PROF.: PAULO GOMES
MATÉRIA: Telecomunicações – MOURA LACERDA

Sistemas de Comunicação

Todo sistema eficaz de comunicação contem instrumentos de comunicação, ou equipamentos, para realizar suas atividades. Seja via e-mail, teleconferência, netmeeting, listas de discussão, TV, rádio, memorandos e tantos outros instrumentos disponibilizados para comunicação, podendo ser em tempo real e são utilizados em ambientes organizacionais e educacionais. Nos tempos de hoje o novo aparato tecnológico permite, a organizações com unidades dispersas fisicamente, a possibilidade de integrar suas atividades como se estivessem todas reunidas em um só espaço, mesmo que este seja virtual. Pensar na comunicação via voz, imagens, texto ou transmissão de dados, em um novo ambiente tecnológico que possibilita comunicação em tempo real, também é falar de comunicação integrada, uma vez que cria-se uma integração organizacional, nunca antes imaginada, que facilita o processo de tomada de decisão e aumenta significativamente a produtividade das empresas. A Siemens reúne os responsáveis da área de pesquisa e desenvolvimento, espalhados pelo mundo, em reuniões periódicas através de videoconferências, sites e comunicação eletrônica para discutir detalhes de projetos únicos. Certamente tal tecnologia de comunicação amplia o conceito de comunicação integrada.
A própria internet e os sistemas de comunicação via satélite, que disponibilizam estas ferramentas de comunicação, são sistemas de comunicação integrada a medida que unem pessoas ao redor do mundo. Através destes ambientes de comunicação desenha-se uma outra forma de integração entre o receptor da mensagem e o emissor. Com as vantagens da internet: interatividade, produtividade, atualidade, economia e globalidade, o receptor passa também a ser produtor das mensagens e interage com a sua fonte de informação (Cruz, 2000). A integração do emissor com o meio de comunicação enquanto produtor, também é uma nova concepção da comunicação integrada.

Definições importantes:

Um sistema de comunicação simples é formado pelos seguintes blocos:

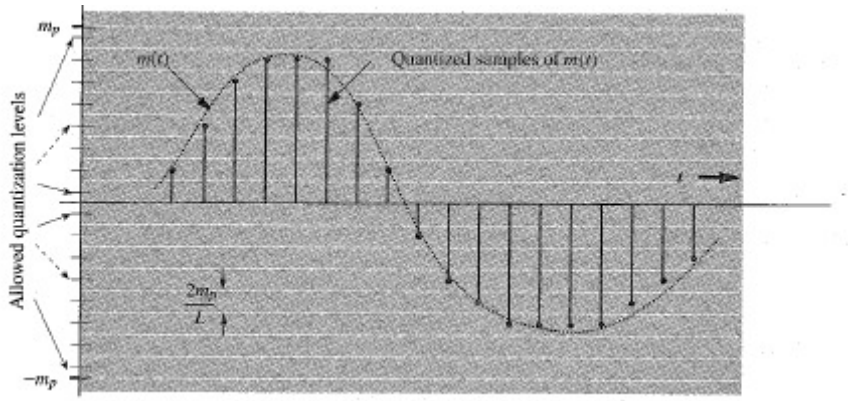
1- Fonte
2- Transmissor
3- Canal
4- Receptor
5- Destino
O transmissor e o receptor podem ser bastante complexo,
como é o caso das comunicações digitais

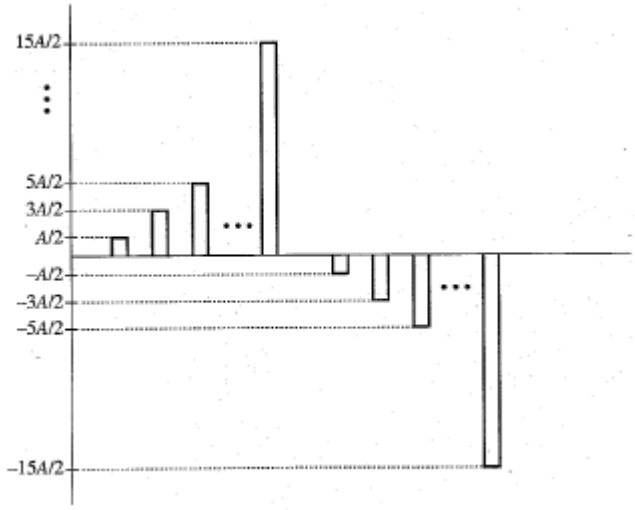
Os sistemas de comunicação podem ser classificados :

- como analógicos ou digitais
- Relativo à natureza da mensagem transmitida
- As formas de onda transmitidas são em geral analógicas para ambos os casos
- Sistemas digitais apresentam diversas vantagens
    - Utilização de repetidores regenerativos
    - Possibilidade de usar criptografia e códigos para a correção de erros
    - Hardware digital teve uma redução de custo considerável

- Uma fonte de informação analógica pode ser convertida para o formato digital através de:
    - Amostragem (Teorema de Nyquist)
    - Quantização

Os símbolos discretos resultantes da quantização podem ser mapeados para um outro conjunto de símbolos:
    - Símbolos binários são freqüentemente utilizados
    - Símbolos discretos são finalmente mapeados para formas de ondas físicas :Onda quadrada por exemplo





Digit	Binary equivalent	Pulse code waveform
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

- Largura de Banda ou largura de faixa:
  Faixa de freqüências que podem ser transmitidas informações com uma fidelidade razoável

- Propriedades dos canais de comunicação
  - Quanto maior, mais rápido os símbolos podem ser transmitidos
  - Geralmente é limitada artificialmente

- Potência
  - Relacionada com a energia utilizada para transmitir um símbolo de informação
  - Quanto maior a potência, menos o ruído do canal irá influenciar o símbolo transmitido

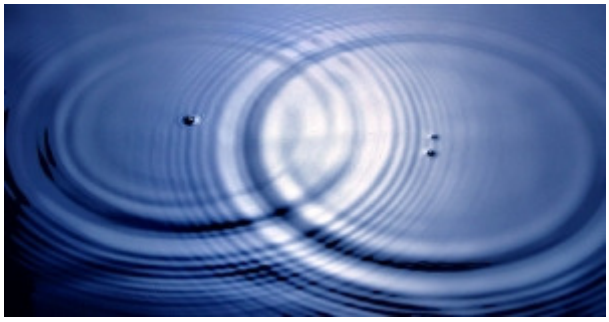
Relação Sinal-Ruído (SNR): é uma medida da qualidade do sinal

Estudo de Ondulatória

Ondulatória é a parte da Física que estuda as ondas. Qualquer *onda* pode ser estudada aqui, seja a onda do mar, ou ondas eletromagnéticas, como a luz.

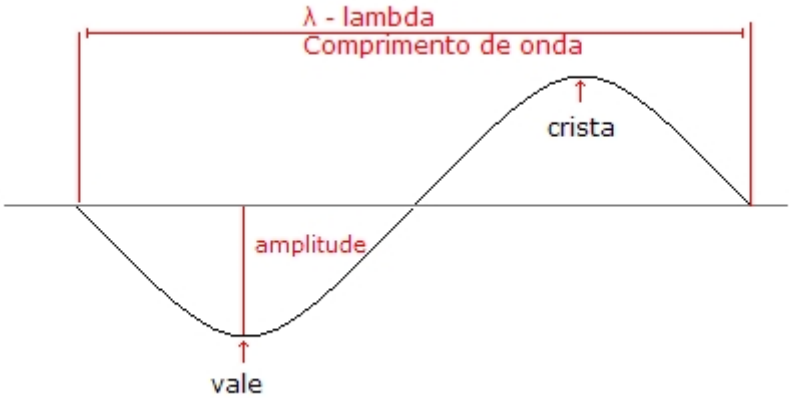
Conceito de Onda
A definição de onda é qualquer perturbação (**pulso**) que se propaga em um meio. Ex: uma pedra jogada em uma piscina (a **fonte**), provocará ondas na água, pois houve uma

perturbação. Essa onda se propagará para todos os lados, quando vemos as perturbações partindo do local da queda da pedra, até ir na borda. Uma seqüência de pulsos formam as ondas.



Chamamos de **Fonte** qualquer objeto que possa criar ondas.

A onda é **somente energia**, pois ela só faz a transferência de energia cinética da fonte, para o **meio**. Portanto, qualquer tipo de onda, **não transporta matéria!**.



As ondas podem ser classificadas seguindo três critérios:

Classificação das ondas segundo a sua Natureza
Quanto a natureza, as ondas podem ser dividas em dois tipos:

- Ondas mecânicas: são todas as ondas que precisam de um meio material para se propagar. Por exemplo: ondas no mar, ondas sonoras, ondas em uma corda, etc.

- Ondas eletromagnéticas: são ondas que não precisam de um meio material para se propagar. Elas também podem se propagar em meios materiais. Exemplos: luz, raio-x , sinais de rádio, etc.

Classificação em relação à direção de propagação
As ondas podem ser dividas em três tipos, segundo as direções em que se propaga:

- Ondas unidimensionais: só se propagam em uma direção (uma dimensão), como uma onda em uma corda.

- Ondas bidimensionais: se propagam em duas direções (*x* e *y* do plano cartesiano), como a onda provocada pela queda de um objeto na superfície da água.

- Ondas tridimensionais: se propagam em todas as direções possíveis, como ondas sonoras, a luz, etc.

Classificação quanto a direção de propagação
- Ondas longitudinais: são as ondas onde a vibração da fonte é paralela ao deslocamento da onda. Exemplos de ondas longitudinais são as ondas sonoras (o alto falante vibra no eixo **x**, e as ondas seguem essa mesma direção), etc.

- Ondas transversais: a vibração é perpendicular à propagação da onda. Ex.: ondas eletromagnéticas, ondas em uma corda (você balança a mão para cima e para baixo para gerar as ondas na corda).

Características das ondas

Todas as ondas possuem algumas grandezas físicas, que são:

- **Freqüência**: é o número de oscilações da onda, por um certo período de tempo. A unidade de freqüência do Sistema Internacional (SI), é o hertz (Hz), que equivale a 1 segundo, e é representada pela letra **f**. Então, quando dizemos que uma onda vibra a 60Hz, significa que ela oscila 60 vezes por segundo. A freqüência de uma onda só muda quando houver alterações na fonte.

-**Período**: é o tempo necessário para a fonte produzir uma onda completa. No SI, é representado pela letra **T**, e é medido em segundos.

É possível criar uma equação relacionando a freqüência e o período de uma onda:

$$f = 1/T$$

ou

$$T = 1/f$$

- **Comprimento de onda**: é o tamanho de uma onda, que pode ser medida em três pontos diferentes: de crista a crista, do início ao final de um período ou de vale a vale. Crista é a parte alta da onda, vale, a parte baixa. É representada no SI pela letra grega **lambida** (λ)

- **Velocidade**: todas as ondas possuem uma velocidade, que sempre é determinada pela distância percorrida, sobre o tempo gasto. Nas ondas, essa equação fica:

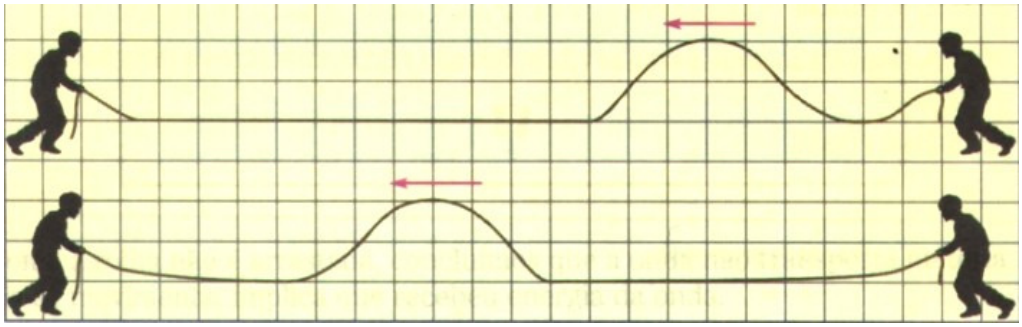
$v = \lambda / T$ ou $v = \lambda \cdot 1/T$ ou ainda $v = \lambda \cdot f$

- **Amplitude**: é a "altura" da onda, é a distância entre o eixo da onda até a crista. Quanto maior for a amplitude, maior será a quantidade de energia transportada

Revendo os conceitos iniciais

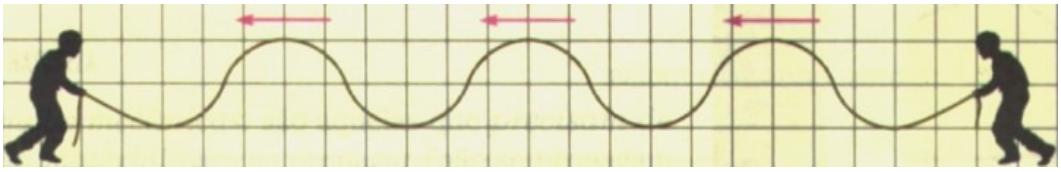
Considere duas pessoas segurando as extremidades de uma corda.

Se uma delas fizer um movimento vertical brusco, para cima e depois para baixo, causará uma perturbação na corda, originando uma sinuosidade, que se deslocará ao longo da corda aproximando-se da outra pessoa, enquanto a extremidade que recebeu o impulso retorna à posição inicial, por ser a corda um *meio elástico.*

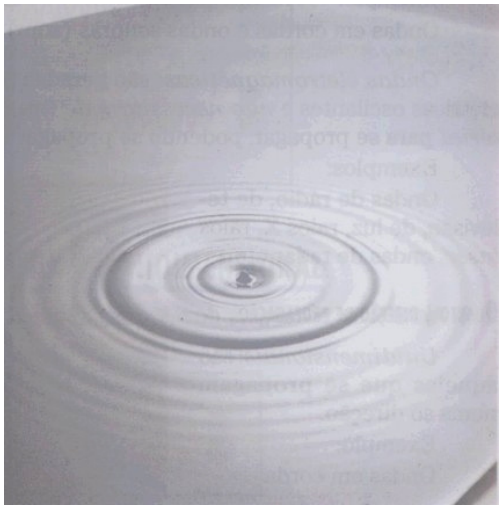


Nesse exemplo, a perturbação denomina-se *pulso*, o movimento do pulso é chamado de *onda*, a mão da pessoa que faz o movimento vertical é a *fonte* e a corda, na qual se propaga a onda, é denominada *meio*.

Se provocarmos vários pulsos sucessivos com um movimento sobe-e-desce, teremos várias ondas propagando-se na corda, uma atrás da outra, constituindo um *trem de ondas.*



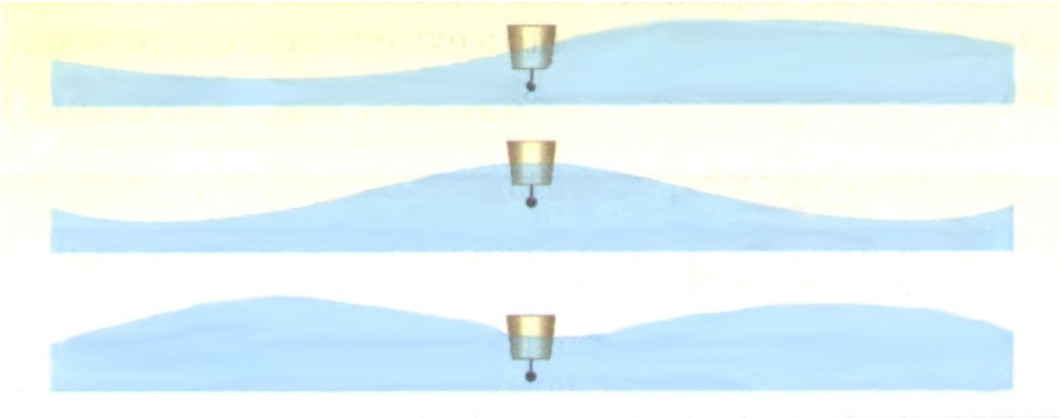
Um outro exemplo pode ser visto quando se atira uma pedra num lago de águas paradas.



A perturbação causada pelo impacto da pedra na água originará um movimento que se propagará pela superfície do lago como circunferências de mesmo centro, afastando-se do ponto de impacto.

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

Colocando-se um pedaço de cortiça na água, próximo ao local do lançamento da pedra, verifica-se que a onda, ao atingir a cortiça que fica flutuando na superfície da água, faz com que ela apenas oscile, subindo e descendo, sem variar a direção.



Como a rolha não é arrastada, concluímos que a onda não transporta matéria. Porém, como ela se movimenta, implica que recebeu energia da onda.

Uma onda transmite energia sem o transporte de matéria.

Classificação

As ondas podem ser classificadas de três modos.

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 e ondas sonoras (som).

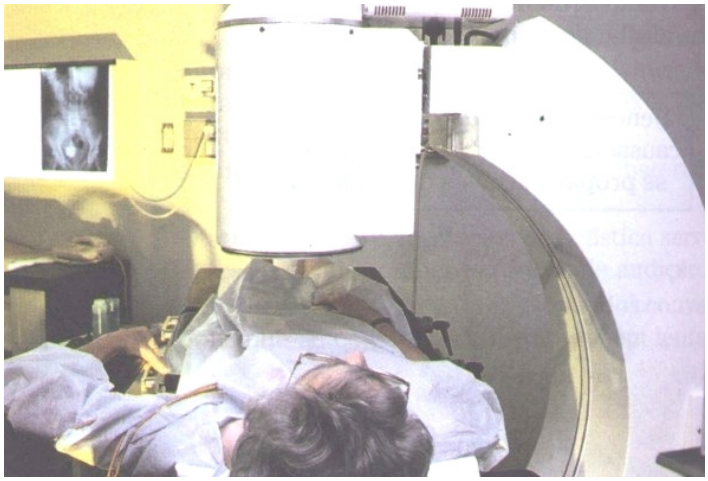
Ondas eletromagnéticas: são geradas por cargas elétricas oscilantes e *não necessitam de uma meio material* para se propagar, podendo se propagar no vácuo.

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

Quanto à direção de propagação

Unidimensionais: são aquelas que se propagam numa só direção.

Exemplo: Ondas em cordas.



Bidimensionais: são aquelas que se propagam num plano.

Exemplo: Ondas na superfície de um lago.

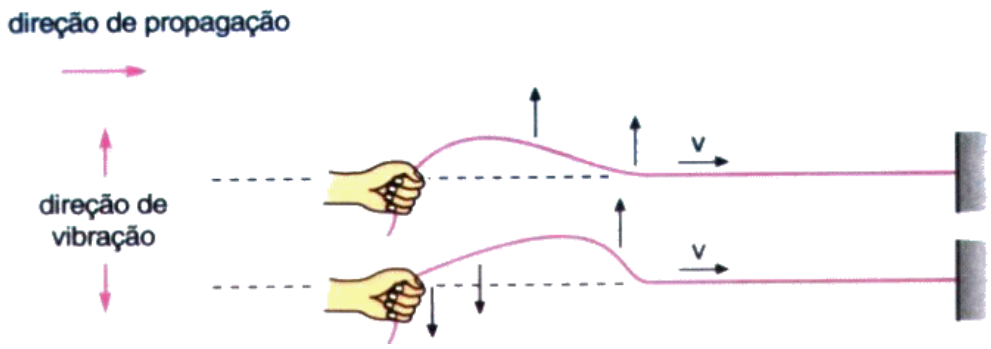
Tridimensionais: são aquelas que se propagam em todas as direções.

Exemplo: Ondas sonoras no ar atmosférico ou em metais.

Quanto à direção de vibração

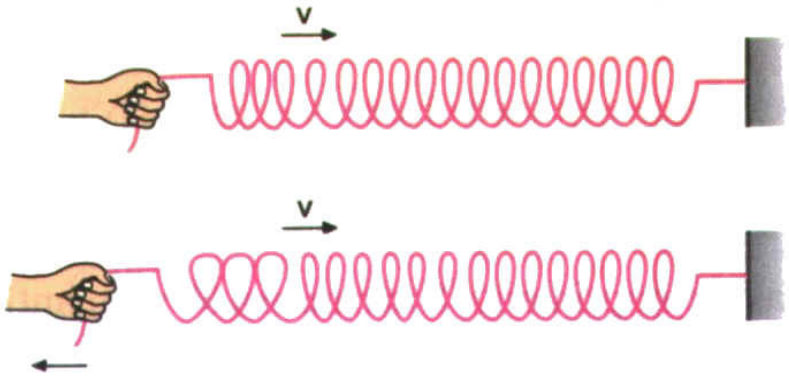
Transversais: são aquelas cujas vibrações são perpendiculares à direção de propagação.

Exemplo: Ondas em corda.



Longitudinais: são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

Exemplos: Ondas sonoras, ondas em molas.



Velocidade de Propagação de uma Onda Unidimensional

Considere uma corda de massa *m* e comprimento ℓ, sob a ação de uma força de tração $\vec{F}$.

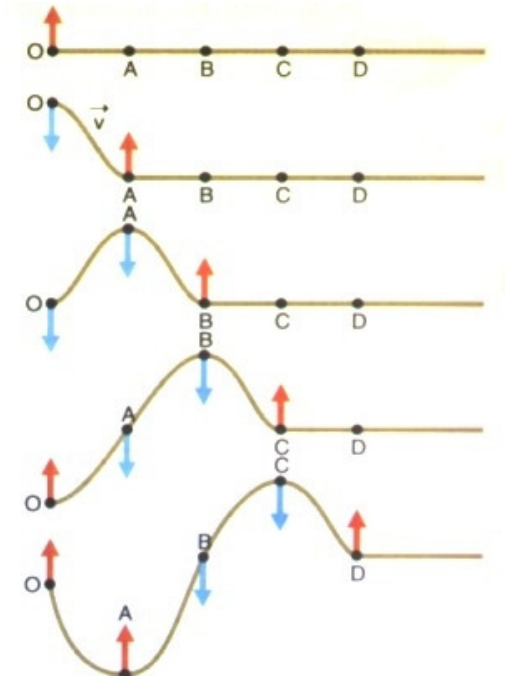
Suponha que a mão de uma pessoa, agindo na extremidade livre da corda, realiza um movimento vertical, periódico, de sobe-e-desce. Uma onda passa a se propagar horizontalmente com velocidade $\vec{v}$.

Cada ponto da corda sobe e desce. Assim que o ponto *A* começa seu movimento (quando *O* sobe), *B* inicia seu movimento (quando *O* se encontra na posição inicial), movendo-se para baixo.

O ponto *D* inicia seu movimento quando o ponto *O* descreveu um ciclo completo (subiu, baixou e voltou a subir e regressou à posição inicial).

Se continuarmos a movimentar o ponto *O*, chegará o instante em que todos os pontos da corda estarão em vibração.

A velocidade de propagação da onda depende da densidade linear da corda e da intensidade da força de tração $\vec{F}$, e é dada por:



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

Em que:

F = a força de tração na corda

$\mu = \frac{m}{\ell}$, a densidade linear da corda

APLICAÇÃO

1- Uma corda de comprimento 3 m e massa 60 g é mantida tensa sob ação de uma força de intensidade 800 N. Determine a velocidade de propagação de um pulso nessa corda.

Resolução:

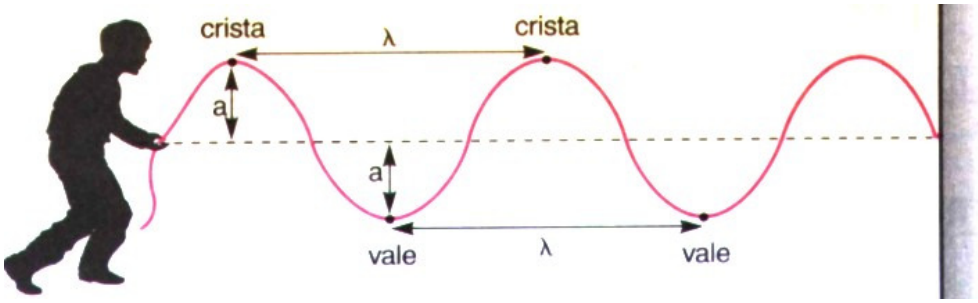
$$\text{Dados: } \begin{cases} \ell = 3\,\text{m} \\ \text{m} = 60\,\text{g} = 0{,}06\,\text{kg} \\ \text{T} = 800\,\text{N} \end{cases}$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\frac{m}{\ell}}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{800}{\frac{0{,}06}{3}}} \rightarrow v = 200\,\text{m/s}$$

Resposta: 200 m/s

Ondas Periódicas

Considere uma pessoa executando um movimento vertical de sobe-e-desce na extremidade livre da corda indicada na figura, em intervalos de tempo iguais.



Esses impulsos causarão pulsos que se propagarão ao longo da corda em espaços iguais, pois os impulsos são periódicos.

A parte elevada denomina-se *crista* da onda e a cavidade entre duas cristas chama-se *vale*.

Denomina-se *período T* o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto.

Chama-se *freqüência f* o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto, em cada unidade de tempo.

Entre *T* e *f* vale a relação:

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

A distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos é denominada *comprimento de onda*, representado por λ, e *a* é a *amplitude da onda*.

Como um pulso se propaga com velocidade constante, vale a expressão *s = vt.*

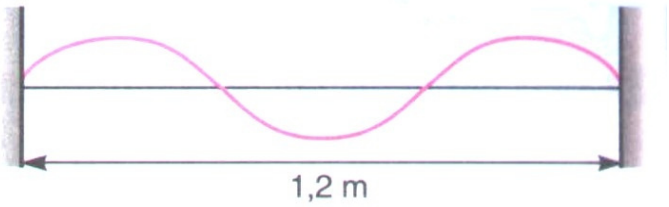
Fazendo s = λ, temos t = T. Logo:

$$s = vt \rightarrow \lambda = v \cdot T \rightarrow \lambda = v \cdot \frac{1}{f} \rightarrow \boxed{v = \lambda f}$$

Essa igualdade é válida para todas as ondas periódicas – como o som, as ondas na água e a luz.

APLICAÇÃO

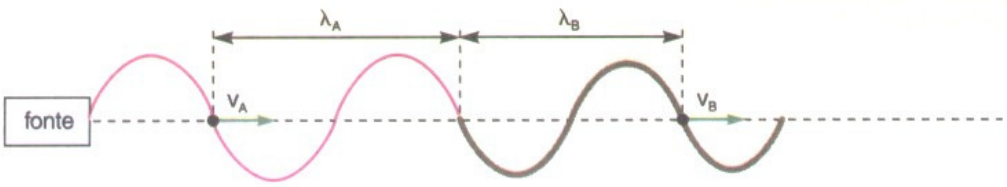
2- Uma corda de massa 240 g e de comprimento 1,2 m vibra com freqüência de 150 Hz, conforme indica a figura.



a) Qual a velocidade de propagação da onda na corda?

b) Qual a intensidade da força tensora na corda?

Resolução:



a) Do esquema, temos:

$$3 \cdot \frac{\lambda}{2} = 1{,}2 \rightarrow \lambda = 0{,}8\,\text{m}$$

Logo:

$$v = \lambda f \rightarrow v = 0{,}8 \cdot 150 \rightarrow v = 120\,\text{m/s}$$

$$\text{b) } v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\frac{m}{\ell}}} \rightarrow 120 = \sqrt{\frac{F}{\frac{240 \cdot 10^{-3}}{1{,}2}}} \rightarrow F = 2880\,\text{N}$$

Resposta: a) 120 m/s; b) 2 880 N

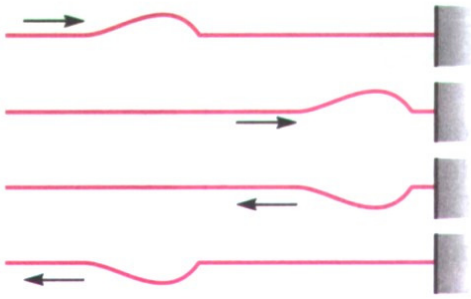
Reflexão de um pulso numa corda

Quando um pulso, propagando-se numa corda, atinge sua extremidade, pode retornar para o meio em que estava se propagando. Esse fenômeno é denominado *reflexão.*

Essa reflexão pode ocorrer de duas formas:

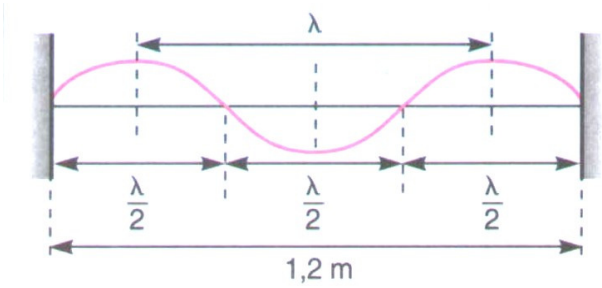
Extremidade fixa

Se a extremidade é fixa, o pulso sofre reflexão com inversão de fase, mantendo todas as outras características.



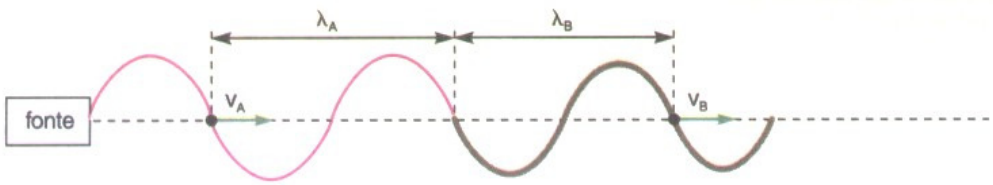
Extremidade livre

Se a extremidade é livre, o pulso sofre reflexão e volta ao mesmo semiplano, isto é, ocorre inversão de fase.



Refração de um pulso numa corda

Se, propagando-se numa corda de menor densidade, um pulso passa para outra de maior densidade, dizemos que sofreu uma *refração.*



A experiência mostra que a freqüência não se modifica quando um pulso passa de um meio para outro.

$$f_A = f_B \rightarrow \boxed{\frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B}}$$

Essa fórmula é válida também para a refração de ondas bidimensionais e tridimensionais.

Observe que o comprimento de onda e a velocidade de propagação variam com a mudança do meio de propagação.

APLICAÇÃO

3- Uma onda periódica propaga-se em uma corda A, com velocidade de 40 cm/s e comprimento de onda 5 cm. Ao passar para uma corda B, sua velocidade passa a ser 30 cm/s. Determine:

a) o comprimento de onda no meio B

b) a freqüência da onda

Resolução:

a)

$$\text{Dados: } \begin{cases} v_A = 40\,\text{cm/s} \\ \lambda_A = 5\,\text{cm} \\ v_B = 30\,\text{cm/s} \end{cases}$$

$$\frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B} \rightarrow \frac{40}{5} = \frac{30}{\lambda_B} \rightarrow \lambda_B = 3{,}75\,\text{cm}$$

b) Como a freqüência é a mesma nos meios A e B, temos:

$$v_A = \lambda_A f_A \rightarrow 40 = 5 f_A \rightarrow f_A = 8\,\text{Hz}$$

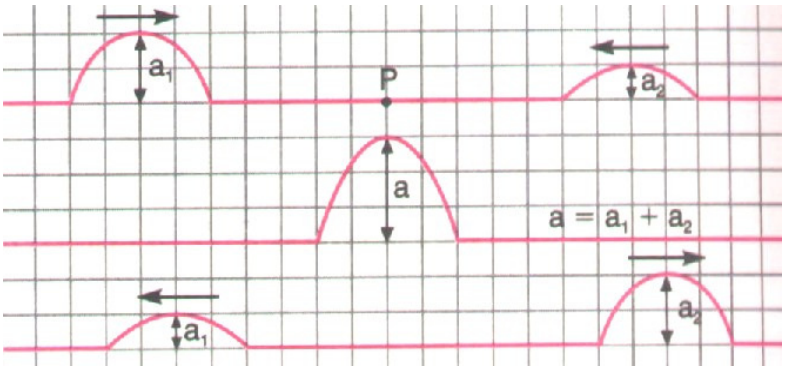
Respostas: a) 3,75 cm; b) 8 Hz

Princípio da Superposição

Quando duas ou mais ondas se propagam, simultaneamente, num mesmo meio, diz-se que há uma *superposição de ondas.*

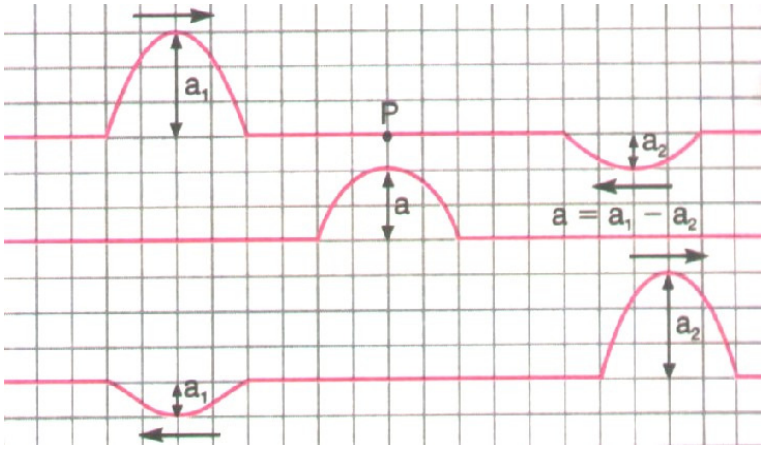
Como exemplo, considere duas ondas propagando-se conforme indicam as figuras:

Supondo que atinjam o ponto P no mesmo instante, elas causarão nesse ponto uma perturbação que é igual à soma das perturbações que cada onda causaria se o tivesse atingido individualmente, ou seja, a onda resultante é igual à soma algébrica das ondas que cada uma produziria individualmente no ponto P, no instante considerado.



Após a superposição, as ondas continuam a se propagar com as mesmas características que tinham antes.

Os efeitos são subtraídos (soma algébrica), podendo-se anular no caso de duas propagações com deslocamento invertido.

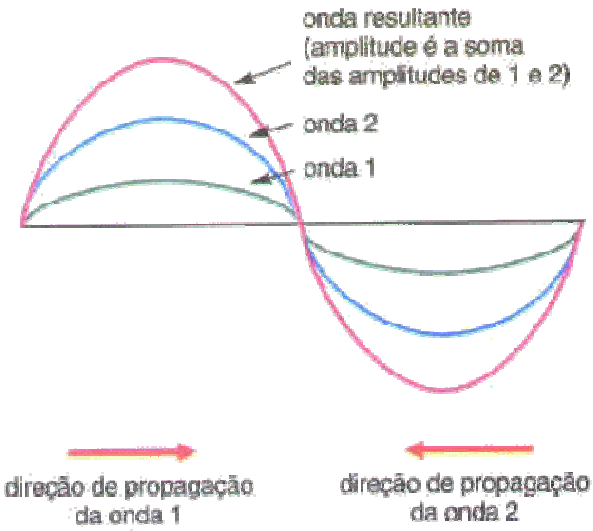


Em resumo:

Quando ocorre o encontro de duas cristas, ambas levantam o meio naquele ponto; por isso ele sobe muito mais.

Quando dois vales se encontram eles tendem a baixar o meio naquele ponto.

Quando ocorre o encontro entre um vale e uma crista, um deles quer puxar o ponto para baixo e o outro quer puxá-lo para cima. Se a amplitude das duas ondas for a mesma, não ocorrerá deslocamento, pois eles se cancelam (amplitude zero) e o meio não sobe e nem desce naquele ponto.

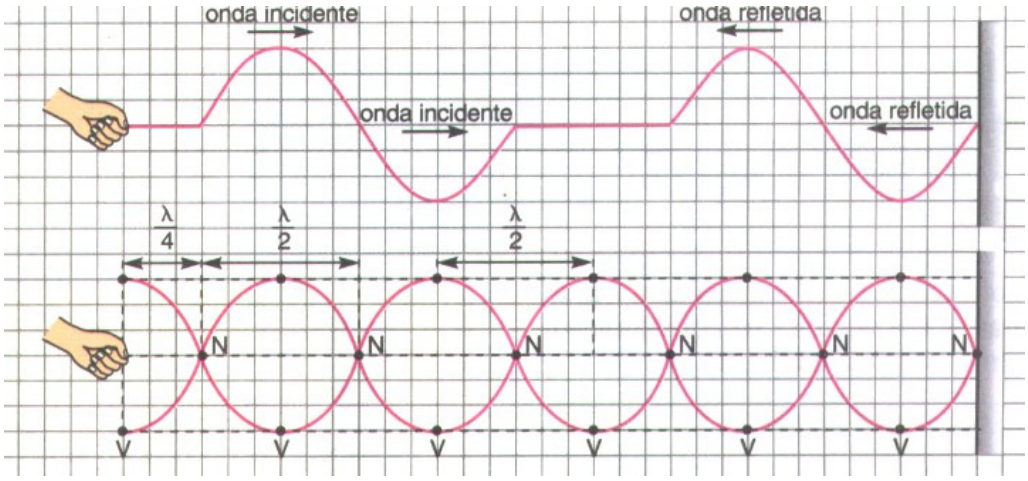


Ondas Estacionárias

São ondas resultantes da superposição de duas ondas de mesma freqüência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, mesma direção e sentidos opostos.

Pode-se obter uma onda estacionária através de uma corda fixa numa das extremidades.

Com uma fonte faz-se a outra extremidade vibrar com movimentos verticais periódicos, produzindo-se perturbações regulares que se propagam pela corda.



Em que: N = nós ou nodos e V= ventres.

Ao atingirem a extremidade fica, elas se refletem, retornando com sentido de deslocamento contrário ao anterior.

Dessa forma, as perturbações se superpõem às outras que estão chegando à parede, originando o fenômeno das *ondas estacionárias.*

Uma onda estacionária se caracteriza pela amplitude variável de ponto para ponto, isto é, há pontos da corda que não se movimentam (amplitude nula), chamados nós (ou nodos), e pontos que vibram

com amplitude máxima, chamados *ventres*.

É evidente que, entre nós, os pontos da corda vibram com a mesma freqüência, mas com amplitudes diferentes.

Observe que:

Como os nós estão em repouso, não pode haver passagem de energia por eles, não havendo, então, em uma corda estacionária o transporte $\frac{\lambda}{2}$ de energia.

A distância entre dois nós consecutivos vale $\frac{\lambda}{2}$.

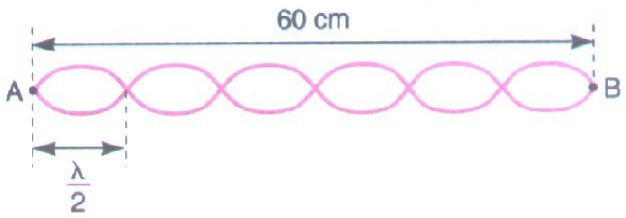
A distância entre dois ventres consecutivos vale $\frac{\lambda}{2}$.

A distância entre um nó e um ventre consecutivo vale $\frac{\lambda}{4}$.

APLICAÇÃO

4- Uma onda estacionária de freqüência 8 Hz se estabelece numa linha fixada entre dois pontos distantes 60 cm. Incluindo os extremos, contam-se 7 nodos. Calcule a velocidade da onda progressiva que deu origem à onda estacionária.

Resolução:



Da figura, temos:

$$6 \cdot \frac{\lambda}{2} = \overline{AB} \rightarrow 6 \cdot \frac{\lambda}{2} = 60 \rightarrow \lambda = 20\,\text{cm}$$

Logo:

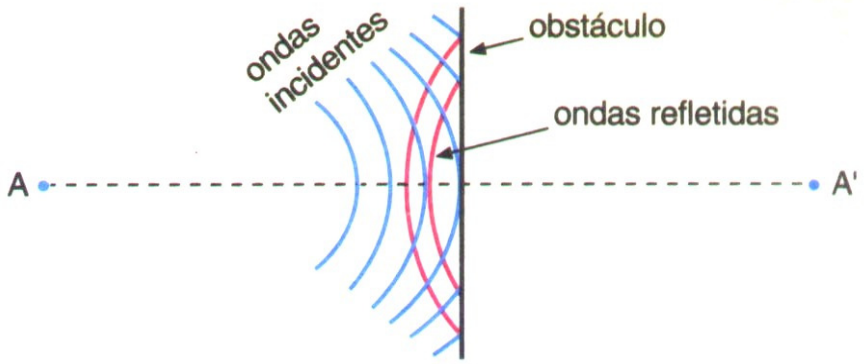
$$v = \lambda f \rightarrow v = 20 \cdot 8 \rightarrow \boxed{v = 160\,\text{cm/s}} \text{ ou } \boxed{v = 1{,}6\,\text{m/s}}$$

Resposta: 1,6 m/s

Leis da Reflexão

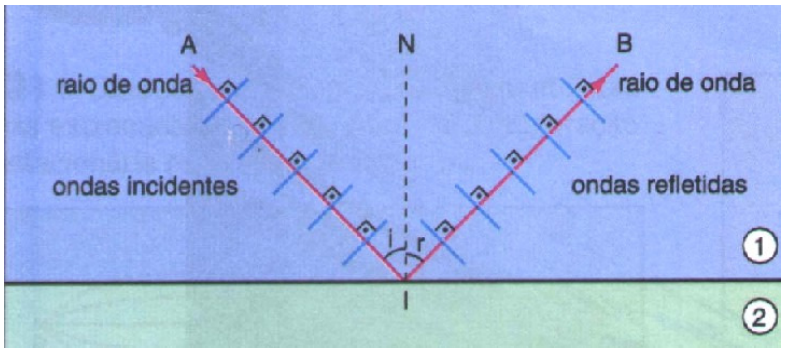
Quando ondas esféricas provenientes de uma fonte *A* encontram um obstáculo plano, produz-se reflexão de ondas porque cada ponto do obstáculo torna-se fonte de uma onda secundária.

As ondas refletidas se comportam como se emanassem de uma fonte *A′*, simétrica de *A* em relação ao obstáculo refletor.



Por uma questão de facilidade, vamos estudar as leis da reflexão de uma onda reta.

A figura representa a reflexão de ondas retas por um obstáculo plano.



Temos:

AI = raio de onda incidente
IB = raio de onda refletido
NI = normal ao ponto de incidência
i = ângulo de incidência
r = ângulo de reflexão

Leis da Reflexão

1ª. lei: o raio incidente, o raio refletido e a normal são coplanares.

2ª. lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Propriedades

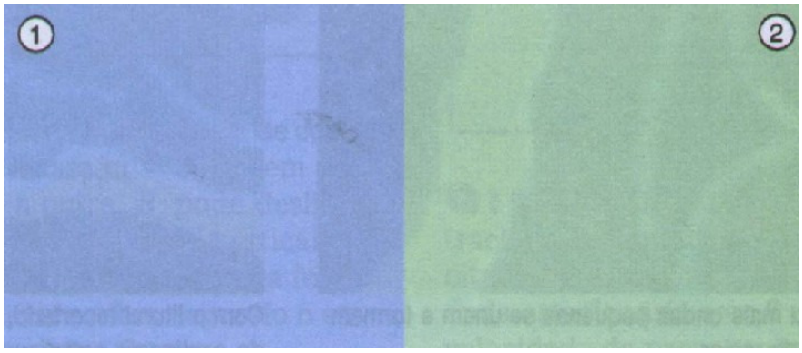
1ª. propriedade: na reflexão, a freqüência, a velocidade e o comprimento de onda não variam.

2ª. propriedade: na reflexão, a fase pode variar ou não.

Leis da Refração

Considere, por exemplo, um tanque contendo água com duas

regiões de propagação distintas, uma mais rasa, 1, e outra mais profunda, 2.

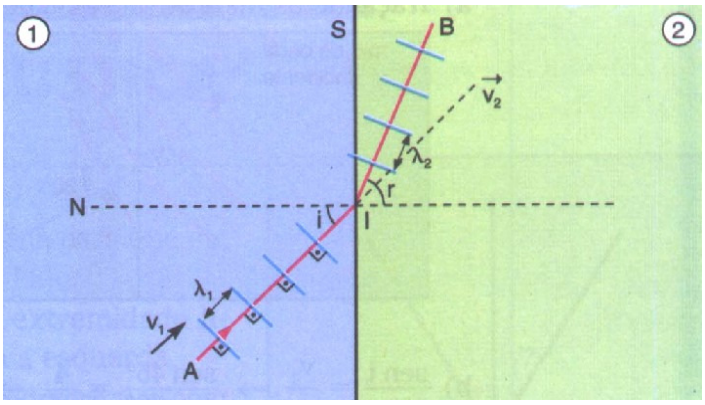


Suponha que uma onda reta esteja se propagando no meio 1 e incidindo na superfície *S* de separação entre os meios 1 e 2.

Seja AI o raio incidente da onda que se propaga no meio 1 com velocidade v_1. Incidindo na superfície *S* ela sofre refração e passa a se propagar no meio 2 com velocidade v_2.

Sendo:

AI = raio de onda incidente
IB = raio de onda refratado
NI = normal
i = ângulo de incidência
r = ângulo de refração



Leis da Refração

1ª. lei: os raios de onda incidente e refratado e a normal são coplanares

2ª. lei: lei de Snell- Descartes:

$$\boxed{\frac{sen\ i}{sen\ r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}}$$

Temos: n_1 e n_2 são índices de refração absolutos de um meio $\left(n = \frac{c}{v}\right)$.

Aplicando a lei de Snell, temos:

$$\text{Se } n_2 > n_1 \rightarrow \lambda_2 < \lambda_1 \rightarrow v_2 < v_1 \rightarrow r < i$$
$$\text{Se } n_2 < n_1 \rightarrow \lambda_2 > \lambda_1 \rightarrow v_2 > v_1 \rightarrow r > i$$

Propriedades:

1ª. propriedade: na refração, a freqüência e a fase não variam.

2ª. propriedade: a velocidade de propagação e o comprimento de onda variam na mesma proporção.

APLICAÇÃO

5- A figura mostra a separação entre duas regiões, de profundidades diferentes, num tanque de ondas. Uma onda plana, gerada na região de maior profundidade, 1, incide sobre a separação, em direção à região de menor profundidade, 2. Sabendo que λ_1 = 0,2 m e v_1 = 4 m/s, calcule:

a) a freqüência da onda incidente

b) a velocidade de propagação da onda refratada

Resolução:

a) Traçando os raios de onda incidente e refratado, temos:

$v_1 = \lambda_1 f_1 \rightarrow 4 = 0,2 f_1 \rightarrow f_1 = 20\,\text{Hz}$

b) $\dfrac{\text{sen}\,i}{\text{sen}\,r} = \dfrac{v_1}{v_2} \rightarrow \dfrac{\text{sen}\,45^\circ}{\text{sen}\,30^\circ} = \dfrac{4}{v_2} \rightarrow \dfrac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}} = \dfrac{4}{v_2} \rightarrow v_2 = 2\sqrt{2}\,\text{m/s}$

Respostas: a) 20 Hz; b) $2\sqrt{2}$ m/s