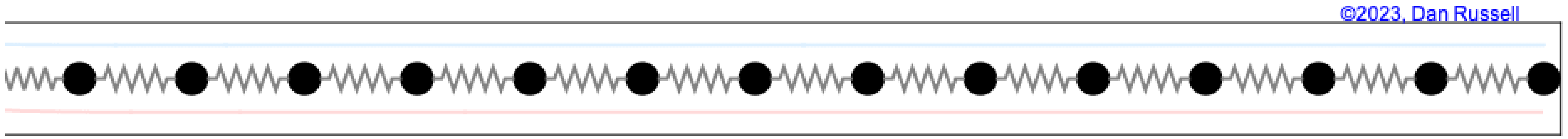
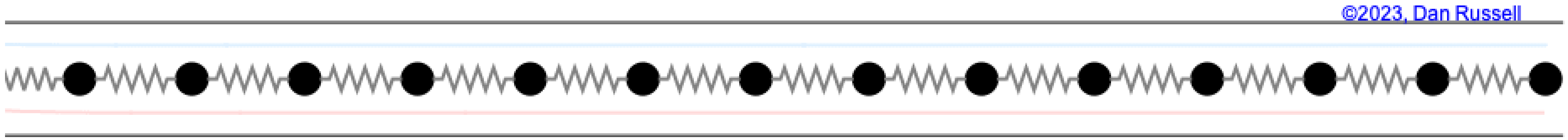
Física 2 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda **AULA 21 – 24/04/2024**

crmiranda@usp.br

Ondas

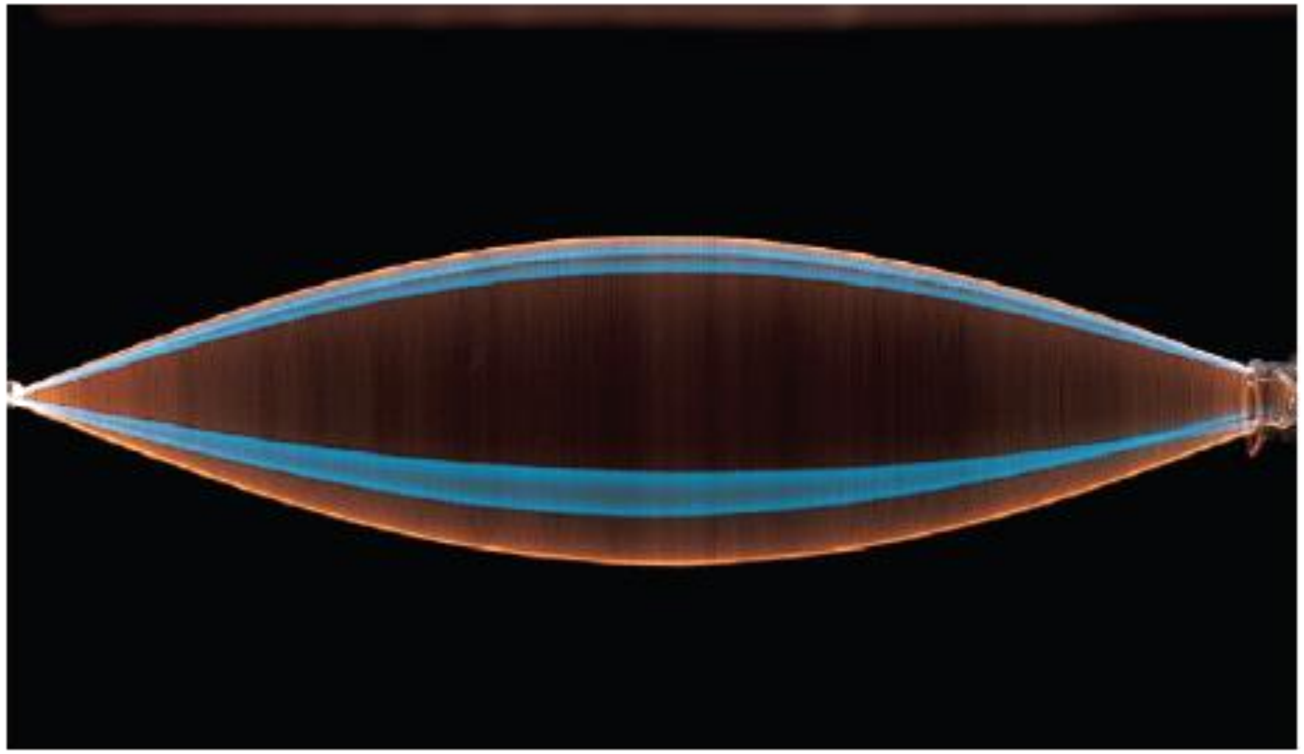




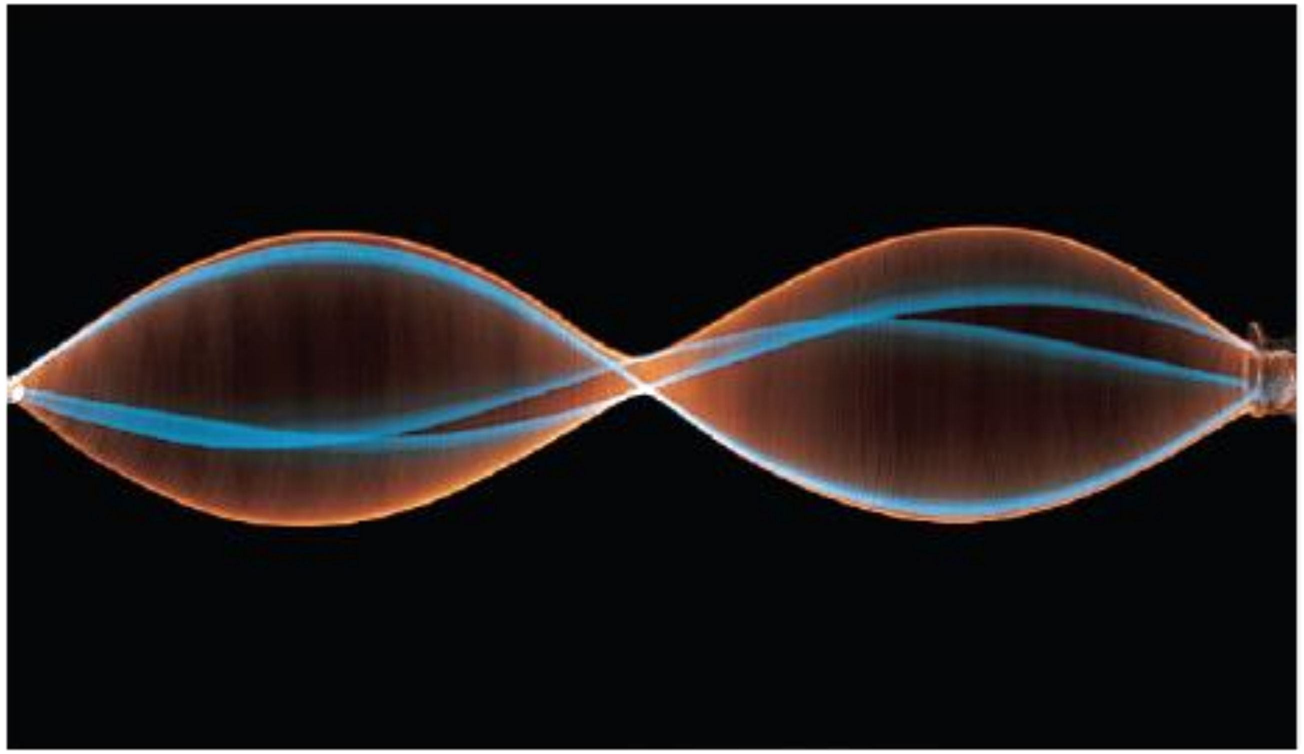
Ondas sonoras estacionárias em uma corda

- Tempos de exposição de ondas estacionárias em uma corda esticada:

(a) A corda tem meio comprimento de onda.



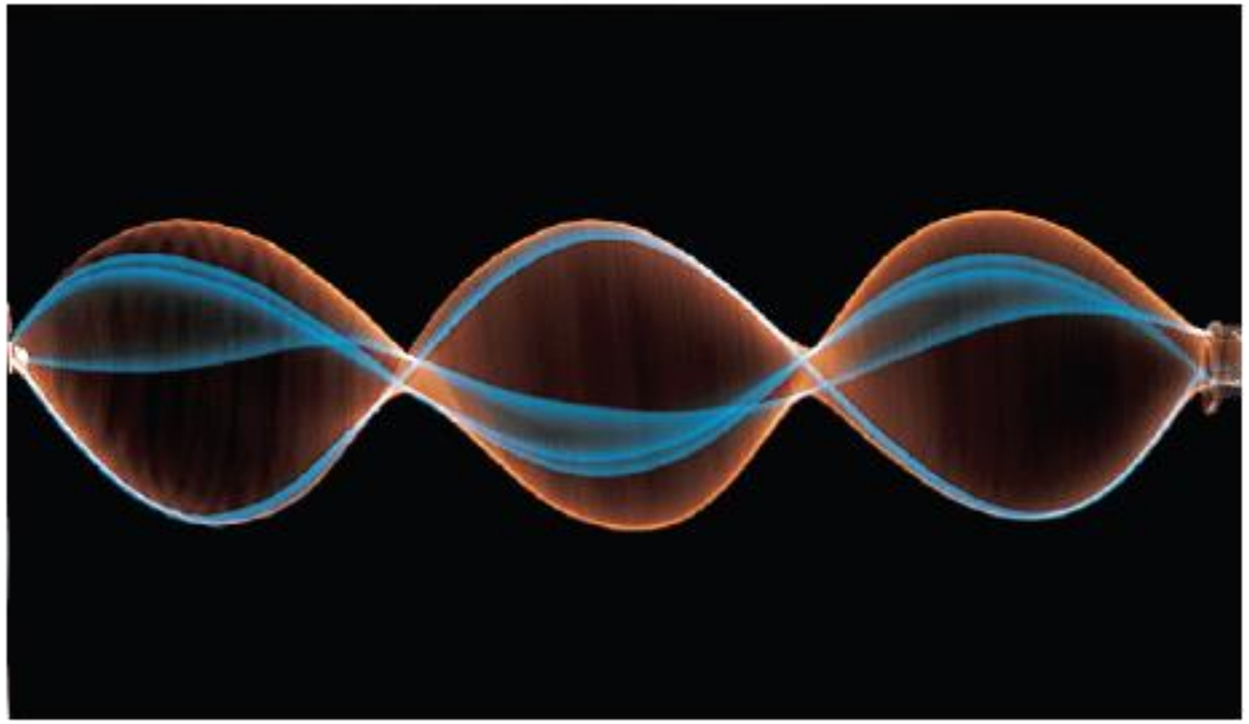
A corda tem um comprimento de onda.



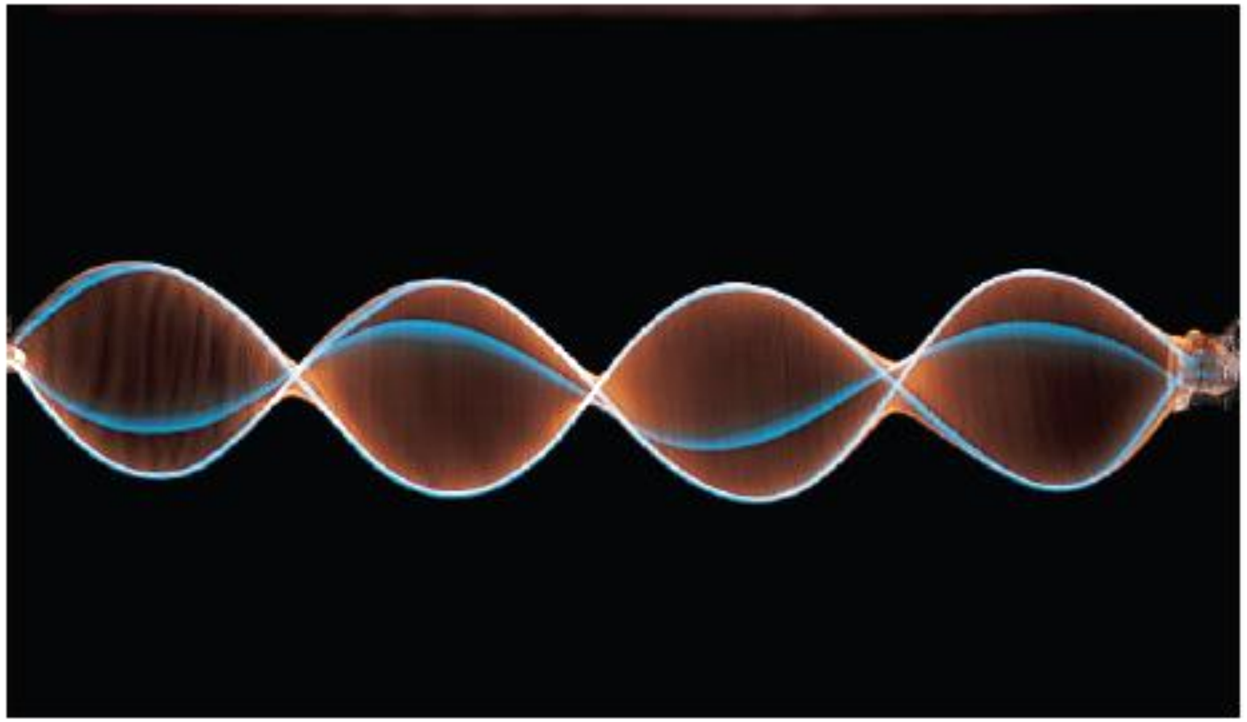
Ondas sonoras estacionárias em uma corda

- Tempos de exposição de ondas estacionárias em uma corda esticada:

(c) A corda tem comprimento de onda de um e meio.

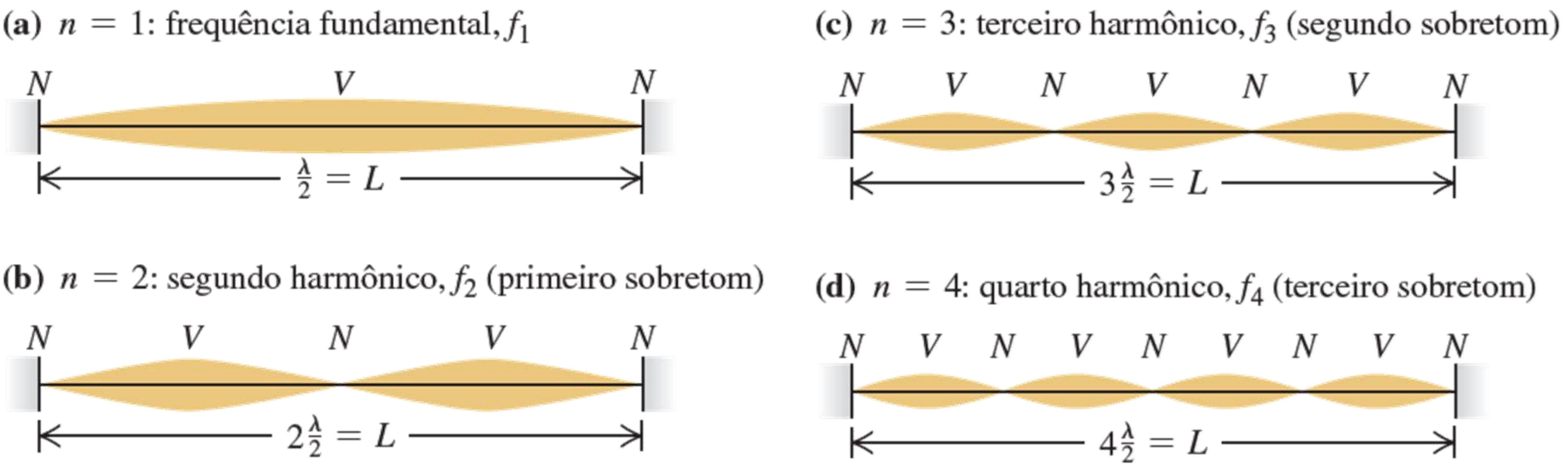


(d) A corda tem dois comprimentos de onda.



Modos normais de uma corda

- Um **modo normal** de um sistema oscilante é um movimento no qual todas as partículas do sistema se movem ***senoidalmente*** com a mesma frequência.



Equação da Corda vibrante

Modos normais de uma corda vibrante

Modos normais de vibração:

Sistema físico em vibração: apenas algumas vibrações são permitidas (modos normais de vibração)

CASO 1: Corda vibrante

Corda com extremidades fixas (x=0 e x=l)

Vibrações: comprimento multiplo inteiro do meio comprimento de onda da vibração

$L = n.\lambda/2$ com $n=1,2,3,\ldots$

Monocórdios - Dan ban (Vietnam)

- Berimbau

Modos normais de uma corda vibrante

Coordenadas x (comprimento horizontal) e y (afastamento entre a posição da corda em um instante t e sua posição no equilíbrio):

$y = A . \mathrm{SIN}\ (k . x)$

condições de contorno: $y=0$ para $x=0$ e $x = l$

Solução: $k.l = n.\pi$

Mas $l = n.\lambda/2$ pois $k=2.\pi/ \lambda$

Modos de vibração:

$y_n = a_n . \mathrm{SIN}\ (x.\ n.\ \pi/ \lambda)$, com $n=0,1,2,3, \ldots$

Modos normais de uma corda vibrante

A equação da corda vibrante pode ser generalizada como:

$$\partial^2 y/\partial x^2 - 1/\upsilon^2 \cdot \partial^2 y/\partial t^2 = 0$$

$Y(0,t) = y(l,t) = 0$

Por separação de variáveis:

$$y(x,t) = u(x).e^{-i\omega t}$$

Implicando em:

$d^2u/dx^2 + k^2 \cdot u = 0$, com $k^2=\omega^2/ \upsilon^2$

e $u(0)=u(l)=0$

Modos normais de uma corda vibrante

As soluções podem ser dadas na forma:

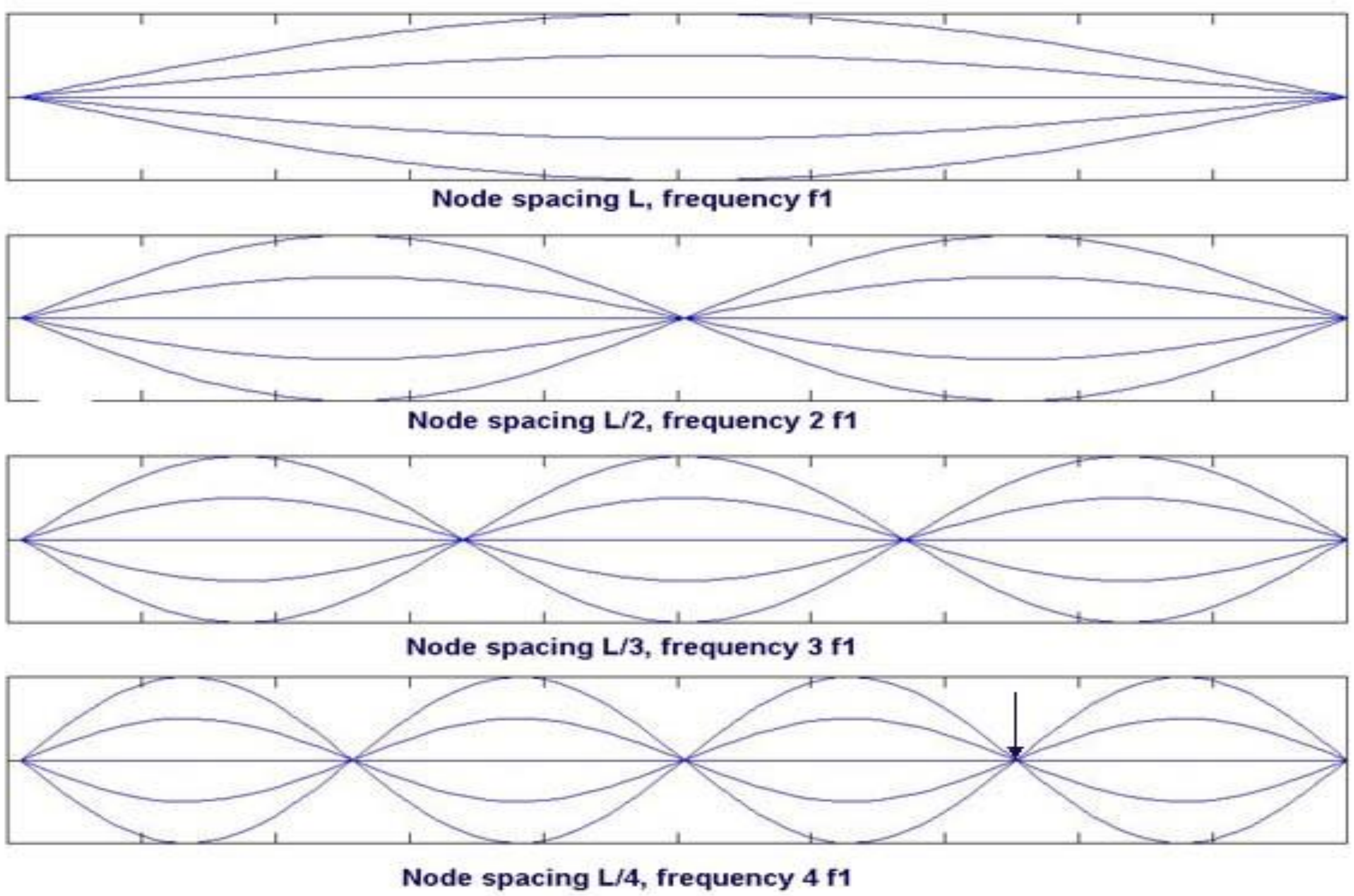
$y_n = a_n \sin(n.\pi.x/l) e^{-i\omega n t}$

onde $k_n = n.\pi/l$ e $\omega_n = k_n.\nu$ com n=1,2,3, …

Como a equação é linear, toda combinação linear das funções é solução

y(x,t) = Somatório (y_n)

Modos normais de uma corda vibrante



Demonstração – corda vibrante

Loaded String Simulation (falstad.com)

Vibrações em uma membrana

Os modos vibracionais de uma membrana retangular

(lados a e b) são as soluções da equação de ondas em 2-D:

$$\partial^2 z/\partial x^2 + \partial^2 z/\partial y^2 - 1/\upsilon^2 \cdot \partial^2 z/\partial t^2 = 0$$

com as condições:

$$z(0,y,t) = z(a,y,t) = z(x,0,t) = z(x,b,t) = 0$$

Soluções:

$$z(x,y,t) = Sum\{a_{n1n2}.sin(x.\ n_1.\pi/a).\ sin(x.\ n_2.\pi/b)\ e^{-i\omega n1n2t}$$

Membrana retangular

Rectangular Membrane Applet (falstad.com)

Vibrações em uma membrana

Os modos vibracionais de uma membrana circular

são as soluções da equação de ondas em 2-D:

$$1/r\ \partial/\partial r\ (r\ \partial z/\partial x) + 1/r^2\ \partial^2 z/\partial\varphi^2 - 1/\upsilon^2 \cdot \partial^2 z/\partial t^2 = 0$$

com as condições:

$$z(R, \varphi, t) = 0$$

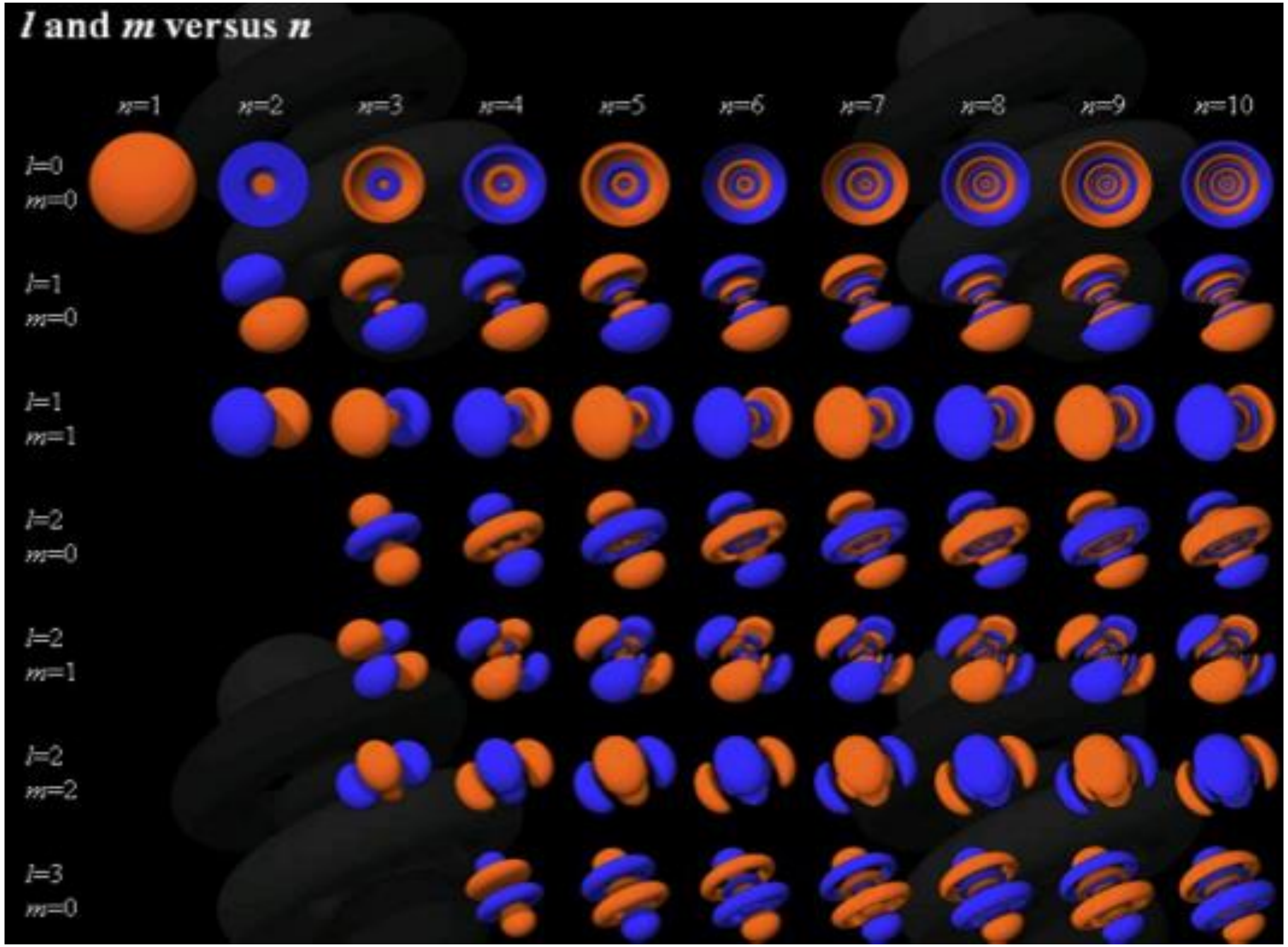
Soluções:

Funções de Bessel

Membrana circular

Circular Membrane Applet (falstad.com)

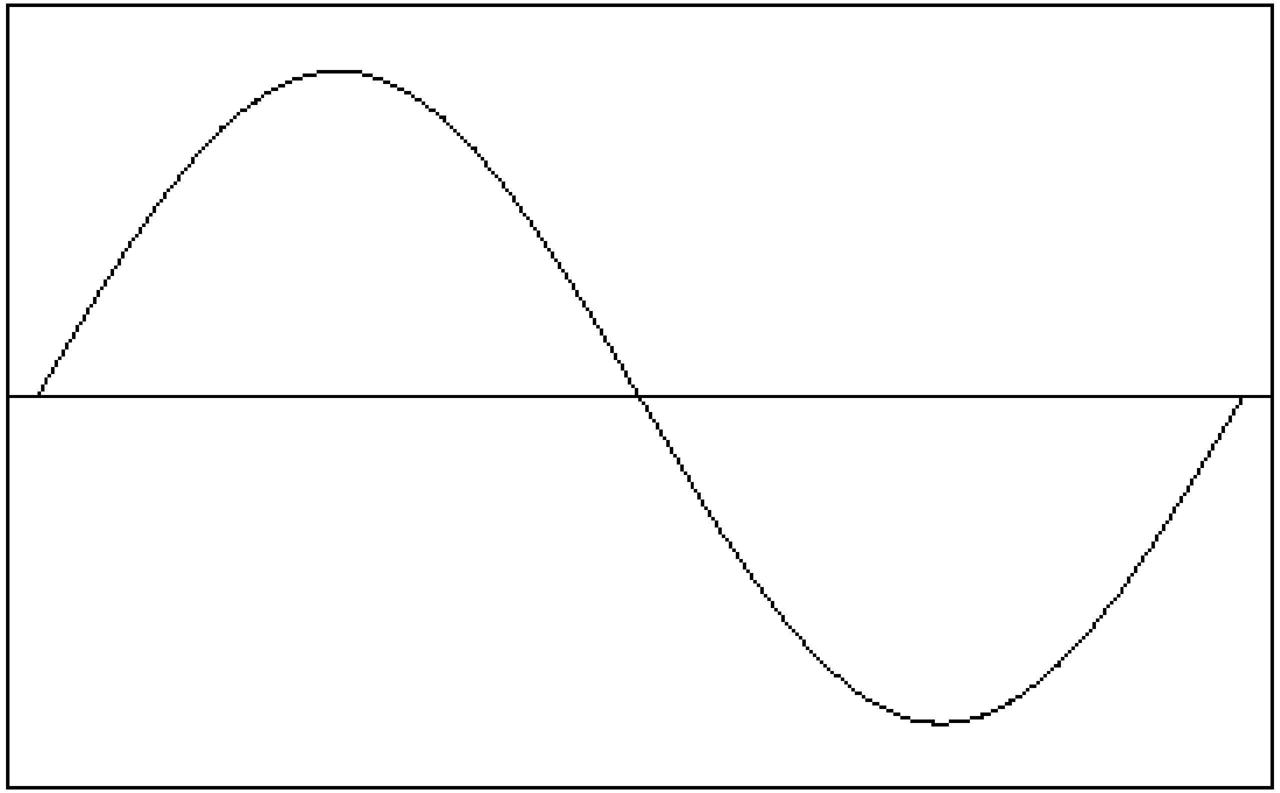
Potencial de Coulomb



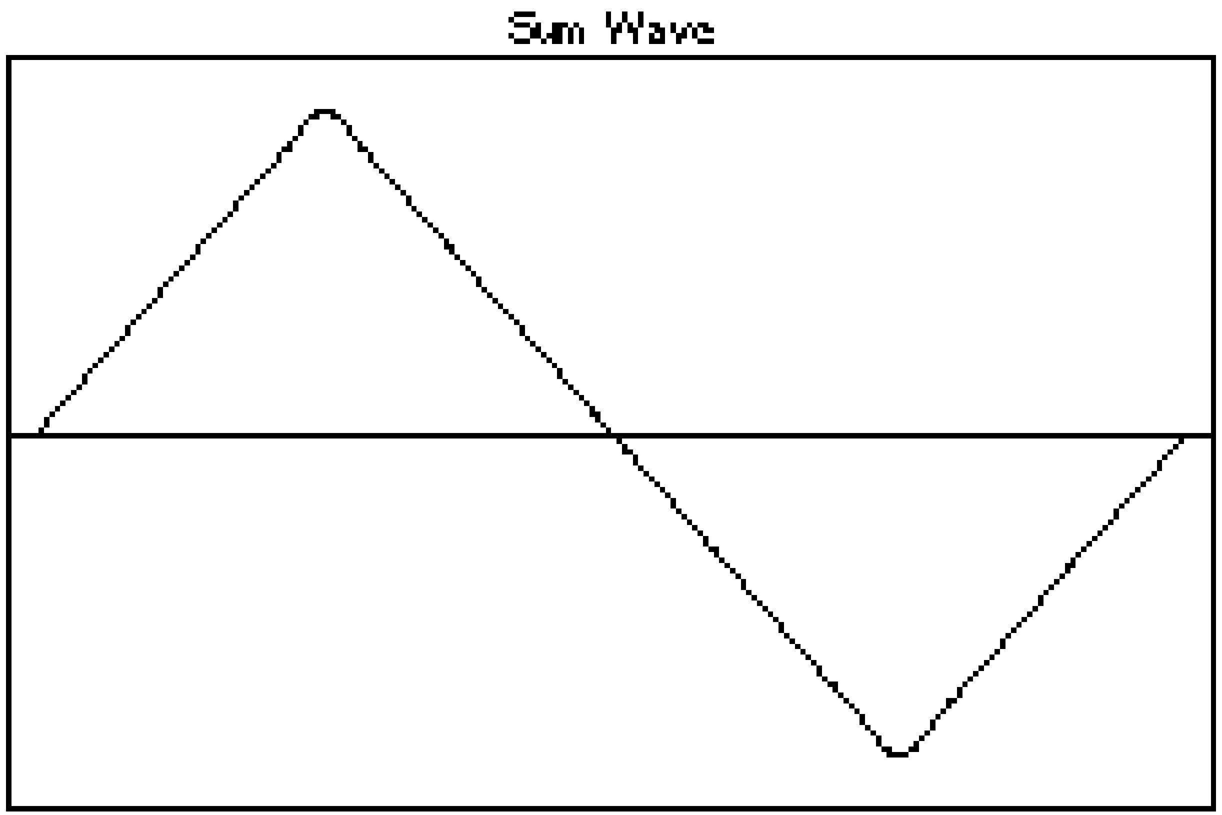
Laboratório (Cuba de Ondas)

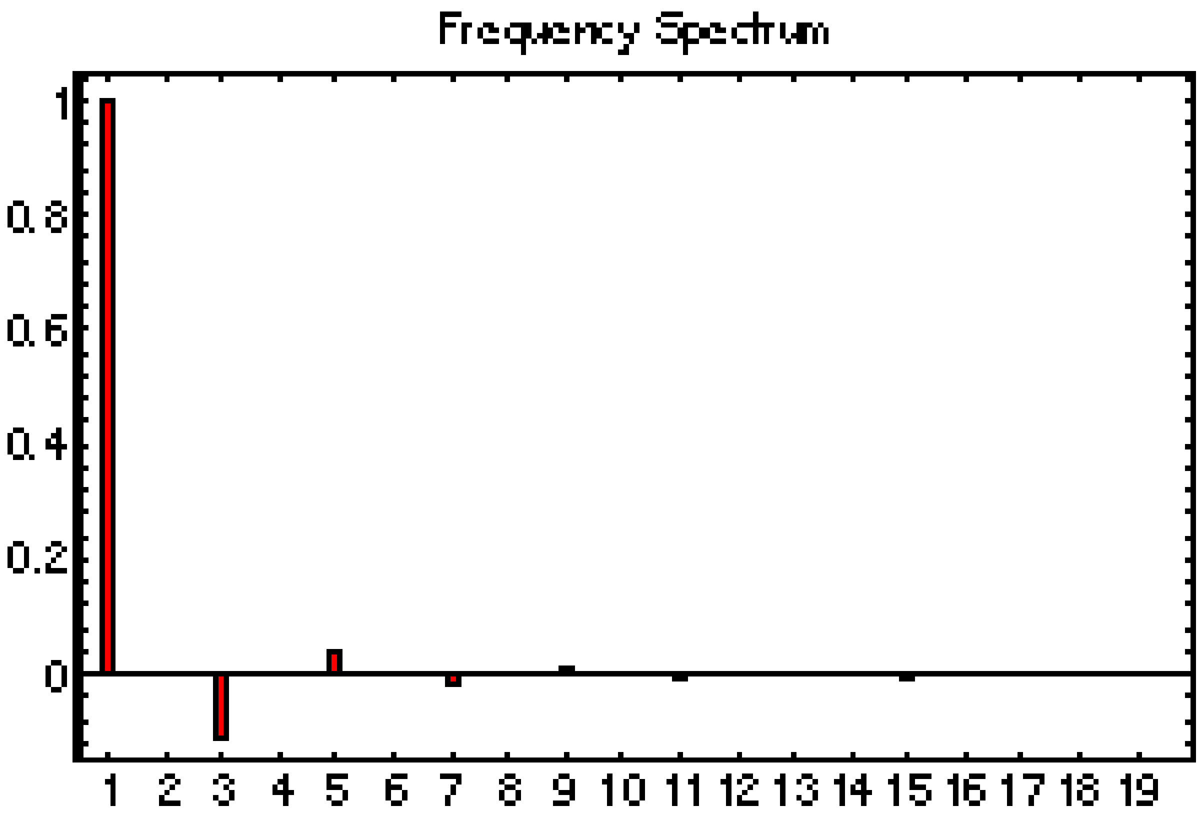
[Ripple Tank Simulation (falstad.com)]

Fourier – onda quadrada

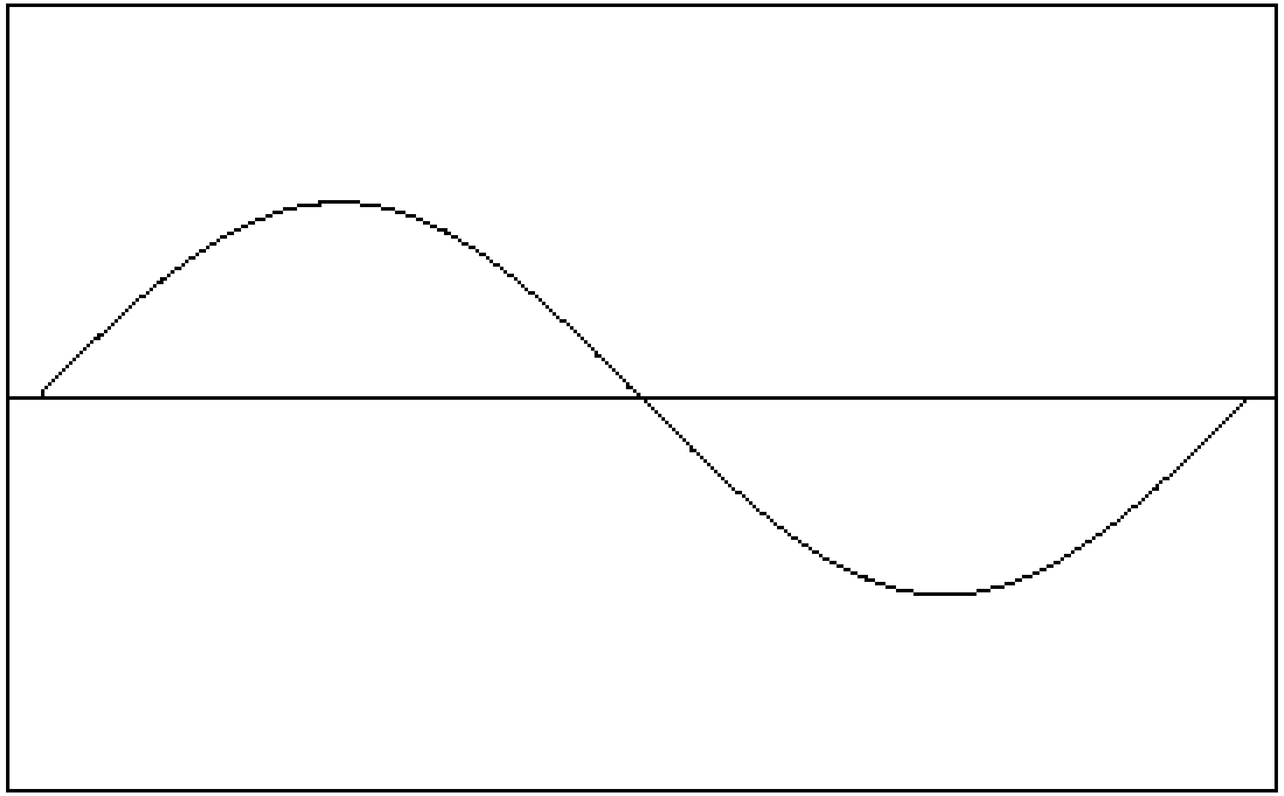


Onda triangular

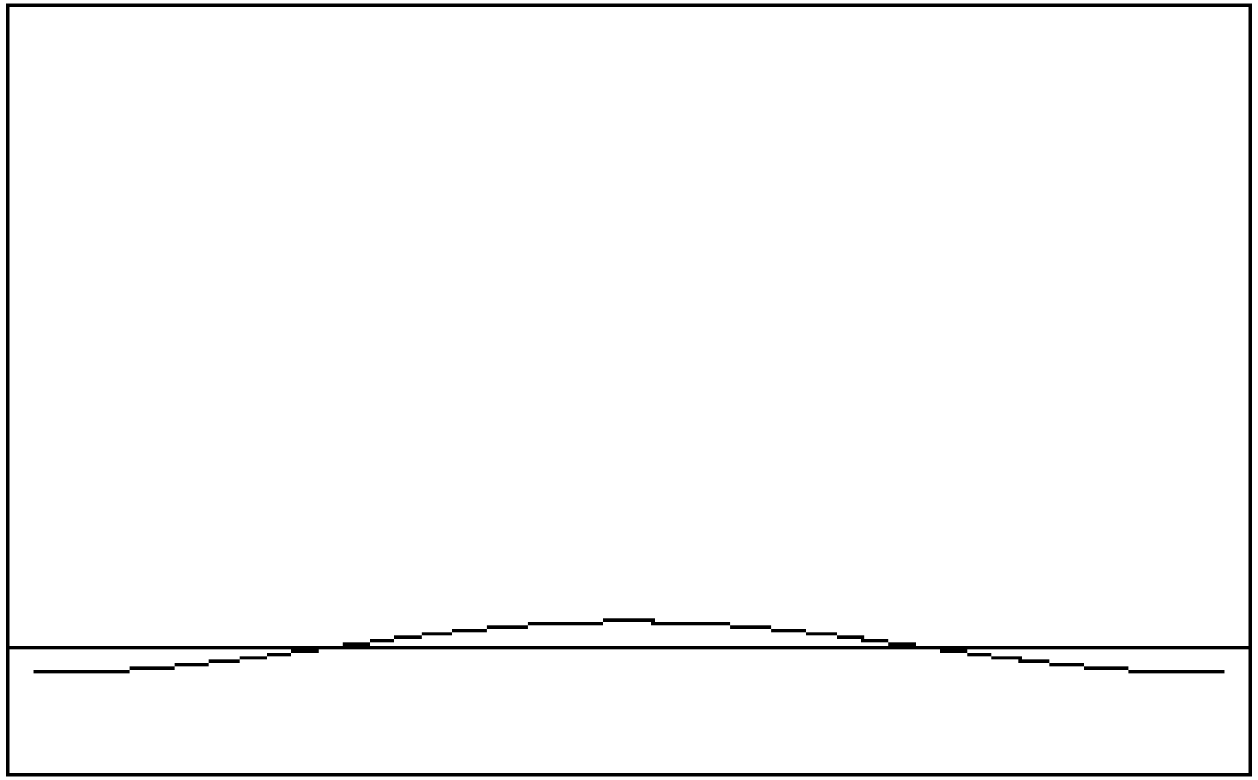




Dente de serra



Pulso



Sumário – 24/04/2024

- Ondas – parte 2

Devolutiva:

- Como foi a aula hoje ? (Moodle)

https://forms.gle/MRJRSmYpNUdUg8fz6