

---

# RDT – Radiotransmissão

---

**Prof. Ramon Mayor Martins, MSc.**

ramon.mayor@ifsc.edu.br



**PARTE 2.0: ONDAS ELETROMAGNETICAS**

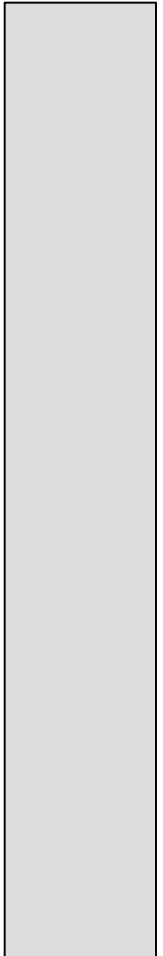
Disponível em: [http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Radiotransmissão\\_\(2015-1\)](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Radiotransmissão_(2015-1))

Versão 2015

# RDT – Radiotransmissão

## II.1- Ementa Expandida:

- Introdução
- Ondas Eletromagneticas
  - Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas
  - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas
  - Espectro Eletromagnético
- Radiopropagação
  - Propagação
  - Radiocomunicações
    - Comunicações LF
    - Comunicações MF (OM)
    - Comunicações HF
    - Comunicações VHF UHF
    - Comunicações SHF EHF (Satélite / Microondas)
- Antenas
- Projetos de Enlaces
- Tópicos Extras

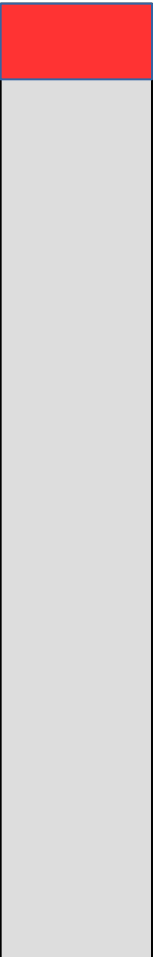


## 2- Ondas Eletromagnéticas

### 2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético



## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

As ondas quanto a sua natureza são classificadas em:

-**Ondas mecânicas** (que necessitam de um meio para se propagar. Ex: som, corda, superfícies líquidas)

-**Ondas eletromagnéticas** (geradas por cargas elétricas oscilantes e não depende do meio para se propagar. Ex: rádio, raios-x, micro-ondas)

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

As ondas quanto a sua direção são classificadas em:

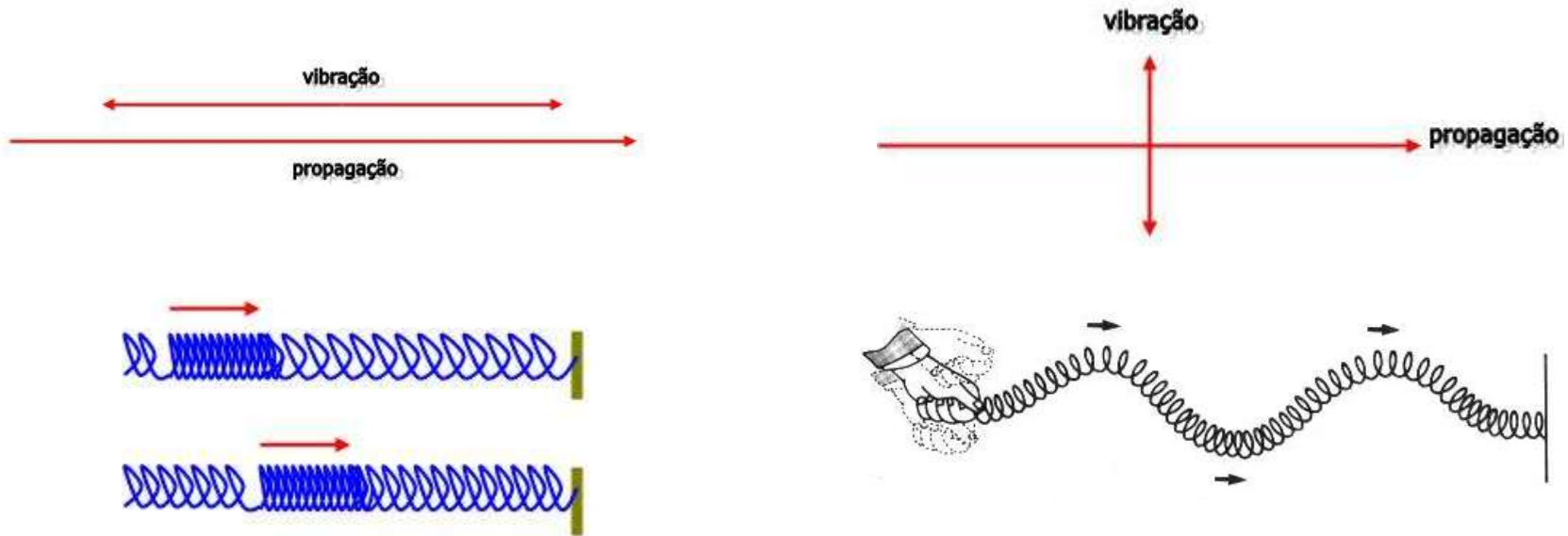
- Ondas unidimensionais** (se propagam em apenas uma direção, como as cordas e molas)
- Ondas bidimensionais** (se propagam por uma superfície, como o mar)
- Ondas tridimensionais** (capazes de se propagar em todas as dimensões, como a luz e o som)

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

As ondas quanto a sua direção de vibração das partículas em relação à direção de propagação classificadas em:

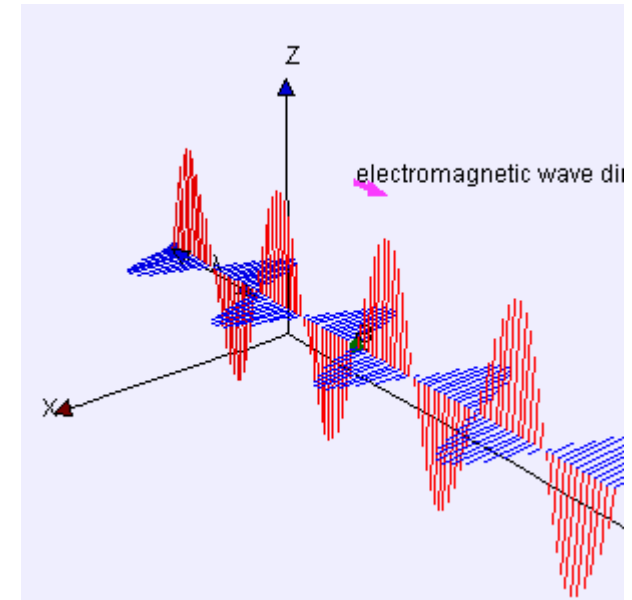
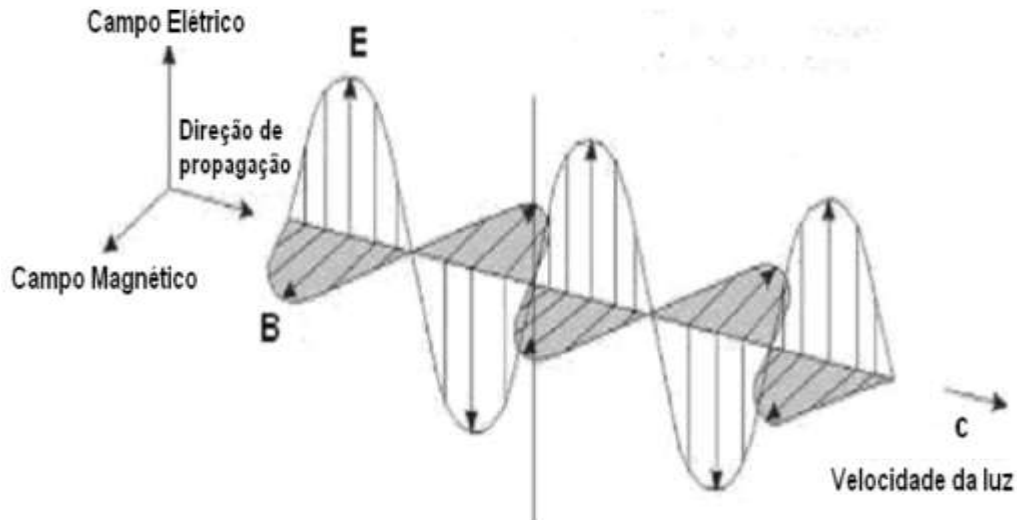
-**Ondas Longitudinais** (a direção de vibração é a mesma que a direção de propagação da onda. Ex: Mola presa na parede e puxada, Som nos fluidos)

-**Ondas Transversais** (a direção de vibração das partículas é perpendicular à direção de propagação da onda. Ex: ondas eletromagnética, mola vibrando pra cima e pra baixo)



## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

Em 1865, James Clark Maxwell, baseado em trabalhos de Coulomb, Ampere e Faraday, estabeleceu que qualquer carga elétrica oscilando gera 2 campos: um elétrico **E** e outro magnético **B**



Estes campos são perpendiculares entre si e à direção de propagação, constituindo uma onda, chamada **onda eletromagnética**

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

Matematicamente, Maxwell previu que essa onda se propagaria no vácuo com uma velocidade  $c$  dada por:

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

A  $\mu_0$ , **permeabilidade magnética**:

mensura o campo magnético no interior de um material.

A permeabilidade do vácuo é  $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$

A  $\epsilon_0$ , **permissividade elétrica**

é uma constante física que descreve como um **campo elétrico** afeta e é afetado por um meio.

A permissividade do vácuo é  $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ .



## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

A partir desses valores, obtem-se a velocidade de propagação da luz no vácuo.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$
$$c = \mathbf{300.000 \text{ km/s}}$$

O uso da letra “c” vem do latim “celeritas” ou velocidade.

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas podem ser descritas através de características fundamentais:

- Amplitude (A)
- Período (T)
- Frequência (f)
- Comprimento de Onda ( $\lambda$ )

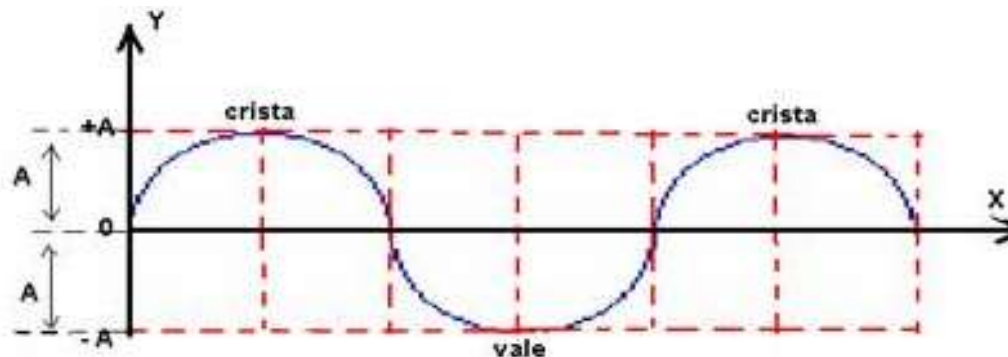
## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais

#### 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.

Crista é a parte alta da onda, vale, a parte baixa

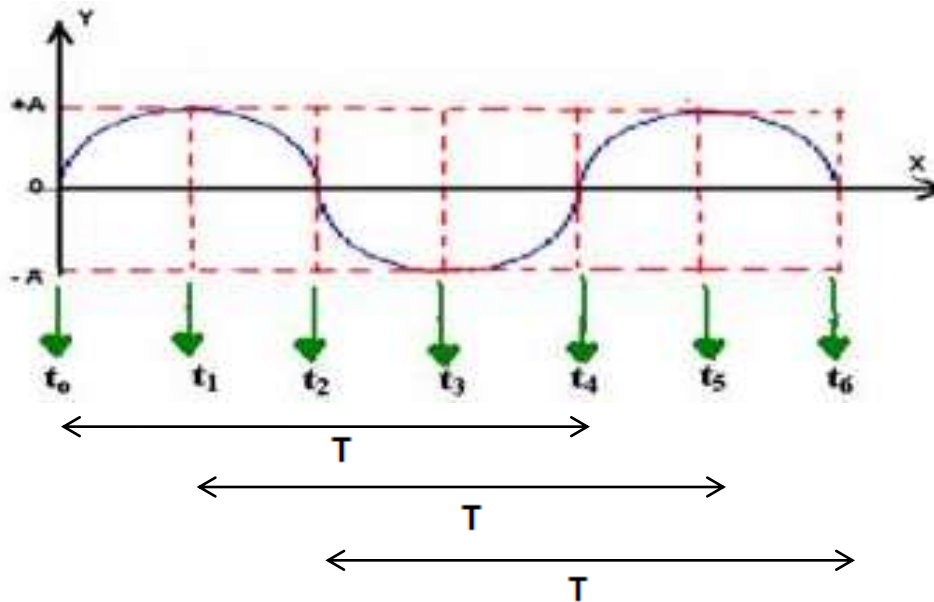


## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais:

#### Período:

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

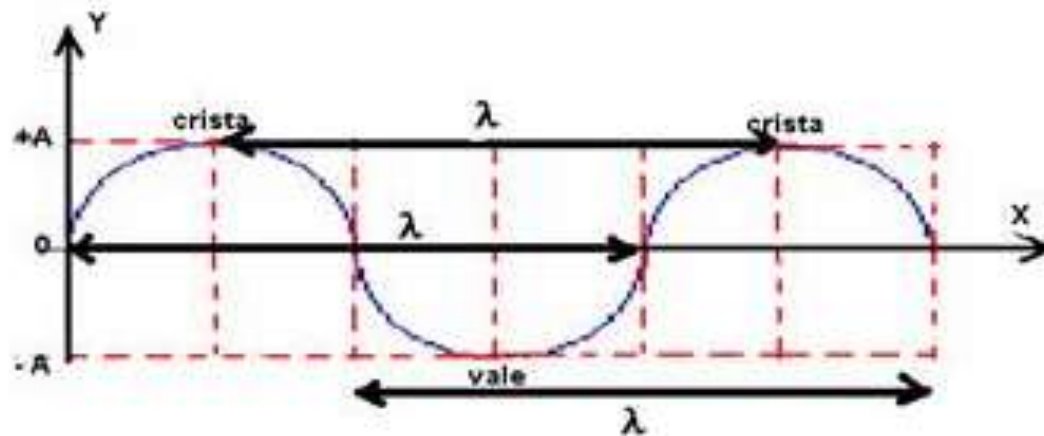


## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais:

#### 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.  
É representada no SI pela letra grega **lambda** ( $\lambda$ )



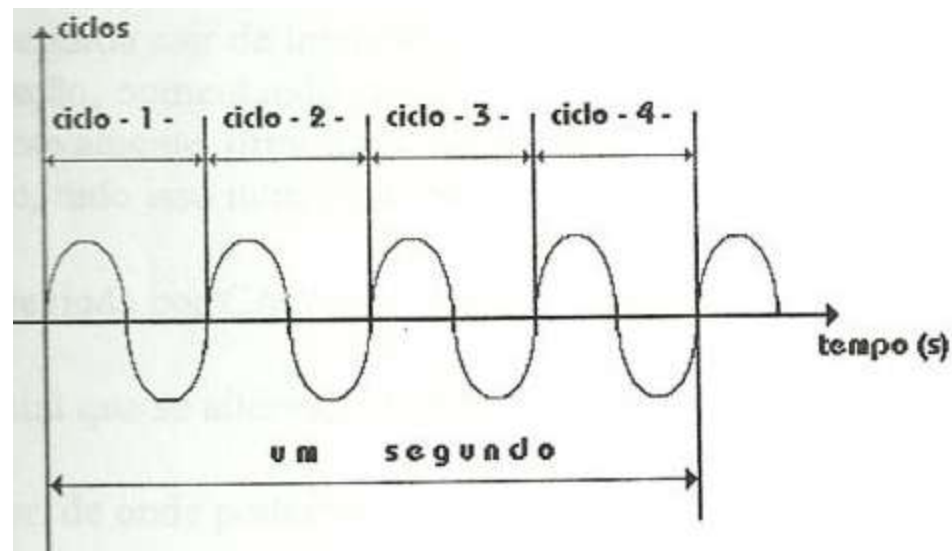
## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais:

#### Frequência:

O número de vezes em que os ciclos de oscilações de uma carga ou de uma corrente (pelos campos elétrico e magnético) desenvolvem durante o intervalo de um segundo.

Um ciclo completo consiste em um referencial de amplitude zero, oscila entre positivo e negativo e retorna ao valor original (zero).



## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais:

#### Frequência:

Esta frequência é medida em Hertz (Hz) que significa ( $s^{-1}$  ou 1/s)

1 Hertz equivale a um ciclo por segundo – pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas

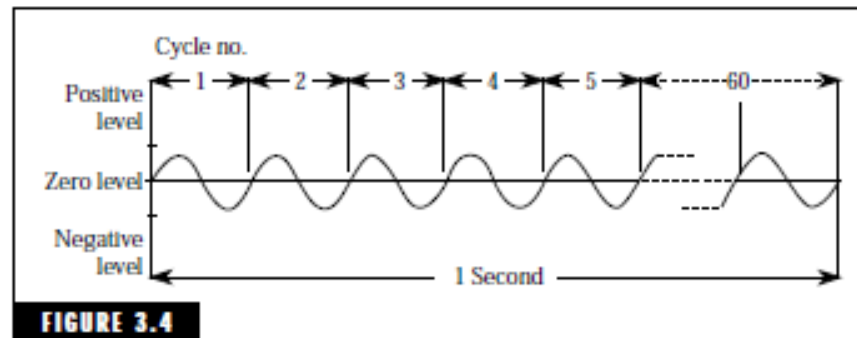
Unidade Hertz é em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz que pôs em evidência em 1888 a existência das ondas eletromagnéticas imaginadas por James Maxwell em 1865.

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais:

#### Frequência:

Então, quando dizemos que uma onda vibra a 60Hz, significa que ela oscila 60 vezes por segundo.



**FIGURE 3.4**  
Example of 60-Hz power line frequency.

A frequência de uma onda só muda quando houver alterações na fonte.

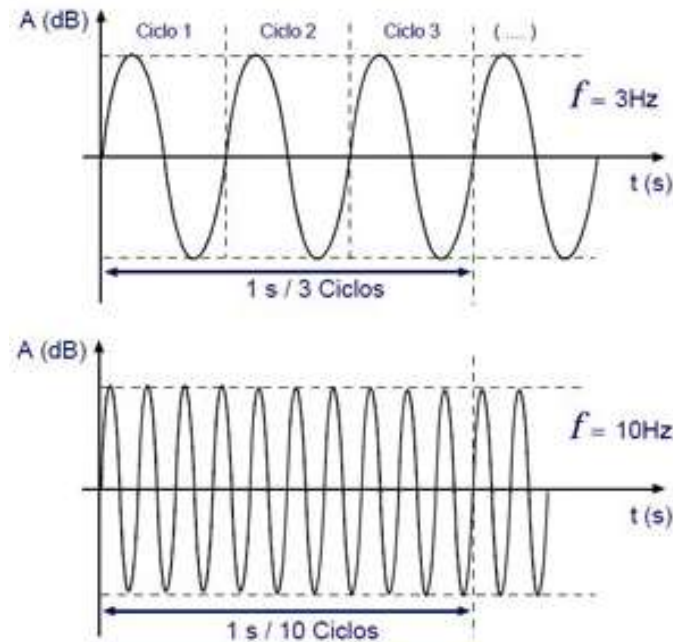


## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Características Fundamentais:

#### Frequencia:

Diferenciação das Frequências (Altas, Baixas):



## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

**Características Fundamentais:**

**Relação Frequência e Período:**

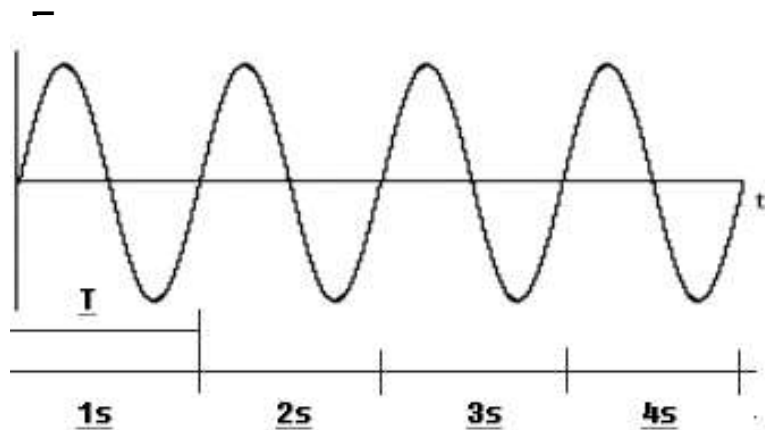
É dada pela equação:

Frequência:

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

Período:

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



$$T = 1\text{s}$$

$$f = 1/T$$

$$f = 1/1 = 1\text{Hz}$$

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

**Características Fundamentais:**

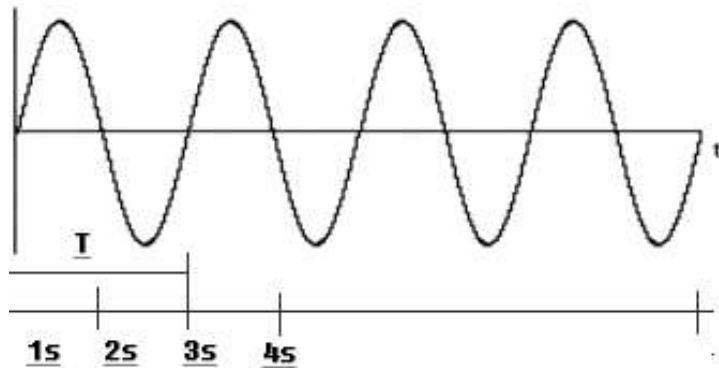
**Relação Frequência e Período:**

É dada pela equação:

Frequência:  $f = \frac{1}{T}$

Período:  $T = \frac{1}{f}$

Ex:



$$T = 3s$$

$$f = 1/T$$

$$f = 1/3 = 0.33 \text{ Hz (ciclos /s)}$$

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

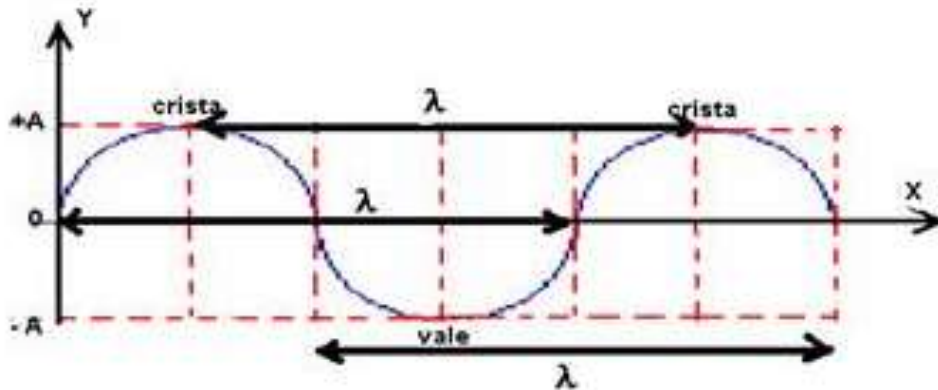
### Características Fundamentais:

### Relação Frequência e Comprimento de Onda:

É dada pela equação:

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

Onde:  $\lambda$  – comprimento da onda ,  $c$  – velocidade da luz no vácuo e  $f$  - frequência



A frequência de uma estação de rádio FM é de 88 MHz, então o comprimento de onda é:

$$\lambda = 300.000 \text{ km/s} / 88.000 \text{ khz}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 = 300 \cdot 10^6$$

$$f = 88000 \cdot 10^3$$

$$f = 88 \cdot 10^3 \cdot 10^3$$

$$\lambda = 300 \cdot 10^6 / 88 \cdot 10^6$$

$$\lambda = 3.4 \text{ metros}$$

## 2-Ondas Eletromagnéticas – 2.1 Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

### Tabelas úteis:

#### Frequência (Hz)

Múltiplo	Nome	Símbolo	Múltiplo	Nome	Símbolo
$10^0$	<b>-hertz</b>	Hz			
$10^1$	deca-hertz	daHz	$10^{-1}$	deci-hertz	dHz
$10^2$	hecto-hertz	hHz	$10^{-2}$	centi-hertz	cHz
$10^3$	quilo-hertz	kHz	$10^{-3}$	mili-hertz	mHz
$10^6$	mega-hertz	MHz	$10^{-6}$	micro-hertz	$\mu$ Hz
$10^9$	giga-hertz	GHz	$10^{-9}$	nano-hertz	nHz
$10^{12}$	tera-hertz	THz	$10^{-12}$	pico-hertz	pHz
$10^{15}$	peta-hertz	PHz	$10^{-15}$	femto-hertz	fHz
$10^{18}$	exa-hertz	EHz	$10^{-18}$	atto-hertz	aHz
$10^{21}$	zetta-hertz	ZHz	$10^{-21}$	zepto-hertz	zHz
$10^{24}$	yotta-hertz	YHz	$10^{-24}$	yocto-hertz	yHz

#### Metros (m)

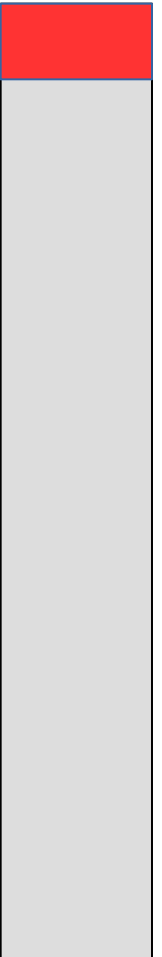
Múltiplo	Nome	Símbolo	Submúltiplo	Nome	Símbolo
$10^0$	metro	m	$10^0$	metro	m
$10^1$	decâmetro	dam	$10^{-1}$	decímetro	dm
$10^2$	hectômetro / / hectômetro	hm	$10^{-2}$	centímetro	cm
$10^3$	quilômetro / / quilômetro	km	$10^{-3}$	milímetro	mm
$10^6$	megametro	Mm	$10^{-6}$	micrometro	$\mu$ m
$10^9$	gigametro	Gm	$10^{-9}$	nanometro	nm
$10^{12}$	terametro	Tm	$10^{-12}$	picometro	pm
$10^{15}$	petametro	Pm	$10^{-15}$	femtômetro/fentômetro <sup>4</sup>	fm
$10^{18}$	exametro	Em	$10^{-18}$	attometro/atometro <sup>4</sup>	am
$10^{21}$	zettametro/zetametro	Zm	$10^{-21}$	zeptômetro / / zeptômetro <sup>4</sup>	zm
$10^{24}$	iotametro	Ym	$10^{-24}$	yoctômetro / / ioctômetro <sup>4</sup>	ym

## 2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

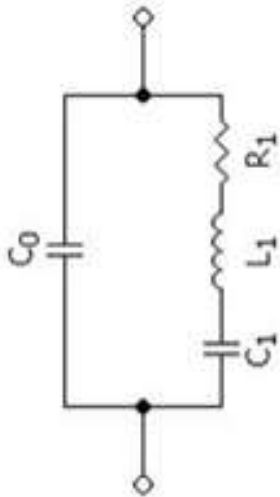
**2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas**

2.3 - Espectro Eletromagnético



## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Geração de Ondas Eletromagnéticas:



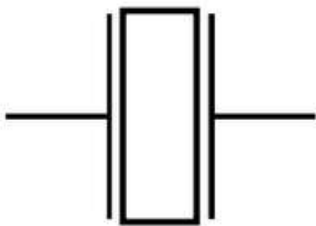
Inicialmente é construído um circuito eletrônico para gerar um sinal repetitivo, uma senóide.

Existe vários tipos de osciladores, dependendo da aplicação, sendo os principais:

RC - frequencias baixas (fixas e variaveis) - Colpitts/Hartley/Clapp

LC - frequencias elevadas (fixas e variaveis) - Colpitts/Hartley/Clapp

Dispositivo piezoelétrico / cristal - frequencia elevada (fixas e estaveis)

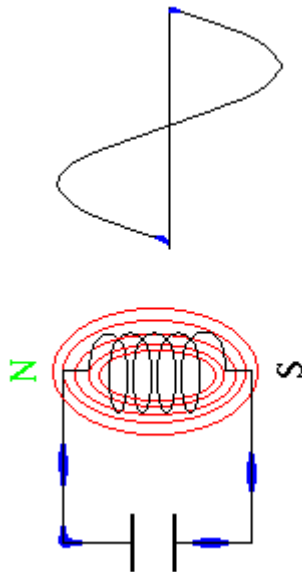


## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Geração de Ondas Eletromagnéticas:

Circuito Oscilador (LC):

Ao carregar o capacitor com uma bateria e inserir o indutor, o capacitor começará a descarregar através do indutor, o que produzirá o campo magnético



-quando o capacitor se descarregar, o indutor tentará manter o fluxo da corrente no circuito carregando a outra placa do capacitor.

-Quando o campo do indutor for nulo, o capacitor foi recarregado, mas com polaridade oposta

-Se descarregando novamente através do indutor.



## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

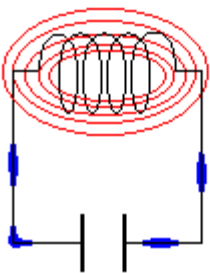
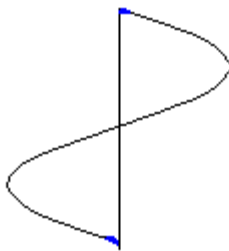
### Geração de Ondas Eletromagnéticas:

Ele oscilará em uma frequência que depende dos valores do indutor e do capacitor:

$$F = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}}$$

Deve-se variar um dos elementos reativos da rede de realimentação (L ou C)

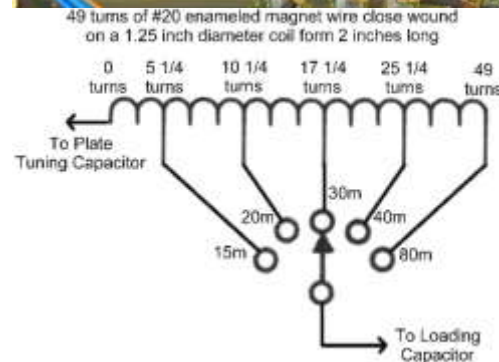
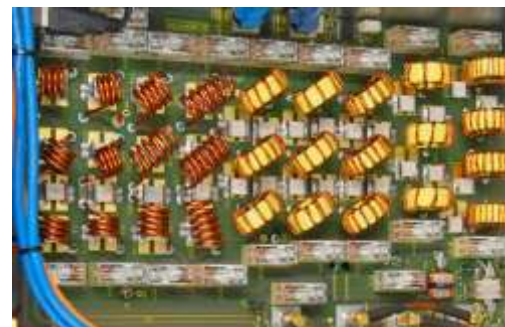
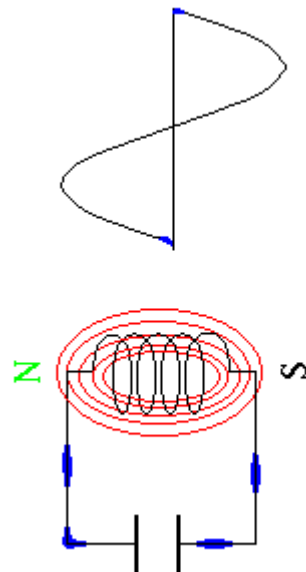
Essa variação pode ser manual ou utilizando um VCO (Oscilador Controlado por Tensão).



## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Geração de Ondas Eletromagnéticas:

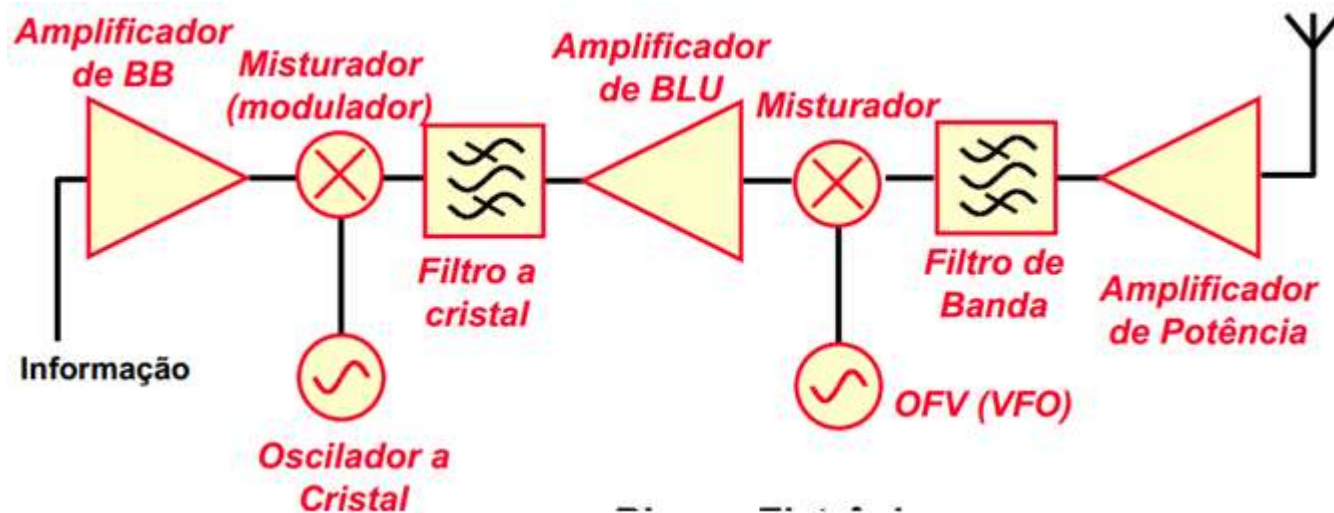
Em um Rádiorransmissor, há indutores e capacitores para determinadas frequências:



## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Geração de Ondas Eletromagnéticas:

Exemplo de um transmissor em AM-SSB

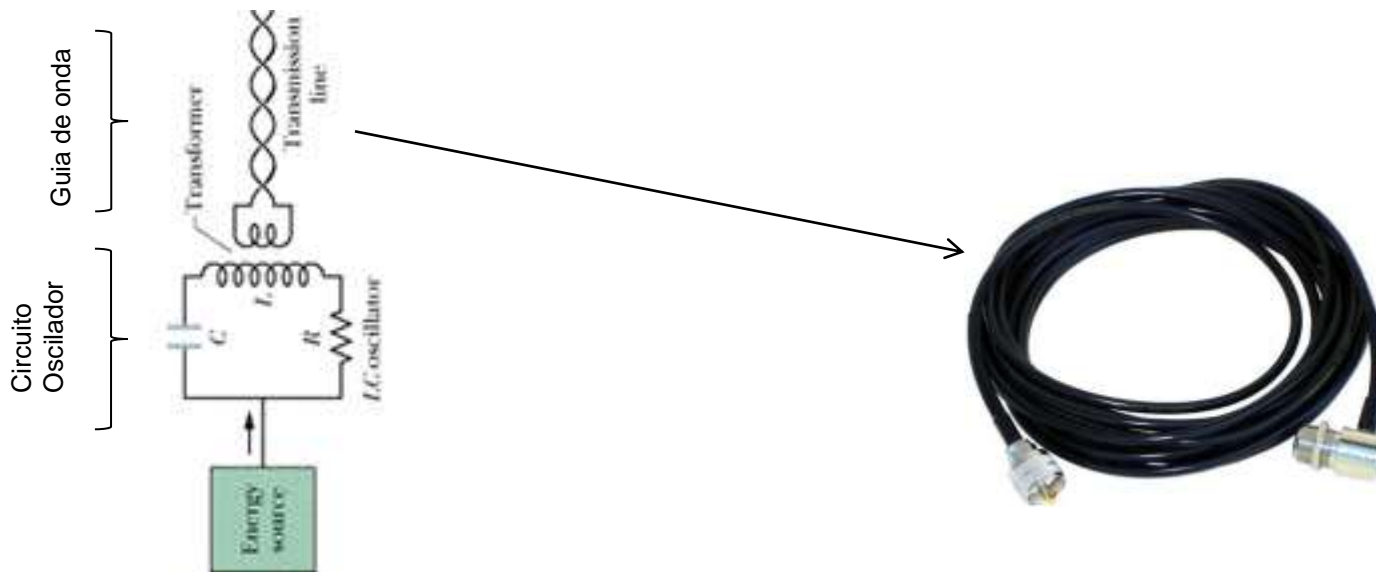


Fonte: UERJ – Circuitos de Comunicação - Prof. Gil Pinheiro

## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

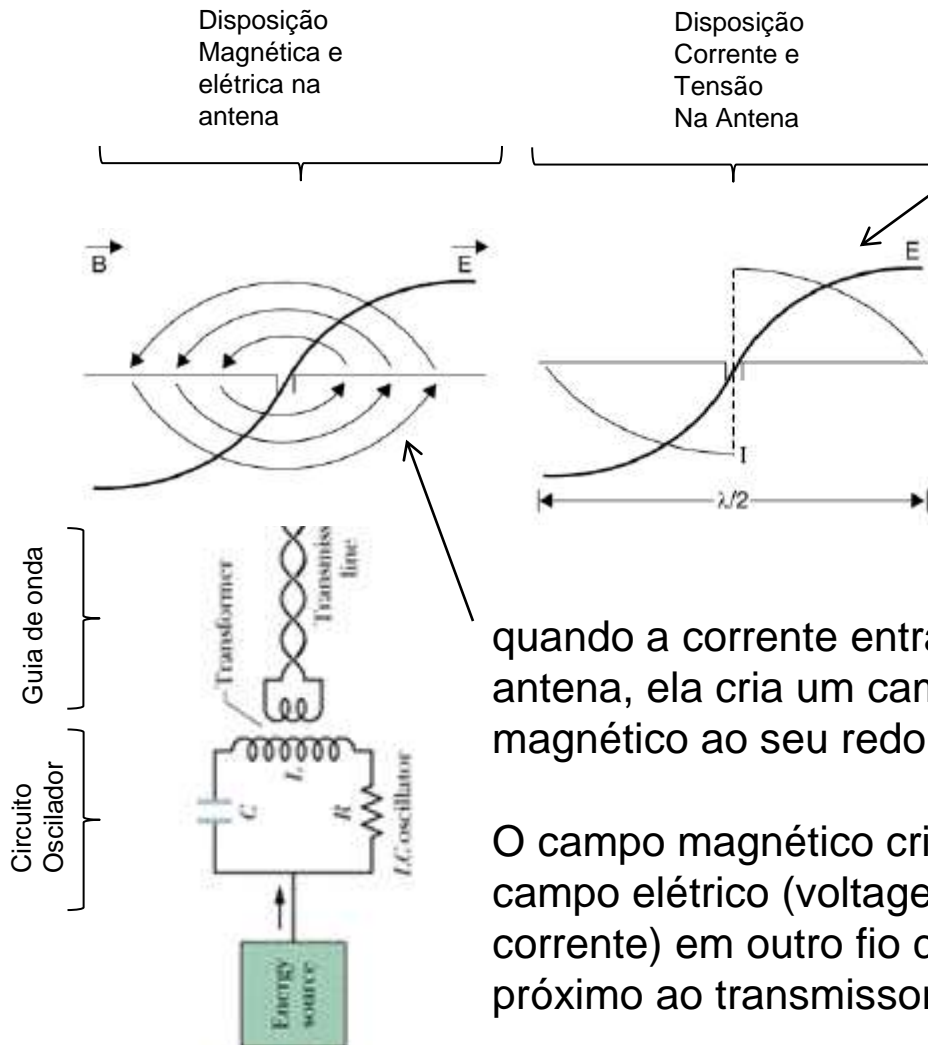
### Transmissão de Ondas Eletromagnéticas:

A corrente gerada pelo Oscilador (RLC) é guiada por uma linha de transmissão (guia de onda) até um sistema para converter essa energia eletromagnética em energia eletromagnética irradiada.



## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Transmissão de Ondas Eletromagnéticas:



Esse sistema é uma Antena.

Nessa antena a corrente e a tensão se distribuem de modos diferentes.

Nas extremidades temos os pontos de tensão máxima e no centro da antena, os pontos em que a intensidade da corrente é máxima.

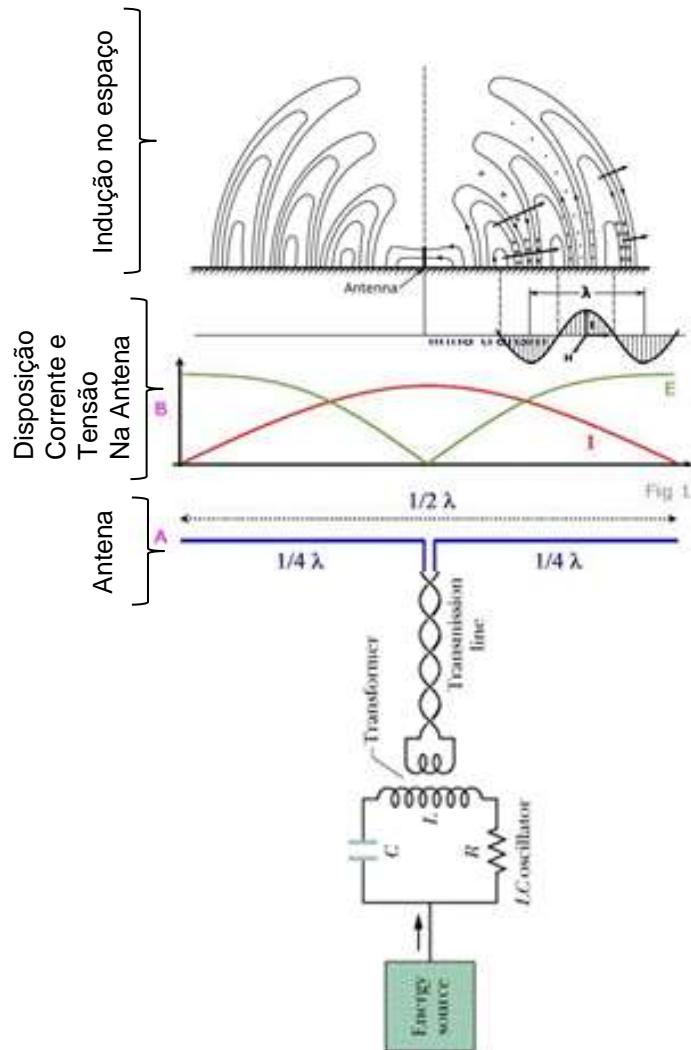
quando a corrente entra na antena, ela cria um campo magnético ao seu redor.

O campo magnético cria um campo elétrico (voltagem e corrente) em outro fio colocado próximo ao transmissor.



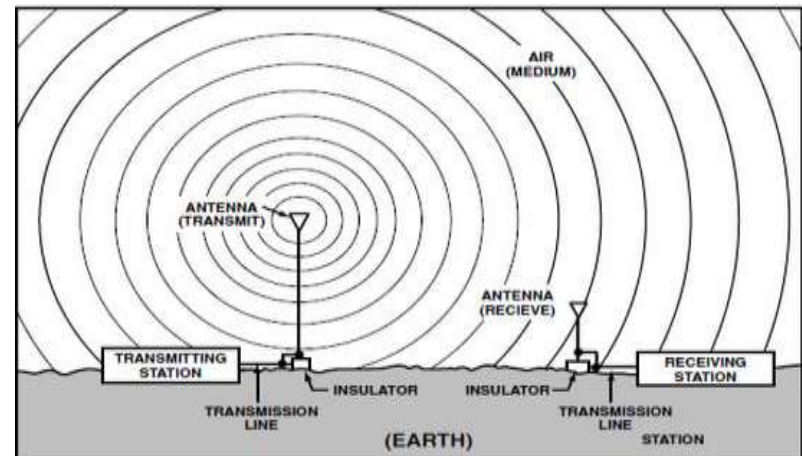
## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Transmissão de Ondas Eletromagnéticas:



No espaço, o campo magnético criado pela antena induz um campo elétrico no espaço.

Este campo elétrico, por sua vez, induz um outro campo magnético no espaço, que induz um outro campo elétrico, que induz um outro campo magnético, e assim por diante, na velocidade da luz.



A indução no meio é o responsável pela propagação das ondas eletromagnéticas.

Os tipos de propagação, serão estudados mais adiante.

## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Sentidos de Transmissão via Rádio:

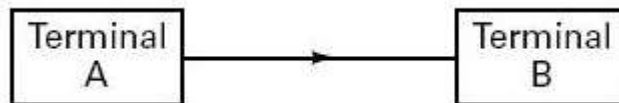
Os sentidos de transmissão via rádio podem ser:

- Simplex
- Half-Duplex
- Full-Duplex

No Simplex:

As transmissões podem ser feitas apenas em um só sentido, de um dispositivo emissor para um ou mais dispositivos receptores;

Ex: Broadcasting televisiva, controles de portão e rádio emisoras em FM, AM.





## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Sentidos de Transmissão via Rádio:

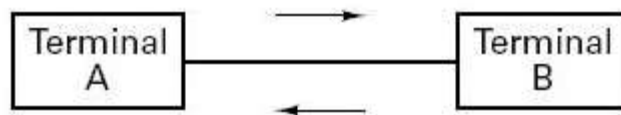
Os sentidos de transmissão via rádio podem ser:

- Simplex
- Half-Duplex
- Full-Duplex

No Half-Duplex:

Nesta modalidade, uma transmissão pode ser feita nos dois sentidos, mas alternadamente, isto é, ora num sentido ora no outro, e não nos dois sentidos ao mesmo tempo;

Ex: Radiocomunicadores (Walk-Talk, radio amador)





## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Sentidos de Transmissão via Rádio:

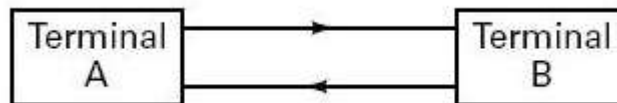
Os sentidos de transmissão via rádio podem ser:

- Simplex
- Half-Duplex
- Full-Duplex

No Full-Duplex:

As transmissões podem ser feitas nos dois sentidos em simultâneo, ou seja, um dispositivo pode transmitir informação ao mesmo tempo que pode também recebê-la;

Ex: Telefonia



## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

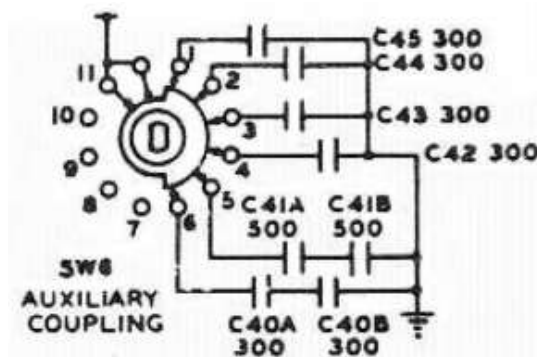
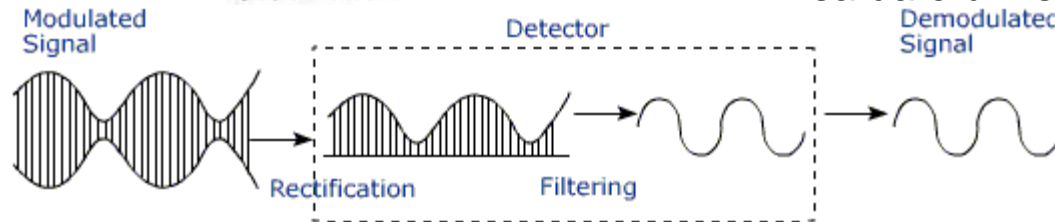
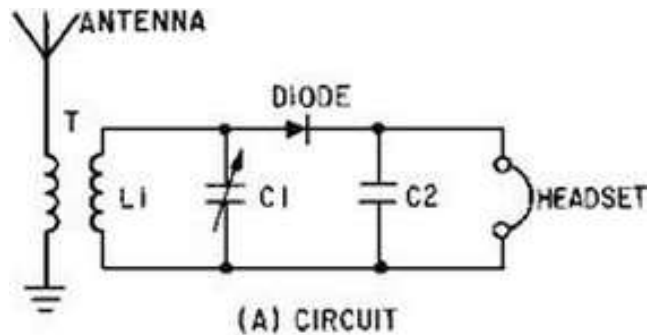
### Geração e Recepção de Ondas Eletromagnéticas:

Um diodo faz a detecção do sinal RF

Capacitores fazem a retificação do sinal, retirando frequências indesejadas.

Capacitor variável ou Diodos Varicap fazem a sintonia.

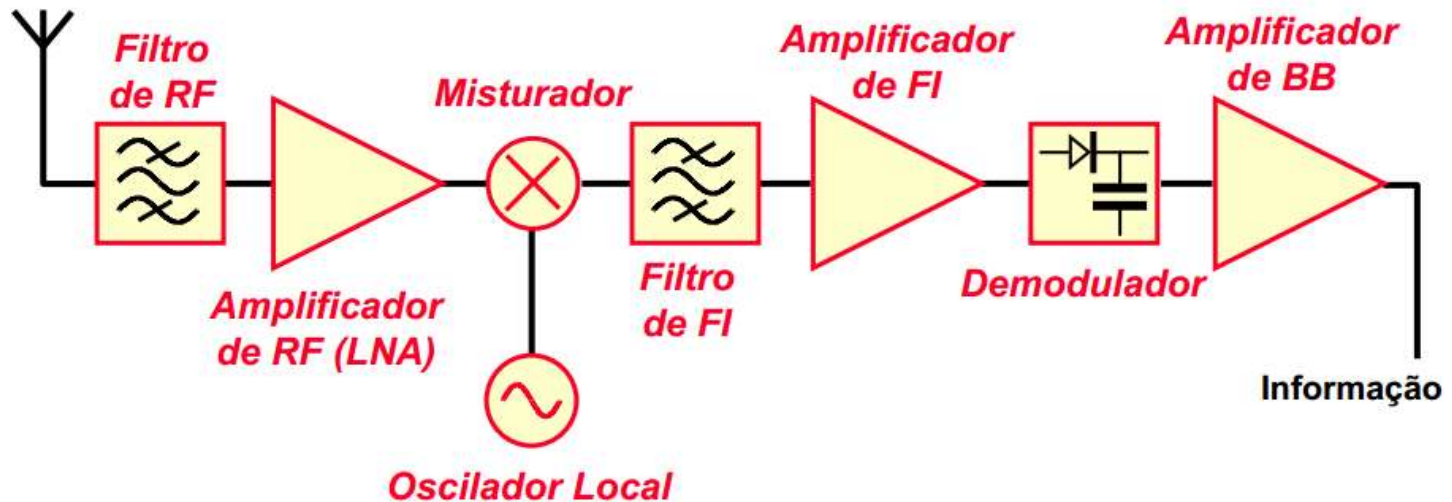
A saída é um sinal demodulado.



## 2. Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Recepção de Ondas Eletromagnéticas:

Exemplo de um receptor em AM Super-Heterodino



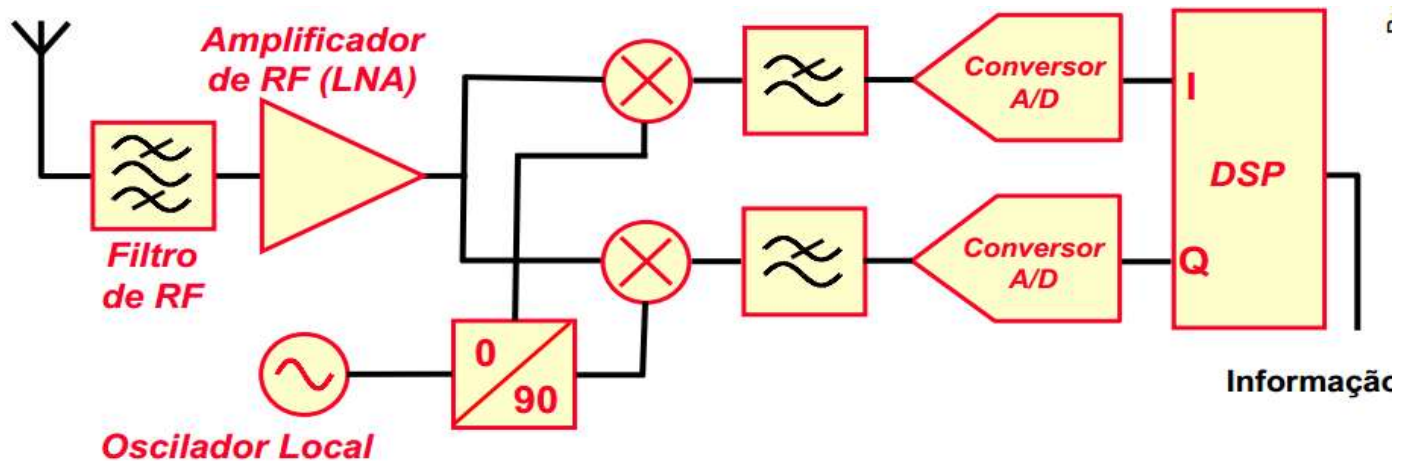
Fonte: UERJ – Circuitos de Comunicação - Prof. Gil Pinheiro

Heteródinização: conversão da frequência sintonizada em uma frequência intermediária (FI), que seja o mesmo para qualquer portadora selecionada. Desse forma, para cada frequência não é necessário projetar todos circuitos.

## 2.Ondas Eletromagnéticas – 2.2 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Recepção de Ondas Eletromagnéticas:

Exemplo de um receptor SDR (Rádio Definido por Software)



Fonte: UERJ – Circuitos de Comunicação - Prof. Gil Pinheiro

## 2. Ondas Eletromagnéticas – Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

### Recepção de Ondas Eletromagnéticas:

Exemplo de um receptor SDR (Rádio Definido por Software)

