESULTANTE} = A_A + A_B$$

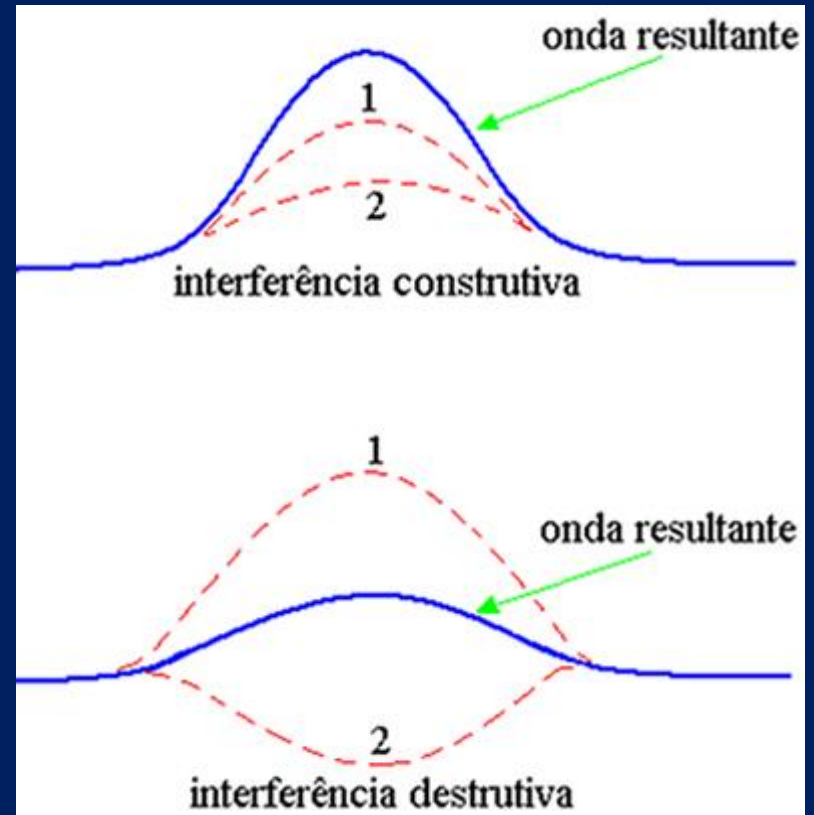
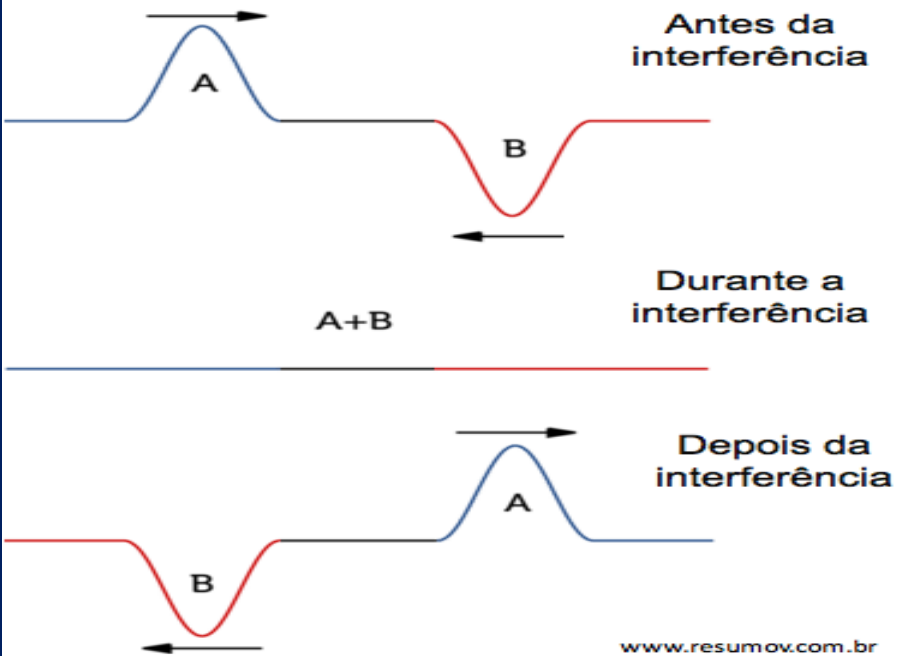
ONDAS EM OPOSIÇÃO DE FASE



$$A_{RESULTANTE} = A_1 - A_2$$

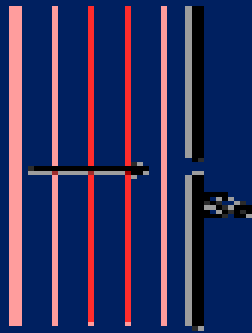
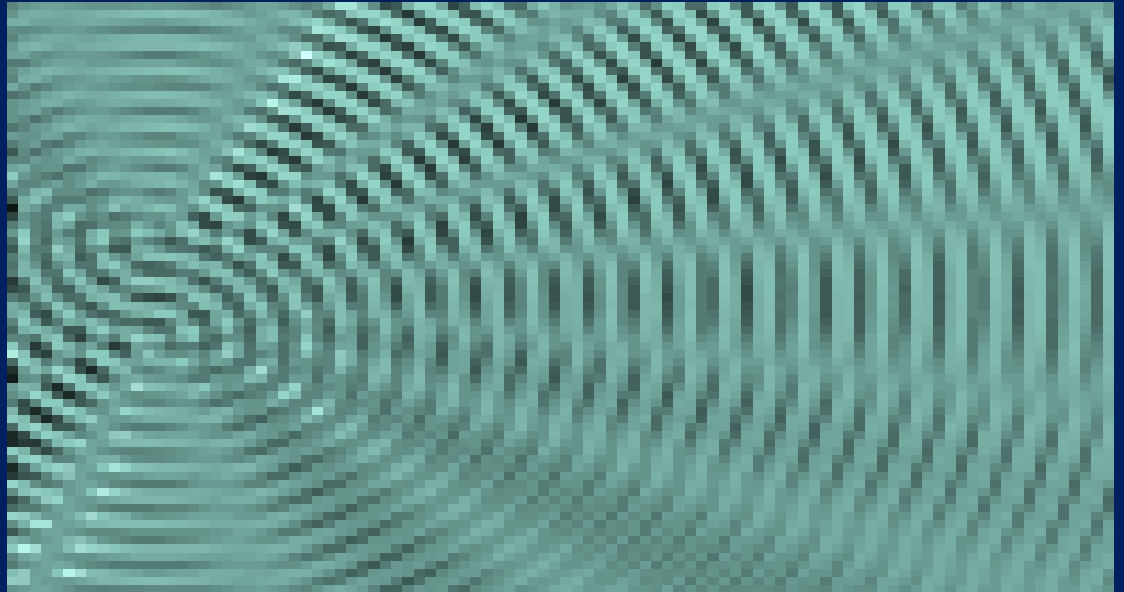
FIQUE ATENTO!!!

Interferência destrutiva

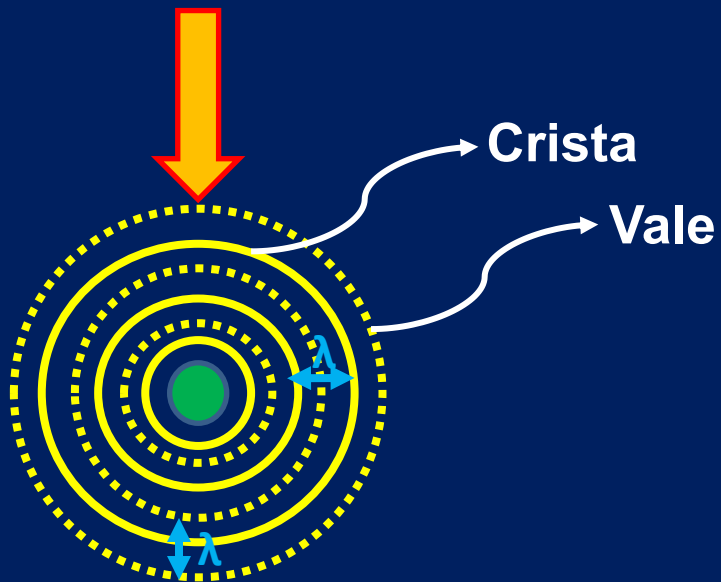
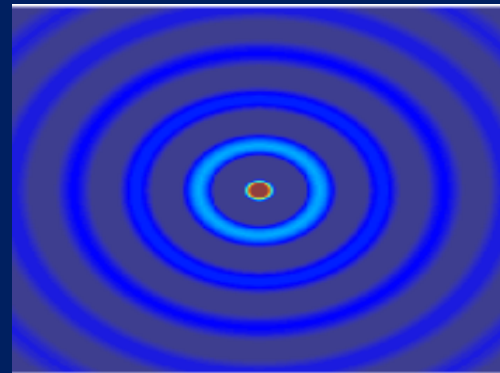


Quando $A_A = A_B$, a interferência destrutiva gera, ainda que momentaneamente, uma onda estacionária. Então,
 $A_{Resultante} = 0$.

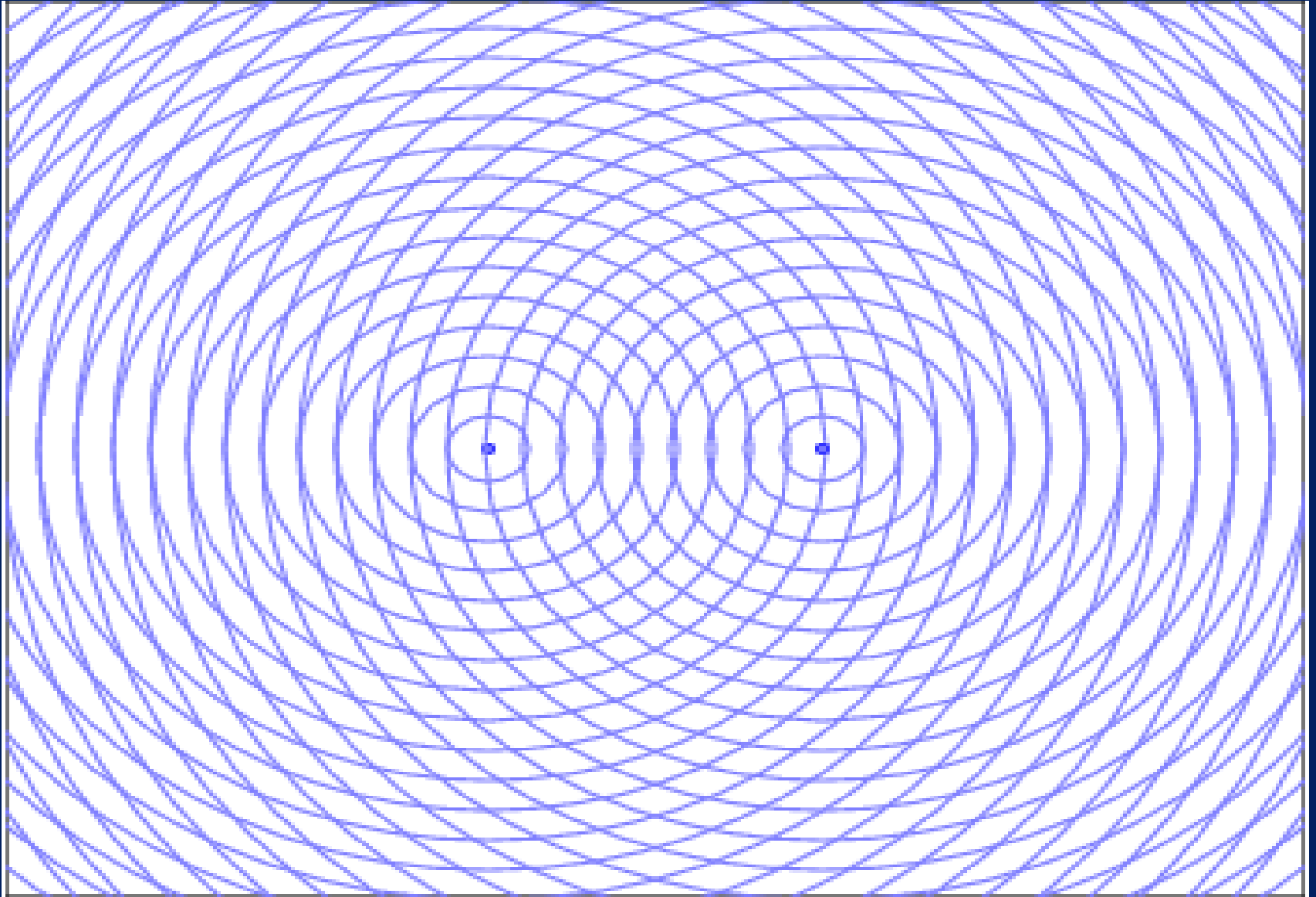
Interferência



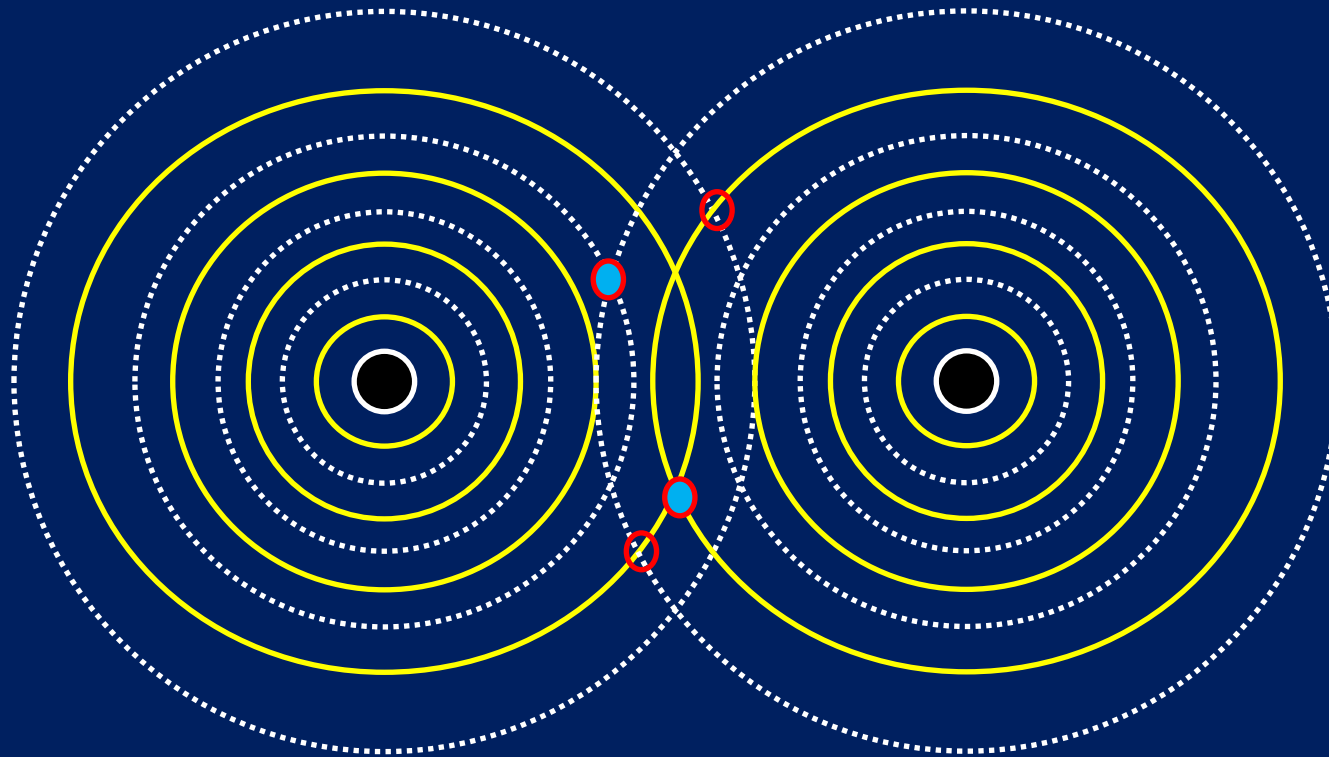
Interferência – Ondas Bidimensionais e Tridimensionais



Interferência – Ondas **Bidimensionais** e **Tridimensionais**



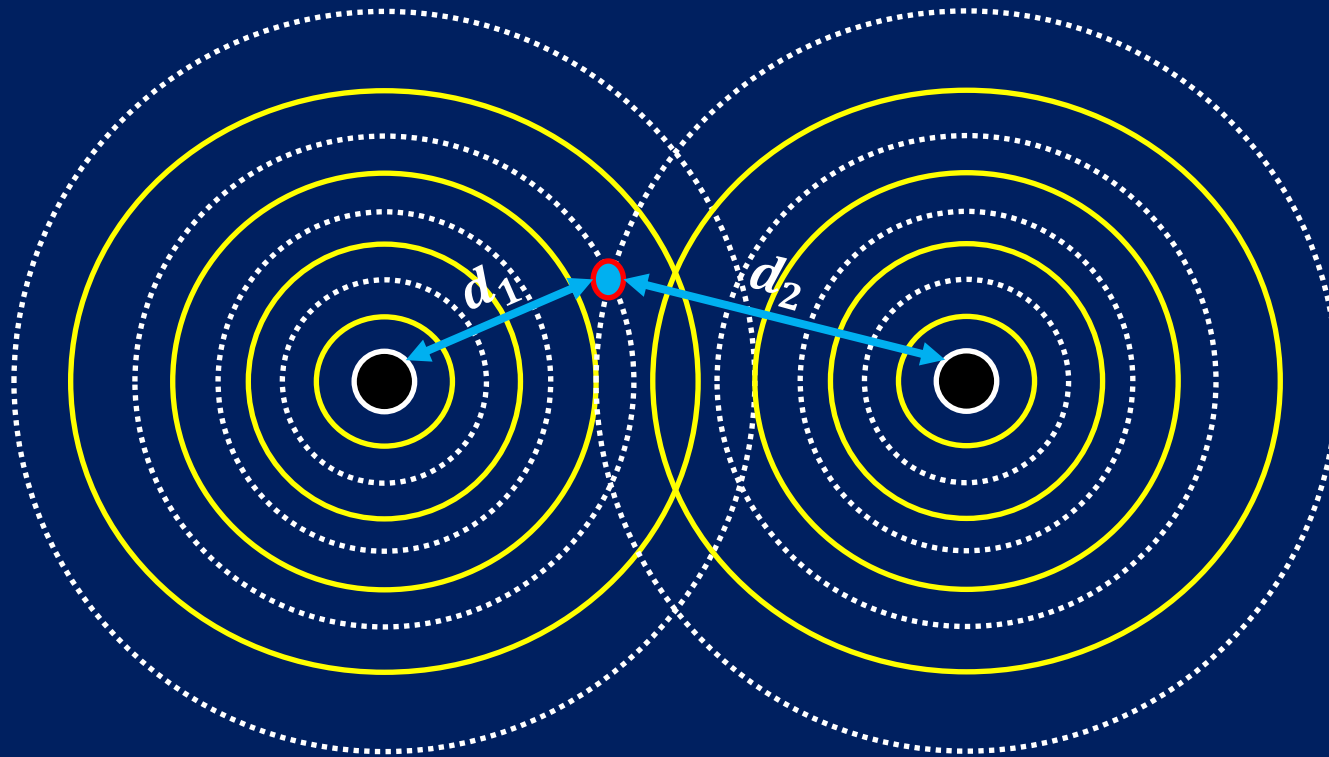
Interferência – Ondas Bidimensionais e Tridimensionais



  Interferência Construtiva

  Interferência Destrutiva

Interferência – Ondas Bidimensionais e Tridimensionais



Δ Corresponde à diferença entre os percursos ondulatórios (d_1 e d_2)

$$\Delta = |d_1 - d_2|$$

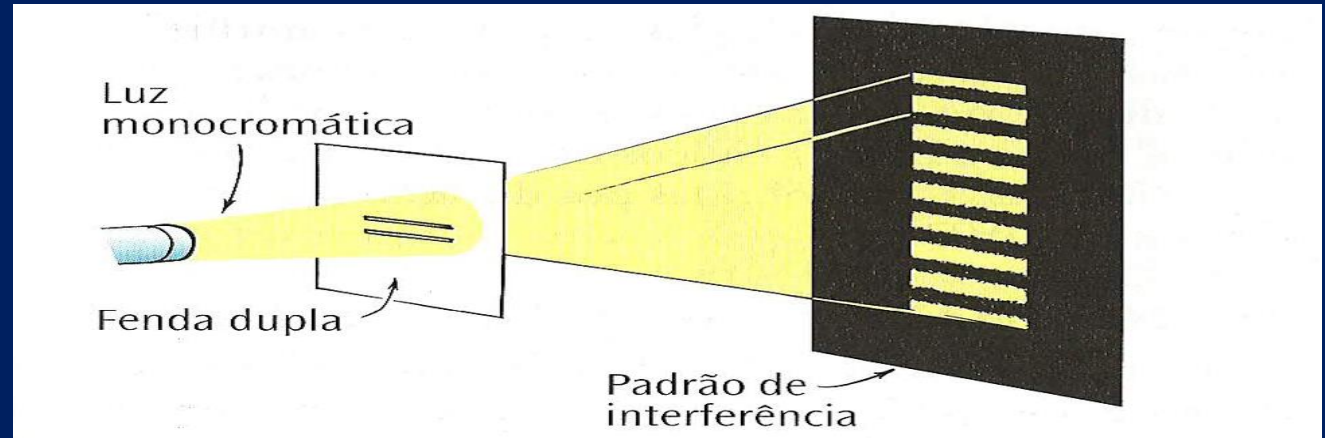
$$\Delta = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

n representa o ponto de interferência em relação à vibração das cristas e vales ($\frac{\lambda}{2}$).

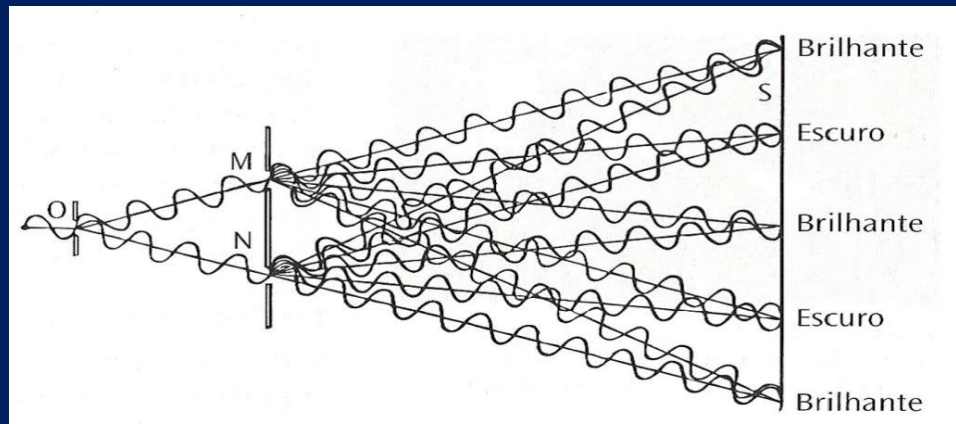
Portanto, se n é par a interferência é construtiva, se n é ímpar, a interferência é destrutiva

Experimento de Young

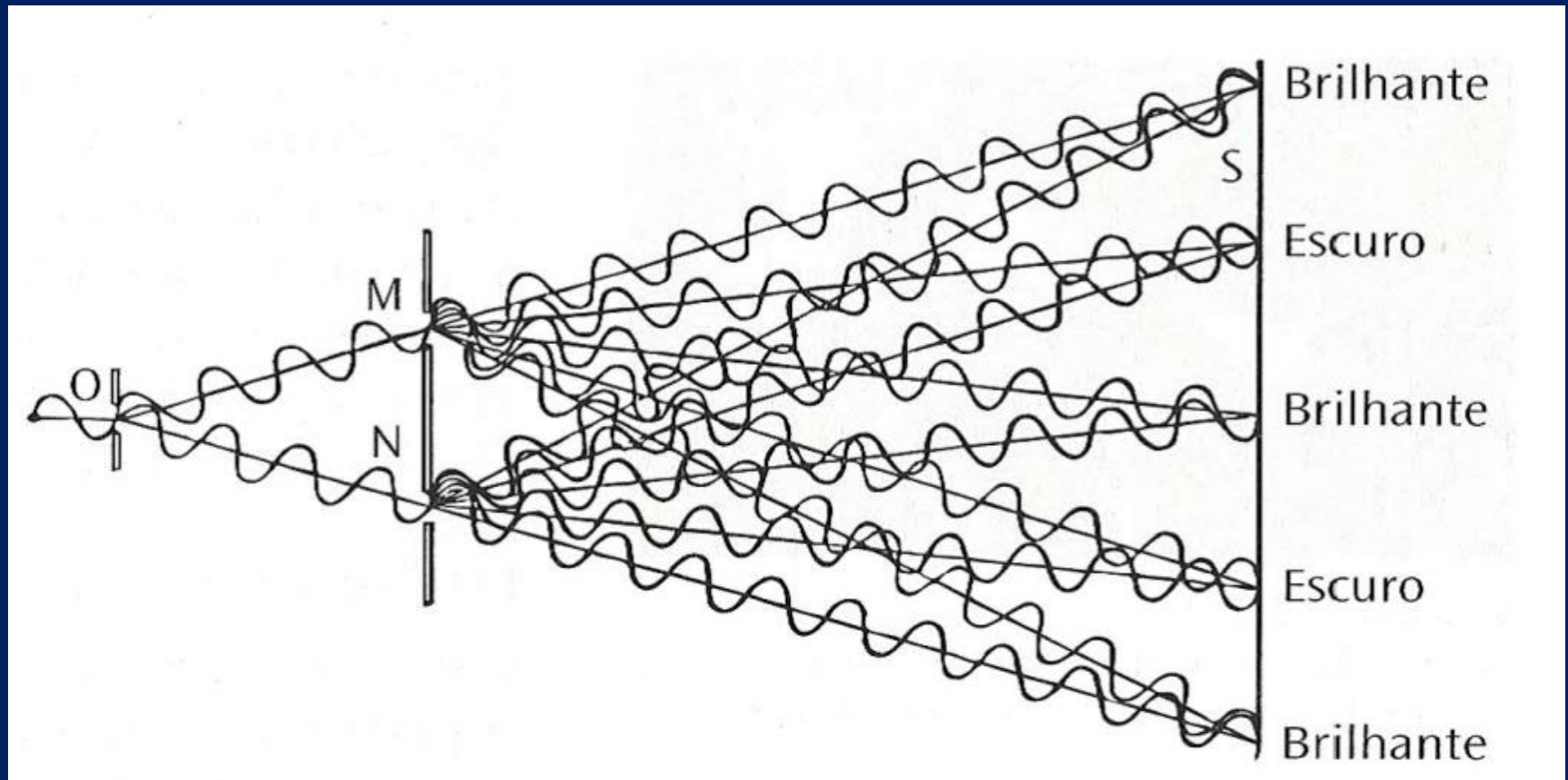
Thomas Young: “Quando uma luz monocromática difrata por duas fendas muito próximas forma-se um padrão de interferência composto por faixas claras e escuras”.



Essa abordagem de Young tem caráter ondulatório



Experimento de Young



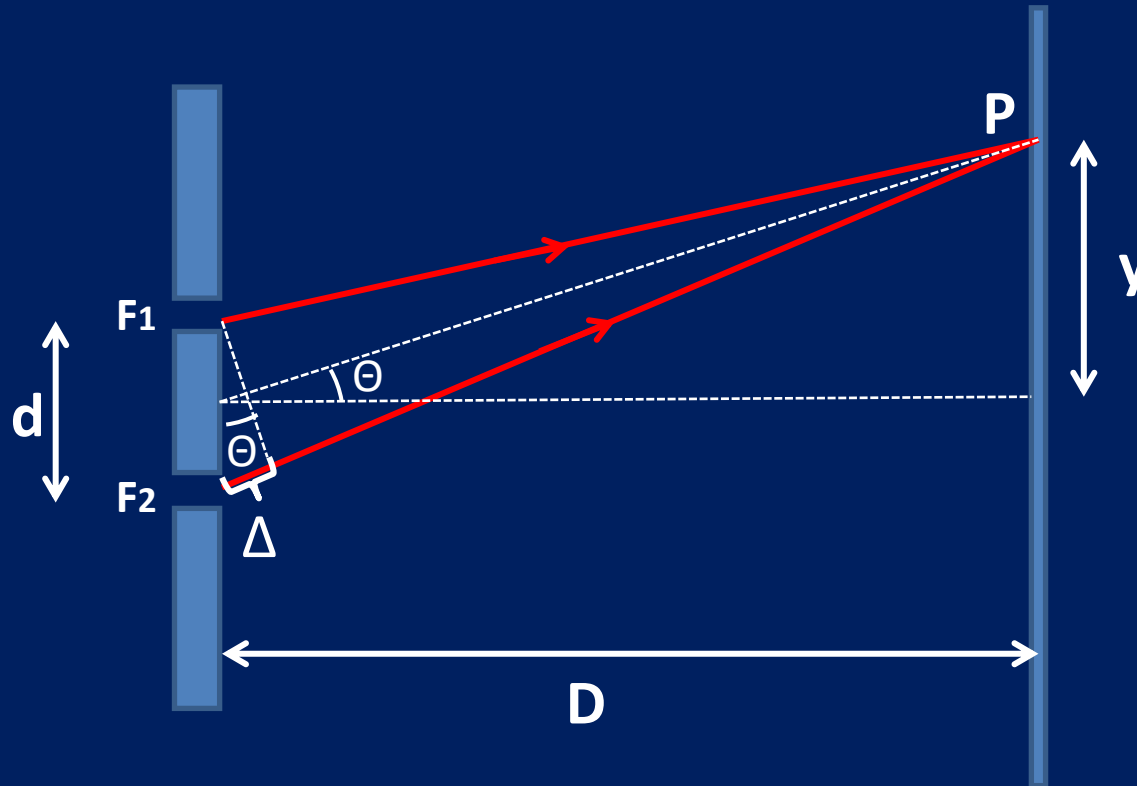
$$\Delta = |d_1 - d_2|$$

$$\Delta = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Δ Corresponde à diferença entre os percursos ondulatórios (d_1 e d_2)

$n \rightarrow$ par \rightarrow interferência construtiva
 $n \rightarrow$ ímpar \rightarrow interferência destrutiva

Experimento de Young

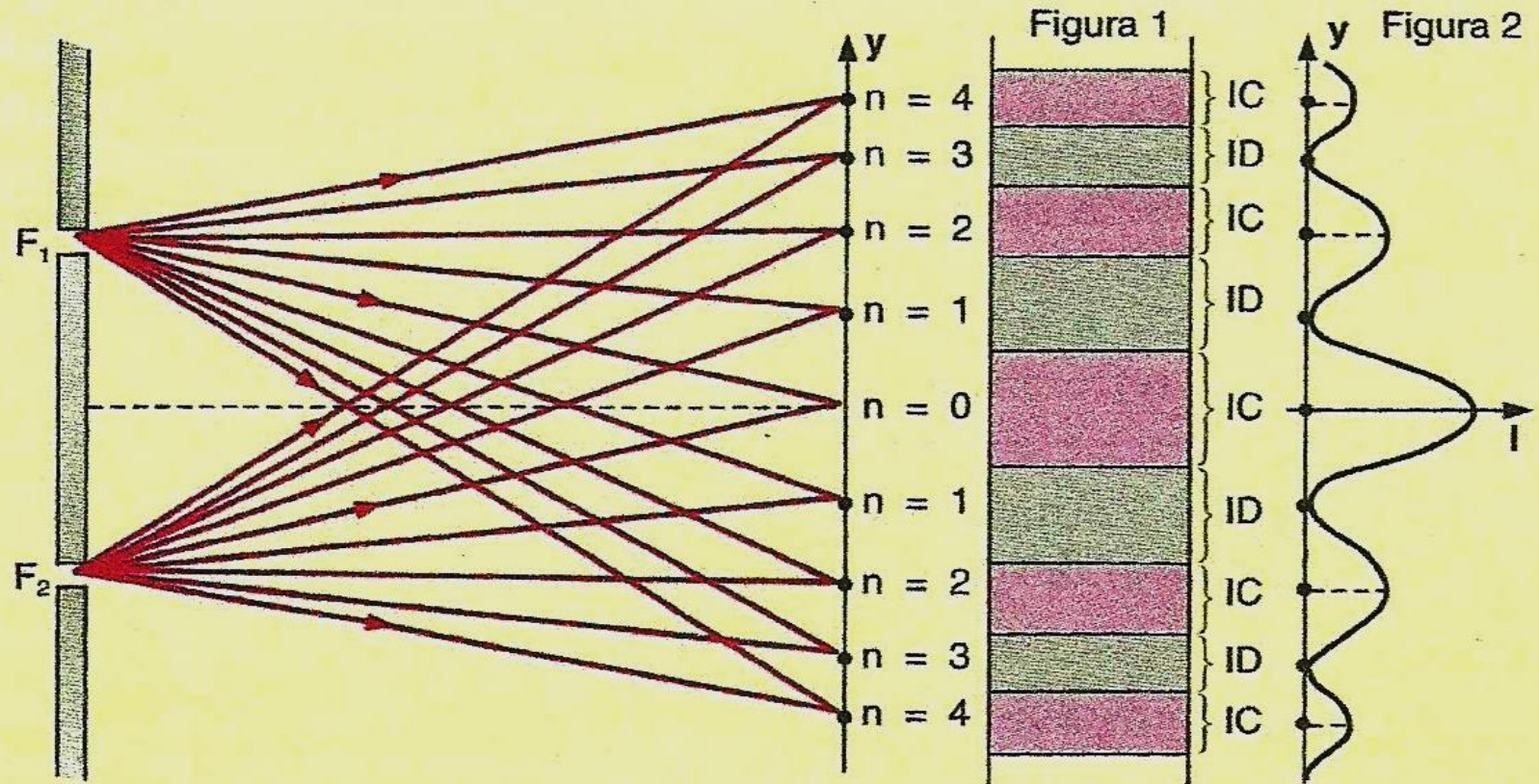


$$\Delta = |PF_1 - PF_2|$$



$$\Delta = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

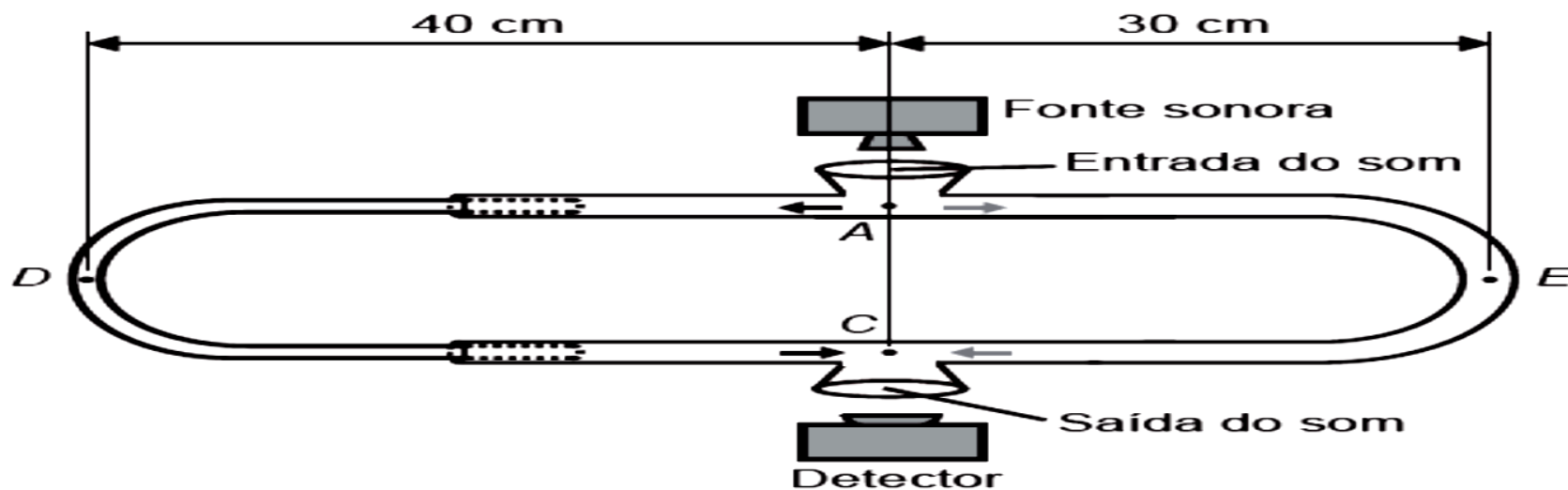
Experimento de Young



Importante: Em $n=0$ a intensidade luminosa é máxima, para interferências construtivas, que é justamente onde está a franja central. Em $n=1$ é quando a intensidade luminosa é mínima, pois são as regiões de menor luminosidade próximas da franja central.

Importante: Em relação ao SOM, em $n=0$ a intensidade sonora é máxima. Em $n=1$ a intensidade sonora é mínima, tendendo ao silêncio

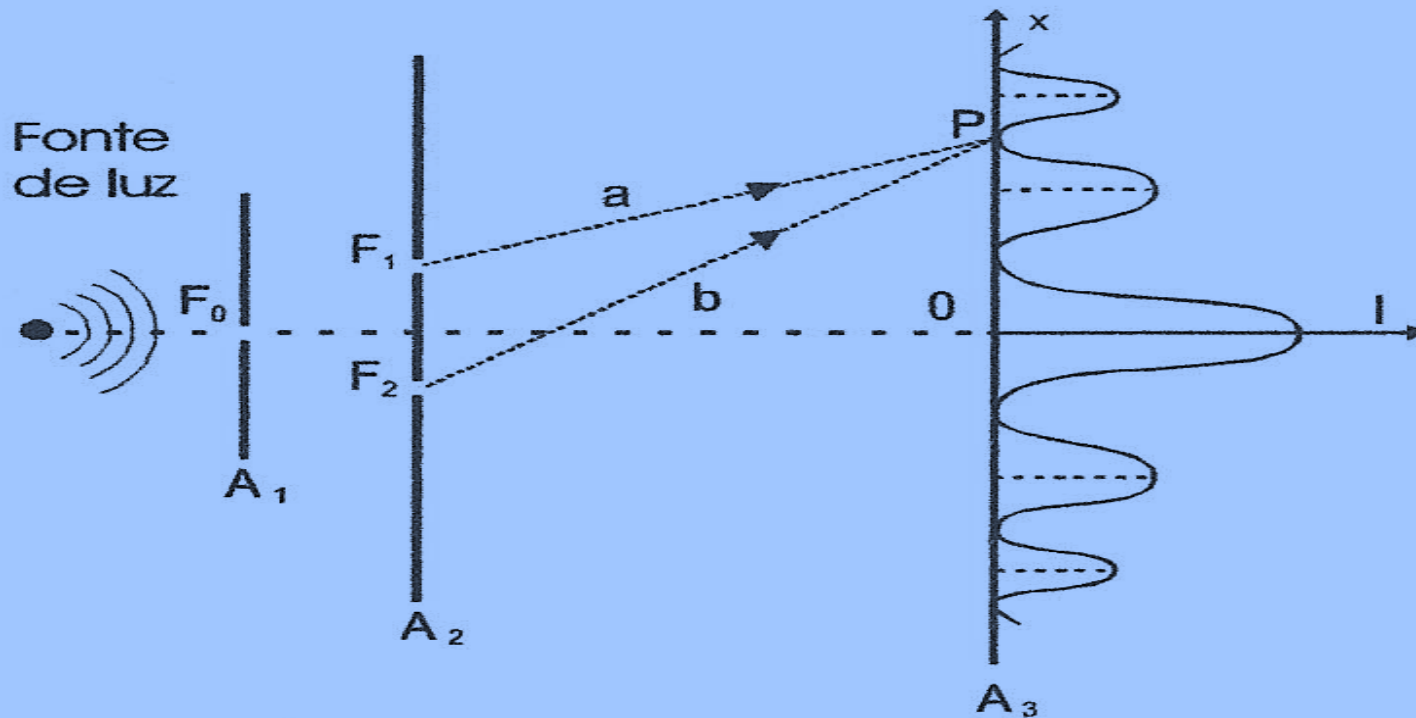
O trombone de Quincke é um dispositivo experimental utilizado para demonstrar o fenômeno da interferência de ondas sonoras. Uma fonte emite ondas sonoras de determinada frequência na entrada do dispositivo. Essas ondas se dividem pelos dois caminhos (ADC e AEC) e se encontram no ponto C , a saída do dispositivo, onde se posiciona um detector. O trajeto ADC pode ser aumentado pelo deslocamento dessa parte do dispositivo. Com o trajeto ADC igual ao AEC , capta-se um som muito intenso na saída. Entretanto, aumentando-se gradativamente o trajeto ADC , até que ele fique como mostrado na figura, a intensidade do som na saída fica praticamente nula. Desta forma, conhecida a velocidade do som no interior do tubo (320 m/s), é possível determinar o valor da frequência do som produzido pela fonte.



O valor da frequência, em hertz, do som produzido pela fonte sonora é

- A** 3 200.
- B** 1 600.
- C** 800.
- D** 640.
- E** 400.

APLICAÇÕES



Na experiência de Thomas Young, a luz monocromática difratada pelas fendas F_1 e F_2 se superpõe na região limitada pelos anteparos A_2 e A_3 , produzindo o padrão de interferência mostrado na figura.

Sabendo que a luz utilizada tem frequência igual a $6,0 \times 10^{14}$ Hz e se propaga com velocidade de módulo igual a $3,0 \times 10^8$ m/s, determine, em unidades do Sistema Internacional, a diferença entre os percursos ópticos, a e b , dos raios que partem de F_1 e F_2 e atingem o ponto P .

SISTEMAS VIBRANTES

RESSONÂNCIA

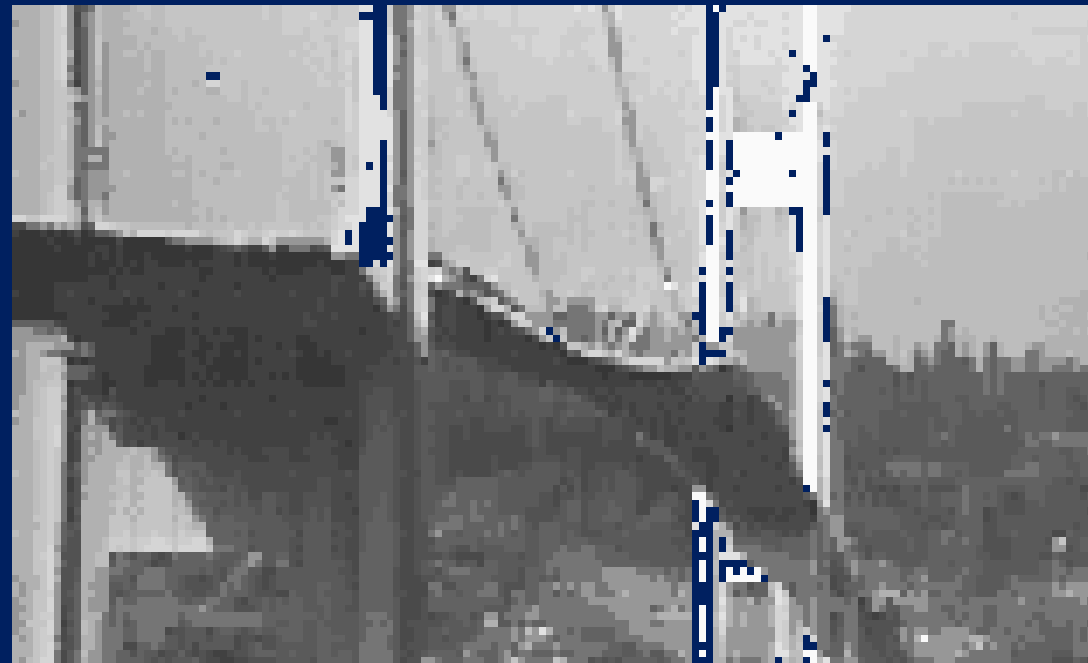
Ressonância

Fenômeno que ocorre quando um sistema vibra na mesma frequência que a onda fundamental que provoca a perturbação, aumentando a amplitude vibratória.

Ex. Vibração em uma taça de cristal, em cordas de violão ou até mesmo pontes de concreto.



Ponte de Tacoma



PONTE DE TACOMA



RESSONÂNCIA MAGNÉTICA


@sigaietu



@sigaietu

A ONDA SONORA:

SOM → Onda tridimensional, mecânica e longitudinal



$V_{\text{sólidos}} > V_{\text{líquidos}} > V_{\text{gases}}$

**QUALIDADES
FISIOLÓGICAS DO
SOM**

ALTURA



FREQUÊNCIA

INTENSIDADE



AMPLITUDE

TIMBRE



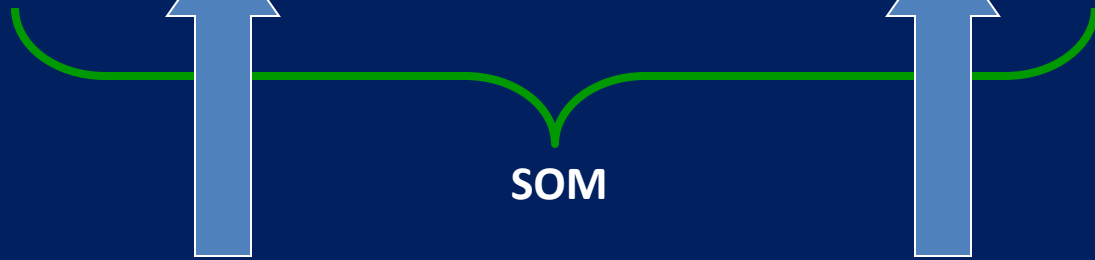
FORMA

FIQUE ATENTO!



0 20Hz 20kHz

Frequências Audíveis



Sons
Graves são
aqueles de
baixa
frequência.

Sons
Agudos são
aqueles de
alta
frequência.

Para entender melhor!

- O tom de um som depende de sua frequência.
- As baixas frequências correspondem aos **GRAVES**.
- As altas frequências correspondem aos **AGUDOS**.

					
27 Hz	100 Hz	200 Hz	440 Hz	1000 Hz	3000 Hz

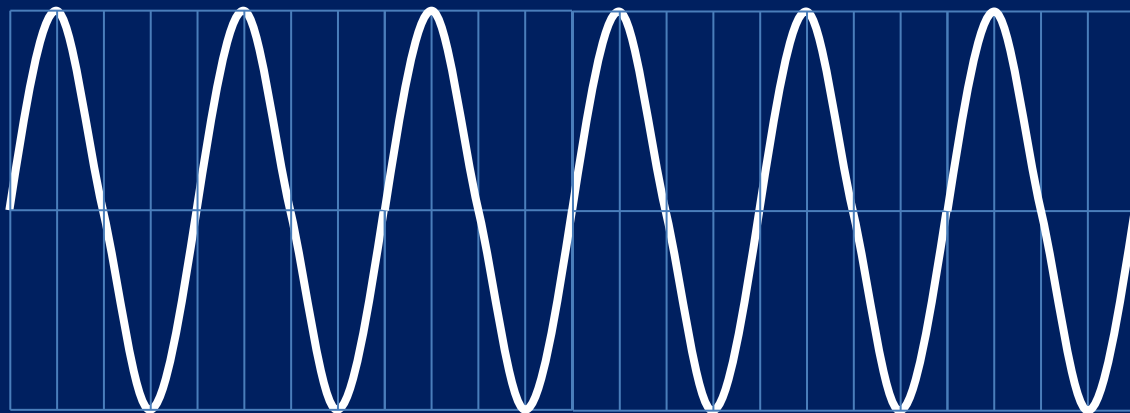


INTENSIDADE:

Qualidade do som relacionada à **amplitude**. Nesse caso, os sons são classificados em **Forte** ou **Fraco**.

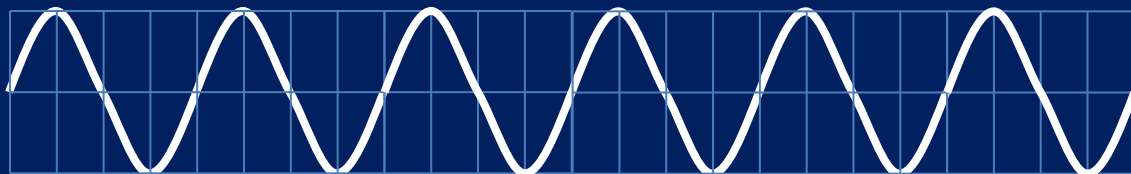
SOM FORTE:

Som de alta intensidade, portanto, grande amplitude



SOM FRACO:

Som de baixa intensidade, portanto, baixa amplitude



Intensidade do Som

Intensidade física:

$$I = \frac{P}{A}$$

- Unidade no SI:

$$\frac{W}{m^2}$$

Intensidade do Som

Mínima intensidade física ou limiar de audibilidade (I_o): é o menor valor da intensidade física ainda audível, vale:

$$I_o = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Máxima intensidade física ou limiar de dor ($I_{\text{máx}}$): é o maior valor da intensidade física suportável pelo ouvido, vale:

$$I_{\text{máx}} = 1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Intensidade do Som

- *Intensidade auditiva* ou *nível sonoro* (β):

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

- A unidade de nível sonoro, para a equação dada, é o decibel (*dB*).

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \Rightarrow \beta_0 = 0 \text{ dB}$$

$$I_{\text{Máx}} = 1 \text{ W/m}^2 \Rightarrow \beta_{\text{Máx}} = 120 \text{ dB}$$

- Um ambiente com:

⇒ **40 dB** é calmo;

⇒ **60 dB** é barulhento

⇒ **mais de 80 dB** já constitui poluição sonora.

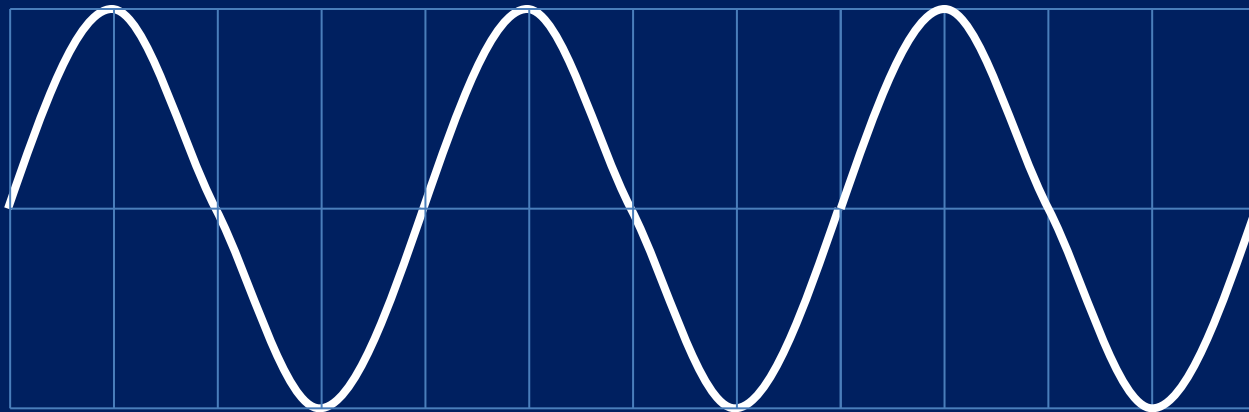
APLICAÇÕES

O limiar da audibilidade corresponde à intensidade física de 10^{-12}W/m^2 . Em uma zona acústica, a intensidade física do ambiente tem valor correspondente a 10^{-5}W/m^2 . O valor do nível sonoro dessa zona acústica é igual a:

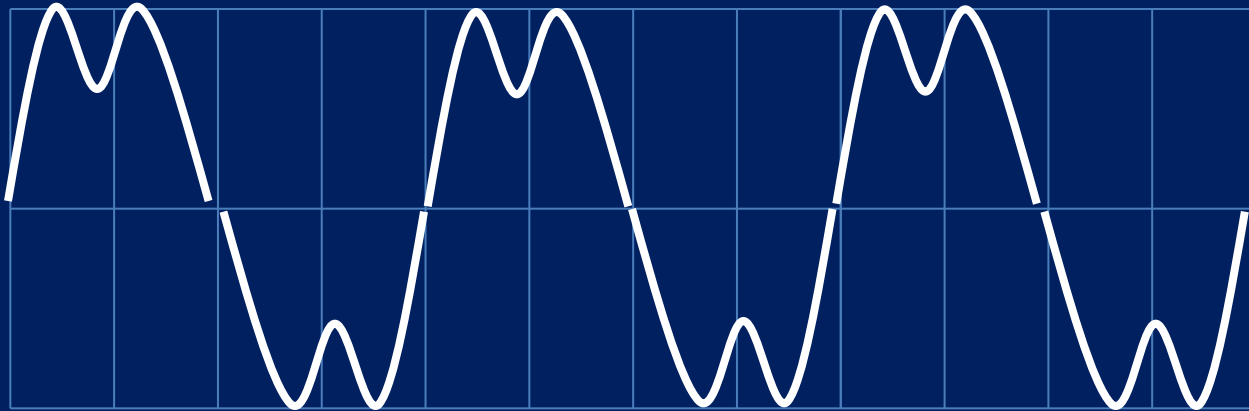
- a) 28 decibéis
- b) 45 decibéis
- c) 70 decibéis
- d) 90 decibéis
- e) 125 decibéis

TIMBRE:

Qualidade do som relacionada à **forma da onda**. É a qualidade que nos permite diferenciar dois sons de mesma altura e mesma intensidade.

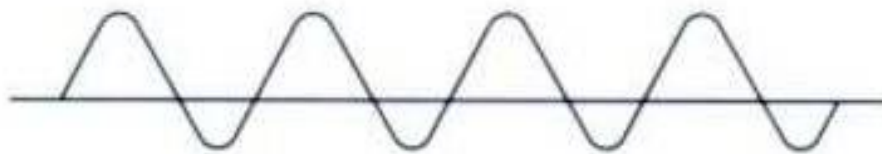


INSTRUMENTO A

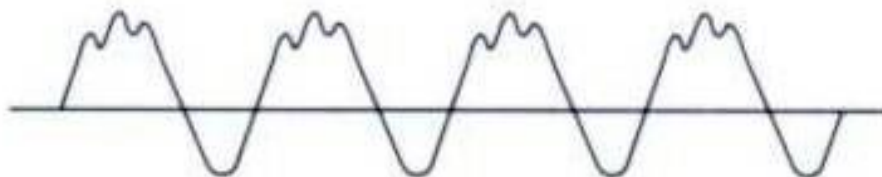


INSTRUMENTO B

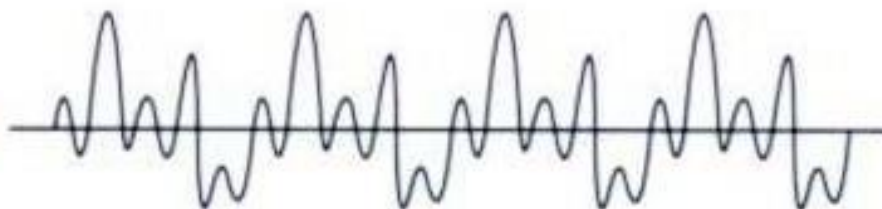
ALGUMAS FORMAS DE ONDA (TIMBRE):



Diapasão



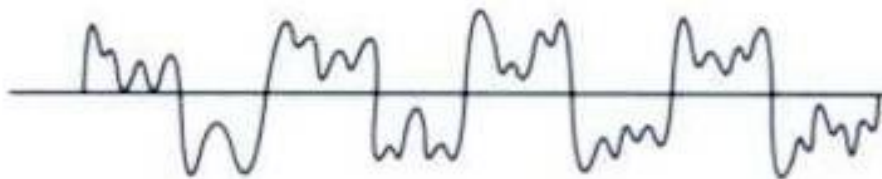
Flauta



Violino



Voz (letra a)



Clarineta

Ondas em cordas – Velocidade de propagação



Considere uma corda de massa m e comprimento l , tensionada por uma força de tração T .

A velocidade de propagação será dada pela **EQUAÇÃO DE TAYLOR:**

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

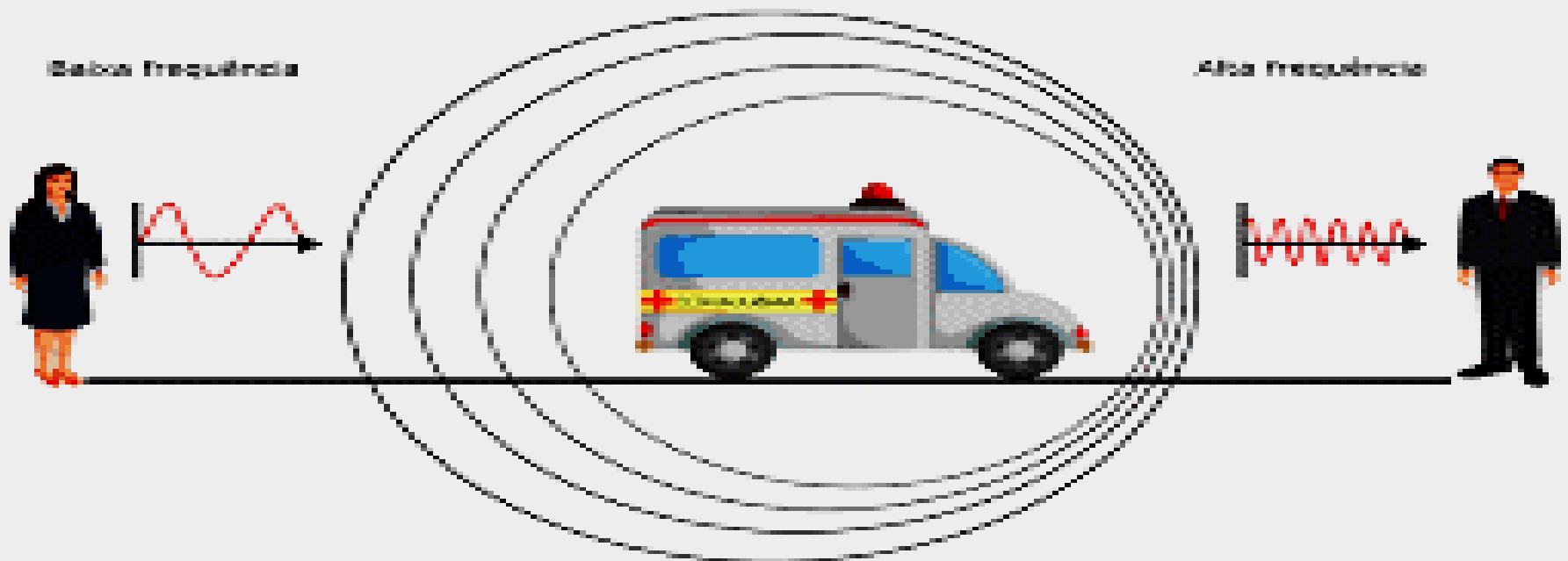
$$\mu = m / l$$

μ = densidade linear da corda

EFEITO DOPPLER

É o fenômeno no qual o som é percebido por um ouvinte (observador) em mudança de intensidade em relação a uma fonte emissora provocando a sensação de mudança na frequência sonora.

Efeito Doppler



EFEITO DOPPLER



EXERCÍCIO EFEITO DOPPLER

(UESB) Um automóvel se aproxima a uma velocidade de $30,0\text{m/s}$ de uma sirene de fábrica que tem uma frequência de $510,0\text{Hz}$.

Sabendo-se que a velocidade do som no ar é de $340,0\text{m/s}$, pode-se afirmar que o motorista do veículo ouve, aparentemente, uma frequência igual, em Hz, a

01) 603

03) 526

05) 436

02) 555

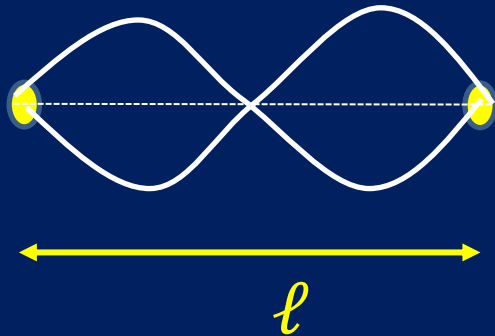
04) 497

Cordas vibrantes



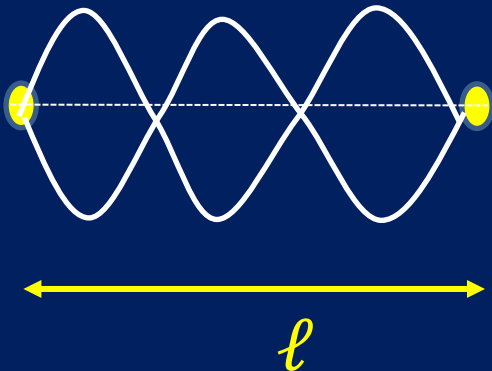
1º Harmônico
(Fundamental)

$$\lambda_1 = \frac{2\ell}{1}$$



2º Harmônico

$$\lambda_2 = \frac{2\ell}{2}$$



3º Harmônico

$$\lambda_3 = \frac{2\ell}{3}$$

GENERALIZANDO:

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

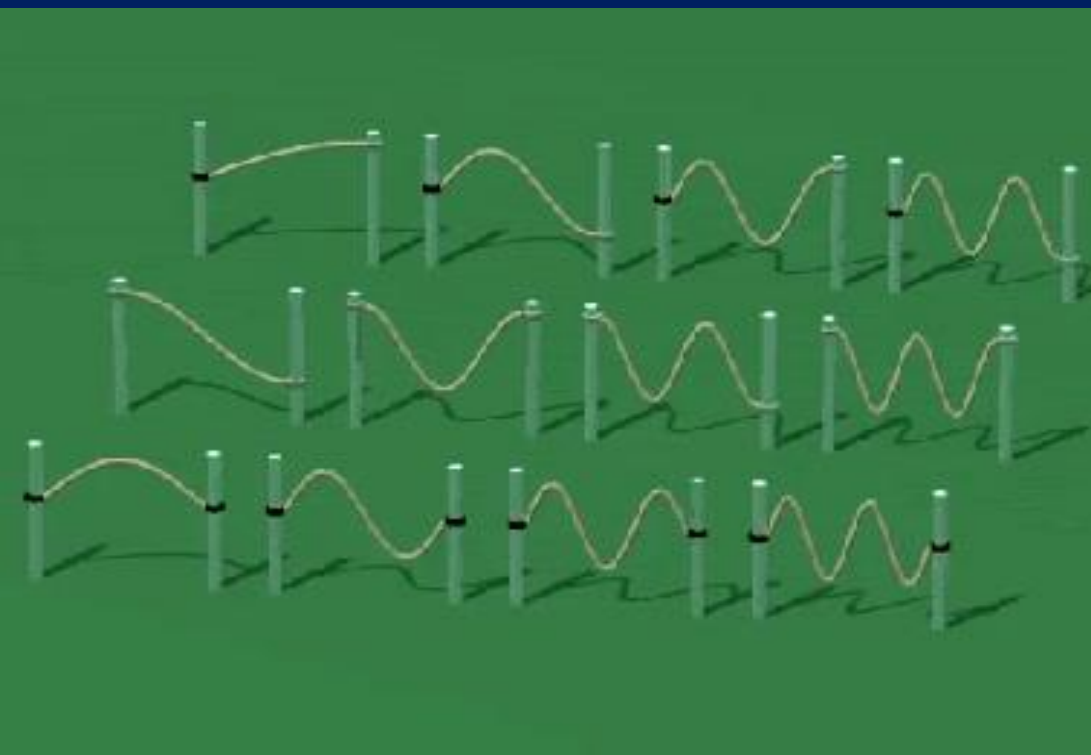
Para determinar a
frequência:

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$$

$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} \rightarrow f_n = \frac{V}{\frac{2\ell}{n}}$$

$$f_n = n \cdot \frac{V}{2\ell}$$

Velocidade(V) de vibração nas cordas : Equação de Taylor



$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

m/s

Kg/m

N

$$\mu = \frac{m}{\ell}$$

Kg/m

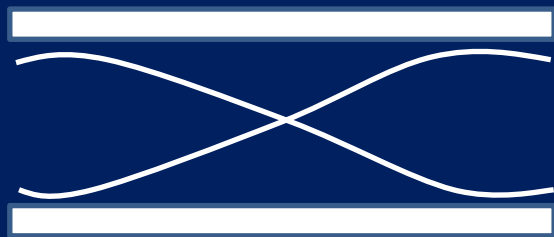
Kg

m

T = Tração
 μ = Densidade linear da corda

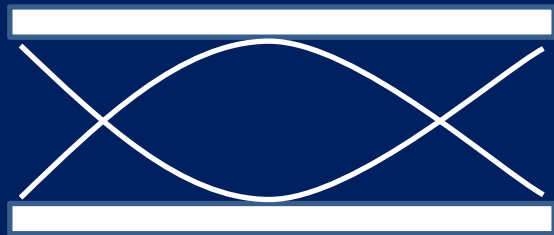
Vibração em tubos sonoros:

Abertos



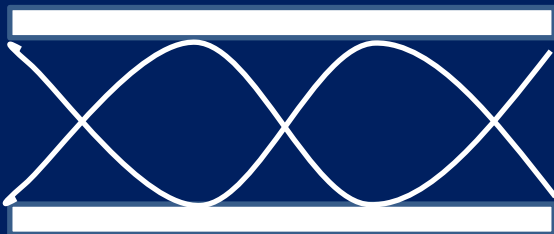
1º Harmônico
(Fundamental)

$$\lambda_1 = \frac{2\ell}{1}$$



2º Harmônico

$$\lambda_2 = \frac{2\ell}{2}$$



3º Harmônico

$$\lambda_3 = \frac{2\ell}{3}$$



GENERALIZANDO:

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

Para determinar a
frequência:

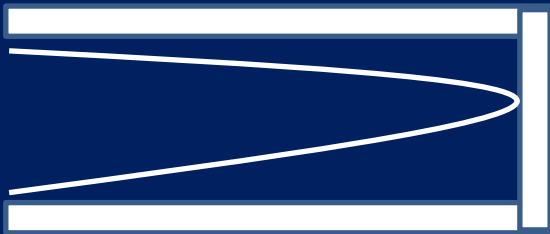
$$V = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$$

$$f_n = \frac{V}{\lambda_n} \rightarrow f_n = \frac{V}{\frac{2\ell}{n}}$$

$$f_n = n \cdot \frac{V}{2\ell}$$

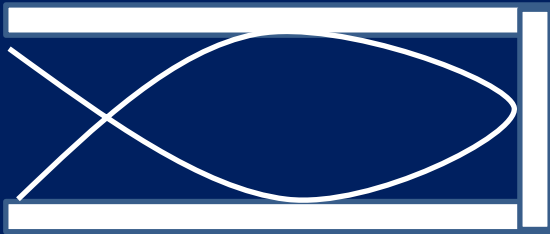
Vibração em tubos sonoros:

Fechados



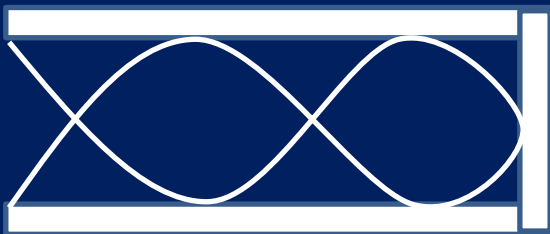
1º Harmônico

$$\lambda = \frac{2\ell}{1/2} \Rightarrow \lambda = \frac{4\ell}{1} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4\ell}{1}$$



3º Harmônico

$$\lambda = \frac{2\ell}{3/2} \Rightarrow \lambda = \frac{4\ell}{3} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{4\ell}{3}$$



5º Harmônico

$$\lambda = \frac{2\ell}{5/2} \Rightarrow \lambda = \frac{4\ell}{5} \Rightarrow \lambda_5 = \frac{4\ell}{5}$$

Vibração em tubos sonoros: Fechados



Nos tubos fechados não existem harmônicos pares

GENERALIZANDO:

$i = \text{ímpar}$

$$\lambda_i = \frac{4\ell}{i}$$

Para determinar a frequência:

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$$

$$f_i = \frac{V}{\lambda_i} \rightarrow f_i = \frac{V}{\frac{4\ell}{i}}$$

$$f_n = i \cdot \frac{V}{4\ell}$$

EXERCÍCIO

(PUC-SP) Uma corda de piano, com 40 cm de comprimento e massa 5 g, é distendida sob ação de uma tração de 320 N. A frequência do modo fundamental de vibração é de:

- a) 100 Hz.
- b) 200 Hz
- c) 400 Hz
- d) 800 Hz
- e) 1 200 Hz

EXERCÍCIO

(UCS-RS) Um tubo sonoro aberto emite o 5º harmônico com frequência de 1 700 Hz. Supondo a velocidade do som igual a 340 m/s, o comprimento do tubo vale:

- a) 5 cm.
- b) 17 cm.
- c) 34 cm.
- d) 50 cm.
- e) 68 cm.

Produção e elaboração

Professor Antonio Marcos.