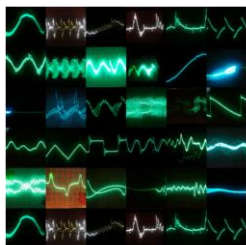


# Ondas



**Ígnez Caracelli**  
*ignez@df.ufscar.br*



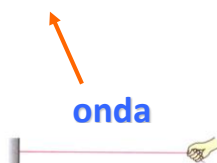
1

Ígnez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



perturbação = **pulso**



o movimento do pulso = **onda**

meio de propagação = **corda**

2

Ígnez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





perturbação = *pulso* 

o movimento do pulso = *onda*

meio de propagação = *corda*

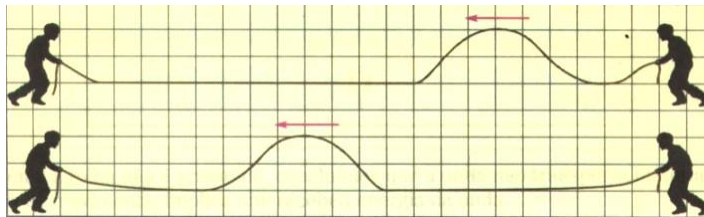
3

Ignez Caracelli

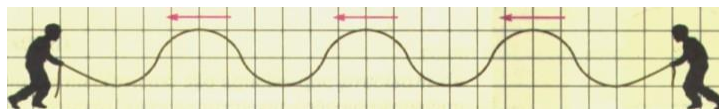
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Onda e Trem de Ondas



1 pulso = 1 onda



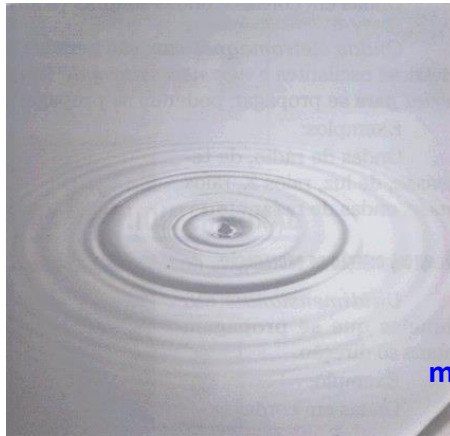
vários pulsos = 1 trem de ondas

4

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





impacto da pedra

perturbação

movimento

movimento se propaga



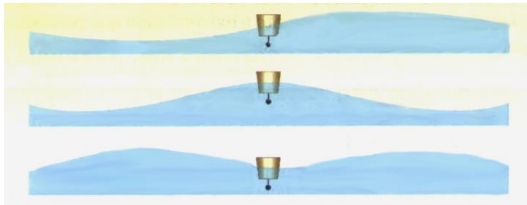
circunferências de mesmo centro

circunferências se afastam do centro

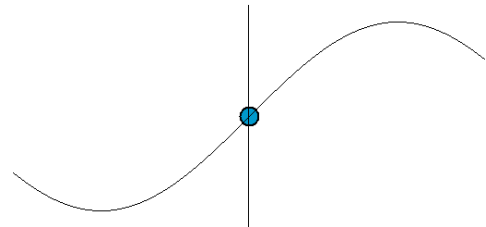
5

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



pedaço de cortiça na água próximo ao local do lançamento da pedra



a onda atinge a cortiça faz com que ela apenas oscile, subindo e descendo, sem variar a direção

a rolha não é arrastada → *onda não transporta matéria*

a rolha se movimenta → *a rolha recebeu energia da onda*

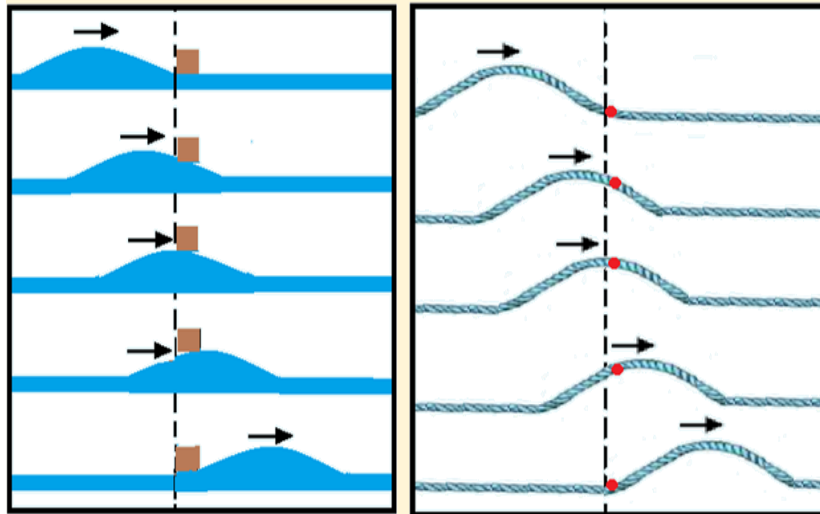
6

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Olhando um ponto da corda



7

Ignez Caracelli

rolha

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

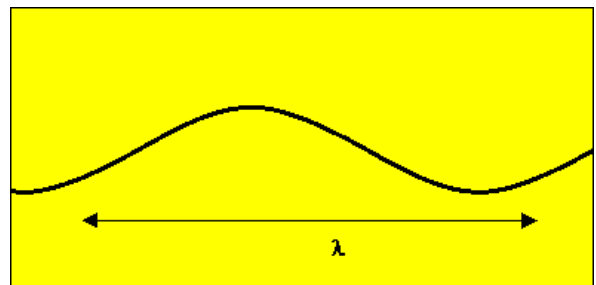
ponto da corda

Física



Denomina-se **onda** o movimento causado por uma perturbação que se propaga por um meio.

Uma onda  
transmite energia  
sem o transporte de  
matéria.



8

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

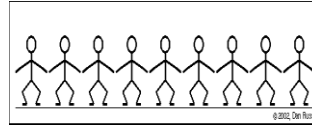
Física





## Classificação

Quanto à natureza



Quanto à direção de propagação

Quanto à direção de vibração

## Natureza

### Ondas mecânicas

são aquelas que **precisam** de um meio material para se propagar

*não se propagam no vácuo*

*exemplos:* ondas em cordas e ondas sonoras (som).

### Ondas eletromagnéticas

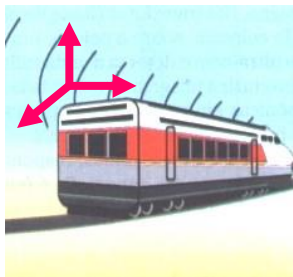
são geradas por cargas elétricas oscilantes

não necessitam de um meio material para se propagar

*podem se propagar no vácuo e no meio material*

*exemplos:* ondas de rádio, de televisão, de luz, raios X, raios laser, ondas de radar etc.

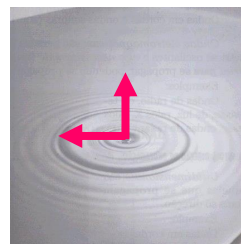
**unidimensionais** → se propagam numa só direção



**tridimensionais** →  
se propagam  
em todas as direções.

## Direção de Propagação

**bidimensionais** →  
se propagam em um plano



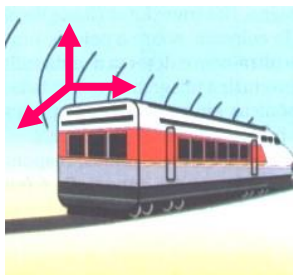
11

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



**unidimensionais** → se propagam numa só direção



**tridimensionais** →  
se propagam  
em todas as direções.

## Direção de Propagação

**bidimensionais** →  
se propagam em um plano



12

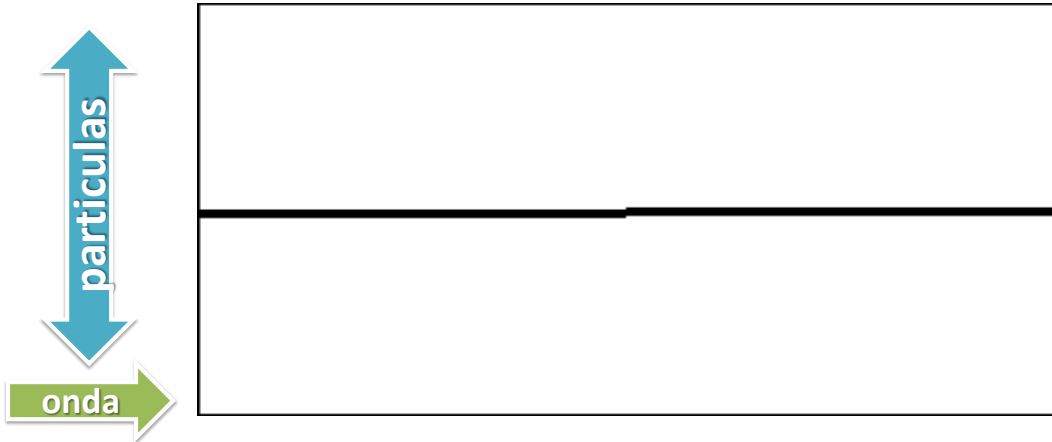
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas transversais

**transversais** → vibrações são perpendiculares à direção de propagação



13

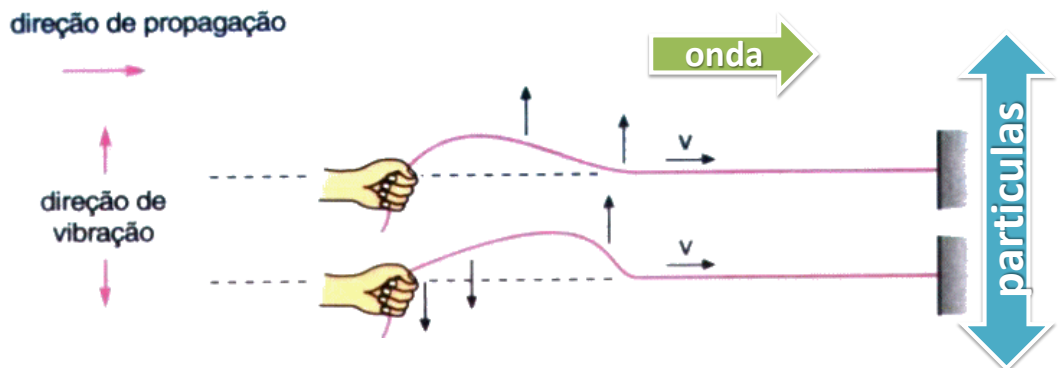
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas transversais

**transversais** → vibrações são perpendiculares à direção de propagação



14

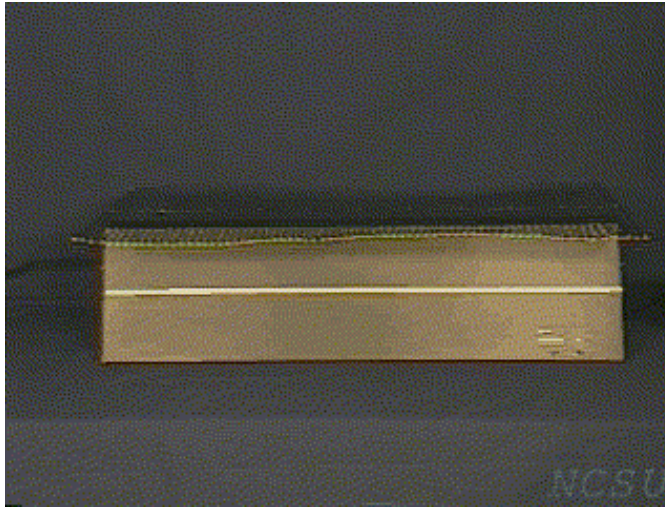
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas transversais

**transversais** → vibrações são perpendiculares à direção de propagação



15

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas transversais

**transversais** → vibrações são perpendiculares à direção de propagação



16

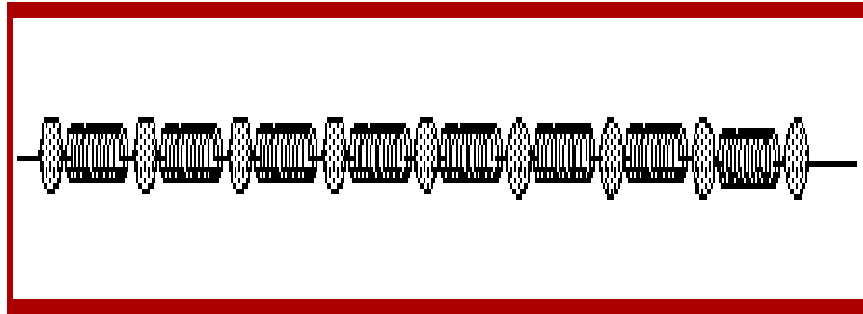
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas longitudinais

**longitudinais** → vibrações coincidem com a direção de propagação



17

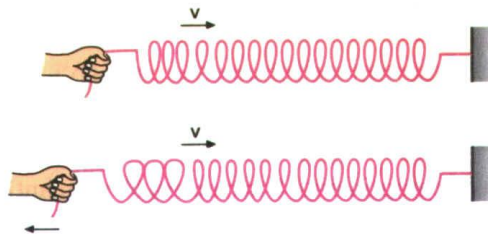
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas longitudinais

**longitudinais** → vibrações coincidem com a direção de propagação



18

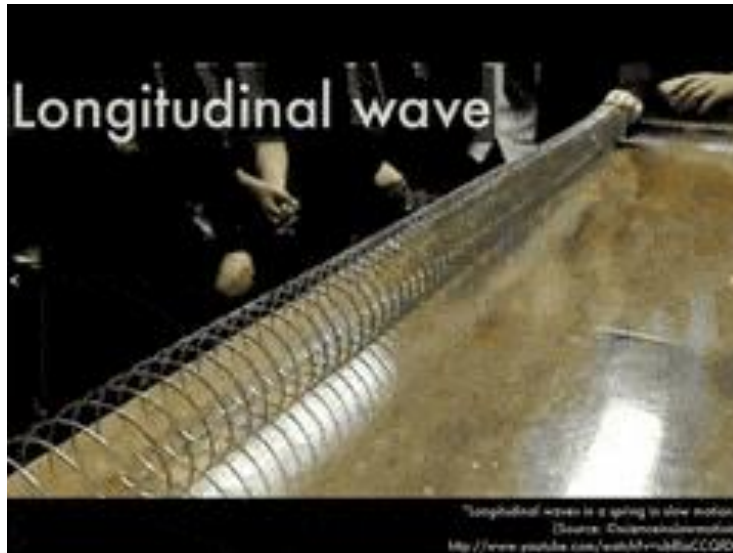
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas longitudinais

**longitudinais** → vibrações coincidem com a direção de propagação



19

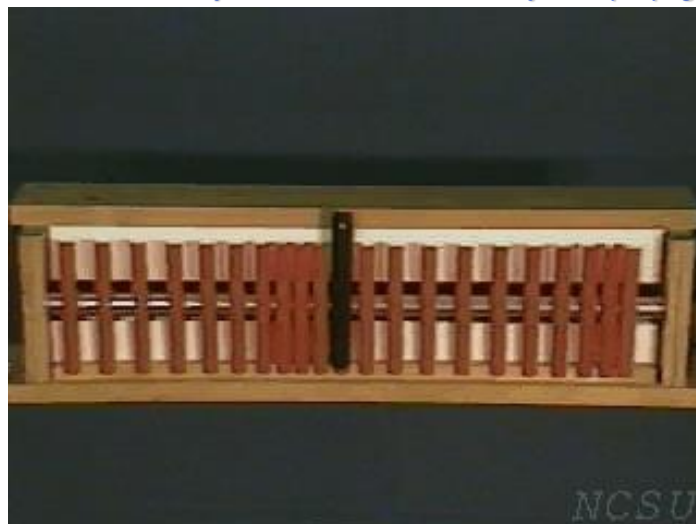
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Direção de vibração: ondas longitudinais

**longitudinais** → vibrações coincidem com a direção de propagação



20

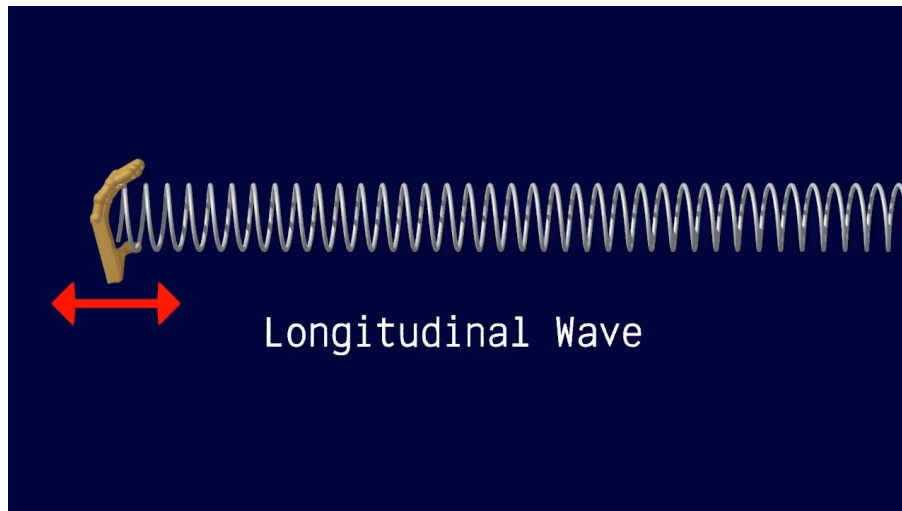
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





## Direção de vibração: ondas longitudinais e transversais



<https://www.youtube.com/watch?v=7cDAYFTXq3E#action=share>

21

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Classificação

natureza { ondas mecânicas  
ondas eletromagnéticas

direção de propagação { unidimensionais  
bidimensionais  
tridimensionais

direção de vibração { transversais  
longitudinais

22

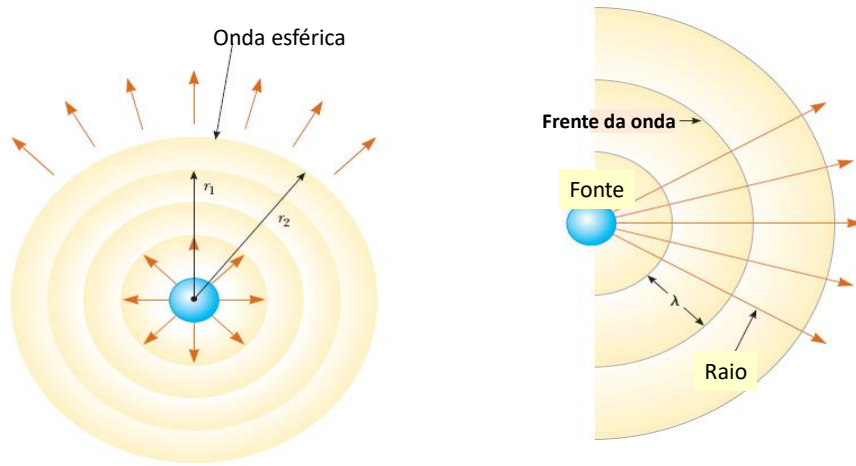
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





## Classificação ONDAS ESFÉRICAS E ONDAS PLANAS



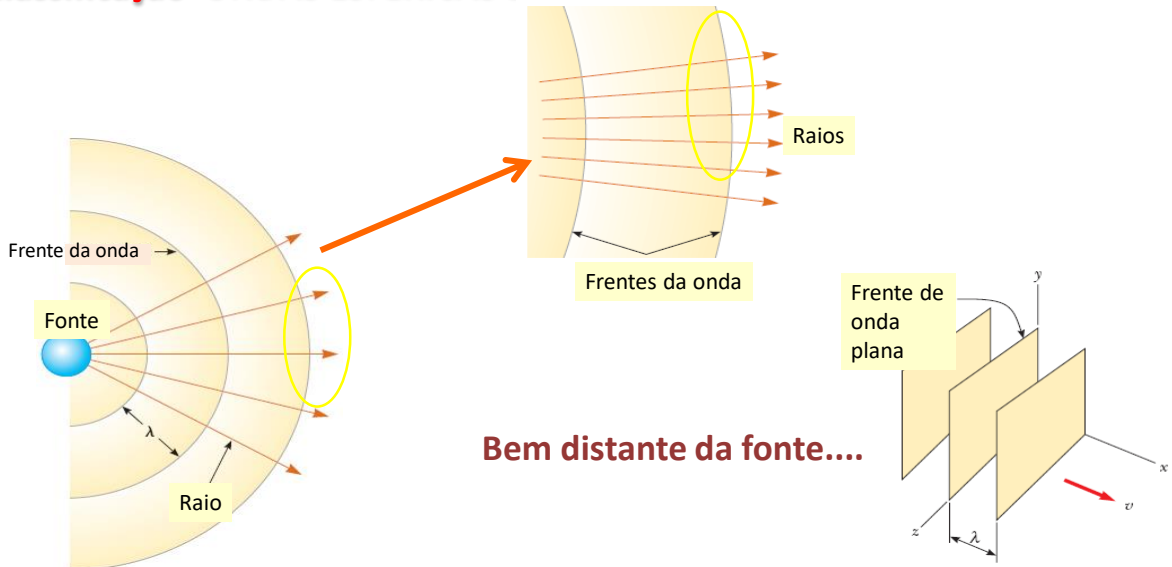
23

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Classificação ONDAS ESFÉRICAS E ONDAS PLANAS



24

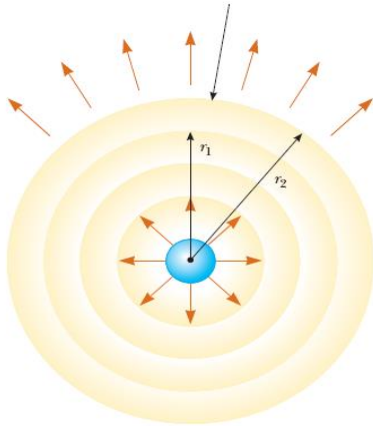
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Classificação ONDAS ESFÉRICAS E ONDAS PLANAS

Onda esférica



$$I_1 = \frac{\mathcal{P}_{av}}{4\pi r_1^2}$$

$$I_2 = \frac{\mathcal{P}_{av}}{4\pi r_2^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

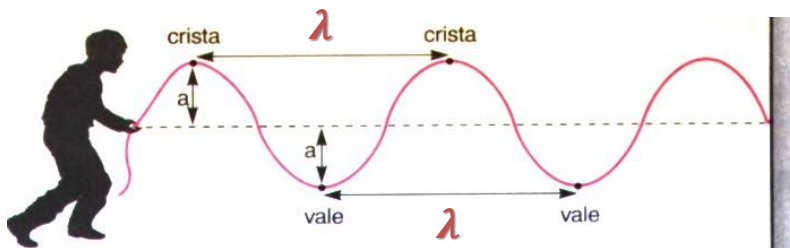
25

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



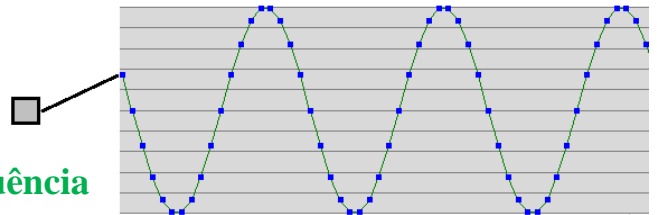
## Ondas Periódicas



$a \rightarrow$  amplitude

$\lambda \rightarrow$  comprimento de onda

$T \rightarrow$  período  $\longleftrightarrow$   $f \rightarrow$  frequência



REPRODUÇÃO  
GRATUITA

26

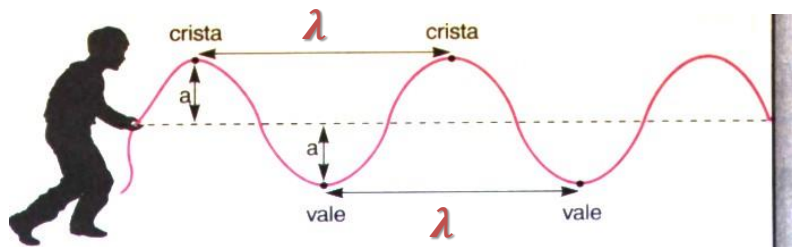
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas Periódicas

$a \rightarrow$  amplitude



$T \rightarrow$  período

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

$f \rightarrow$  frequência

$$x = v t \longrightarrow \lambda = v T \longrightarrow \lambda = v \frac{1}{f} \longrightarrow v = \lambda f$$

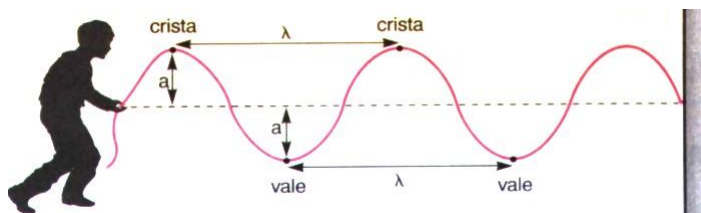
27

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas Periódicas



$T \rightarrow$  período

$f \rightarrow$  frequência

$\lambda \rightarrow$  comprimento de onda

$v \rightarrow$  velocidade da onda

$$v = \lambda f$$

válido para  
todas as ondas

$c \rightarrow$  velocidade da **onda eletromagnética**

$$c = \lambda f$$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

28

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

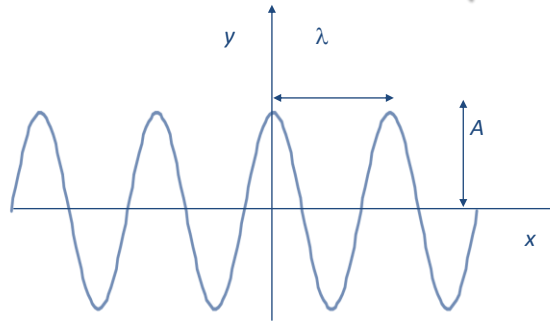


## Onda progressiva

onda harmônica de amplitude  $A$  se movendo na direção  $+x$ .

$$y(x,t) = A \text{ sen } (kx - \omega t)$$

equação de onda



29

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



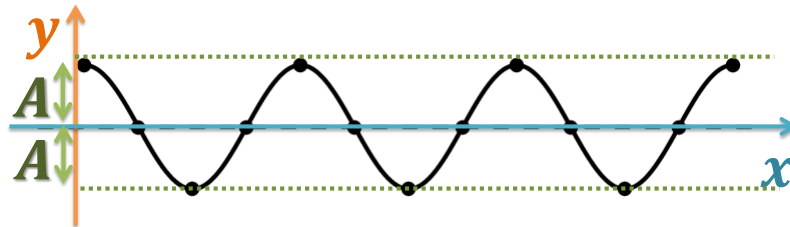
## Parâmetros que descrevem uma onda

amplitude

$$y(x,t) = A \text{ sen } (kx - \omega t)$$

deslocamento

termo oscilatório



30

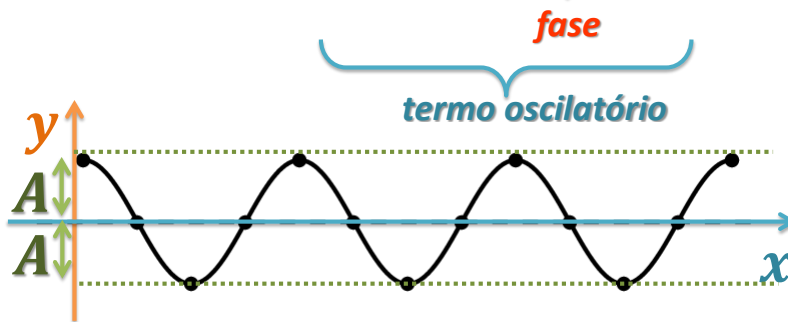
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Parâmetros que descrevem uma onda

$$y(x, t) = A \text{ sen } (kx - \omega t)$$



31

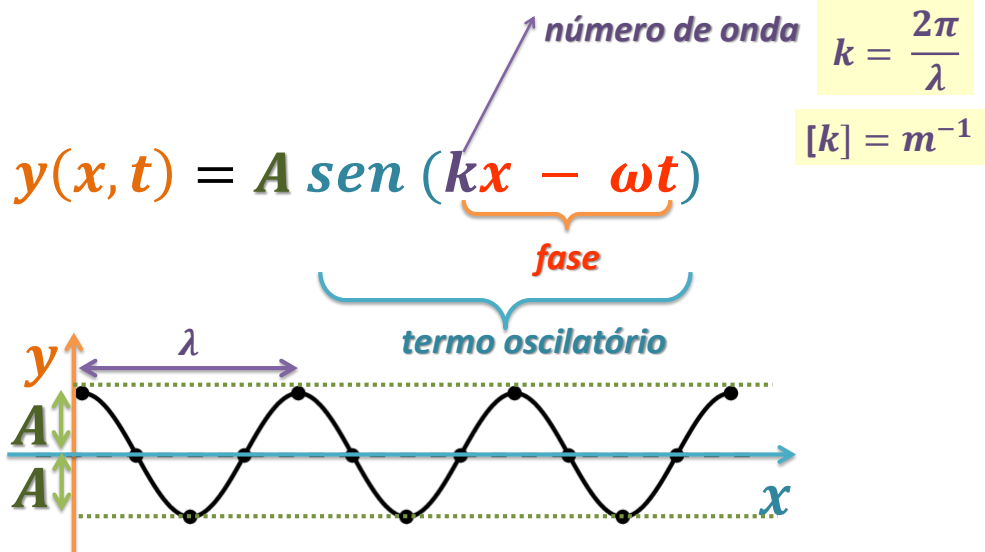
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Parâmetros que descrevem uma onda

$$y(x, t) = A \text{ sen } (kx - \omega t)$$



número de onda

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$[k] = \text{m}^{-1}$$

32

Ignez Caracelli

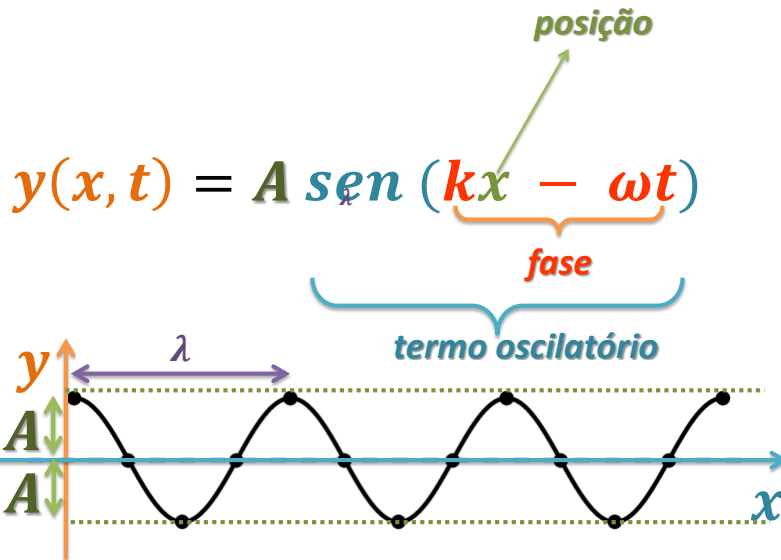
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



número de onda

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Parâmetros que descrevem uma onda



33

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



número de onda

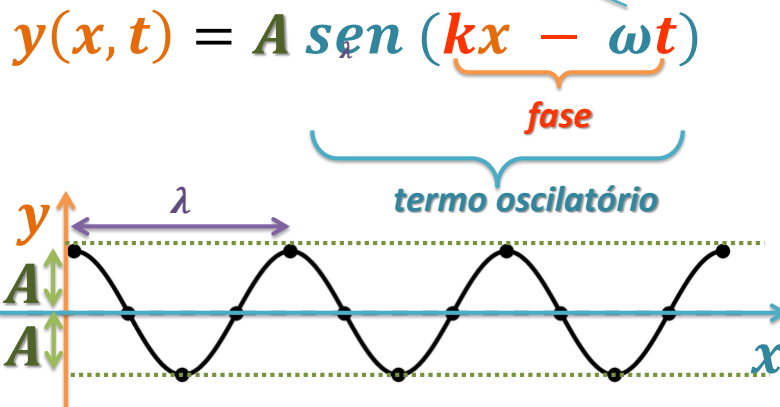
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Parâmetros que descrevem uma onda

frequência angular

$$\omega = 2\pi f$$

$$[\omega] = s^{-1}$$



34

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Parâmetros que descrevem uma onda

número de onda

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

frequência angular

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

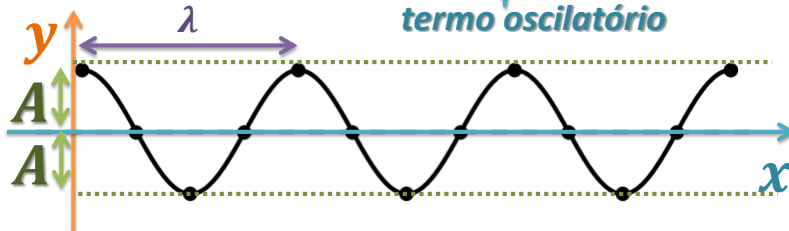
frequência angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$y(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

fase

termo oscilatório



35

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



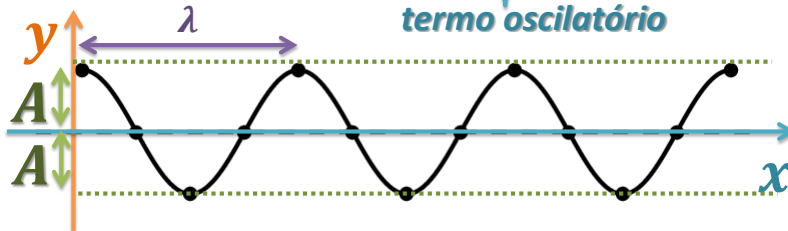
## Parâmetros que descrevem uma onda

tempo

$$y(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

fase

termo oscilatório



36

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





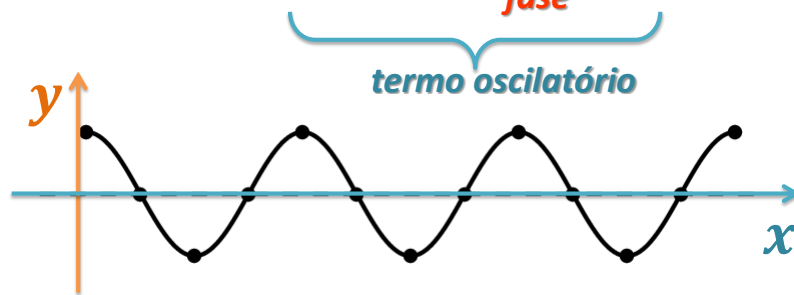
## Parâmetros que descrevem uma onda

$$y(0, 0) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t + \phi)$$

constante de fase

$$y(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

fase



37

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = 2\pi f$$

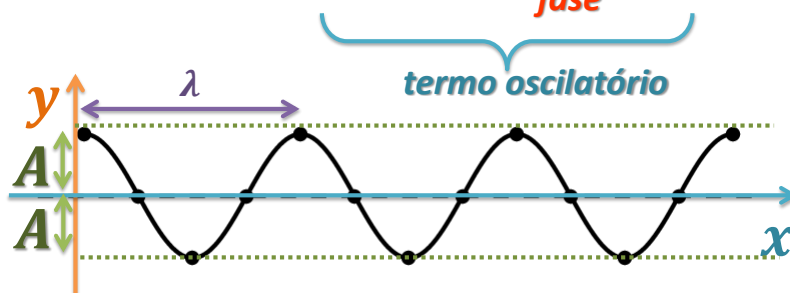
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$v = \lambda f$$

## Parâmetros que descrevem uma onda

$$y(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

fase



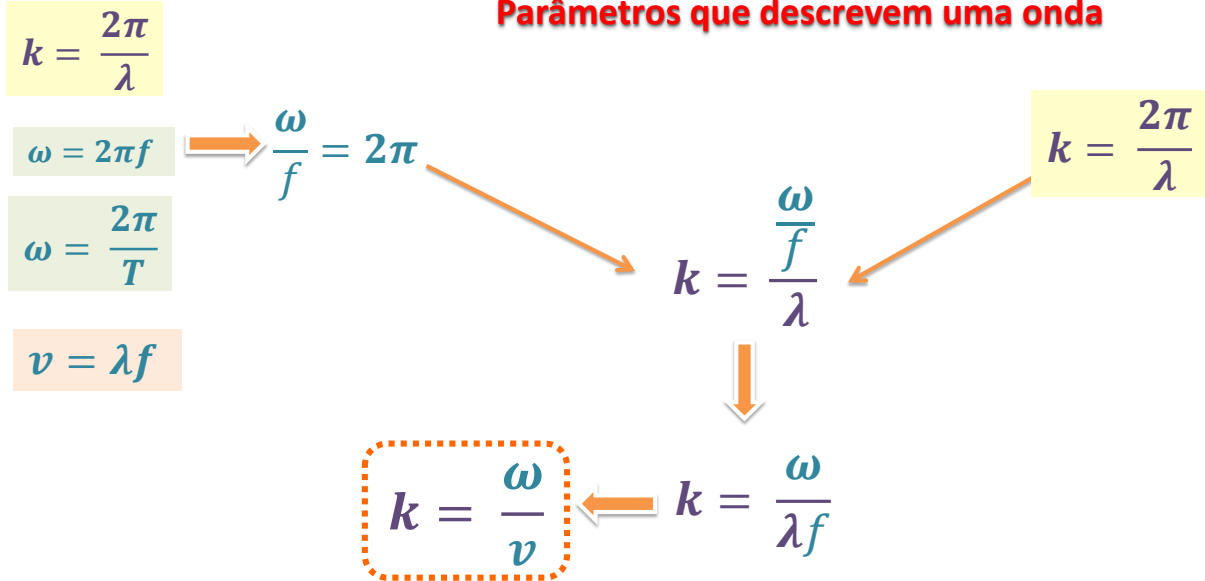
38

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



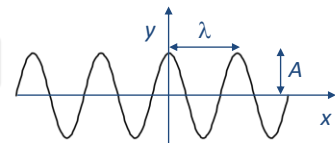
## Parâmetros que descrevem uma onda



## Onda progressiva

$$y(x,t) = A \sin(kx - \omega t)$$

← equação de onda



Cada ponto na onda oscila na direção  $y$  com movimento harmônico simples de frequência angular  $\omega$ .

O comprimento de onda  $\lambda$  é:  $\lambda = \frac{2\pi}{k}$

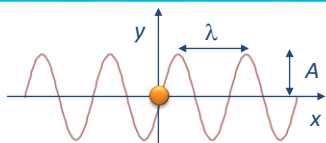
A velocidade da onda  $v$  é:  $v = \frac{\omega}{k}$

A quantidade  $k$  é chamada “número de onda”.

## Ondas progressivas

$$y(x,t) = A \text{ sen}(kx - \omega t)$$

equação de onda

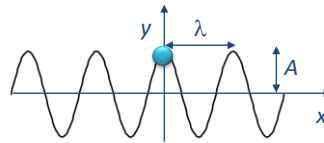


$$x = 0; t = 0$$

$$y(x,t) = A \text{ sen}(kx - \omega t)$$

$$y(0,0) = A \text{ sen}(k \cdot 0 - \omega \cdot 0)$$

$$y(0,0) = 0$$



$$x = 0; t = 0$$

$$y(x,t) = A \text{ sen}(kx - \omega t)$$

$$y(0,0) = A \text{ sen}(k \cdot 0 - \omega \cdot 0)$$

$$y(0,0) \neq 0$$

$$y(x,t) = A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi) \quad \phi \rightarrow \text{fase da onda}$$

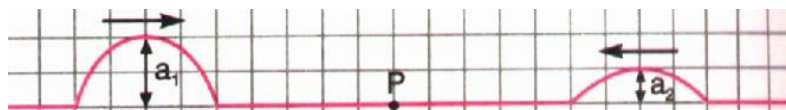
41

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Princípio de Superposição



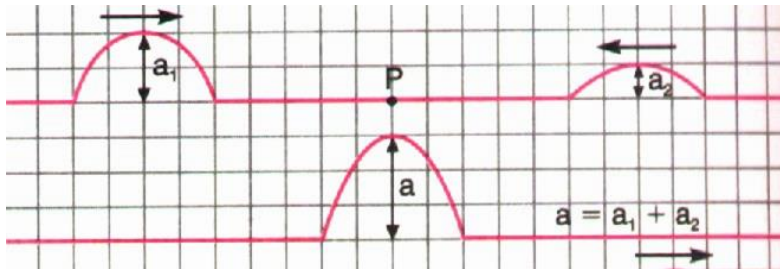
42

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Princípio de Superposição



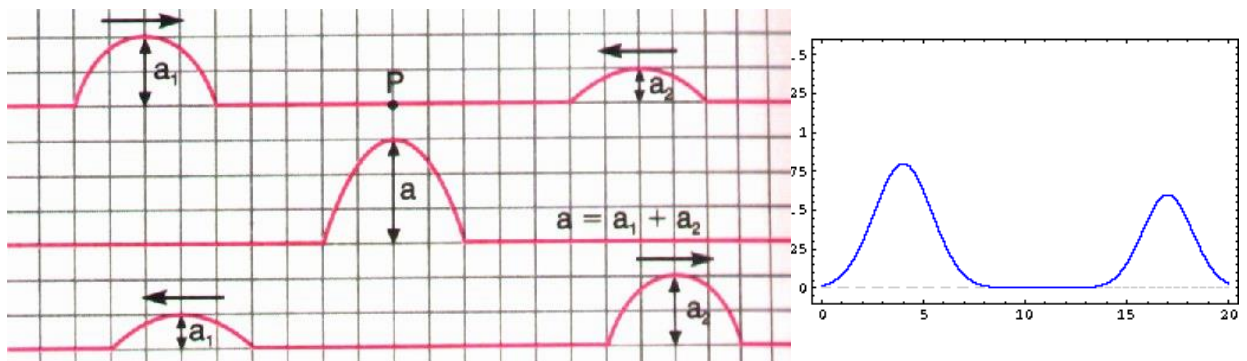
43

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Princípio de Superposição



[http://www.pa.uky.edu/~shlosman/anim/wave\\_super1.gif](http://www.pa.uky.edu/~shlosman/anim/wave_super1.gif)

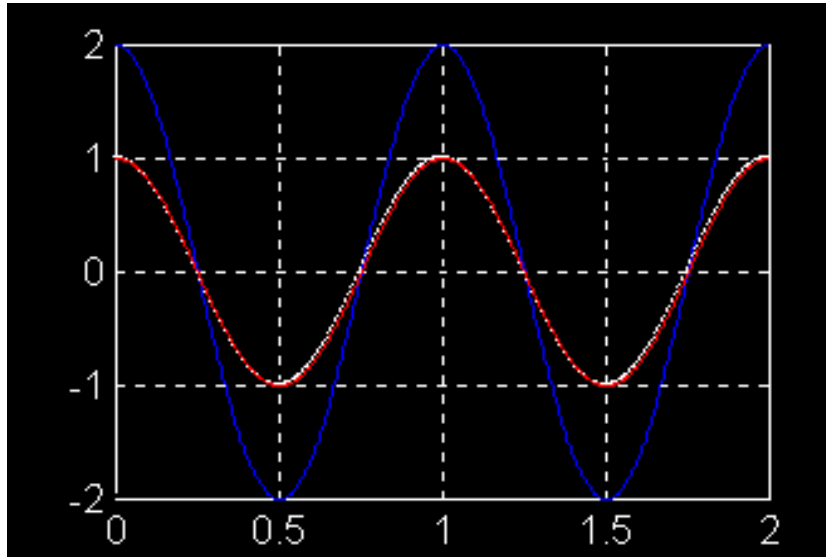
44

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Princípio de Superposição



45

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Superposição

Supor que duas ondas caminham em uma corda

Se  $y_1(x,t)$  e  $y_2(x,t)$  são as ondas que a corda poderia experimentar se cada uma estivesse só.

Quando as duas ondas atuam simultaneamente, a onda resultante é

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

Este é o **princípio da superposição de ondas**, consequência direta do fato que a equação de onda é uma equação diferencial linear

46

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Comparação de duas ondas

$$y_1(x,t) = A \sin(kx - \omega t)$$

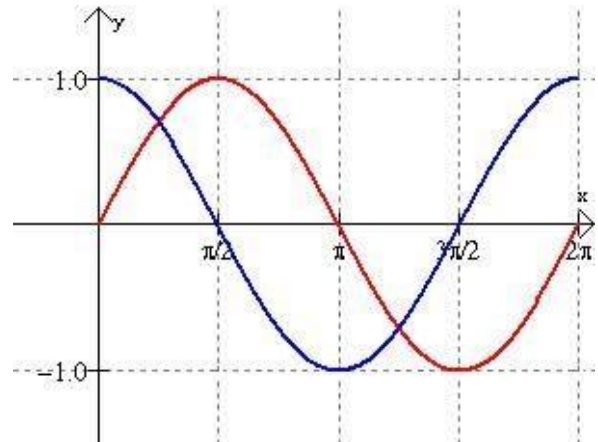
$$y_2(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$\phi$  é a diferença de fase entre as ondas.

As ondas são progressivas

As 2 ondas se deslocam para  $x > 0$

As 2 ondas se deslocam **no mesmo sentido**



47

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Superposição de duas ondas

A onda resultante:

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

$$y(x,t) = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx - \omega t + \phi)$$

usando  $\text{sen } a + \text{sen } b = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$

$$y(x,t) = 2A \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Superposição de duas ondas

amplitude  $A'$  fase  $\phi'$   
 ↓ ↓  

$$y(x,t) = 2A \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \text{sen}\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$y(x,t) = A' \text{sen}(kx - \omega t + \phi')$$

← equação de onda

## Superposição de duas ondas

amplitude fase  
 ↓ ↓  

$$y(x,t) = 2A \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \text{sen}(kx - \omega t + \phi')$$

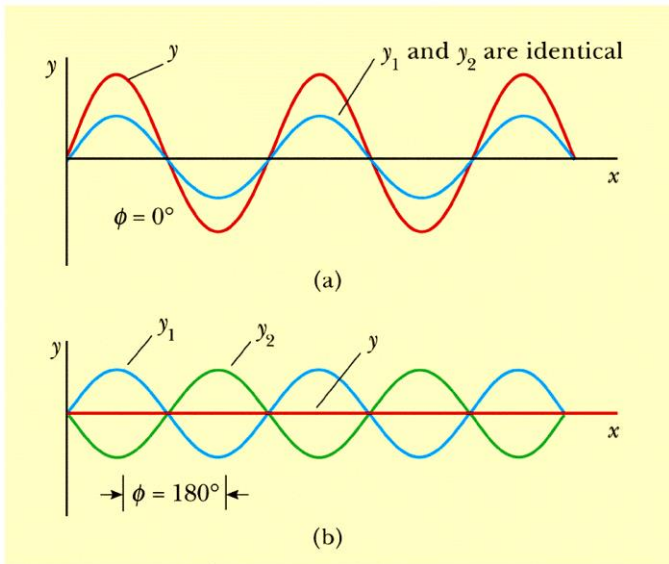
Se  $\phi' = 0$       →  $\cos 0 = 1$   
                          → amplitude é  $A' = 2A$   
                          → **Interferência construtiva**

Se  $\phi' = \pi$       →  $\cos \pi/2 = 0$   
                          → amplitude é  $A' = 0$   
                          → **Interferência destrutiva**



## Interferência

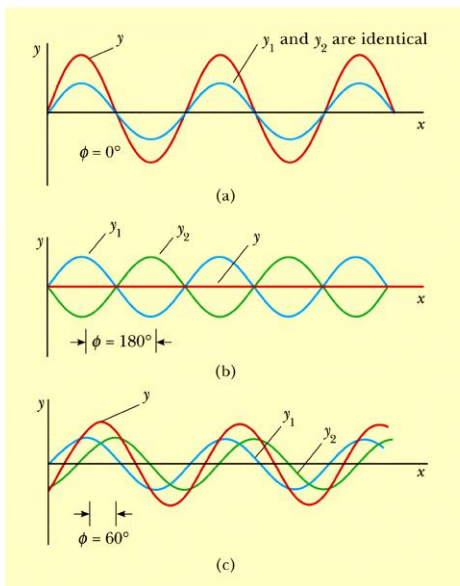
Interferência construtiva



Interferência destrutiva

Iguez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Interferência

Interferência construtiva

Interferência destrutiva

Iguez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Princípio da Superposição

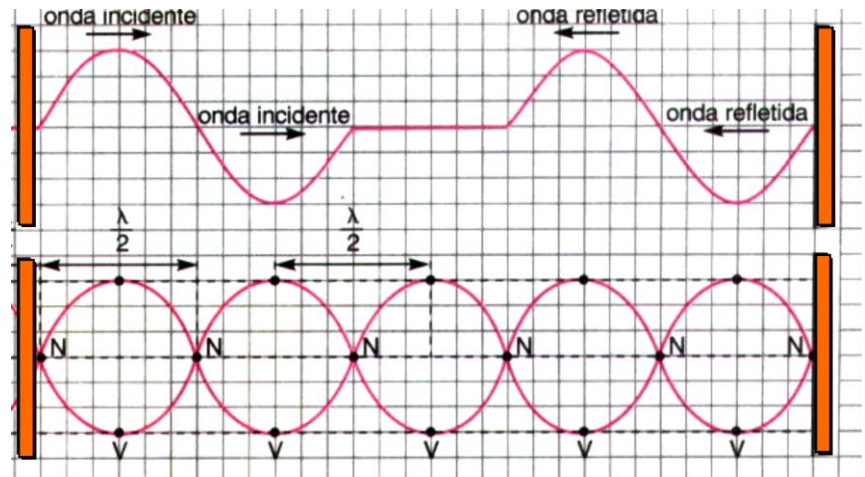
### Ondas Estacionárias

As ondas são progressivas

Uma onda se desloca para  $x > 0$

Outra onda se desloca para  $x < 0$

As 2 ondas se deslocam **em sentidos opostos**



Iguez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

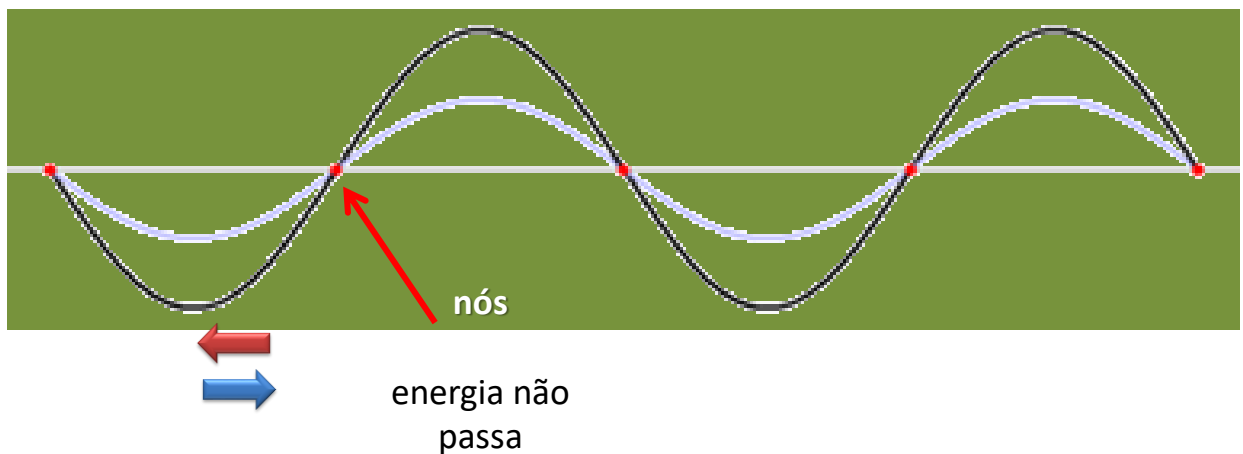
Física

UFPEL

### Ondas Estacionárias



### Princípio da Superposição



Iguez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

Física

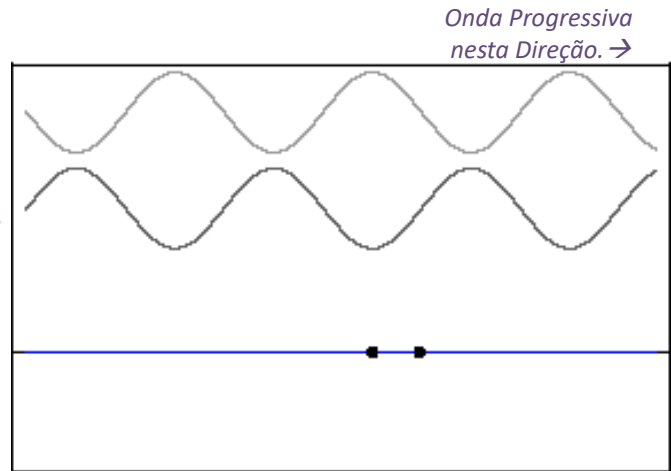
UFPEL

## Onda estacionária

Ondas se propagam e, se há vínculo imposto na sua parte inicial e terminal, teremos a reflexão da onda inicial.

Onda Progressiva  
← nesta Direção.

onda estacionária →



A soma destas duas oscilações resulta uma **onda estacionária**.

55

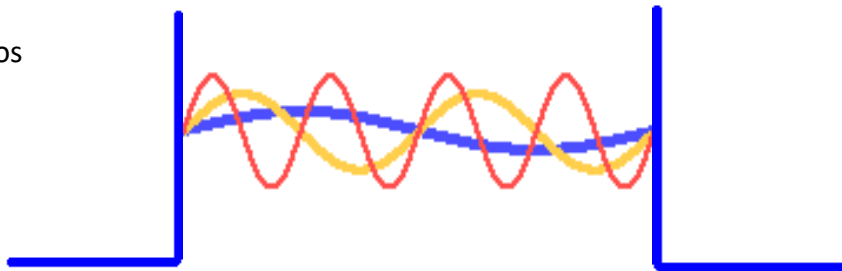
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Onda estacionária

O seu comportamento também exibe uma frequência **Fundamental** e os respectivos **harmônicos**:



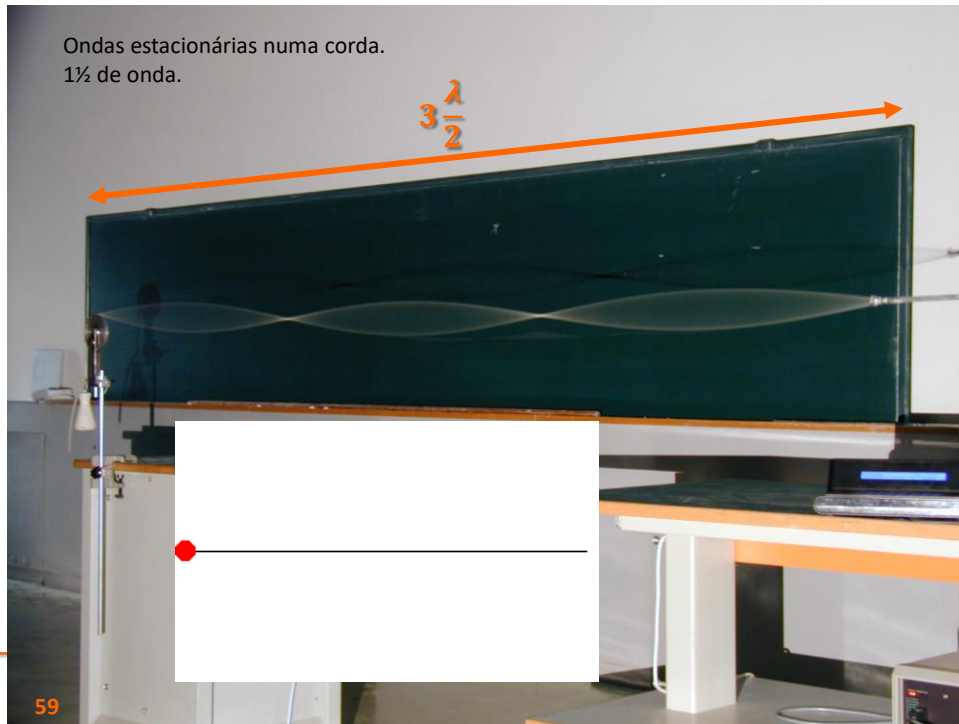
56

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2







## Ondas estacionárias

duas ondas idênticas se propagando em sentidos contrários

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

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

A superposição

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

$$y(x, t) = A \text{sen}(kx - \omega t) + A \text{sen}(kx + \omega t)$$

Usando de novo a relação

$$\text{sena} + \text{senb} = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \text{sen}\left(\frac{a+b}{2}\right)$$

## Ondas estacionárias

Amplitude depende de  $x$

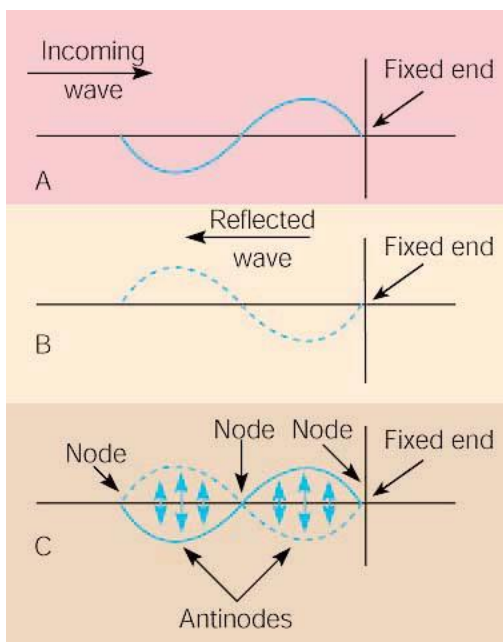
$$y(x, t) = 2A \sin(kx) \cos(\omega t)$$

↓

Variação temporal da amplitude

Esta não é uma onda progressiva, não tem o termo  $(kx - \omega t)$ .  
Isto é uma onda estacionária.

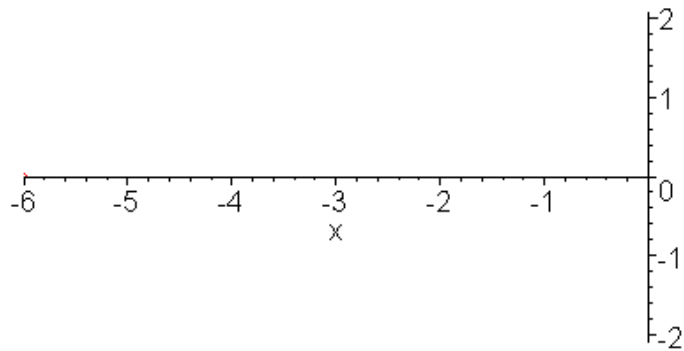
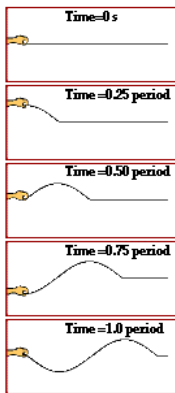
Existem pontos que são sempre nulos, onde  $kx = n\pi$



## Formação de Ondas Estacionárias

Uma onda incidente em uma corda com extremidade fixa (A) encontra uma onda refletida (B) com a mesma amplitude e frequência, gerando uma onda estacionária (C). Note que a onda estacionária de um comprimento de onda tem três nós e dois anti-nós.

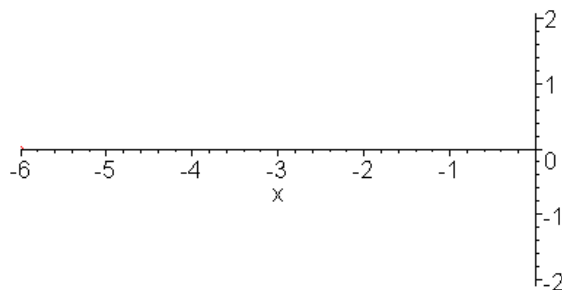
## Formação de ondas estacionárias



## ondas progressivas e estacionárias



*onda progressiva*



*onda estacionária*



## ondas progressivas e estacionárias



onda progressiva



onda estacionária

65

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

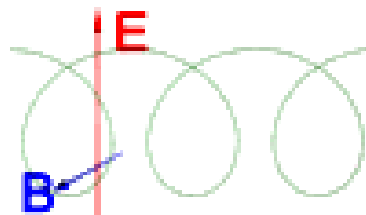


## Ondas Eletromagnéticas

### perturbação

**cargas elétricas** → campo elétrico  $E$

**cargas elétricas oscilando** → campo magnético  $B \perp E$



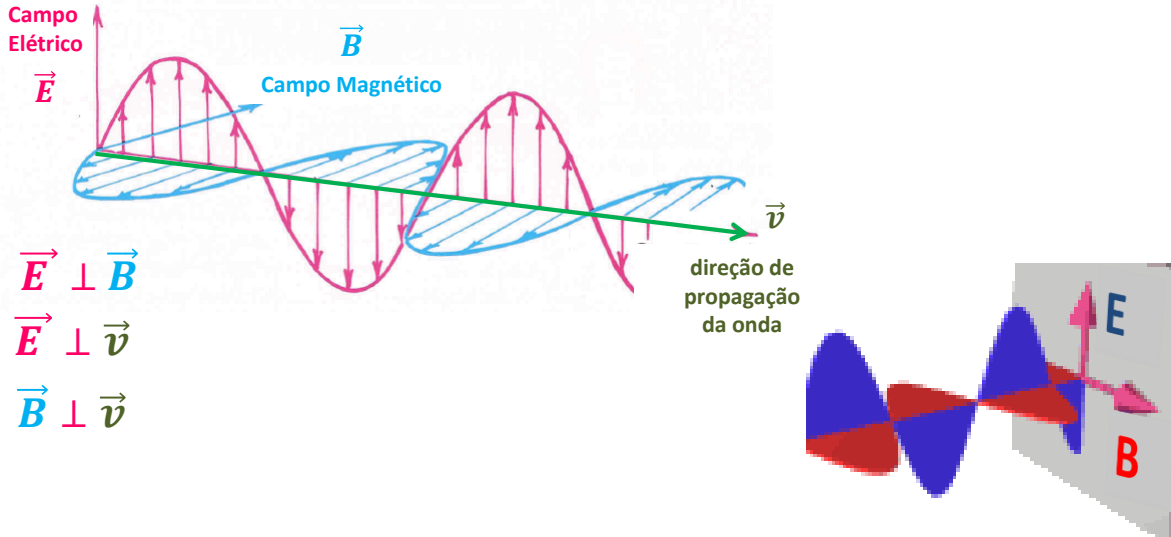
Ignez Caracelli

66

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas Eletromagnéticas



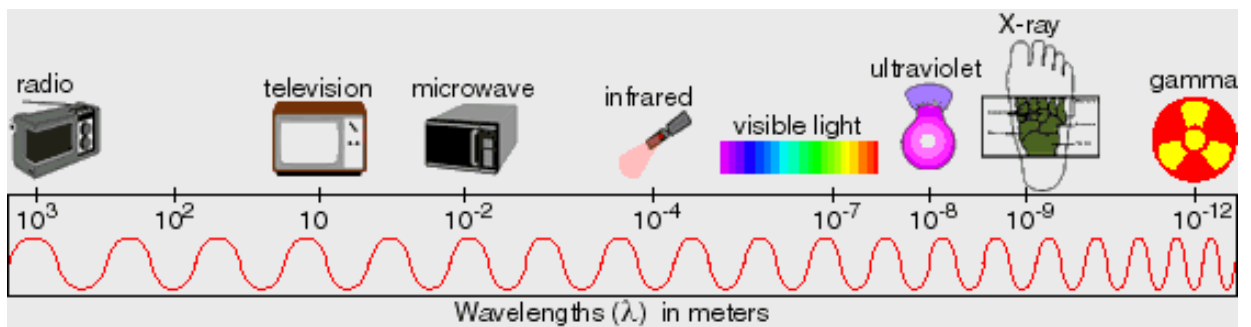
67

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Espectro eletromagnético

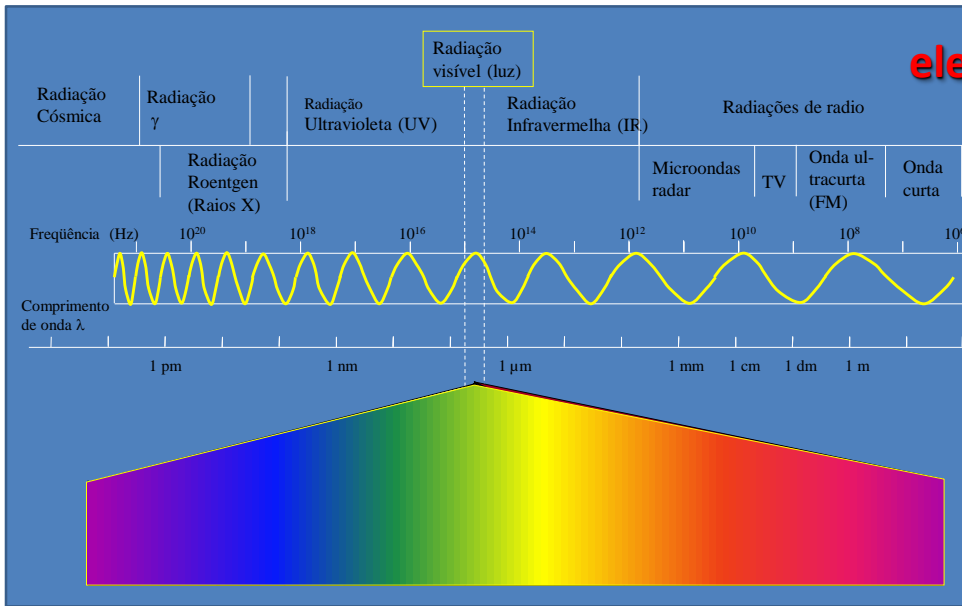


Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



# Espectro eletromagnético



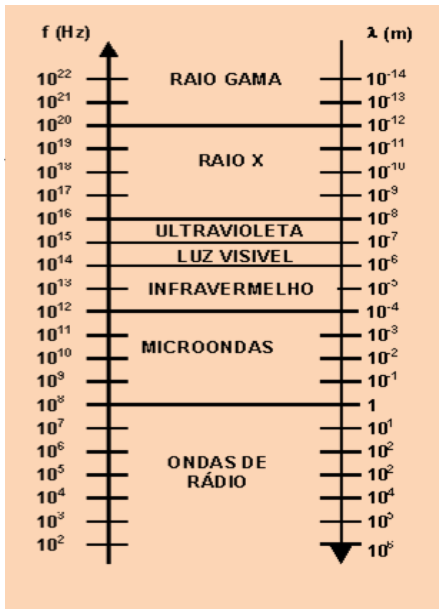
69

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## comprimento de onda, frequência, velocidade



$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$c \cong 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$\epsilon_0$  = constante de permissividade elétrica no vácuo

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}^2 \cdot \text{m}^2$$

$\mu_0$  = constante de permeabilidade magnética no vácuo

$$\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ H/m}$$

70

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

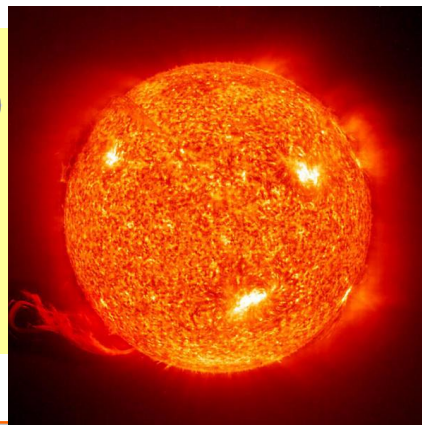
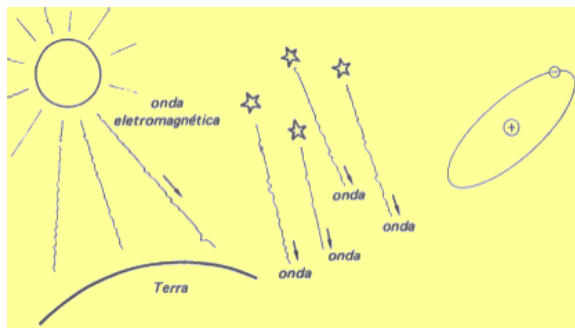


## ... estamos imersos em ondas eletromagnéticas

**Sol**

fonte para os seres terrestres, cuja vida depende do calor e da luz recebidos através de ondas eletromagnéticas.

*Na natureza*



71

Ignez Caracelli

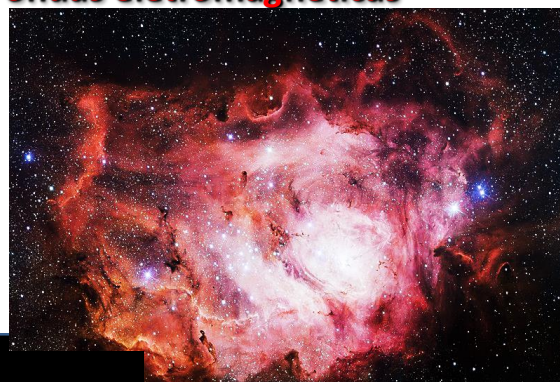
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



*Na natureza*

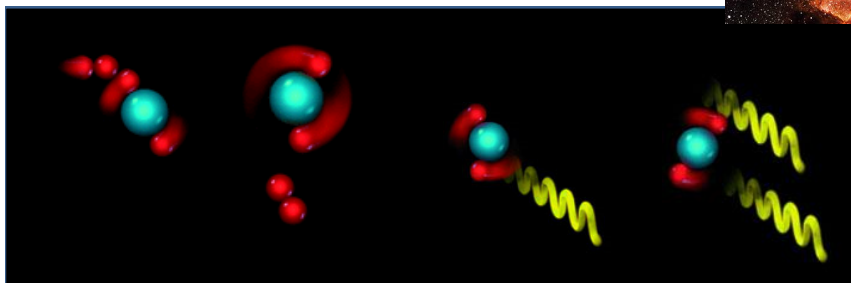
## ... estamos imersos em ondas eletromagnéticas

*átomos de hidrogênio neutro* que povoam o espaço interestelar da nossa galáxia



<http://www.eso.org/public/images/eso1403a/>

**Nebulosa Laguna** é uma gigantesca nuvem interestelar na constelação de Sagitário. Seus gases ionizados, principalmente hidrogênio, emitem radiação principalmente



72

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Na natureza

## ... estamos imersos em ondas eletromagnéticas

as emissões na faixa de radiofrequências dos "**quasares**" (objetos ópticos que se encontram a enormes distâncias de nós, muito além de nossa galáxia, e que produzem enorme quantidade de energia; **quasar** = *quasi stellar astronomical radio sources* = Núcleo extremamente brilhante de uma galáxia ativa)



<https://www.youtube.com/watch?v=cqWzQOa1mI>

73

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## ... estamos imersos em ondas eletromagnéticas

## Na natureza

pulsos intensos de radiação dos "**pulsares**" (estrelas pequenas cuja densidade média é em torno de 10 trilhões de vezes a densidade média do Sol).



pulsar da nebulosa do Caranguejo

<http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/everyone/pulsars/index.html>

74

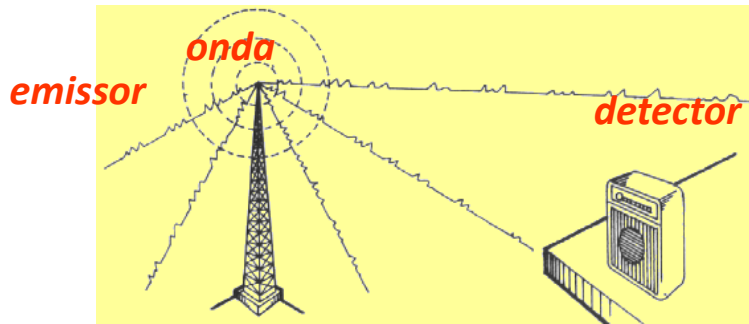
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



tecnologia

## Ondas eletromagnéticas



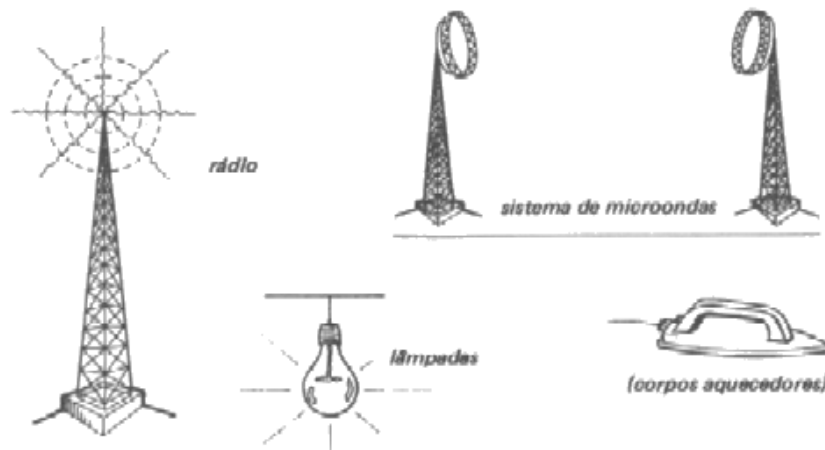
75

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Fontes terrestres de radiação eletromagnética



76

Ignez Caracelli

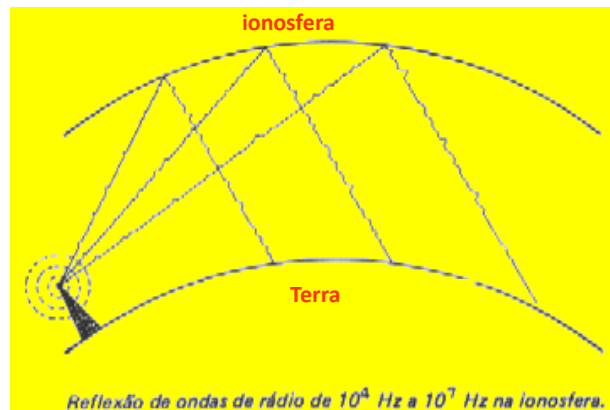
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas de rádio

$$10^4 \text{ Hz} < f < 10^7 \text{ Hz}$$

$\lambda$  grande  $\rightarrow$  são refletidas pelas camadas ionizadas da atmosfera superior (ionosfera).



Estas ondas, além disso, têm a capacidade de contornar obstáculos como árvores, edifícios, de modo que é relativamente fácil captá-las em um aparelho rádio-receptor.

77

Ignez Caracelli

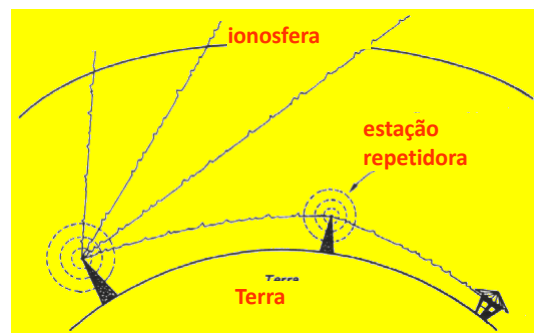
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas de TV

As emissões de TV são feitas a partir de  $5 \times 10^7$  Hz (50 MHz)

As ondas de TV não são refletidas pela ionosfera, de modo que para estas ondas serem captadas a distâncias superiores a 75 km é necessário o uso de estações repetidoras.



78

Ignez Caracelli

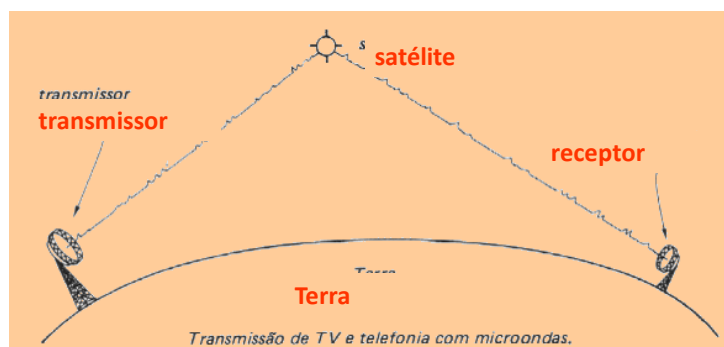
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Microondas

Microondas correspondem à faixa de mais alta frequência produzida por osciladores eletrônicos. Frequências mais altas que as microondas só as produzidas por oscilações moleculares e atômicas.

## Microondas

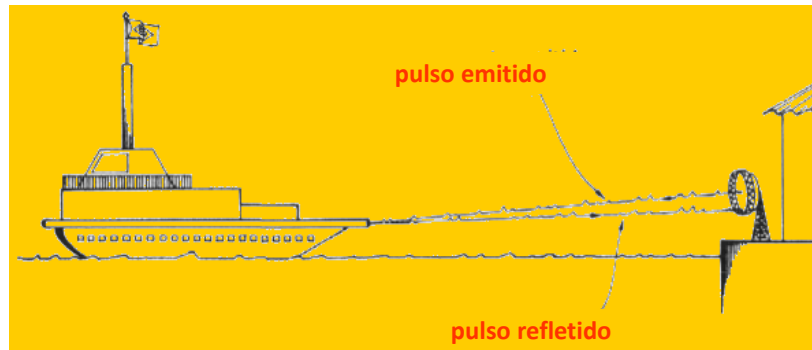


As microondas são muito utilizadas em telecomunicações. As ligações de telefone e programas de TV recebidos "via satélite" de outros países são feitas com o emprego de microondas.



## Microondas

As microondas também podem ser utilizadas para funcionamento de um radar. Uma fonte emite uma radiação que atinge um objeto e volta para o ponto onde a onda foi emitida. De acordo com a direção em que a radiação volta pode ser descoberta a localização do objeto que refletiu a onda.



81

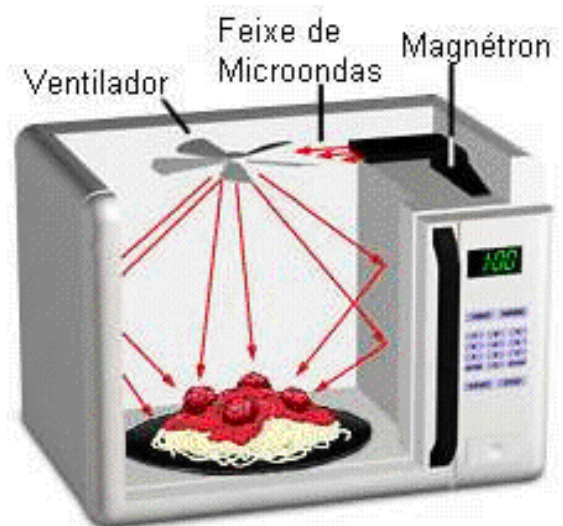
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Como funciona o forno de microondas?

- uma onda eletromagnética com  $f = 2450 \text{ MHz}$  (magnétron)
- irradiada por uma antena metálica (ventilador) para o interior do compartimento onde estão os alimentos
- mediante o processo de ressonância, essa onda é absorvida pelas partículas de água existentes nos alimentos a serem aquecidos
- a energia absorvida aumenta a vibração das partículas, produzindo o aquecimento dos alimentos



82

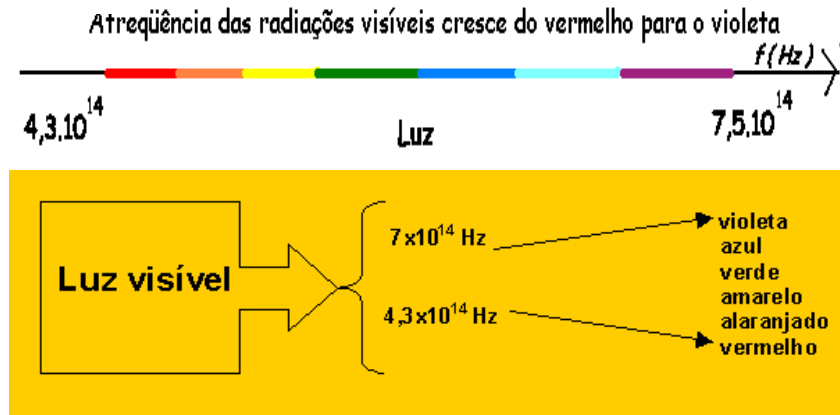
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Luz Visível

frequências  $4,3 \times 10^{14} \text{ Hz} < f < 7,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$



83

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Raios X

- ❖ descobertos, em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen
- ❖ têm frequência alta e possuem muita energia
- ❖ capazes de atravessar muitas substâncias embora sejam detidos por outras, principalmente pelo chumbo
- ❖ são produzidos sempre que um feixe de elétrons dotados de energia incidem sobre um obstáculo material
- ❖ a energia cinética do feixe incidente é parcialmente transformada em energia eletromagnética, dando origem aos raios X

84

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Raios X

- ❖ são capazes de impressionar uma chapa fotográfica e são muito utilizados em radiografias, já que conseguem atravessar a pele e os músculos da pessoa, mas são retidos pelos ossos
- ❖ são também bastante utilizados em radiodiagnóstico

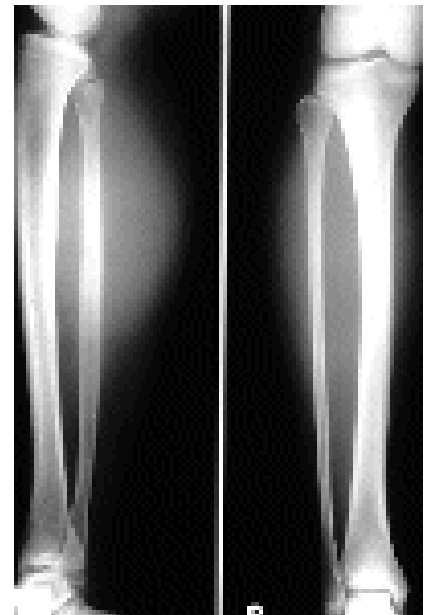
85

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Raios X



86

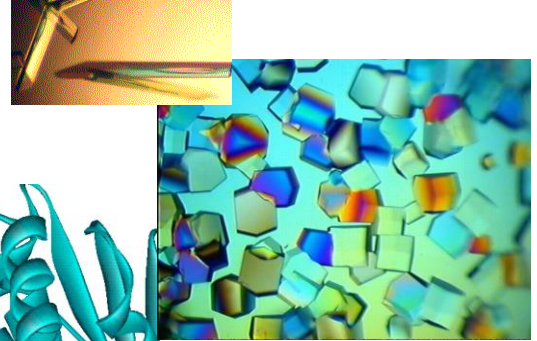
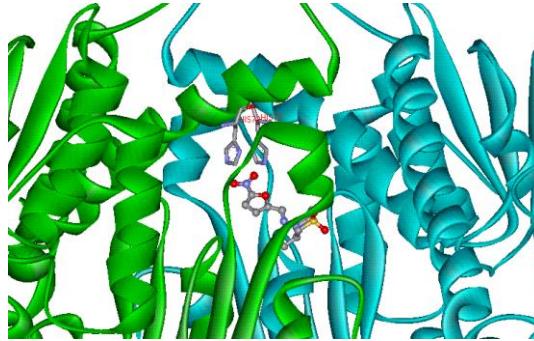
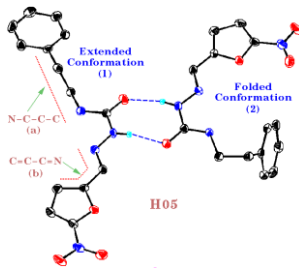
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Raios X

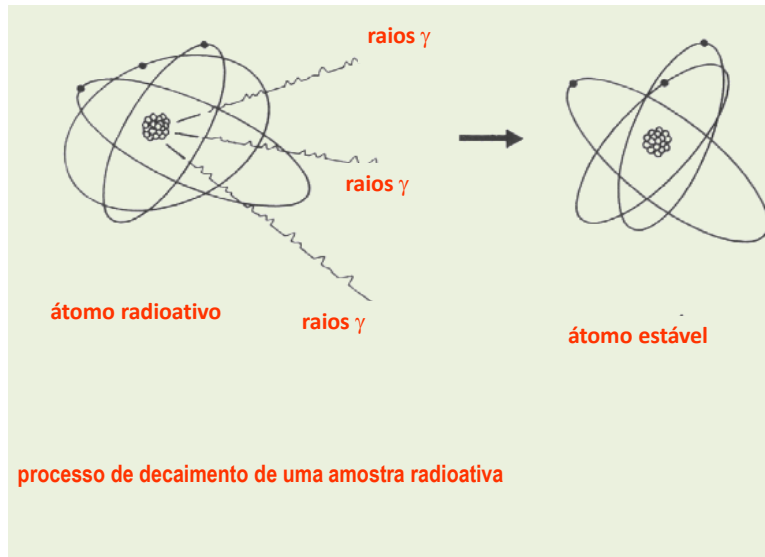
❖ outras aplicações: em difração de raios X, para pesquisa da estrutura da matéria, planejamento de fármacos, em química, em mineralogia e outros ramos.



87

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Raios Gama

As ondas eletromagnéticas com frequência acima da dos raios X recebe o nome de raios gama ( $\gamma$ ).

Os raios  $\gamma$  são produzidos por desintegração natural ou artificial de elementos radioativos.

88

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



vol. 2 - ondas

vol .4 – óptica e física moderna

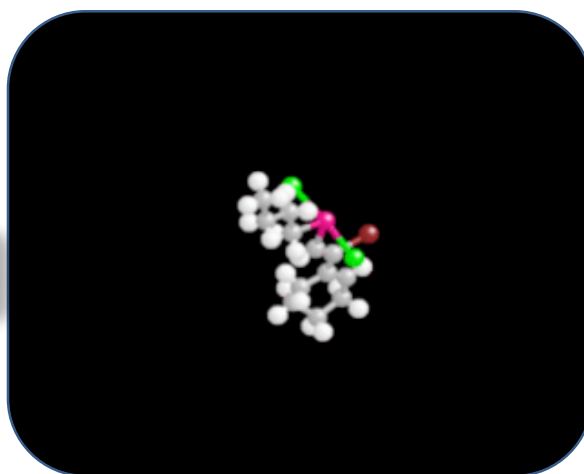


*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Interferência e Difração



Artigo Capa de Revista - Acta Cryst. (2011). E67, o1751

<http://journals.iucr.org/e/issues/2011/07/00/graphics/coverill.gif>

Vídeo para assistir

## O experimento da fenda dupla: *ondas, matéria e partículas*



<http://www.youtube.com/watch?v=u7VctogNgU4>

português

<https://www.youtube.com/watch?v=rWTo2Gk5iU0>

inglês

[https://www.youtube.com/watch?v=M4\\_0oblwQ\\_U](https://www.youtube.com/watch?v=M4_0oblwQ_U)

91

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



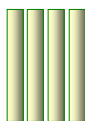
## Óptica

Raios



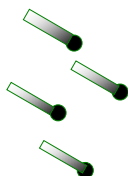
óptica geométrica

Ondas



óptica física

Partículas



Interação da luz  
com a matéria

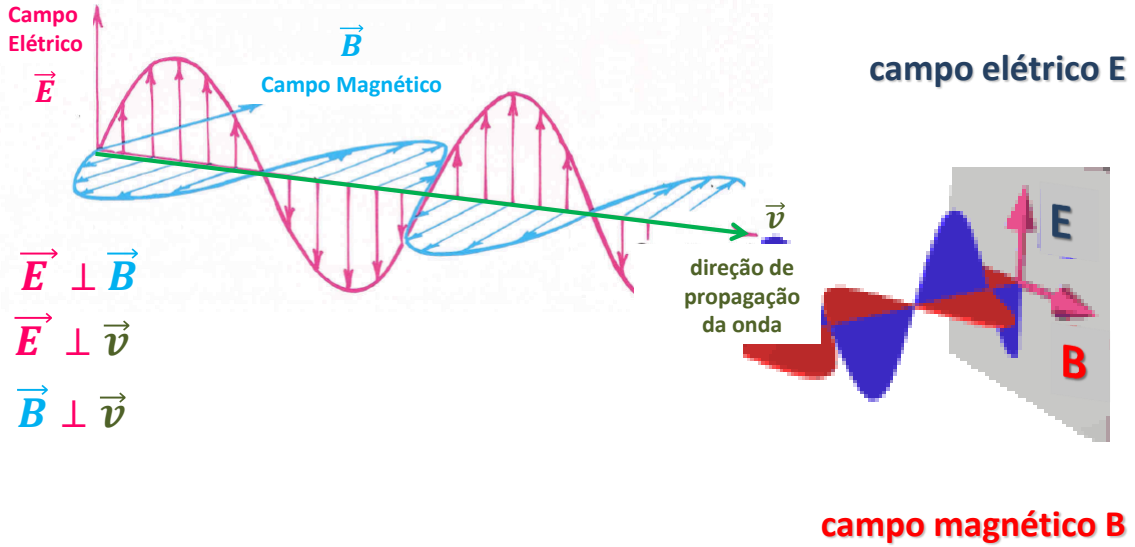
92

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Onda eletromagnética



93

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Óptica GEOMETRICA

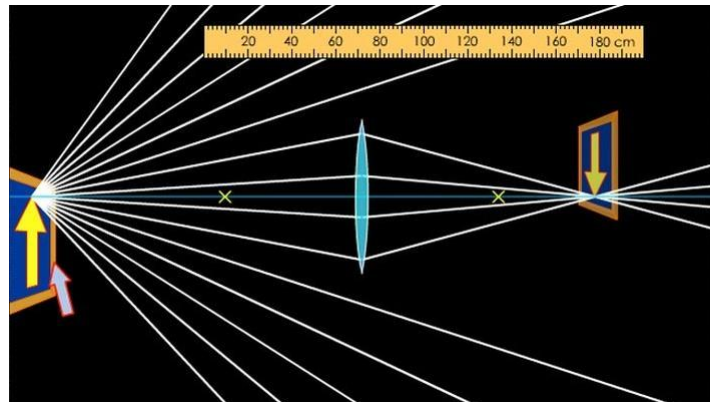
tamanho do  
objeto  $a$

comprimento  
de onda  $\lambda$

$a \sim \text{cm-m}$

$a \gg \gg \gg \gg \lambda$

$\lambda \sim 40\text{-}700 \text{ nm}$



Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Óptica Física

tamanho do  
objeto  $a$

comprimento  
de onda  $\lambda$

$$a \cong \lambda$$

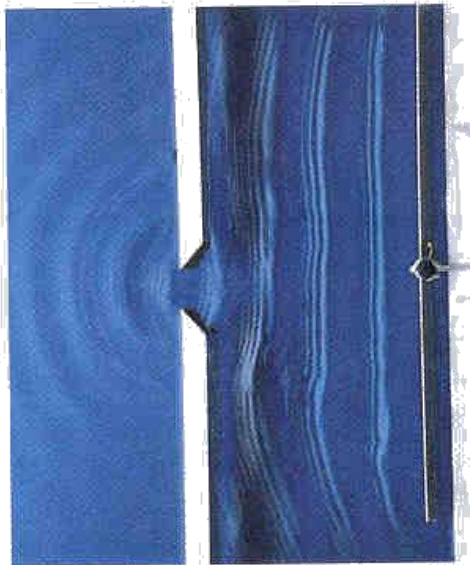


**difração**  
**interferência**

95

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Difração

Ondas se espalham  
ao passar por  
obstáculos

96

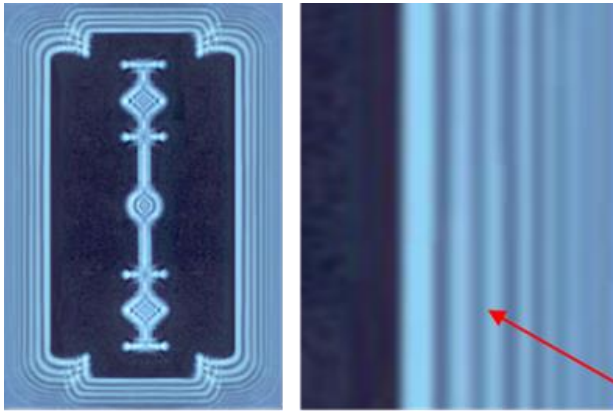
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





## Difração



Aumento da área da  
sombra externa da lâmina

Franjas de interferência

97

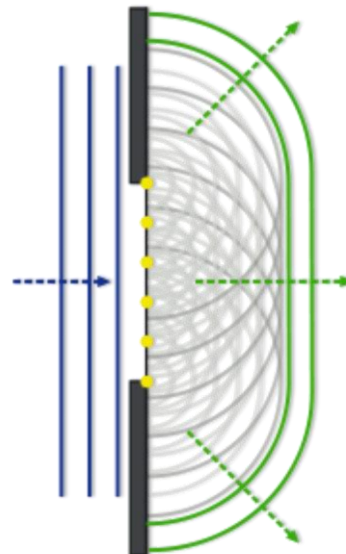
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Difração – Princípio de Huygens

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

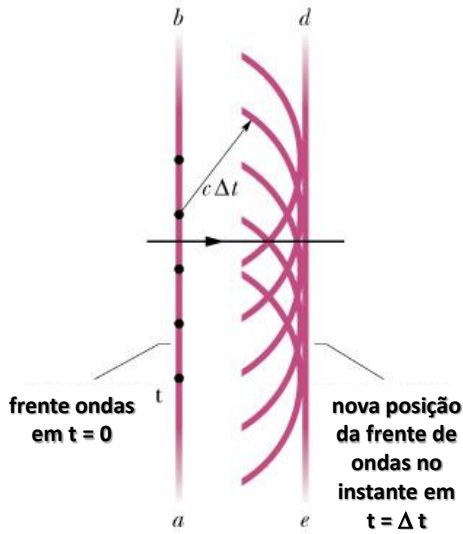


98

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





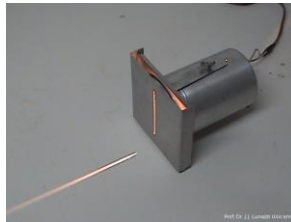
## Princípio de Huygens

*Depois de um tempo  $t$ , a nova posição da frente de onda será dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias.*

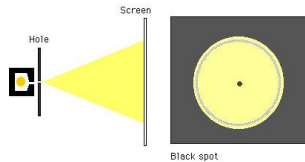
**cada ponto do espaço se comporta como uma fonte secundária de ondas esféricas.**

## Difração

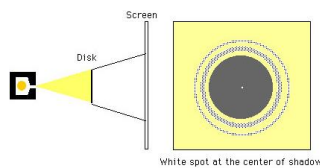
**Fenda única**



**Abertura circular**

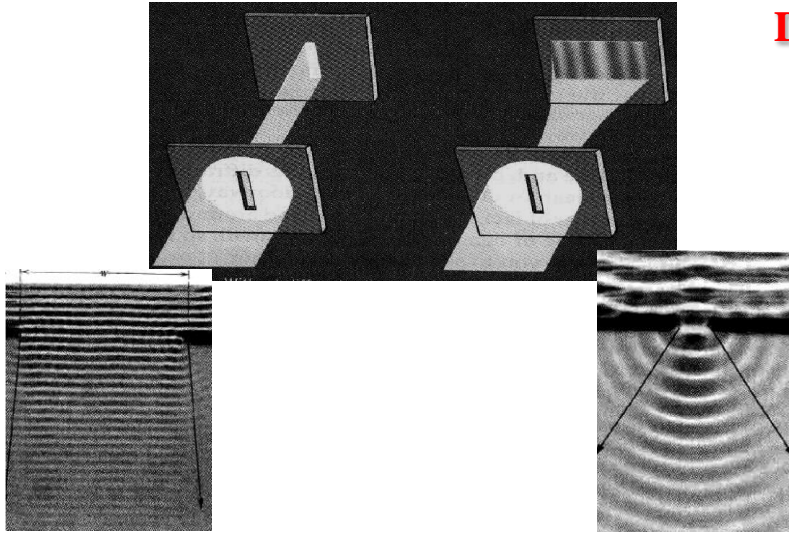


**Contorna objetos**



## Interferência

## Difração por fenda



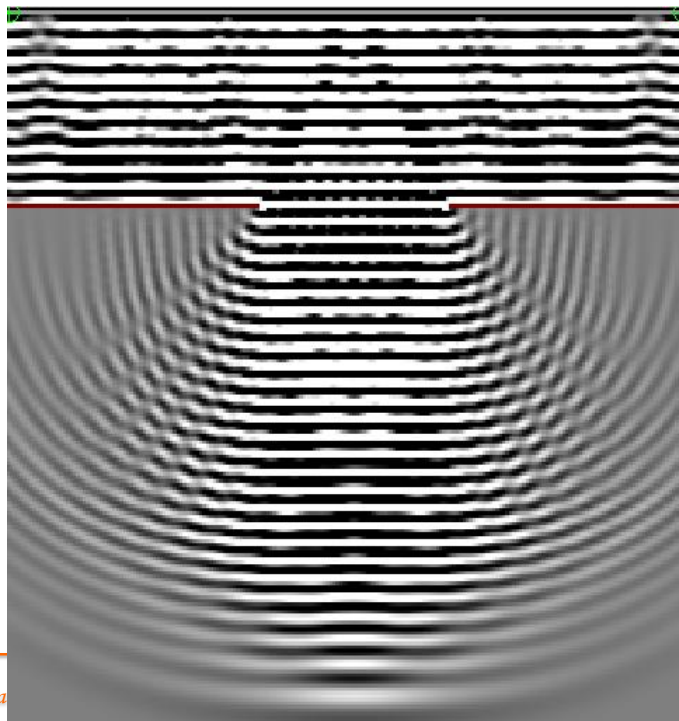
$\lambda \ll \text{largura fenda}$   
**menos difração**

$\lambda \sim \text{largura fenda}$   
**mais difração**

101

Ignez Caracelli

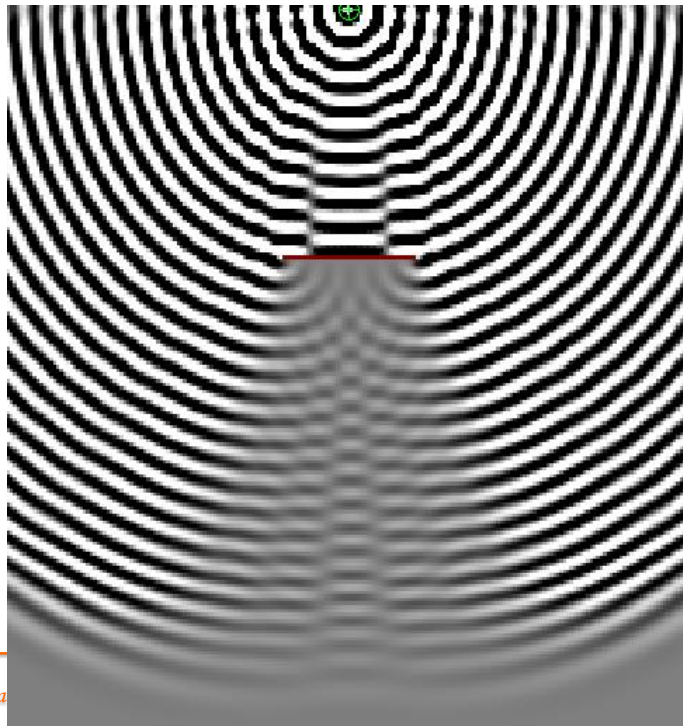
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Difração

102 z Ca

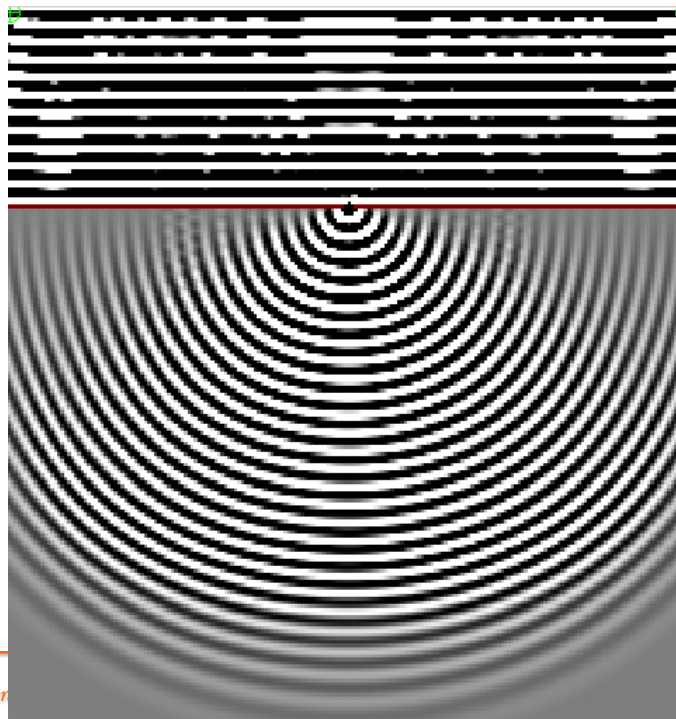




**Difração**

103

Ignez Ca

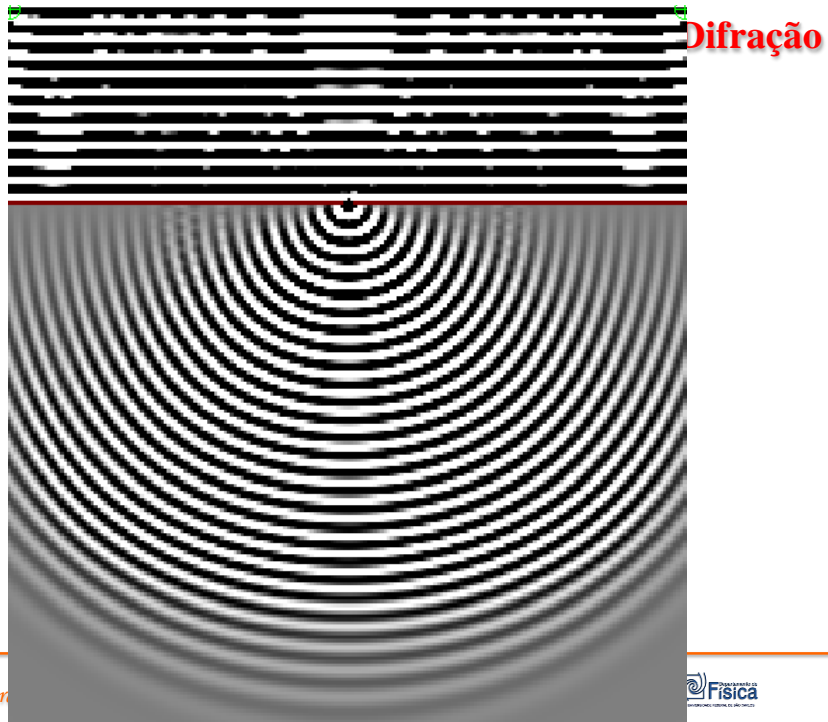


**Difração**

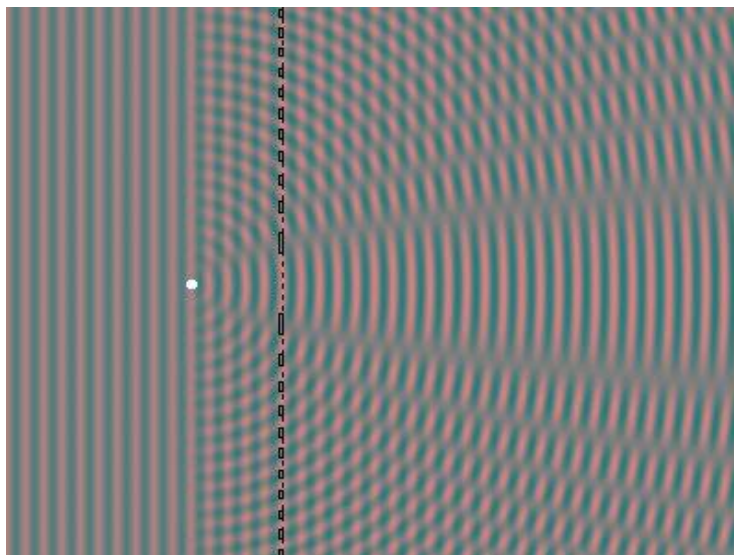
104

Ignez Car

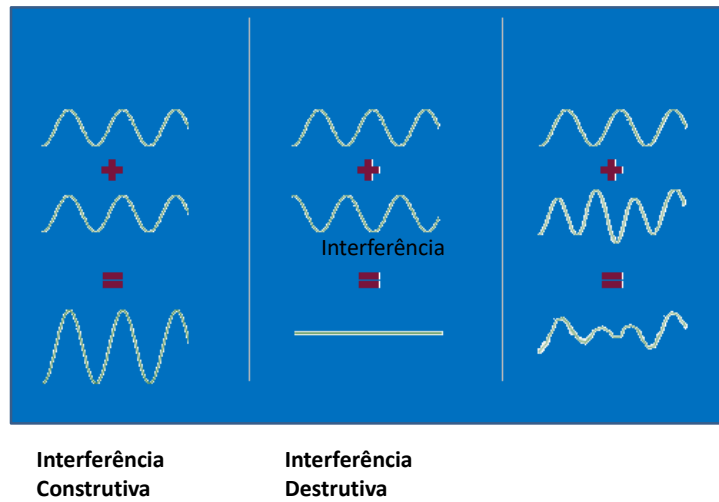




## Interferência e Difração



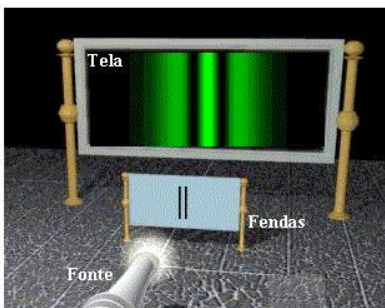
## Interferência



107

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Interferência

Separação das fendas



Figura de interferência

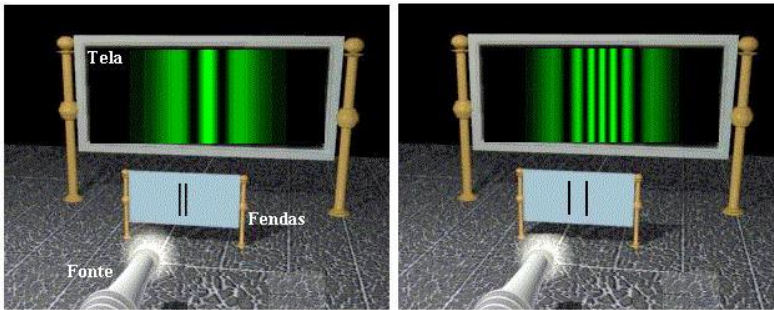
108

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2







## Interferência

Separação das fendas

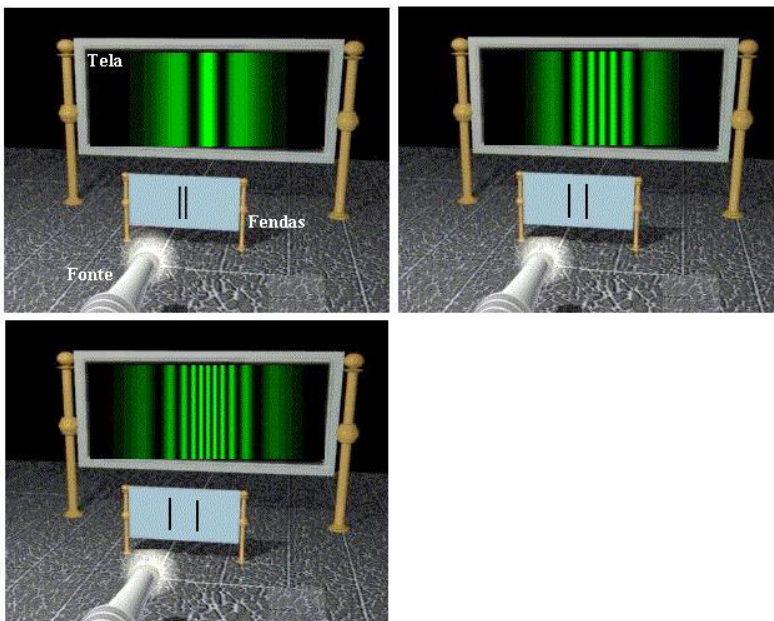


Figura de interferência

108

*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Interferência

Separação das fendas



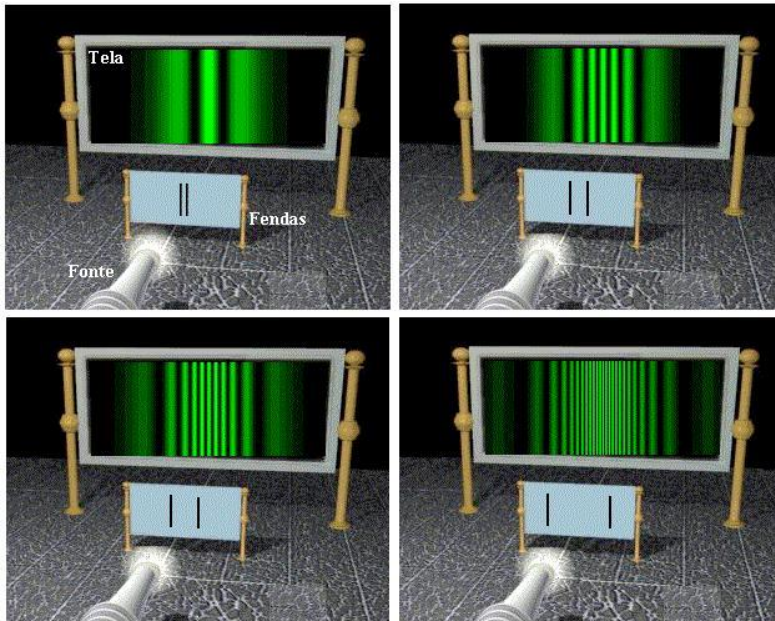
Figura de interferência

108

*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





## Interferência

Separação das fendas



Figura de interferência

108

*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## interferência



*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





## interferência em fenda dupla

**Abre parênteses...**

*sobre interferência em fenda dupla*

*colocados entre os 10 experimentos +  
bonitos e importantes*

<http://physicsworld.com/cws/article/print/9746>

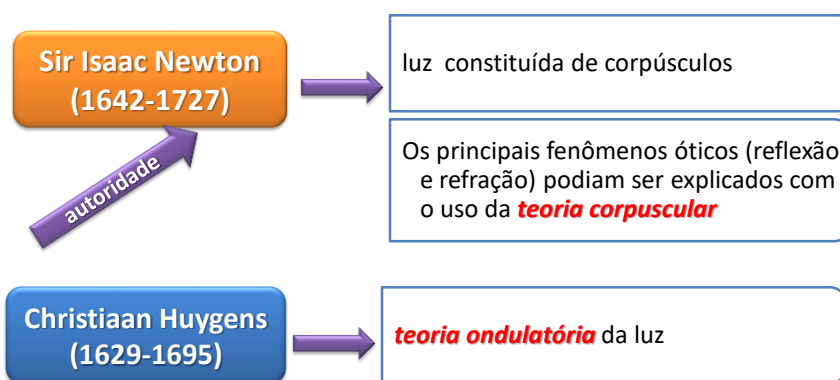
113

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Interferência em fenda dupla



<https://www.rightpronunciation.com/languages/dutch/christiaan-huygens-7022.asp?id1=6&page=19>

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

114

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Interferência em fenda dupla

Thomas Young  
(1773-1829)



experimento da fenda dupla

Luz como uma onda.  
Os principais fenômenos óticos (difração e interferência) podiam ser explicados com o uso da **teoria ondulatória**

Christiaan Huygens  
(1629-1695)



**teoria ondulatória** da luz

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

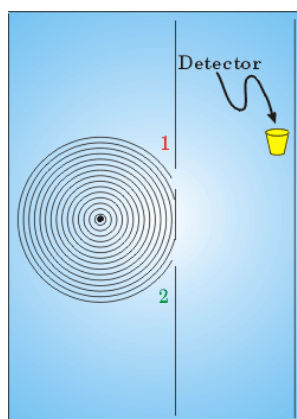
115

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla



Ondas circulares são geradas quando a ponta de um bastão toca a água em iguais intervalos de tempo, conforme ilustra a figura ao lado. O detetor pode ser uma rolha de cortiça.

A intensidade da onda, ou a energia transferida pela onda, é proporcional à altura alcançada pela rolha.

A figura mostra um arranjo com duas fendas. Vejamos o que acontece se a fenda inferior for fechada.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

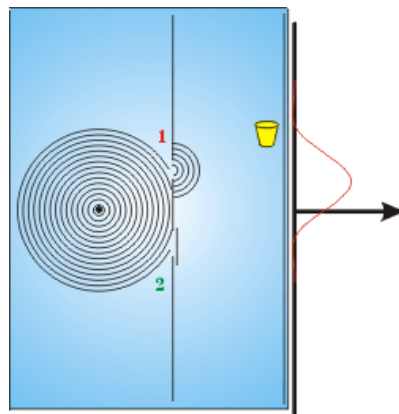
116

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla



A distribuição de energia que chega no anteparo é dada pela curva vermelha.

O formato desta curva varia conforme a largura da fenda, e o comprimento de onda (separação entre os círculos da figura).

Se a largura diminuir, a onda "se espalha" ao passar pela fenda. É como se uma nova onda circular fosse "criada" na fenda.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

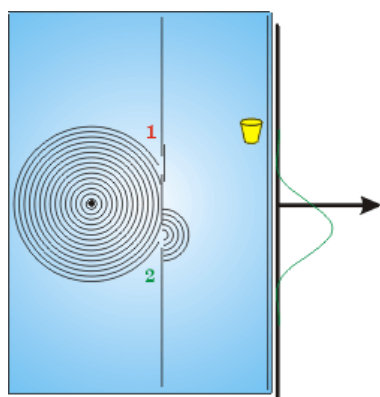
117

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla



Fechando a fenda **1** e abrindo a **2**, a distribuição de energia mantém seu formato, mas desloca-se para a posição em frente à fenda **2**.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

118

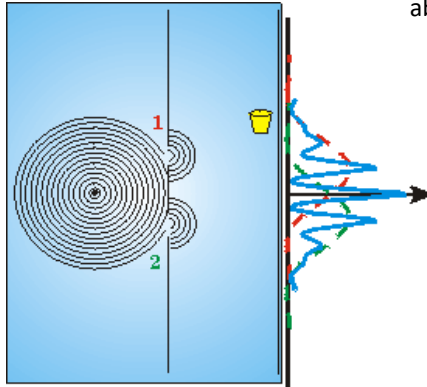
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla

Vejamos o que acontece quando as duas fendas permanecem abertas.



<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

119

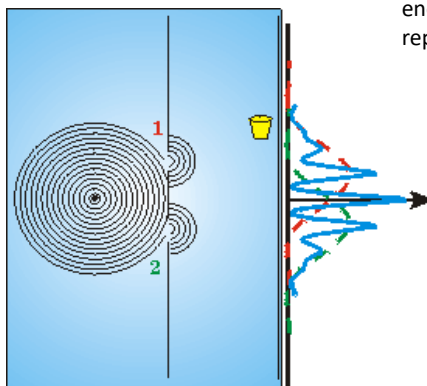
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla

As curvas tracejadas (verde e vermelha) representam os resultados anteriores, enquanto a curva contínua (azul) representa o que se observa.



<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

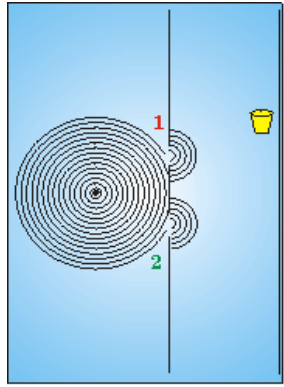
120

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla



Esta curva não apresenta uma relação simples com as anteriores.

Por exemplo, não é simplesmente a soma nem a subtração das curvas anteriores.

Diferentemente das curvas anteriores, esta curva obtida com as duas fendas abertas apresenta vários pontos onde a intensidade é nula.

Entre estes pontos, a intensidade apresenta valores diferentes.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

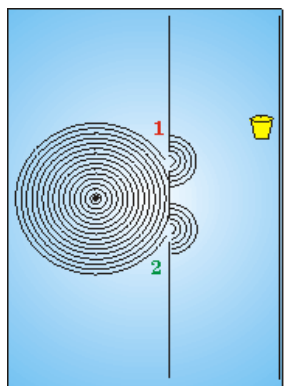
121

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla



Este foi o surpreendente resultado obtido por Young, quando ele fez este tipo de experiência usando a luz.

O fenômeno responsável pelo resultado é denominado **interferência**,

e a curva é usualmente denominada **padrão de interferência**.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

122

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla

*o experimento de Young de interferência em fenda dupla mostra o **caráter ondulatório** da luz*

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

123

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla

Em 1905, para explicar o [efeito fotoelétrico](#) Einstein usou uma idéia similar a de Newton, segundo a qual, ao invés de pensarmos na luz como uma onda, deveríamos imaginá-la constituída de corpúsculos, denominados fótons.

Com o sucesso da explicação do efeito fotoelétrico, ficou provado que a luz tem um **caráter dualístico**.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

124

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



**Vídeo para assistir**

**O experimento da fenda dupla:  
ondas, matéria e partículas**



<http://www.youtube.com/watch?v=u7VctogNgU4>

**português**

125

*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



**O experimento da fenda dupla:  
ondas, matéria e partículas**

**Vídeo para assistir**



<http://www.youtube.com/watch?v=u7VctogNgU4>

**português**

126

*Ignez Caracelli*

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Ondas em fenda dupla

Dependendo das circunstâncias, poderia ser vista como **onda** (apresentando, p.ex. o fenômeno da **interferência** e da **difração**),

ou como **partícula** (apresentando o **efeito fotoelétrico**).

... fecha parênteses.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>

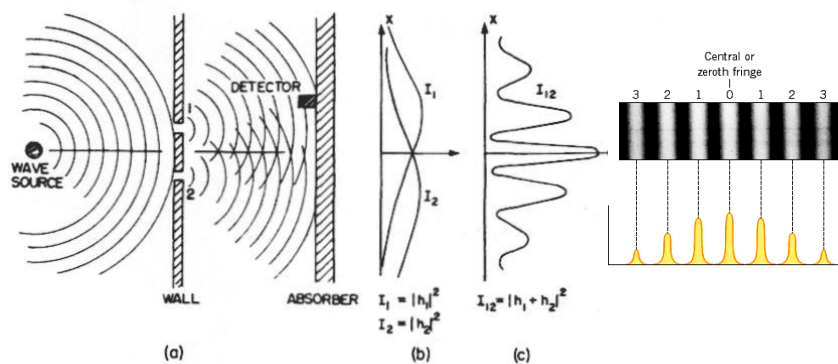
127

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



## Experimento de Young – fenda dupla



interferência e a natureza ondulatória da luz

128

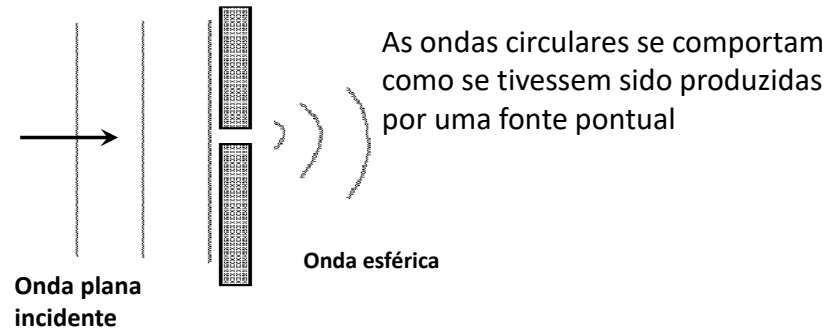
Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

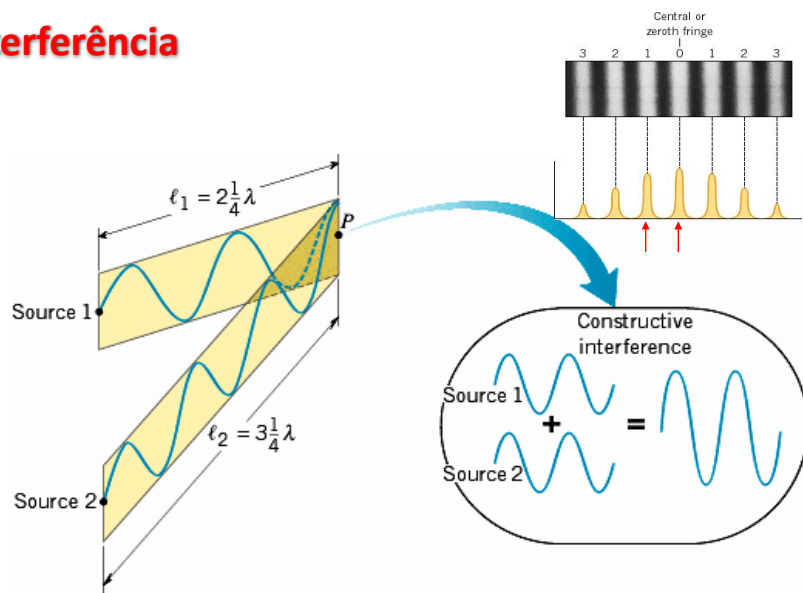




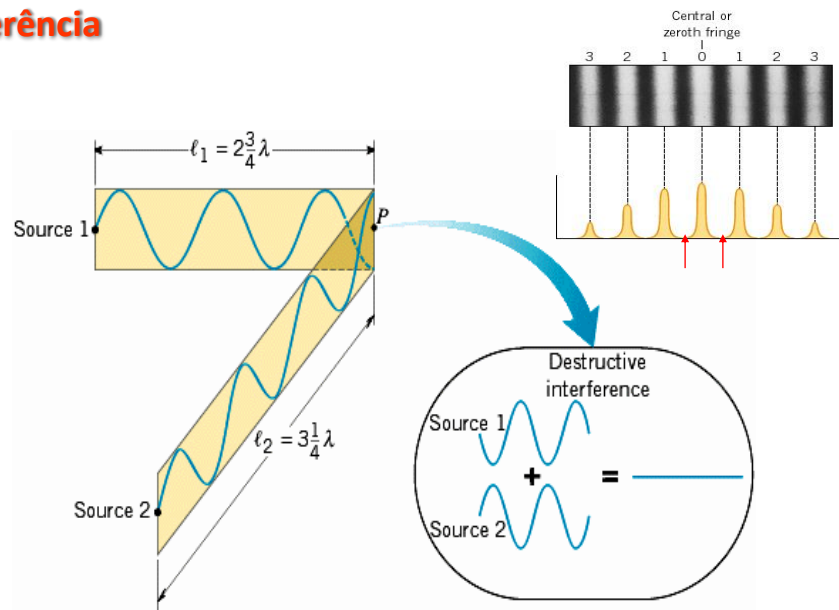
## Princípio de Huygens



## Franjas de Interferência



## Franjas de Interferência



131

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



[Luz newton](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=9XuOAGtlclo>

Ignez Caracelli

096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

