
Radiotransmissão

Prof. Ana Negri

ana.negri@ifsc.edu.br

Espectro Eletromagnético

Frequências em ondas eletromagnéticas

Em ondas eletromagnéticas é comum expressar a frequência em expoentes múltiplos de 3:

10^3 Hz = 1.000 Hz	kHz
10^6 Hz = 1.000.000 Hz	MHz
10^9 Hz = 1.000.000.000 Hz	GHz
10^{12} Hz = 1.000.000.000.000 Hz	THz

Espectro Eletromagnético

Introdução

A agência responsável pela divisão das faixas de frequência é o ITU (União Internacional de Telecomunicações).

É uma agência da ONU especializada em tecnologias de informação e comunicação

Os principais setores da ITU são:

- ITU-R: gestão do espectro de radiofrequência e recursos de órbita de satélite
- ITU-D: acesso as comunicações
- ITU-T: padrões e normas

Espectro Eletromagnético

Introdução

Conforme a frequência (f) e seu comprimento de onda, as ondas eletromagnéticas recebem nomes diferentes.

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas, distribuídas em função da sua frequência, é denominado espectro eletromagnético.

As radiações eletromagnéticas são classificadas em regiões de acordo com seu comprimento de onda.

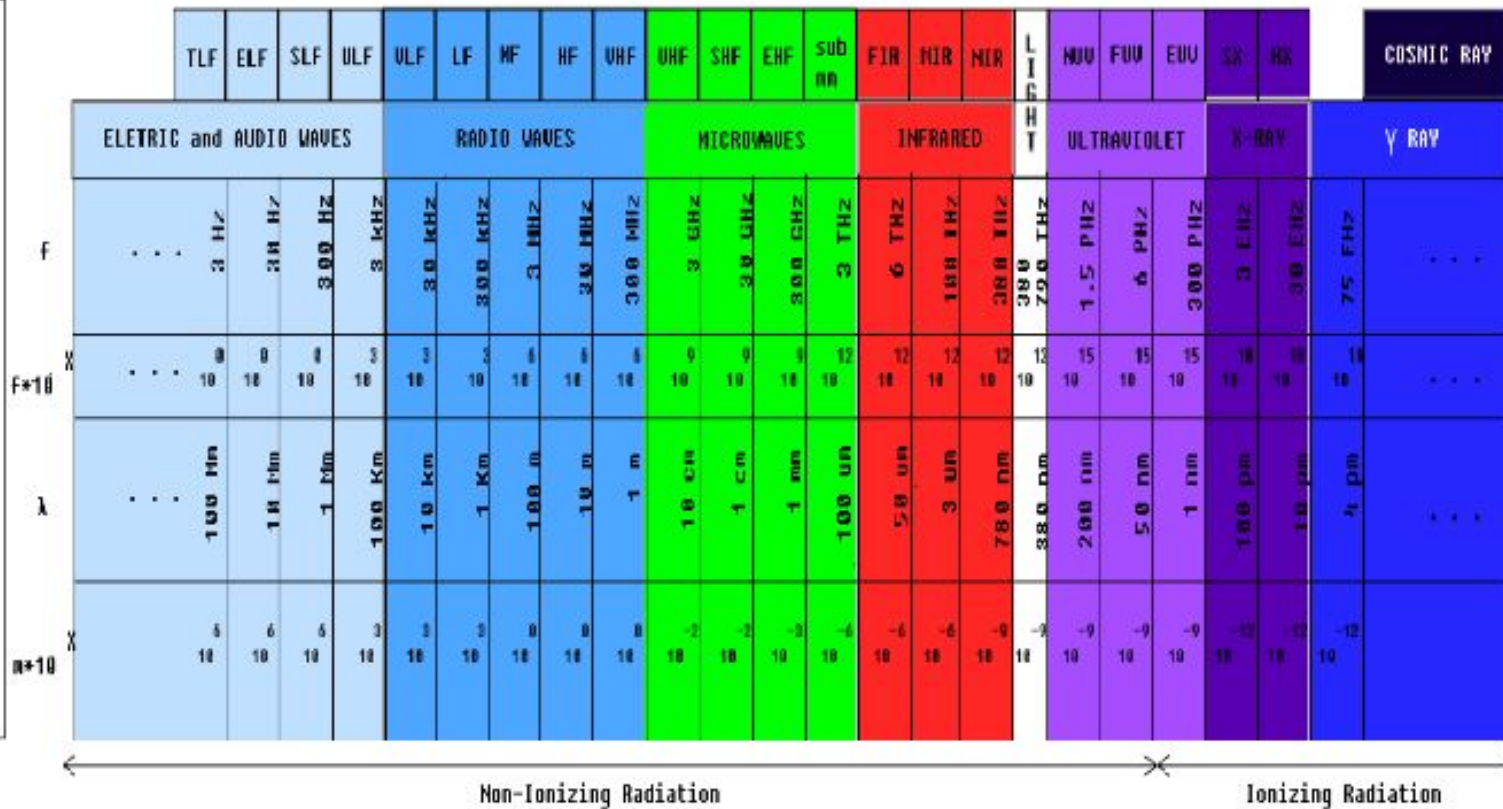
γ	- Gamma Rays
X-Rays	
HX	- Hard X-Rays
SX	- Soft X-Rays
Ultraviolet	
EUU	- Extreme Ultraviolet
FUU	- Far Ultraviolet
NUU	- Near Ultraviolet
Infrared	
NIR	- Near Infrared
MIR	- Moderate Infrared
FIR	- Far Infrared
Microwaves	
EHF	- Extremely High Frequency
SHF	- Super High Frequency
UHF	- Ultra High Frequency
Radio Wave	
VHF	- Very High Frequency
HF	- High Frequency
MF	- Medium Frequency
LF	- Low Frequency
ULF	- Very Low Frequency
Electric and Audio Waves	
SLF	- Super Low Frequency
ELF	- Extremely Low Frequency
TLF	- Tremendously Low Frequency

Espectro Eletromagnético

Introdução



- γ - Gamma Rays
- X-Rays
 - HX - Hard X-Rays
 - SX - Soft X-Rays
- Ultraviolet
 - EUV - Extreme Ultraviolet
 - FUV - Far Ultraviolet
 - NUV - Near Ultraviolet
- Infrared
 - NIR - Near Infrared
 - MIR - Moderate Infrared
 - FIR - Far Infrared
- Microwaves
 - EHF - Extremely High Frequency
 - SHF - Super High Frequency
 - UHF - Ultra High Frequency
- Radio Wave
 - VHF - Very High Frequency
 - HF - High Frequency
 - MF - Medium Frequency
 - LF - Low Frequency
 - ULF - Very Low Frequency
- Electric and Audio Waves
 - SLF - Super Low Frequency
 - ELF - Extremely Low Frequency
 - TLF - Tremendously Low Frequency



*Para ver o espectro eletromagnético completo: <http://www.scantech7.com/wp-content/uploads/2015/01/Electromagnetic-Radiation-Spectrum-NEW.png>

Espectro Eletromagnético

Introdução

As formas de obtenção das ondas eletromagnéticas nas faixas de frequência podem ser resumidas da seguinte forma:

Frequência (Hz)	Comprimento de onda (m)	Forma usual de obtenção
10^{23} 10^{22} 10^{21} 10^{20} 10^{19} 10^{18} 10^{17} 10^{16} 10^{15} 10^{14} 10^{13} 10^{12} 10^{11} 10^{10} 10^9 10^8 10^7 10^6 10^5 10^4 10^3 10^2 10	10^{-14} 10^{-13} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 10^7	<ul style="list-style-type: none">• Transições nucleares• Transições eletrônicas nos átomos (materiais fosforescentes)• Agitação térmica (lâmpadas incandescentes)• Colisões de elétrons com obstáculos (tubos de TV, tubos de raios X)• Oscilações de elétrons em antenas, como nos transmissores de rádio, TV etc.

Labels for frequency bands in the diagram:
- raios gama: 10^{21} to 10^{23} Hz
- raios X: 10^{16} to 10^{21} Hz
- ultravioleta: 10^{14} to 10^{16} Hz
- luz visível: 10^{14} to 10^{15} Hz
- infravermelho: 10^{12} to 10^{14} Hz
- microondas: 10^{10} to 10^{12} Hz
- ondas curtas: 10^8 to 10^{10} Hz
- TV e FM: 10^7 to 10^9 Hz
- AM: 10^5 to 10^7 Hz
- ondas longas: 10^3 to 10^5 Hz

Reference lengths for wavelength:
- (1 Å) 10^{-10} m
- (1 nm) 10^{-9} m
- (1 μ m) 10^{-6} m
- (1 mm) 10^{-3} m
- (1 m) 10^0 m
- (1 km) 10^3 m

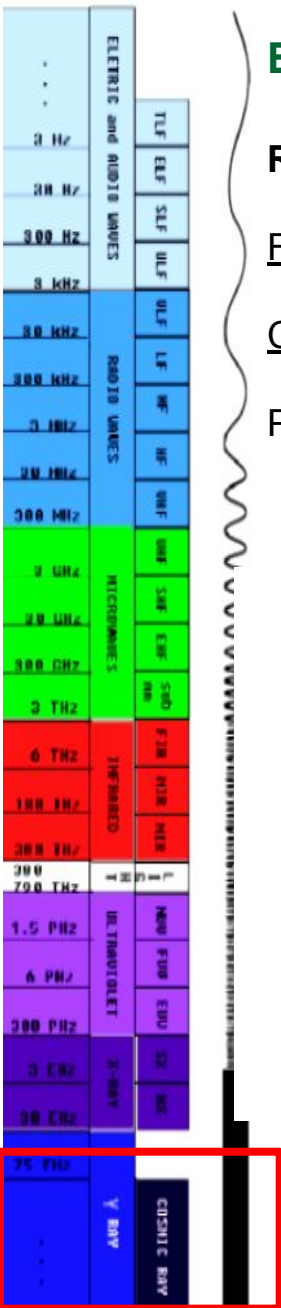
Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios Cósmicos

Frequência: +75 Ehz (75×10^{18} Hz)

Comprimento de onda: 4pm-

Partículas muito penetrantes, dotadas de alta energia. De 10^9 a 10^{21} eV



Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	KHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decimetro	dm
10^{-2}	centimetro	cm
10^{-3}	milimetro	mm
10^{-6}	micrometro	μ m
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	femtometro/fentómetro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/atometro ⁴	am
10^{-21}	zeptometro / / zeptometro ⁴	zm
10^{-24}	yoctometro / / iocómetro ⁴	ym

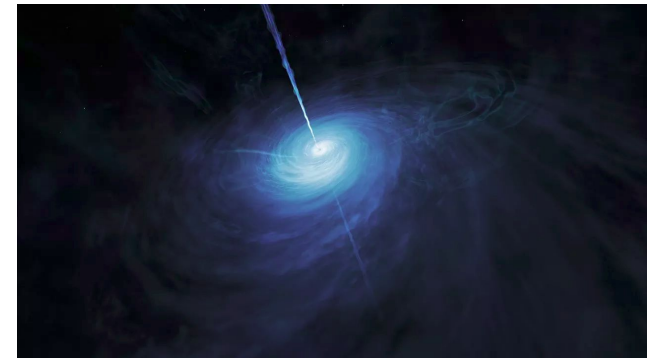
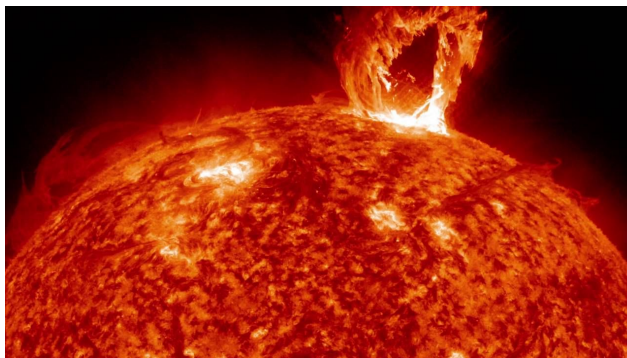
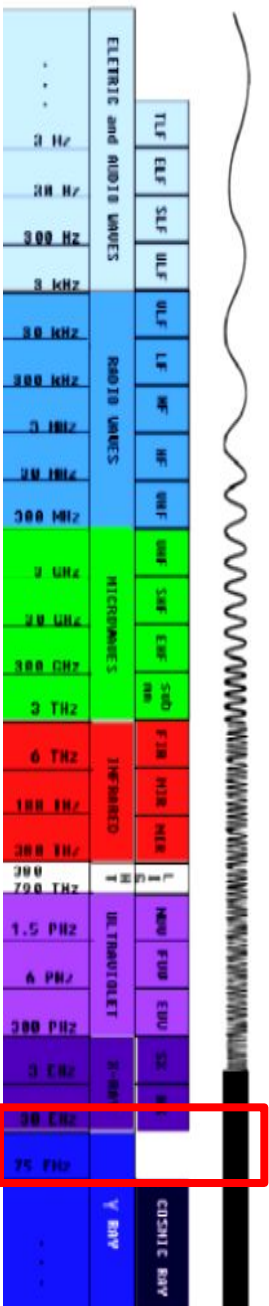
Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios Gama

São produzidos na passagem de um núcleo de um nível excitado para outro de menor energia.

Exemplo de fonte: Fissão Nuclear, Reatores nucleares, Quasares, Explosões Solares, ou no decorrer de desintegrações radioativas

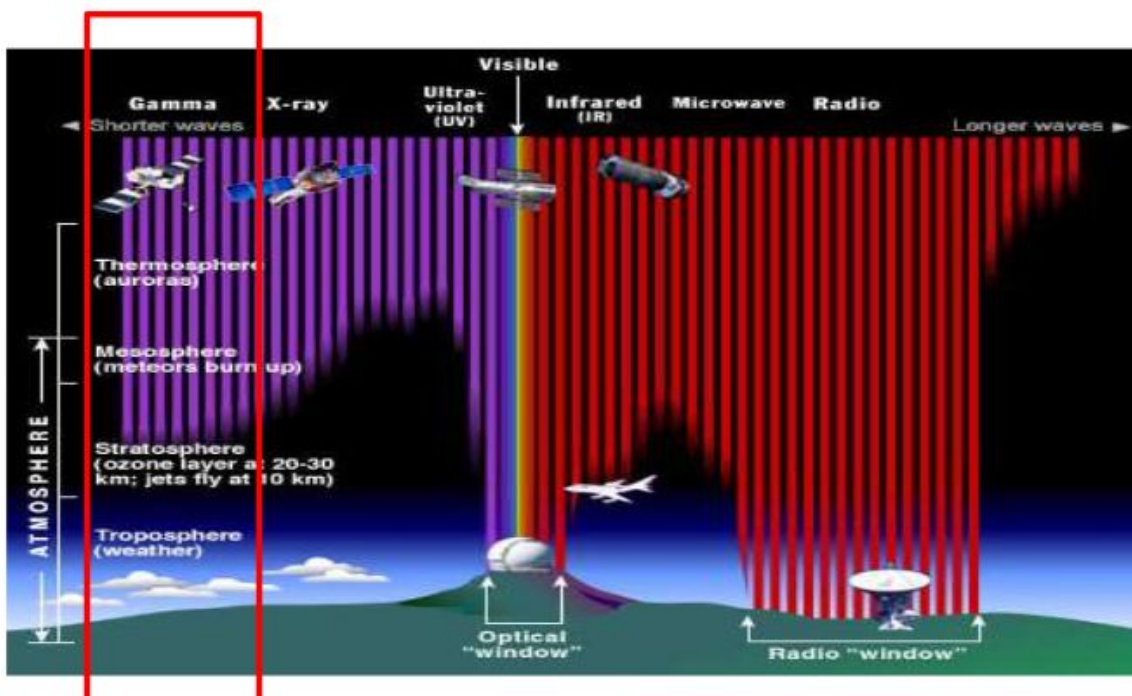
Na explosão de uma arma nuclear há uma enorme emissão destas radiações, sendo este um dos motivos do grande perigo que esta arma representa para a humanidade.



Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios Gama

Os raios gama produzidos no espaço não chegam à superfície da Terra, pois são absorvidos na parte mais alta da atmosfera.



Absorção dos Raios Gama na Atmosfera

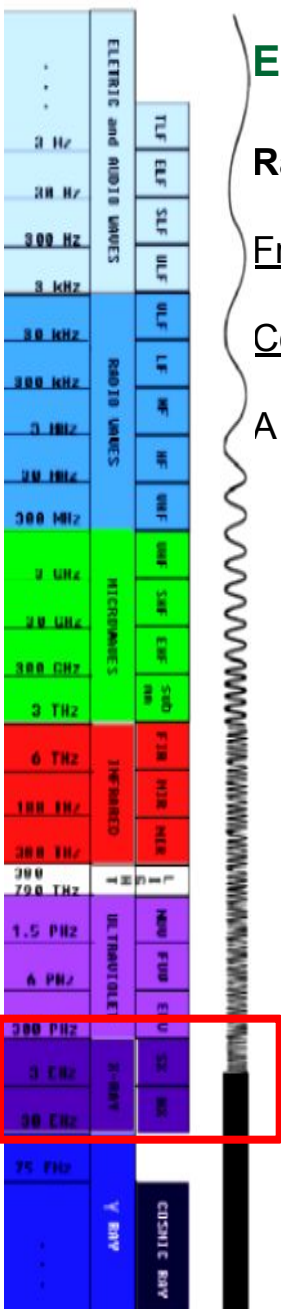
Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios X

Frequência: 300 PHz ~ 3 EHz (Hard Raio X) e 3 EHz ~ 30 EHz (Soft Raio X)

Comprimento de onda: 1nm ~ 10 pm (tamanho de um átomo)

A energia desta faixa do espectro eletromagnético fica entre 1,24 keV a 124 keV.



Múltiplo	Nome	Símbolo
10 ⁰	-hertz	Hz
10 ¹	deca-hertz	daHz
10 ²	hecto-hertz	hHz
10 ³	quilo-hertz	kHz
10 ⁶	mega-hertz	MHz
10 ⁹	giga-hertz	GHz
10 ¹²	tera-hertz	THz
10 ¹⁵	peta-hertz	PHz
10 ¹⁸	exa-hertz	EHz
10 ²¹	zetta-hertz	ZHz
10 ²⁴	yotta-hertz	YHz

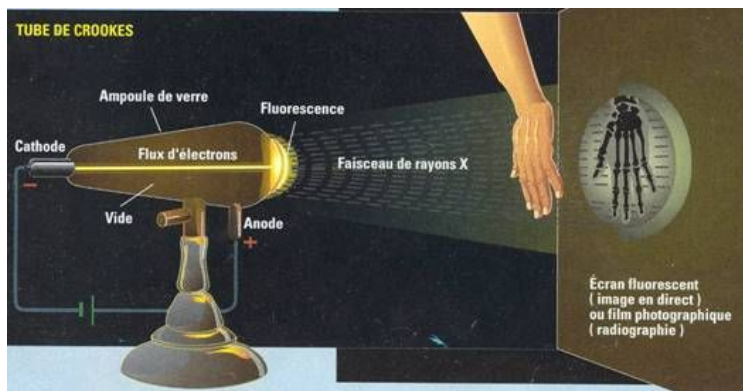
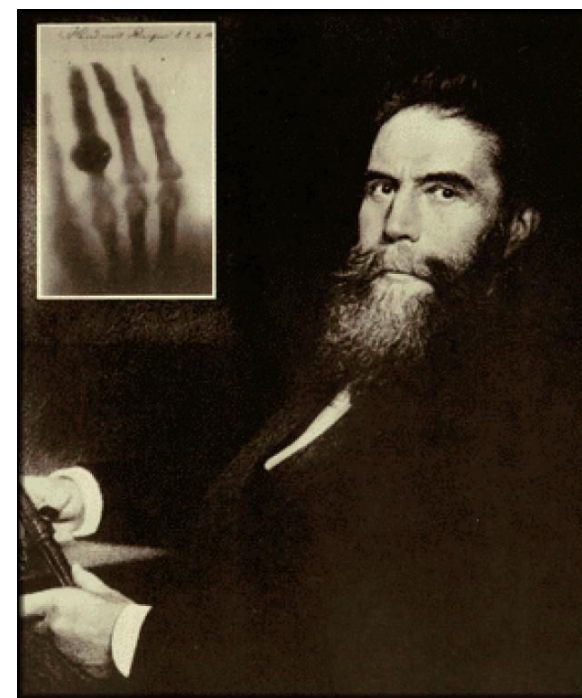
Submúltiplo	Nome	Símbolo
10 ⁰	metro	m
10 ⁻¹	decímetro	dm
10 ⁻²	centímetro	cm
10 ⁻³	milímetro	mm
10 ⁻⁶	micrometro	µm
10 ⁻⁹	nanometro	nm
10 ⁻¹²	picometro	pm
10 ⁻¹⁵	femtómetro/femtómetro ⁴	fm
10 ⁻¹⁸	attometro/attometro ⁴	am
10 ⁻²¹	zeptómetro / zeptómetro ⁴	zm
10 ⁻²⁴	yoctómetro / yoctómetro ⁴	ym

Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios X

Foi o físico Wilhelm Conrad Rontgen (1845 – 1923) o primeiro a detectar os raios X.

Percebeu que quando fornecia energia cinética aos elétrons em tubos de crookes, estes emitiam uma radiação que marcava a chapa fotográfica.



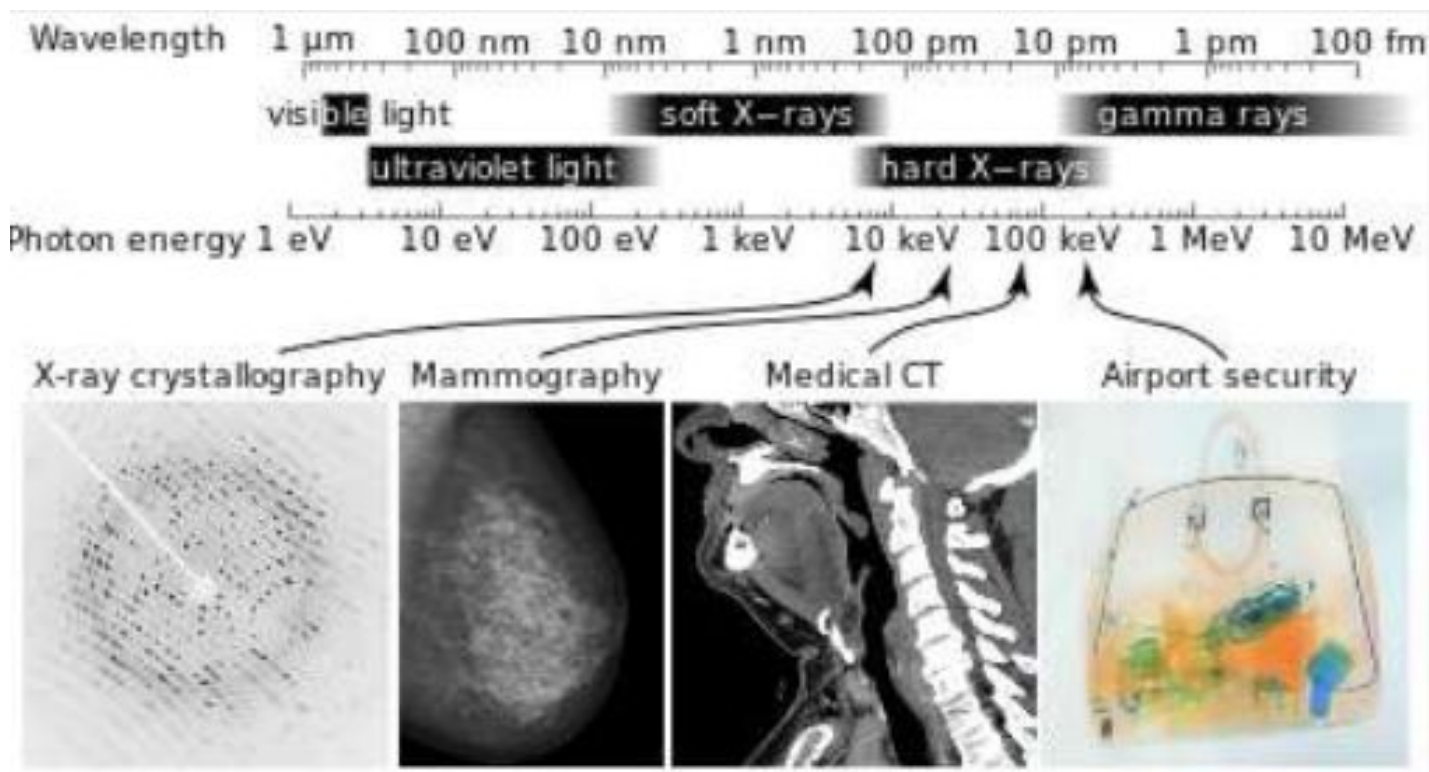
2- Espectro Eletromagnético

2.2 - Radiações: Raios X

Os raios X se dividem em:

HX – Hard Raio X: de maior energia, podem penetrar mais profundamente.

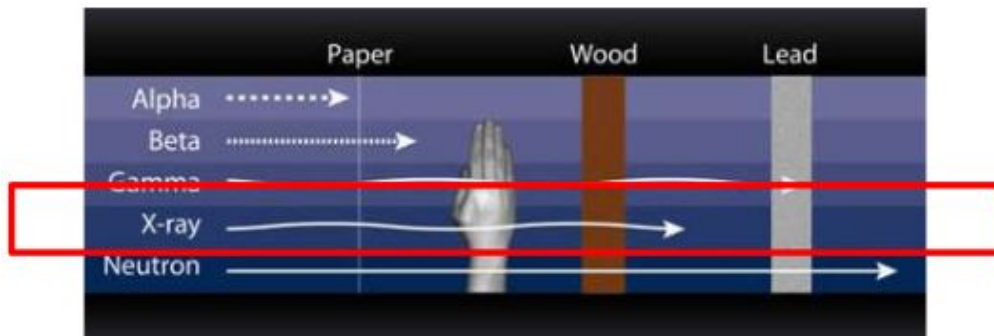
SX – Soft Raio X: menor energia



2- Espectro Eletromagnético

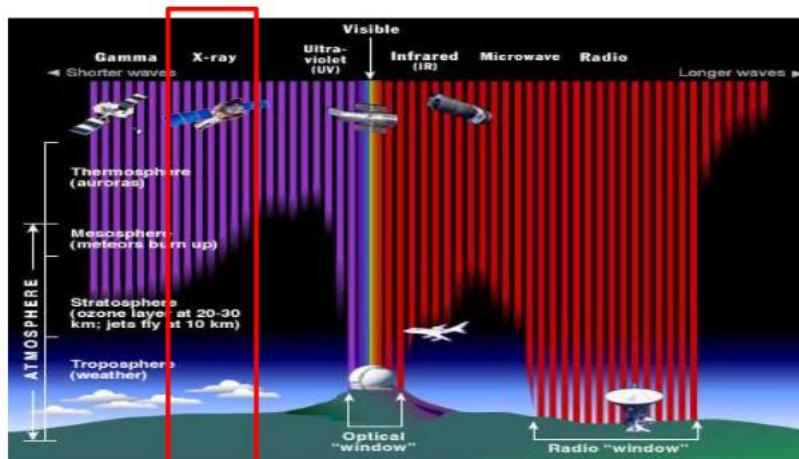
2.2 - Radiações: Raios X

Penetram profundamente na matéria antes de interagir com um átomo



Os raios X não penetram na atmosfera da Terra. A observação dessas ondas é realizada a partir de instrumentos lançados acima da atmosfera (balões, satélites...).

Podem interferir em comunicações que utilizam a atmosfera ou acima dela (HF e satélites).



Absorção do Raio-X na Atmosfera

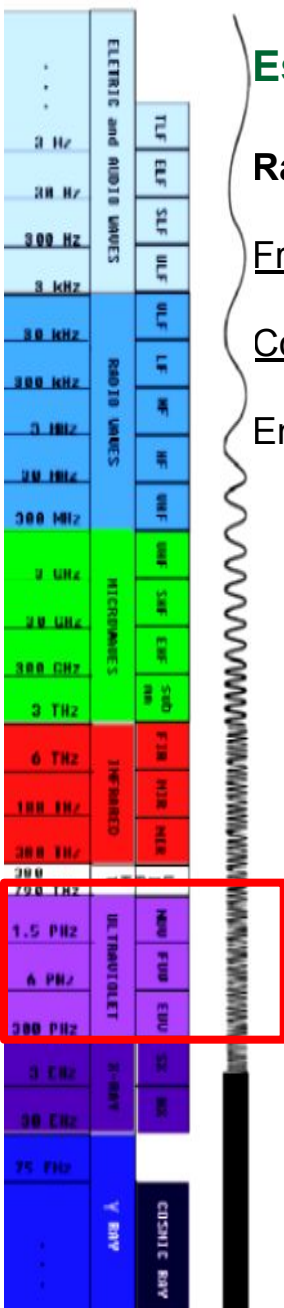
Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios Ultravioleta

Frequência: 700 THz a 300 PHz

Comprimento de onda: 380 nm ~ 1nm (tamanho de um vírus)

Energia entre 3,26 eV e 1,24 keV



Múltiplo	Nome	Símbolo
10^0	-hertz	Hz
10^1	deca-hertz	daHz
10^2	hecto-hertz	hHz
10^3	quilo-hertz	kHz
10^6	mega-hertz	MHz
10^9	giga-hertz	GHz
10^{12}	tera-hertz	THz
10^{15}	peta-hertz	PHz
10^{18}	exa-hertz	EHz
10^{21}	zetta-hertz	ZHz
10^{24}	yotta-hertz	YHz

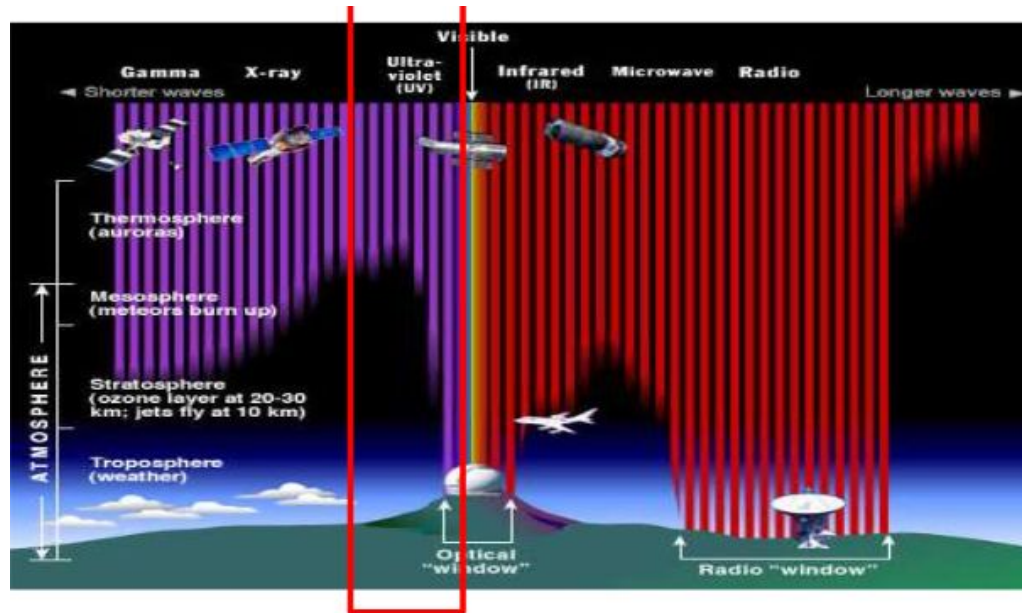
Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m
10^{-1}	decímetro	dm
10^{-2}	centímetro	cm
10^{-3}	milímetro	mm
10^{-6}	micrometro	μm
10^{-9}	nanometro	nm
10^{-12}	picometro	pm
10^{-15}	femtometro/femtometro ⁴	fm
10^{-18}	attometro/attometro ⁴	am
10^{-21}	zeptometro / zeptometro ⁴	zm
10^{-24}	yoctometro / yoctometro ⁴	ym

Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios Ultravioleta

Fonte: Os objetos muito quentes da natureza emitem radiação UV. O Sol é a principal fonte (emite radiação UV em vários comprimentos de onda), arco voltaico, luz negra

As camadas da atmosfera bloqueiam cerca de 77% dos Raios Ultravioletas do Sol



Absorção do UVI na Atmosfera

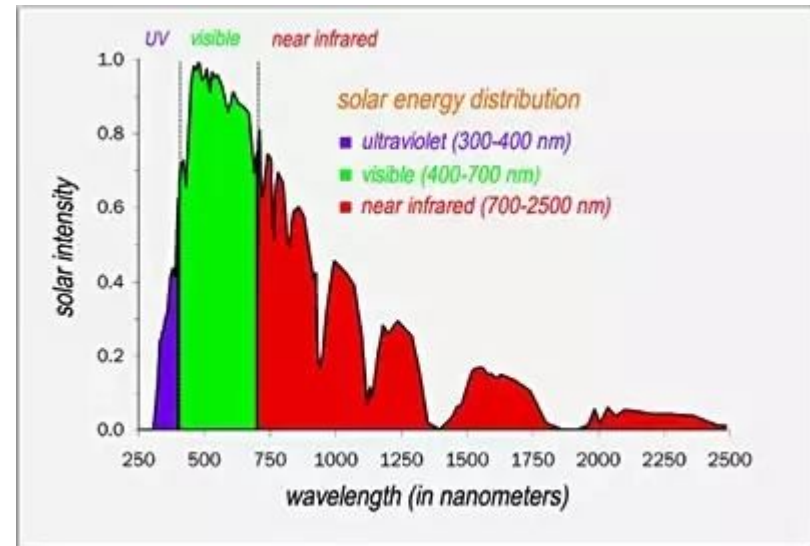
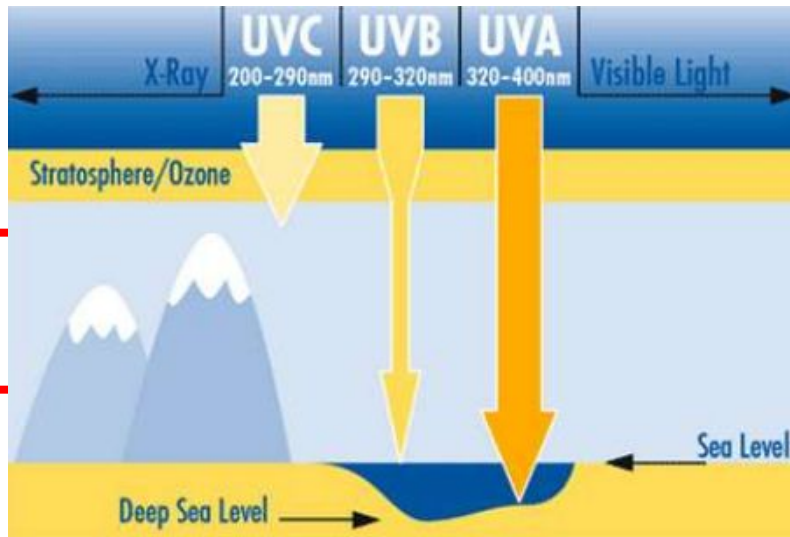
Espectro Eletromagnético

Radiações: Raios Ultravioleta

Grande parte dos raios UV emitida pelo Sol que chega a Terra é UVA, seguida respectivamente pelas radiações UVB e UVC.

Ao nível do solo 43% de luz visível, 5% Ultravioleta e o restante com infravermelho.

Da radiação ultravioleta que atinge a superfície da Terra, mais do que 95% é o mais longos comprimentos de onda de UVA, UVB com o restante pequeno. Não há praticamente nenhum UVC.



Espectro Eletromagnético

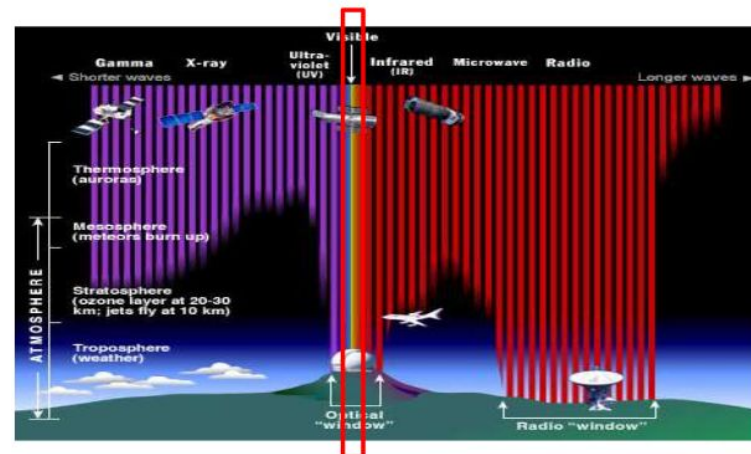
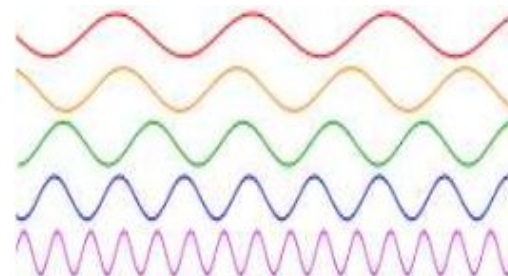
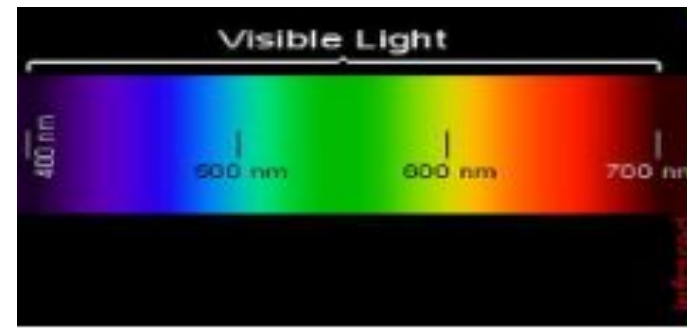
Radiações: Luz Visível

Frequência: 380 THz ~ 790 THz

Comprimento de onda: 780 nm ~ 380 nm
(tamanho de bactérias)

Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

porção do espectro eletromagnético cuja radiação é composta por fótons capazes de sensibilizar o olho humano



Absorção da Luz Visível na Atmosfera

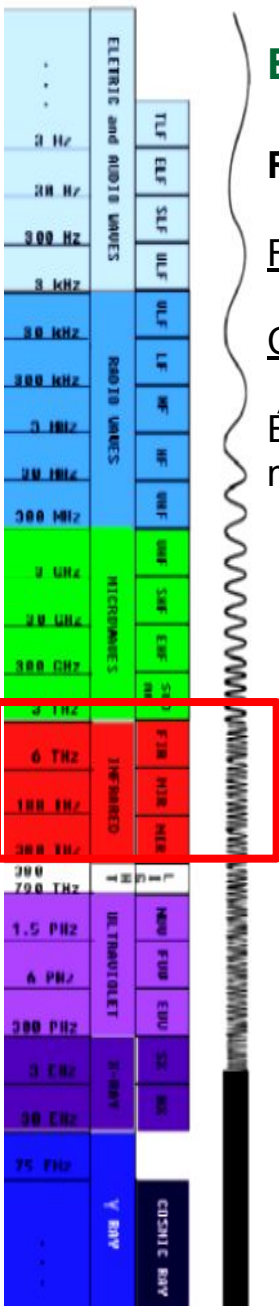
Espectro Eletromagnético

Radiações: Infravermelho

Frequência: 100 THz ~ 380 THz (NIR), 6 THz ~ 100 THz (MIR), 6 THz ~ 3 THz (FIR)

Comprimento de onda: 780 nm ~ 100 um (espessura do papel ~ célula)

É uma radiação não ionizante com frequência abaixo da cor vermelha e energia entre 12,4 meV e 1,59 eV.



Múltiplo	Nome	Símbolo
10 ⁰	-hertz	Hz
10 ¹	deca-hertz	daHz
10 ²	hecto-hertz	hHz
10 ³	quilo-hertz	kHz
10 ⁶	mega-hertz	MHz
10 ⁹	giga-hertz	GHz
10 ¹²	tera-hertz	THz
10 ¹⁵	peta-hertz	PHz
10 ¹⁸	exa-hertz	EHz
10 ²¹	zetta-hertz	ZHz
10 ²⁴	yotta-hertz	YHz

Submúltiplo	Nome	Símbolo
10 ⁰	metro	m
10 ⁻¹	decímetro	dm
10 ⁻²	centímetro	cm
10 ⁻³	milímetro	mm
10 ⁻⁶	micrometro	µm
10 ⁻⁹	nanometro	nm
10 ⁻¹²	picometro	pm
10 ⁻¹⁵	femtômetro/fentômetro ⁴	fm
10 ⁻¹⁸	attometro/atometro ⁴	am
10 ⁻²¹	zeptometro / / zeptômetro ⁴	zm
10 ⁻²⁴	yoctometro / / iocômetro ⁴	ym

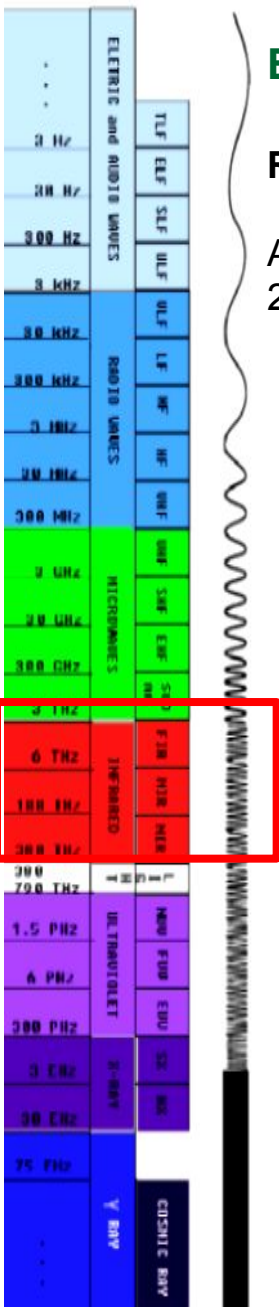
Espectro Eletromagnético

Radiações: Infravermelho

A faixa do infravermelho é frequentemente subdividido em seções menores, segundo a ISO 20473:

NIR - Near Infrared

- Infravermelho próximo
- É chamado de Infravermelho Reflexivo
- Near-infrared é a região mais próxima no comprimento de onda da radiação detectáveis pelo olho humano
- Definida pela absorção de água
- Comumente utilizado em Fibras Opticas, por causa da baixa atenuação na fibra.
- Energia: 413 meV ~ 1.59 eV



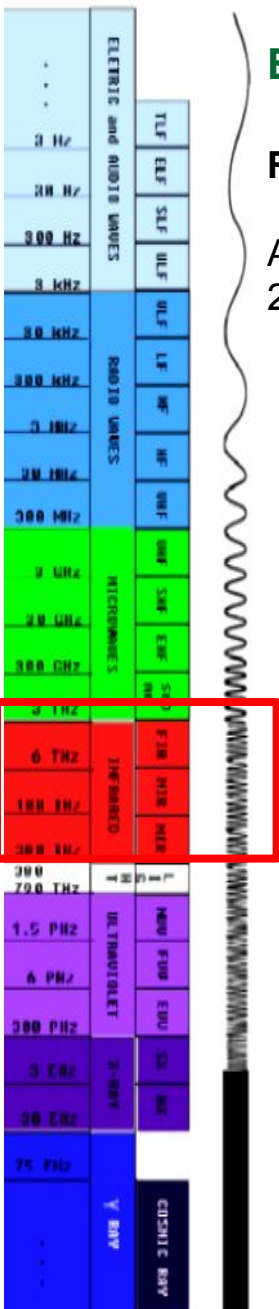
Espectro Eletromagnético

Radiações: Infravermelho

A faixa do infravermelho é frequentemente subdividido em seções menores, segundo a ISO 20473:

MIR - Midium Infraread

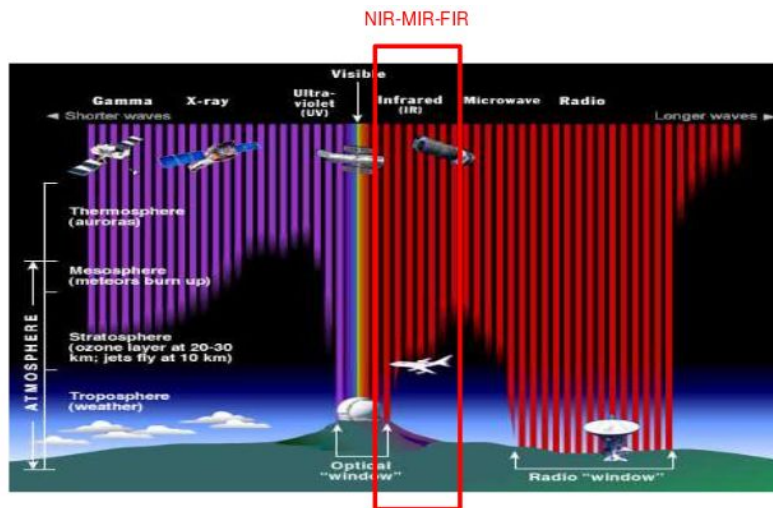
- Infravermelho médio
- É chamado de Infravermelho Térmico
- Uma aplicação são os mísseis guiados que se orientam pelo calor de um jato.
- Energia: 24.8 meV~ 413 meV



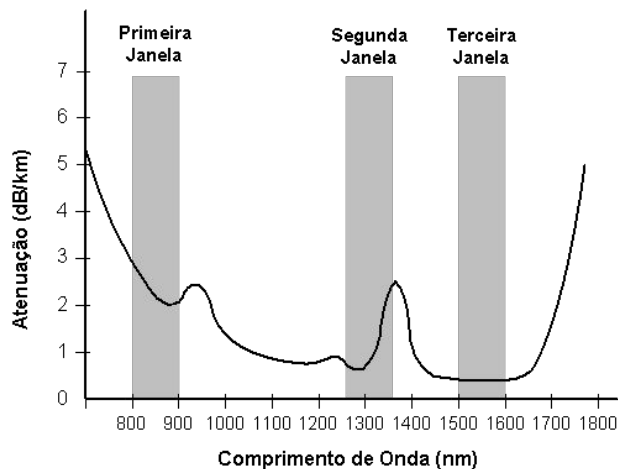
Espectro Eletromagnético

Radiações: Infravermelho

Absorção do infravermelho na atmosfera:



Janelas de telecomunicações no infravermelho:



Espectro Eletromagnético

Radiações: Infravermelho

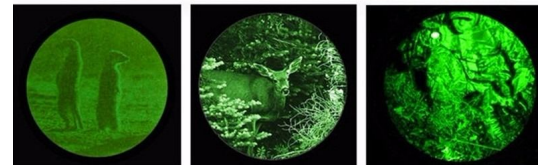
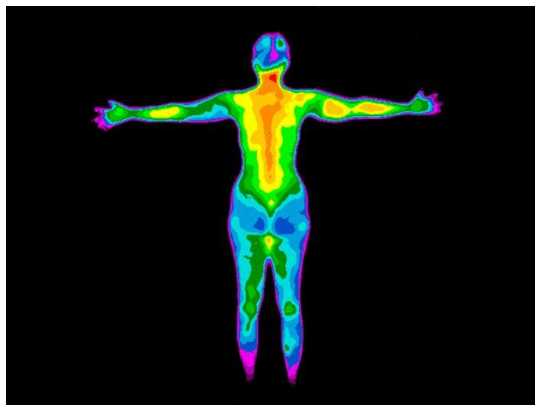
A radiação infravermelha é usada em aplicações militares, industriais, científicas, médicas e de comunicações.

Exemplos: Visão Noturna

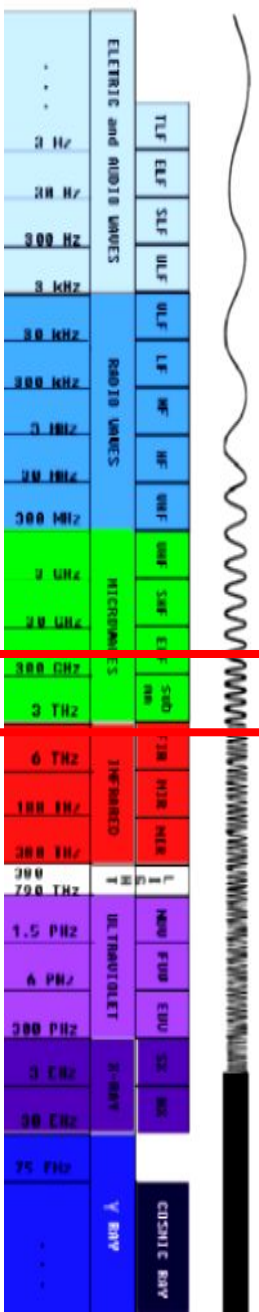
Fontes de luz de infravermelhos podem ser usados para aumentar a luz ambiente disponível para a conversão por meio de dispositivos de visão noturna, aumentando a visibilidade no escuro sem realmente utilizar uma fonte de luz visível

Exemplos: Termografia

A quantidade de radiação emitida por um objeto aumenta com a temperatura, por conseguinte, a termografia permite ver as variações de temperatura



Espectro Eletromagnético



Ondas de Radio: THF (submm)

Tremendously high frequency / Raio-T

Frequência: 300 GHz ~ 3 THz

Comprimento de onda: 1mm ~ 100 um

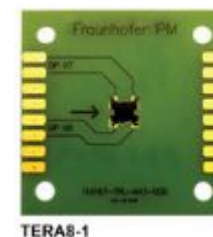
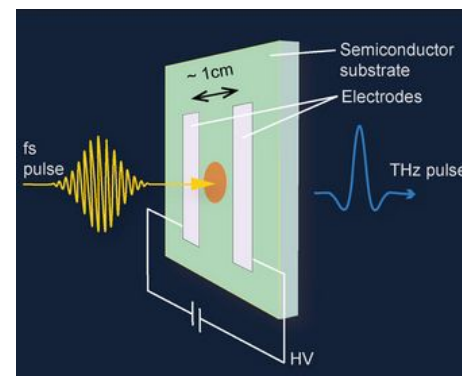
Fonte: um pulso emitido pelo laser de femtosegundo atinge uma antena fotocondutiva – material que emite pulsos elétricos quando iluminada o resultado é a emissão de pulsos THF

Alto poder de penetração em materiais desidratados, não-metálicos: plástico, papel, cartolina

Impenetrabilidade em materiais metálicos e líquidos.

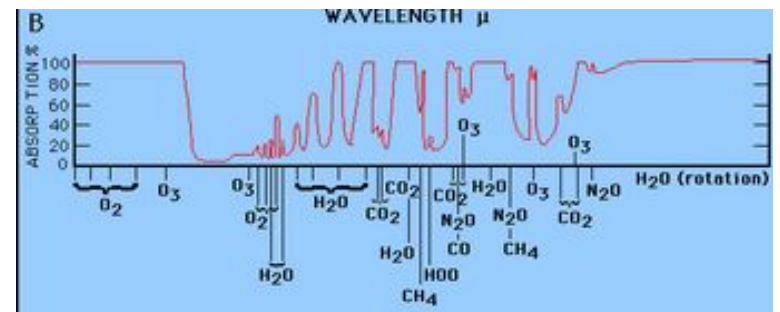
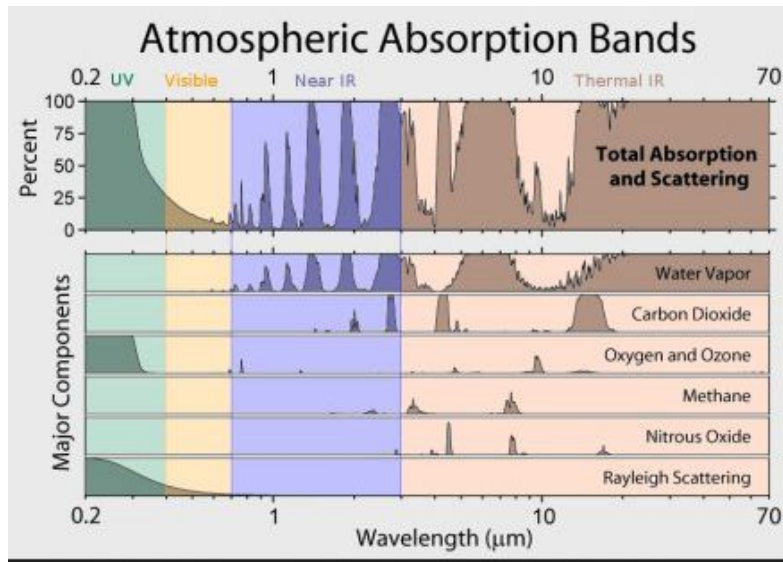
Ao contrário dos raios X, os raios T não ionizam o material analisado e, ao contrário do infravermelho, não o aquece

Ex aplicação: espessura, espectroscopia, sensoriamento



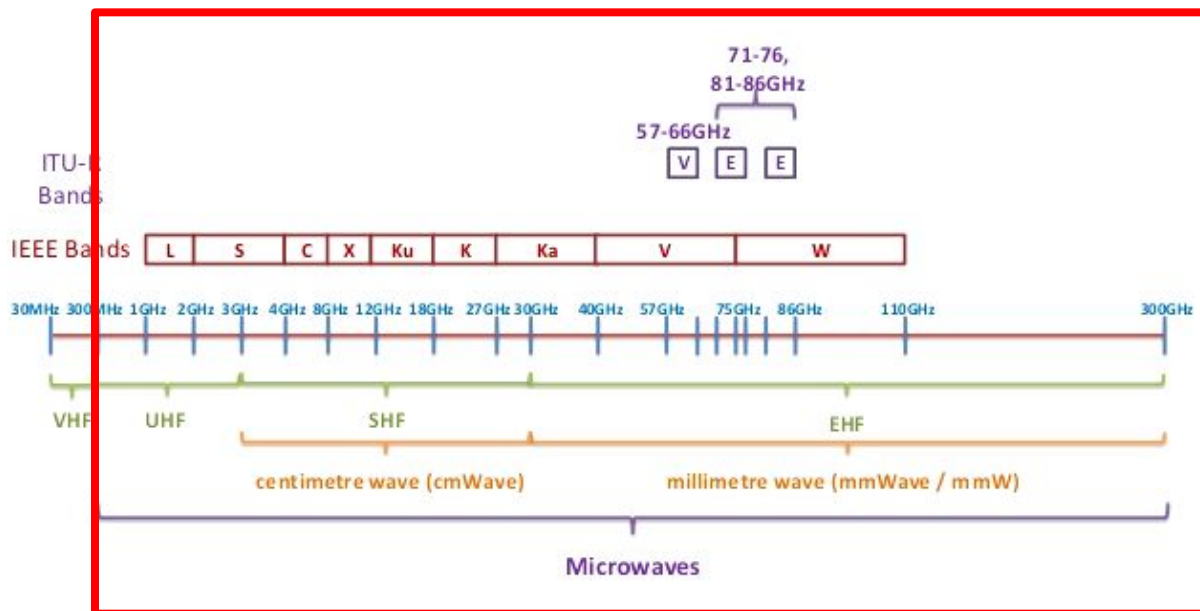
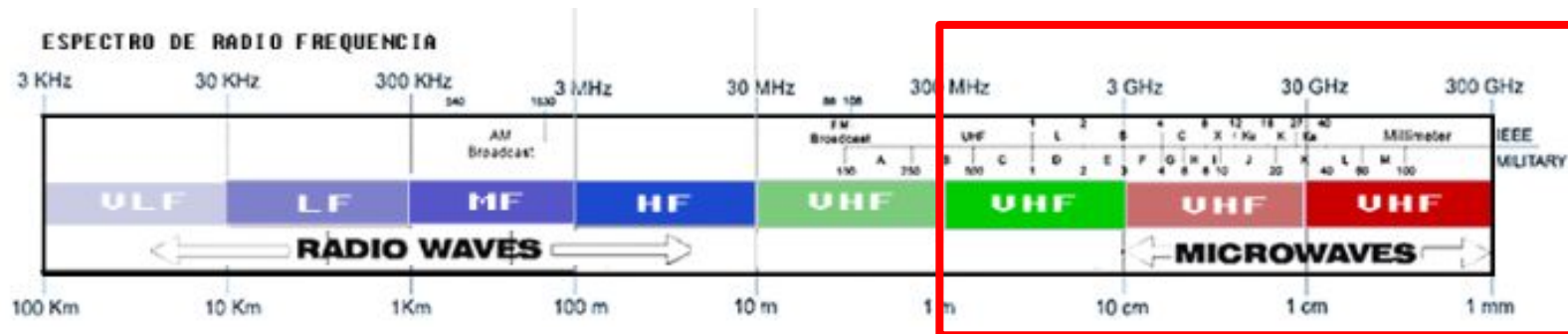
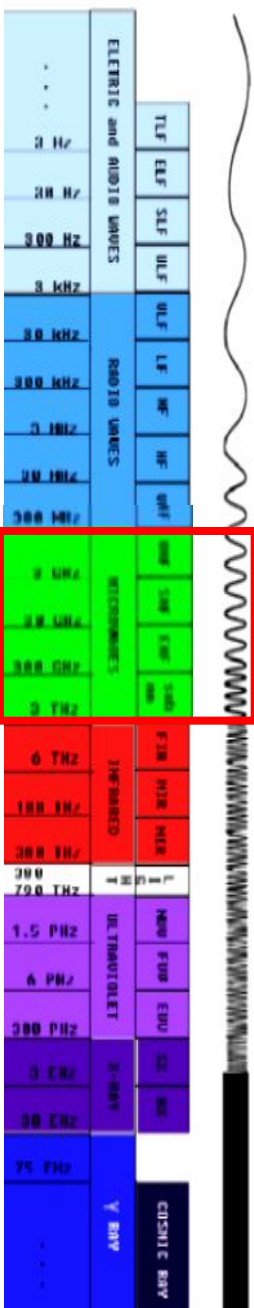
Lista de Exercícios

- 1) Dado que a radiação infravermelha é possível ser utilizada em comunicações nas bandas de 850 nm, 1310 nm e 1550 nm, qual a frequência utilizada nessas frequências? Dado que ($\lambda=c/f$).
- 2) Dado os gráficos abaixo, discuta sobre a absorção atmosférica nas radiações Ultravioleta, infravermelho e luz visível. O que se pode concluir?



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – SHF – UHF)



Espectro Eletromagnético

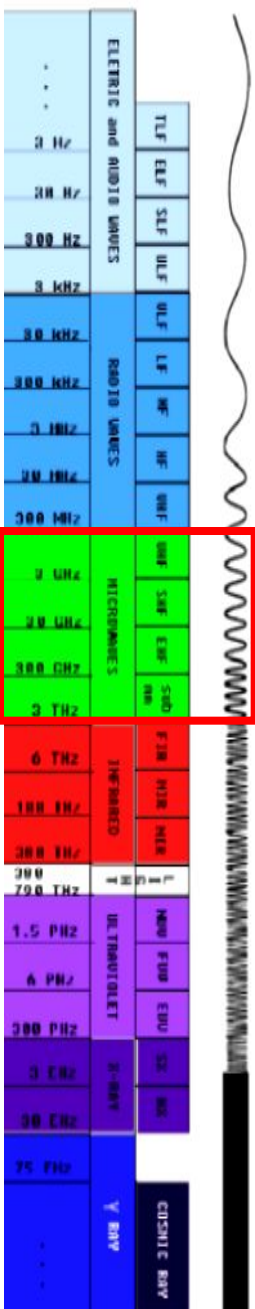
Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – SHF – UHF)

Vantagem:

- superlotação do espectro abaixo de 300 MHz,
- largura de banda maior
- transmissões binárias de alta velocidade

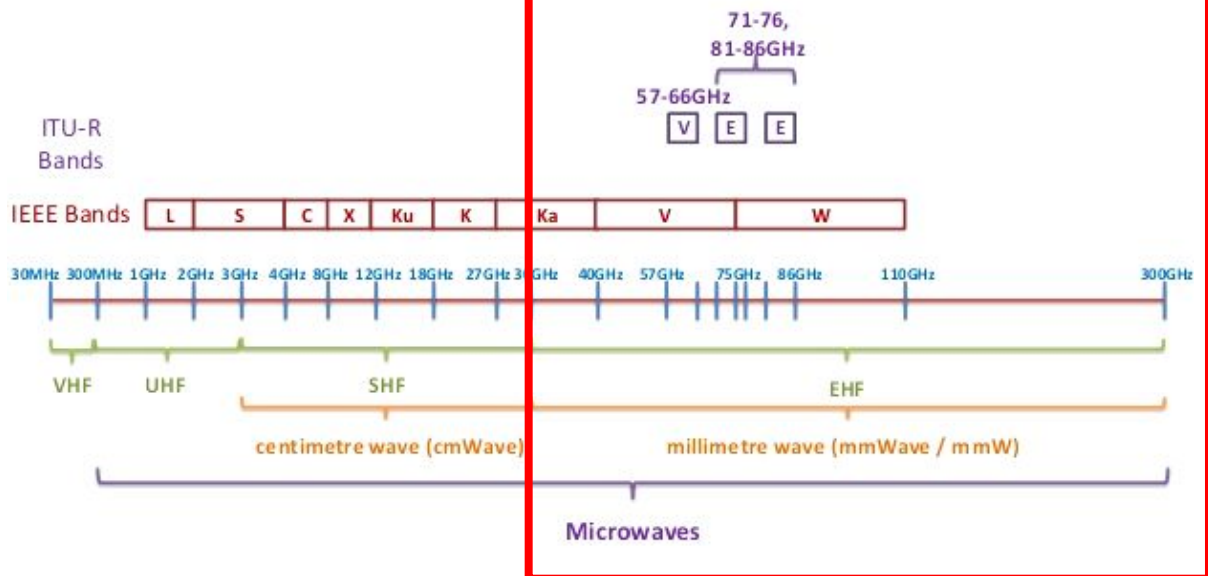
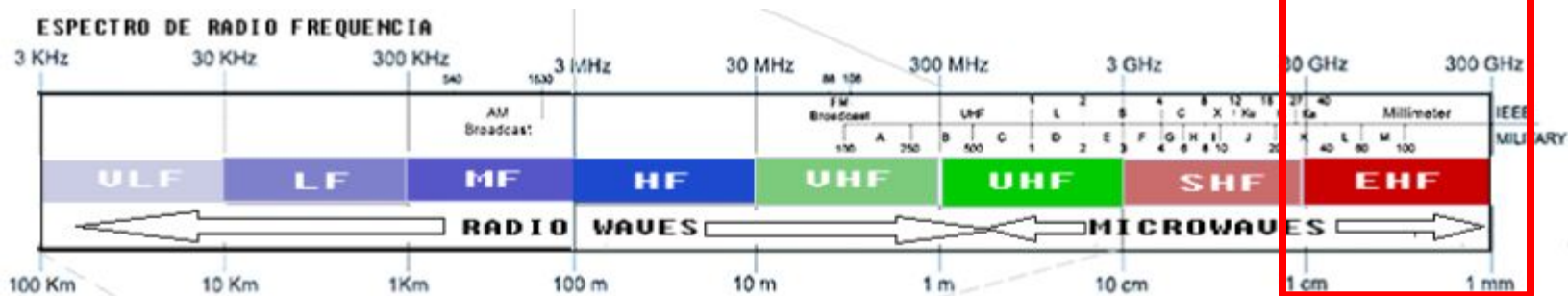
Desvantagem:

Quanto maior a frequência, mais difícil se torna analisar os circuitos eletrônicos. Análise de circuitos em frequências abaixo de 30 MHz é baseado em corrente e tensão, em micro-ondas é baseado em campo elétrico e magnético



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)



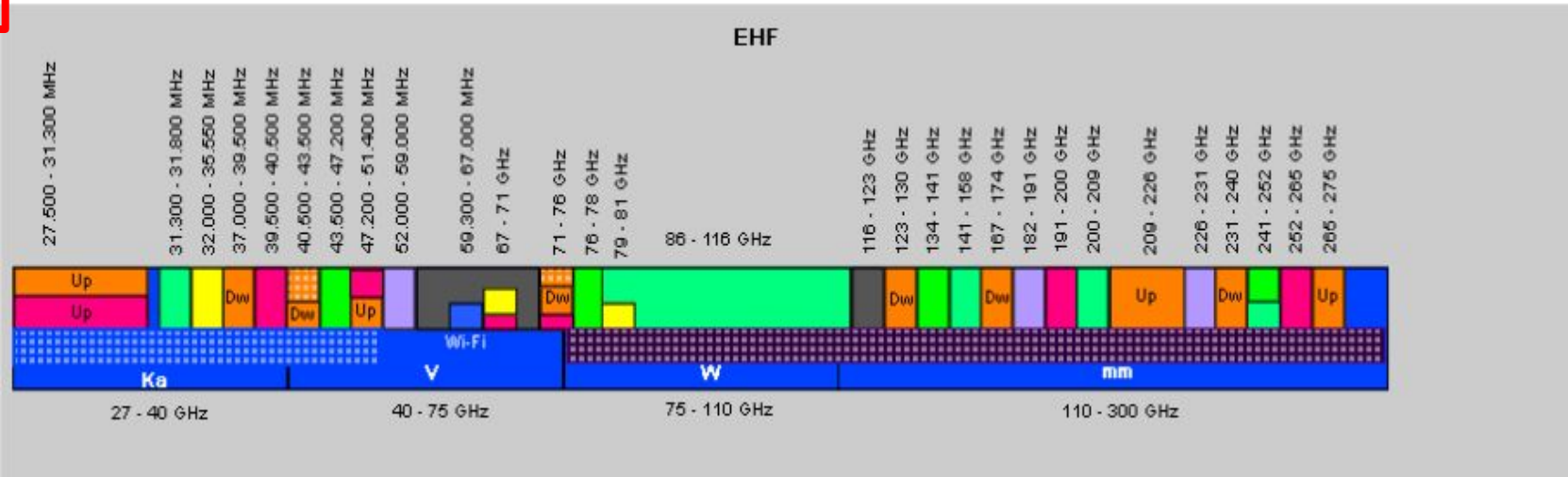
Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)

Aplicação:

Links de micro-ondas de alta velocidade,
 Transferência de dados curto alcance,
 Tecnologias: IEEE 802.11ad (60 GHz, 4.6Gbps), 5G Radar

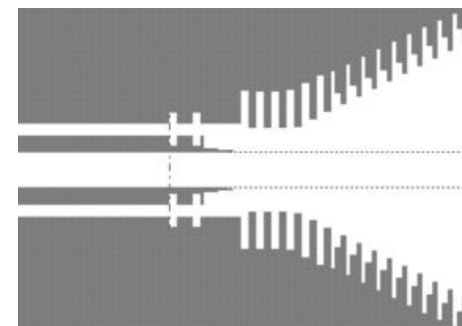
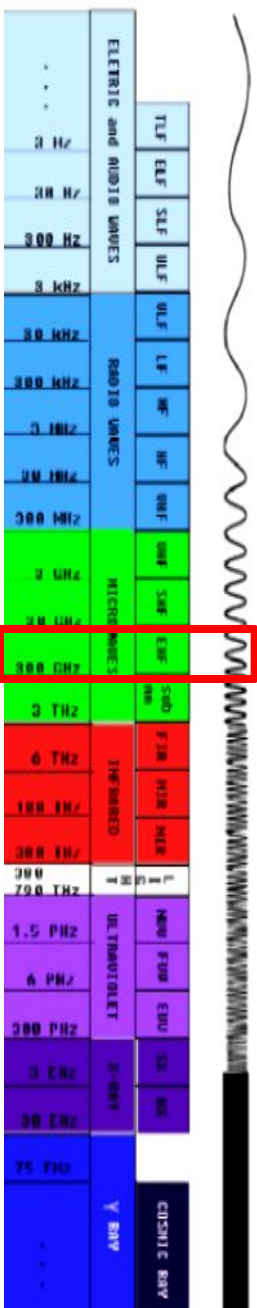
Atribuição da faixa de frequência:



Espectro Eletromagnético

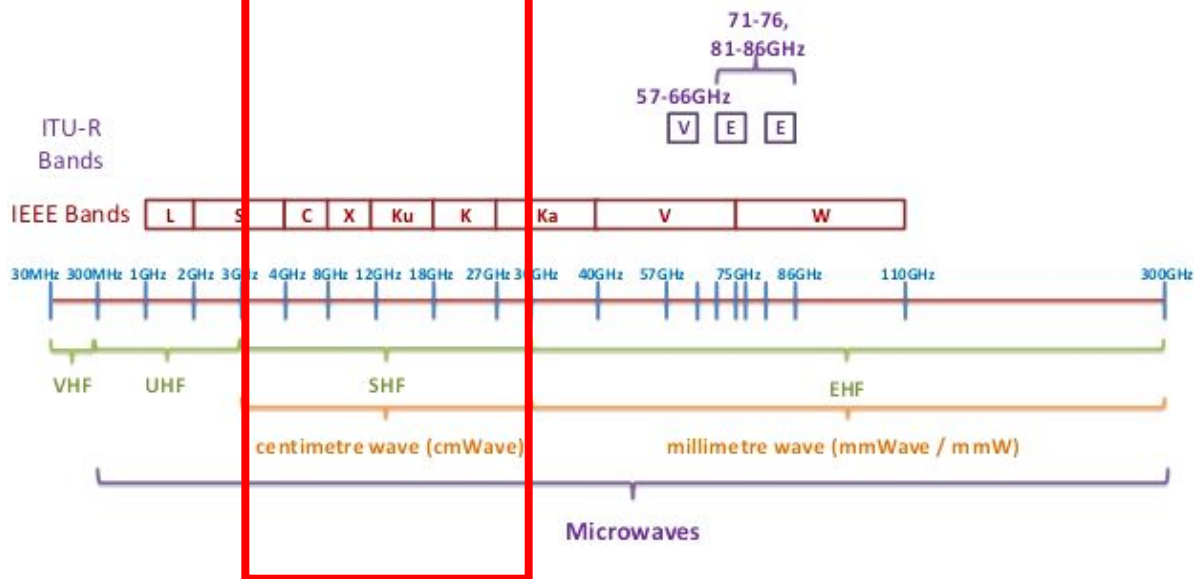
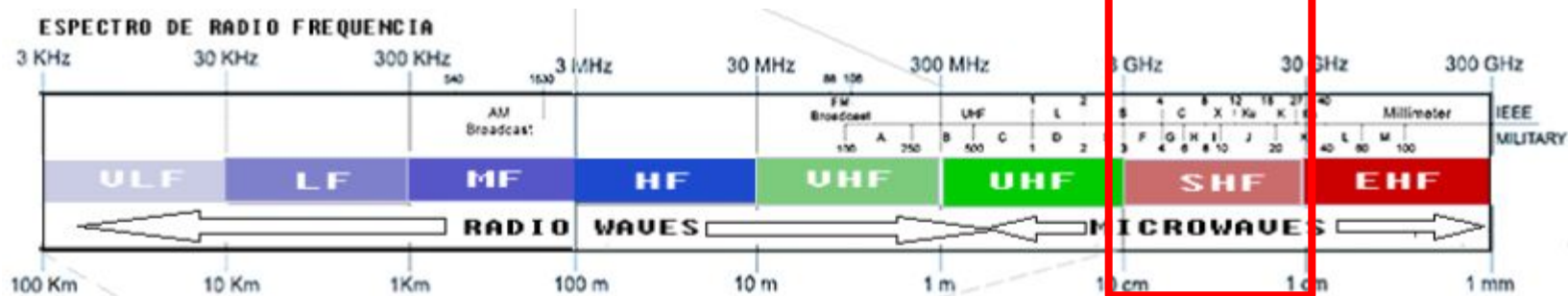
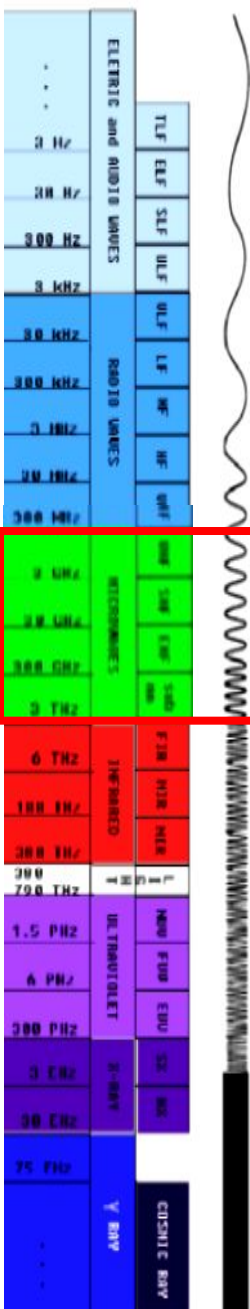
Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)

Exemplo de antenas:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)

Frequência: 3 GHz a 30 GHz

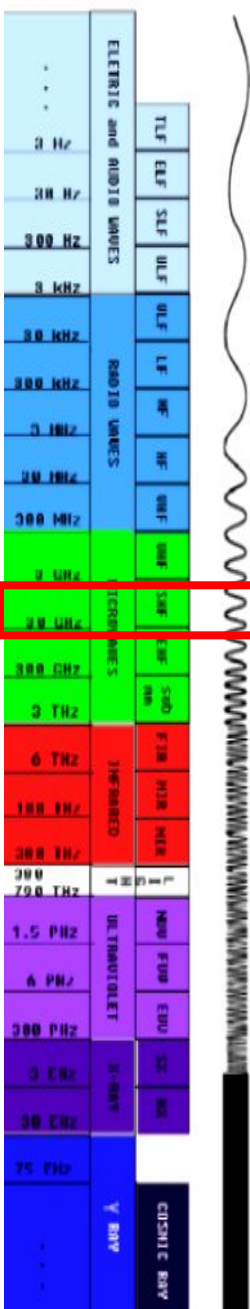
Comprimento de onda: 10 cm a 1 cm

Bandas Relacionadas IEEE: S (3GHz~4GHz), C(4GHz~8GHz), X(8GHz~12GHz), Ku(12GHz~18GHz), K(18GHz~27GHz), Ka(27GHz~30GHz)

Desvantagem: susceptível a atenuação por chuva (banda Ka)

Vantagem: Largura de banda

Propagação: direta (linha de visada)

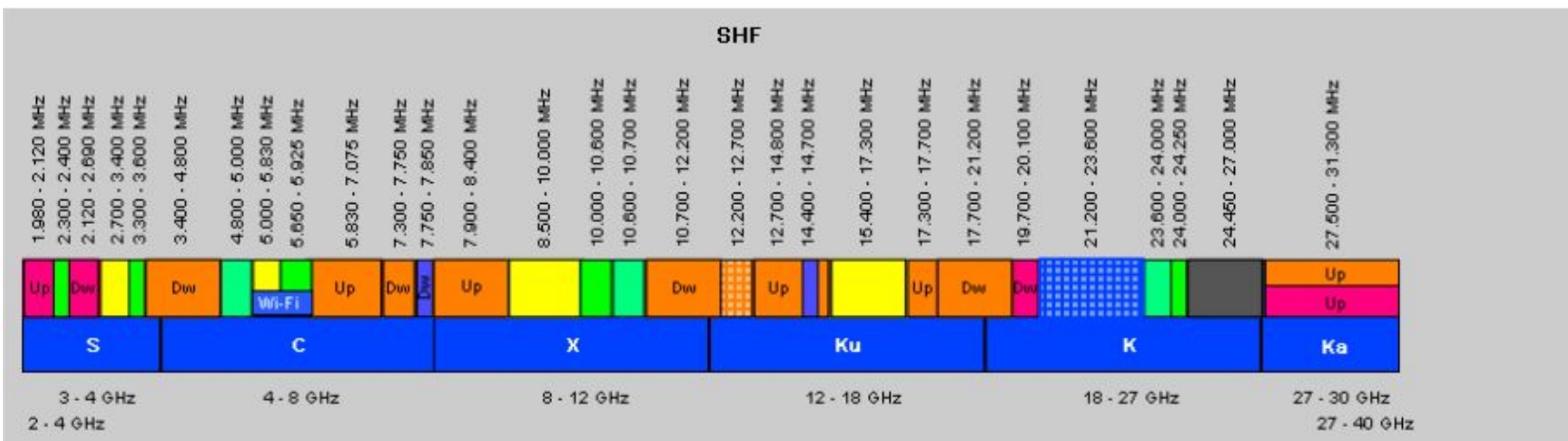


Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)

Aplicação:
 Wi-Fi 5 GHz
 Comunicações via satélite (C/X/Ka)
 Radar

Atribuição:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)

Frequência: 300 MHz a 3 GHz

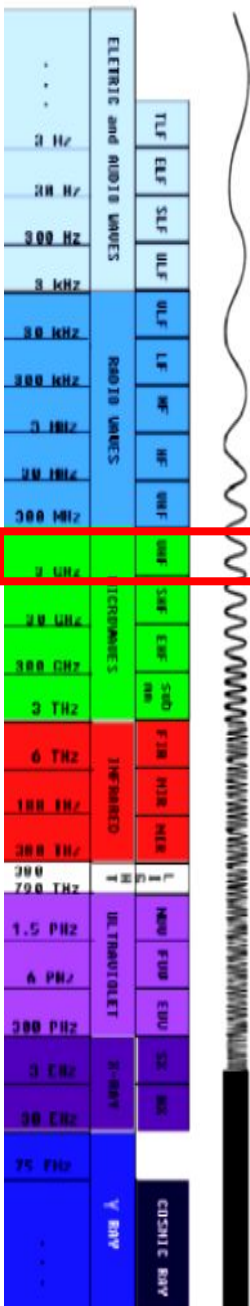
Comprimento de onda: 1m a 10 cm

Bandas Relacionadas IEEE: L (1GHz~2GHz) e S (2GHz ~ 3GHz)

Desvantagem: umidade atmosférica, vento solar, obstruções

Vantagem: comprimento de onda – antenas menores

Propagação: linha de visão, bloqueado por montanhas e edifícios, mas tem poder de penetração em paredes.



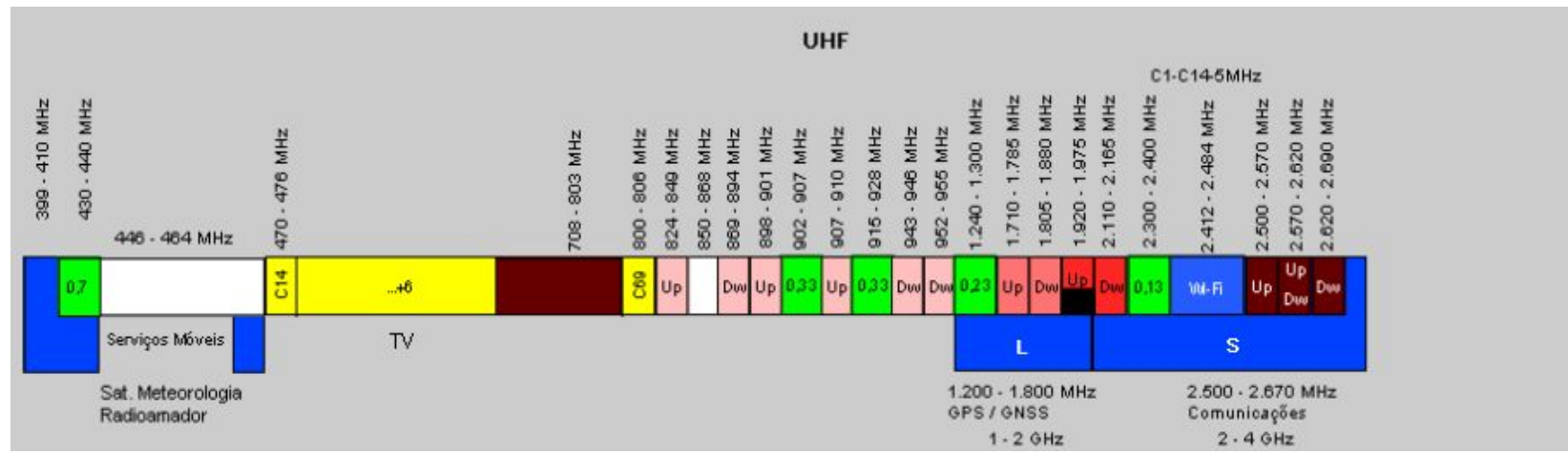
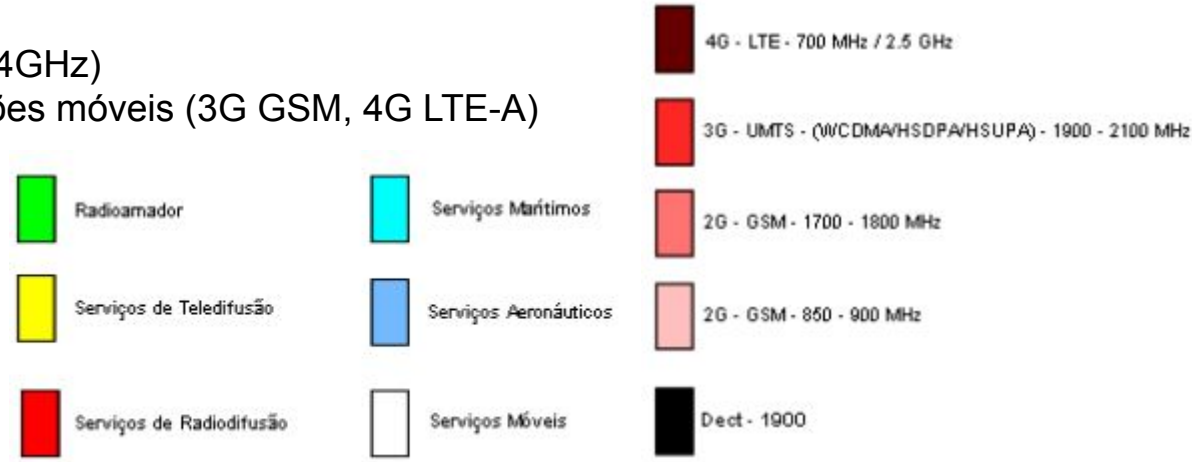
Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)

Aplicação:

- Televisão Analógica
- Bluetooth, ZigBee, WiFi (2.4GHz)
- Tecnologias de comunicações móveis (3G GSM, 4G LTE-A)
- Serviços de rádio móvel
- Rádio Amador

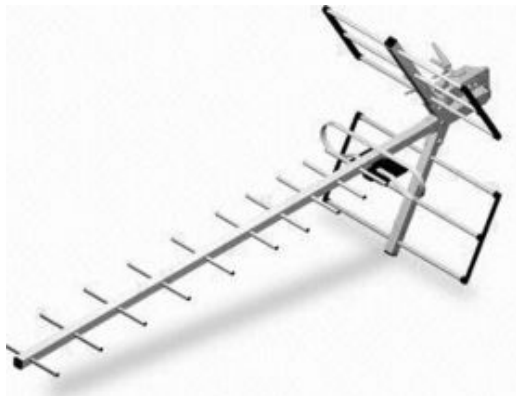
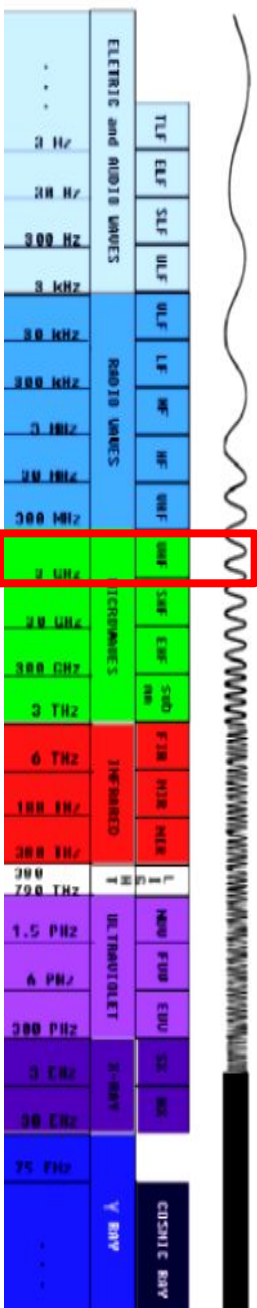
Atribuição:



Espectro Eletromagnético

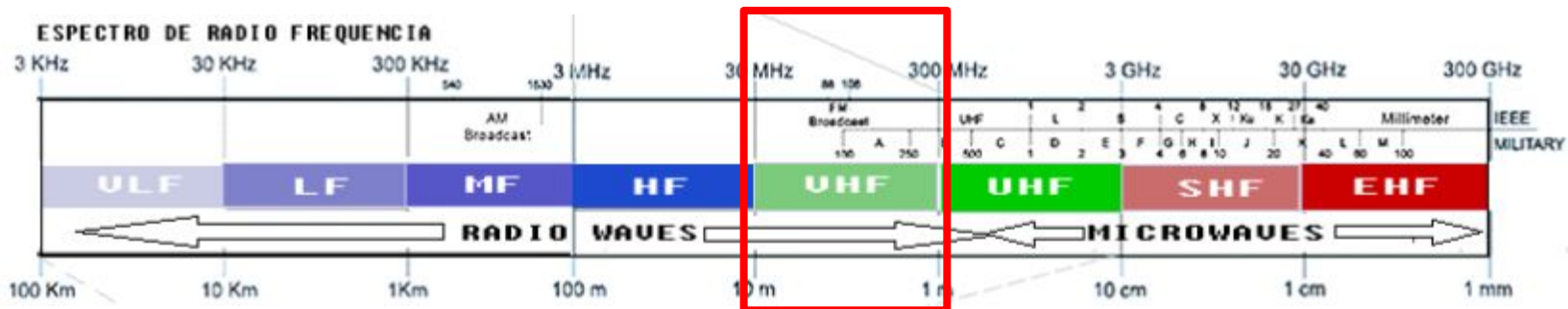
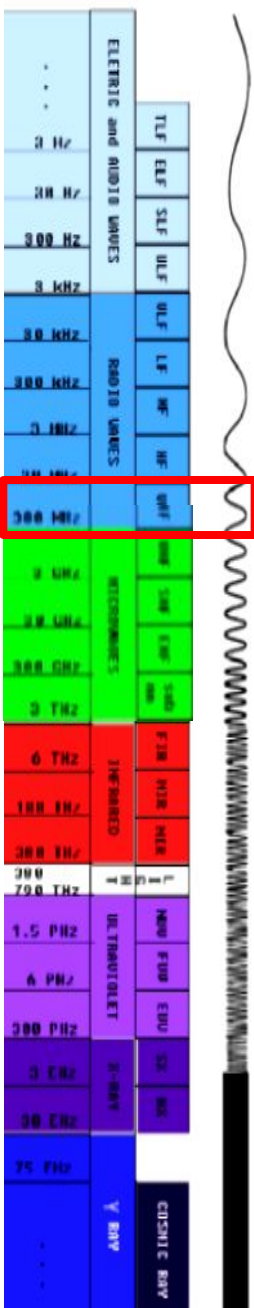
Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)

Exemplo de antenas:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: VHF – Very High Frequency



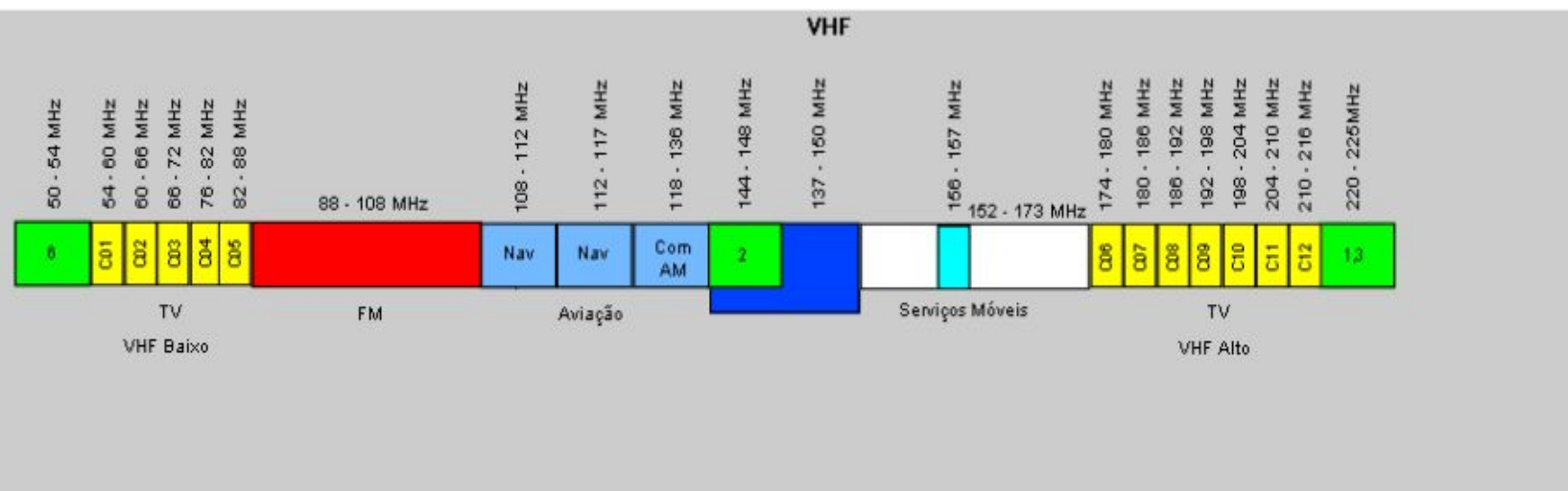
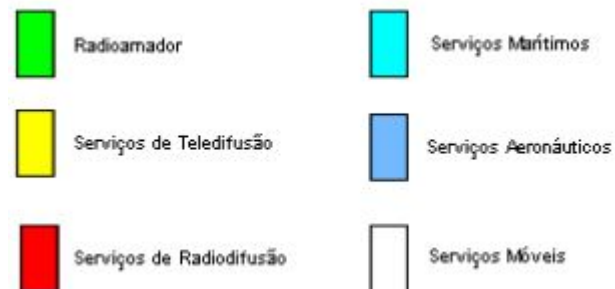
Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio VHF – Ultra High Frequency

Aplicação:

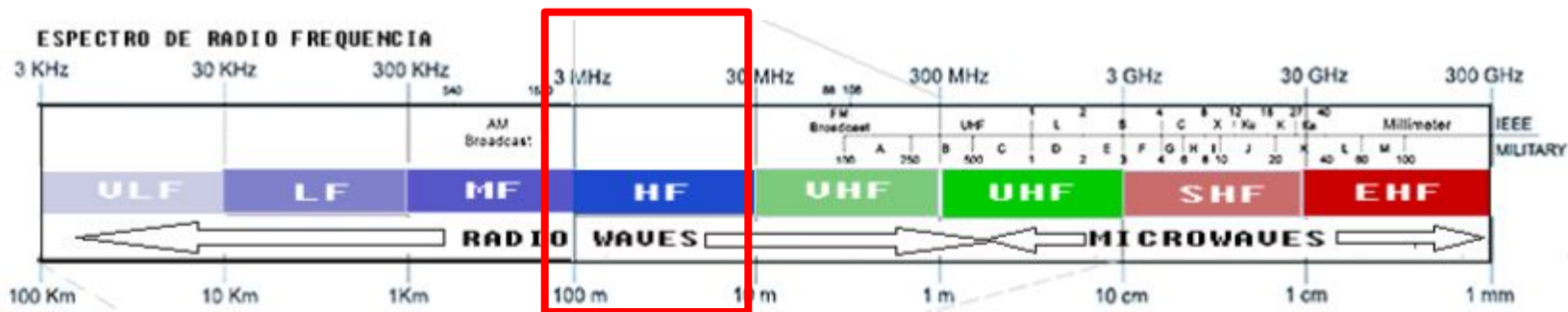
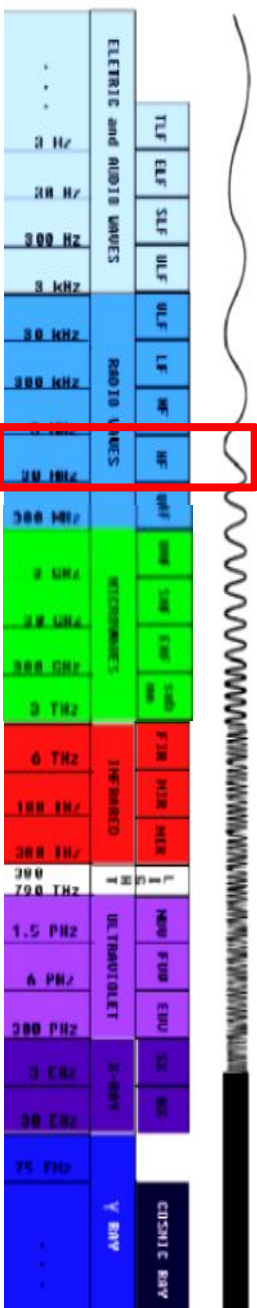
- TV Analógica/Digital
- Controle de tráfego aéreo
- Serviços Móveis
- Comunicação militar/marítima
- Rádiodifusão
- Radioamadorismo

Atribuição:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: HF – High Frequency



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: HF – (High Frequency)

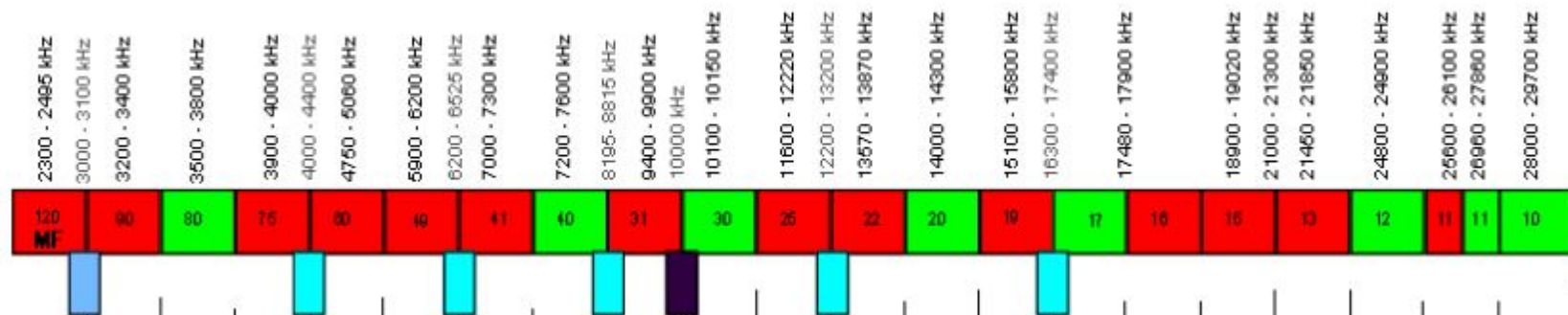
Aplicação:

Comunicação militar/marítima
Radiodifusão
Radioamadorismo

Atribuição:



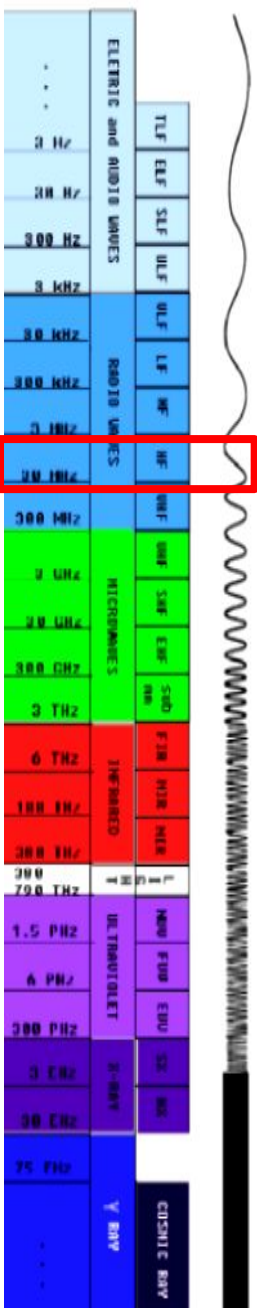
HF



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: HF – (High Frequency)

Exemplo de antenas:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: MF – (Medium Frequency)

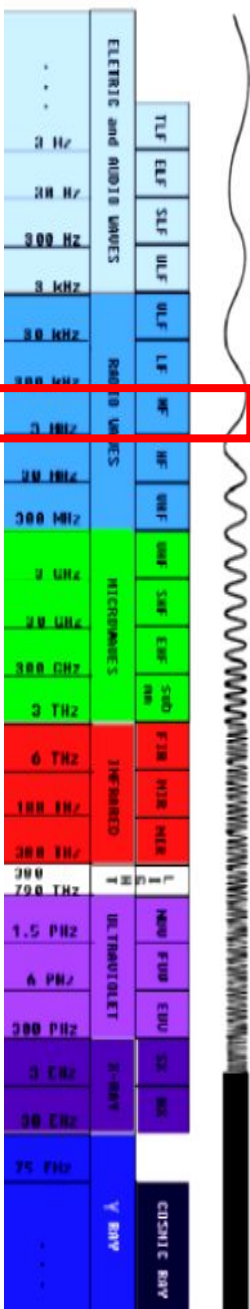
Frequência: 300 kHz a 3 MHz

Comprimento de onda: 1000 m a 100 m

Desvantagem: susceptível pelo ruído atmosférico, interferência atmosférica, variações do dia, condutividade do solo e antenas de grande dimensão.

Vantagem: comunicação a longa distância

Propagação: ondas de superfície e ionosféricas



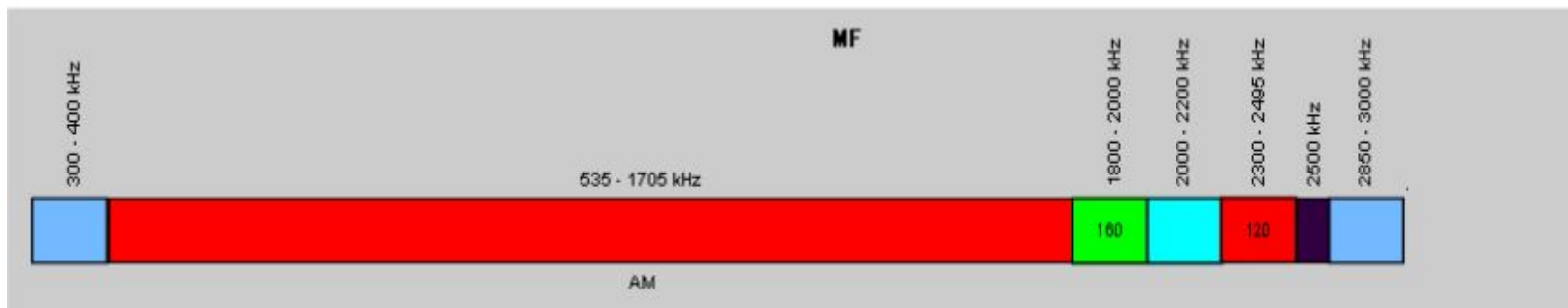
Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: MF – (Medium Frequency)

Aplicação:

- Rádiodifusão
- Radioamadorismo
- Serviços Aeronáuticos e Marítimos

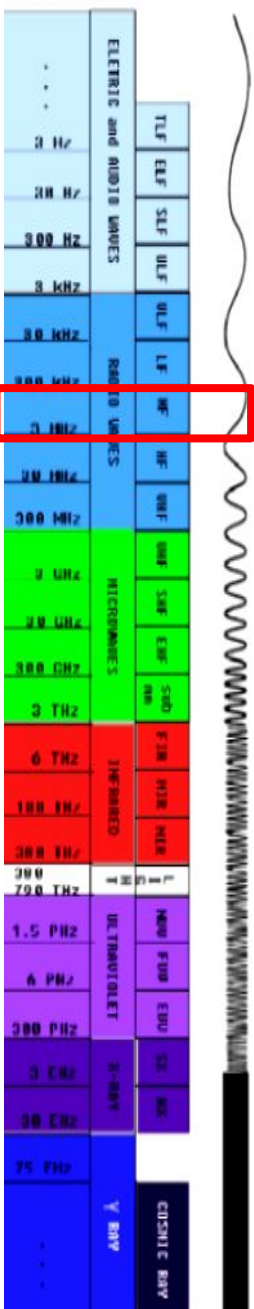
Atribuição:



Espectro Eletromagnético

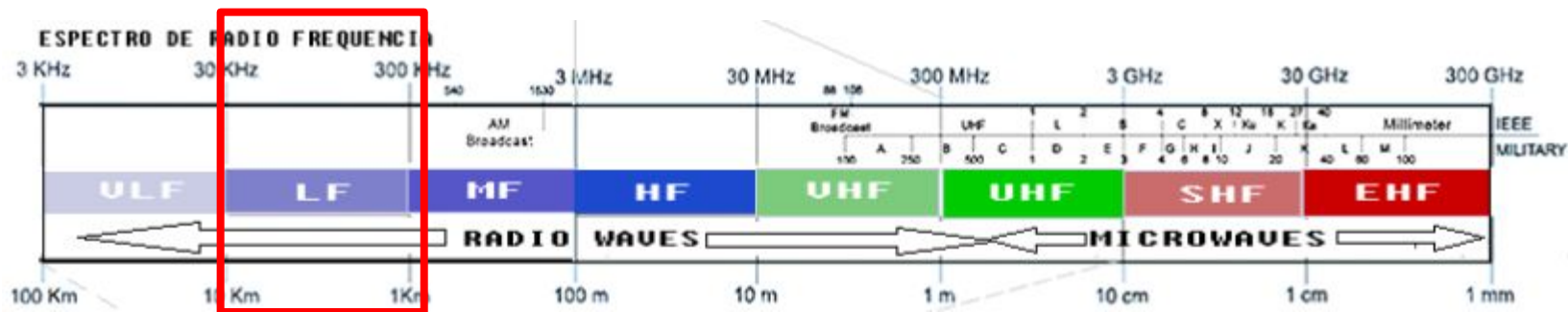
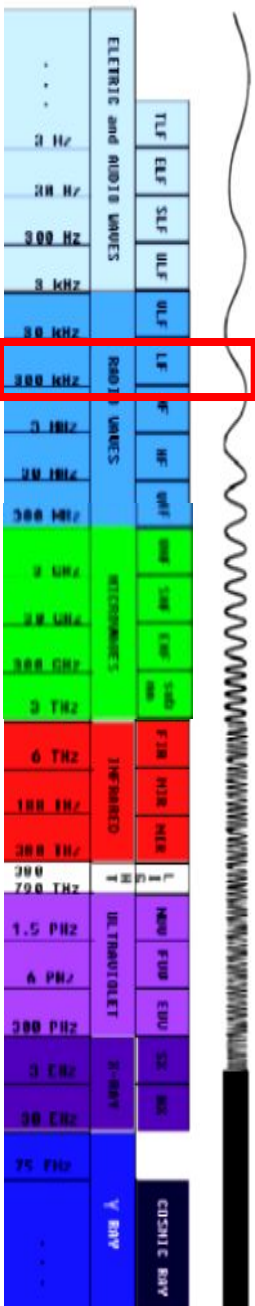
Ondas de Radio: MF – (Medium Frequency)

Exemplo de antenas:



2- Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: LF- Low Frequency



Espectro Eletromagnético

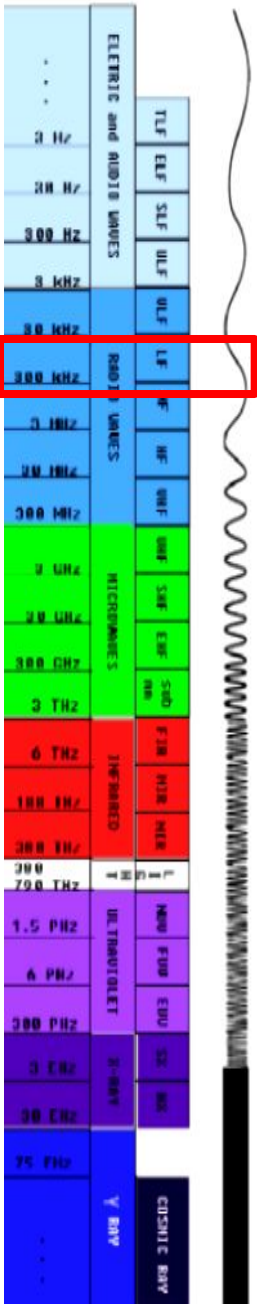
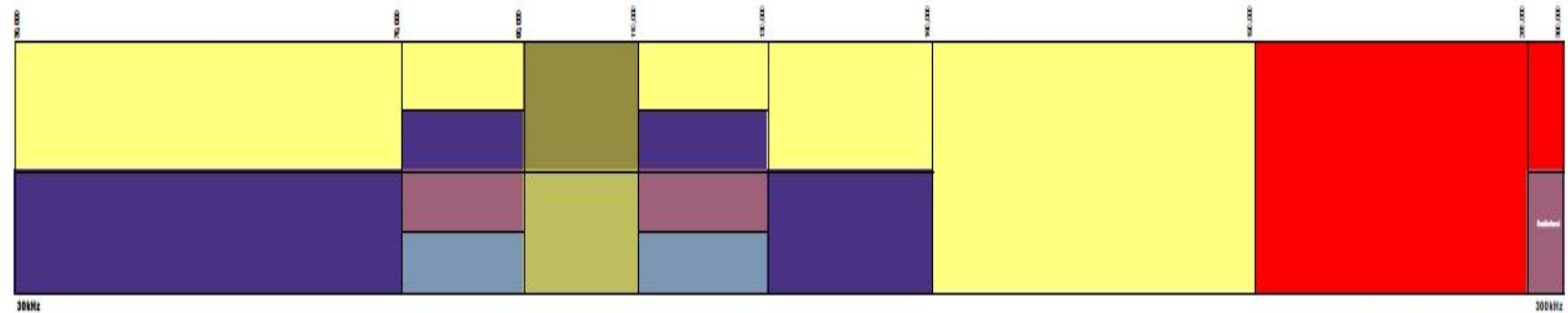
Ondas de Radio: LF – (Low Frequency)

Aplicação:

Na Africa, Europa e Asia (utilizado como Radiodifusão AM)
 Aeronavegação
 Informações de tempo
 Submarinos

Atribuição:

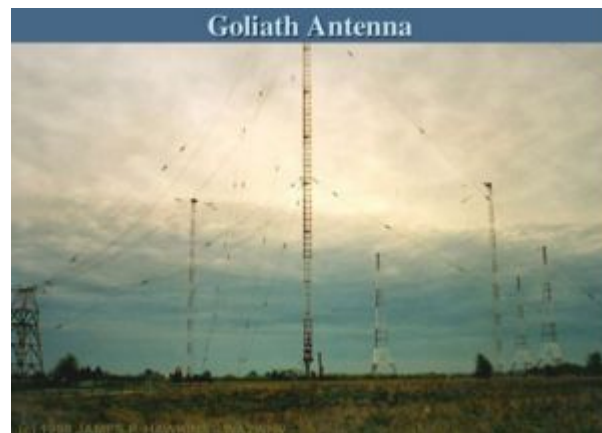
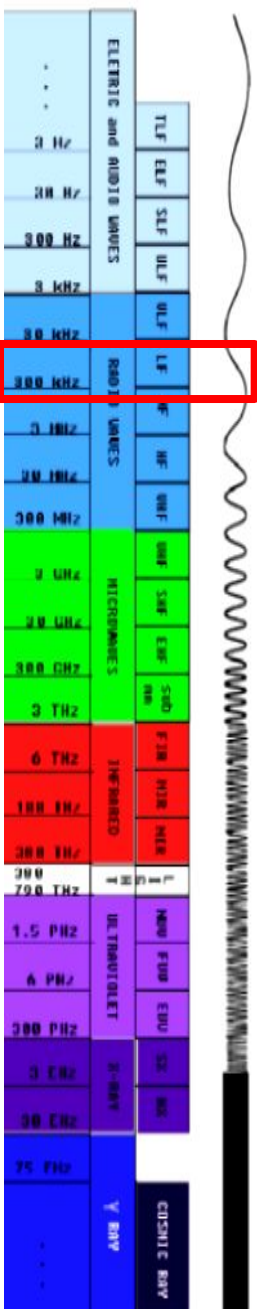
-  Fixo
-  Fixo Aeronáutico
-  Radionavegação
-  Radionavegação Marítima
-  Radionavegação Aeronáutica
-  Radiolocalização



Espectro Eletromagnético

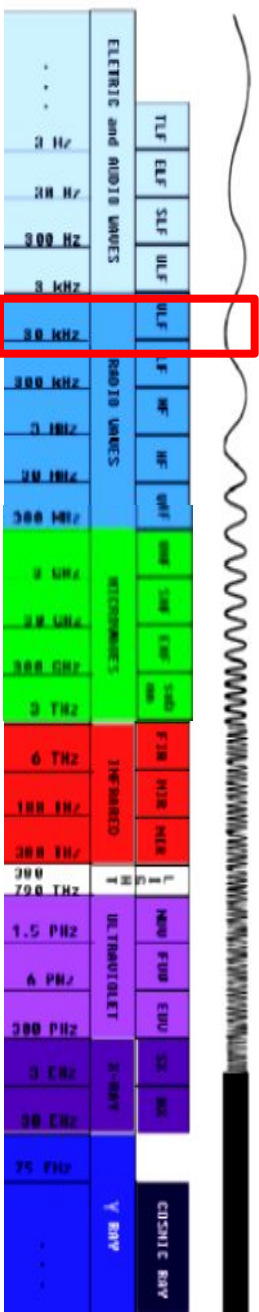
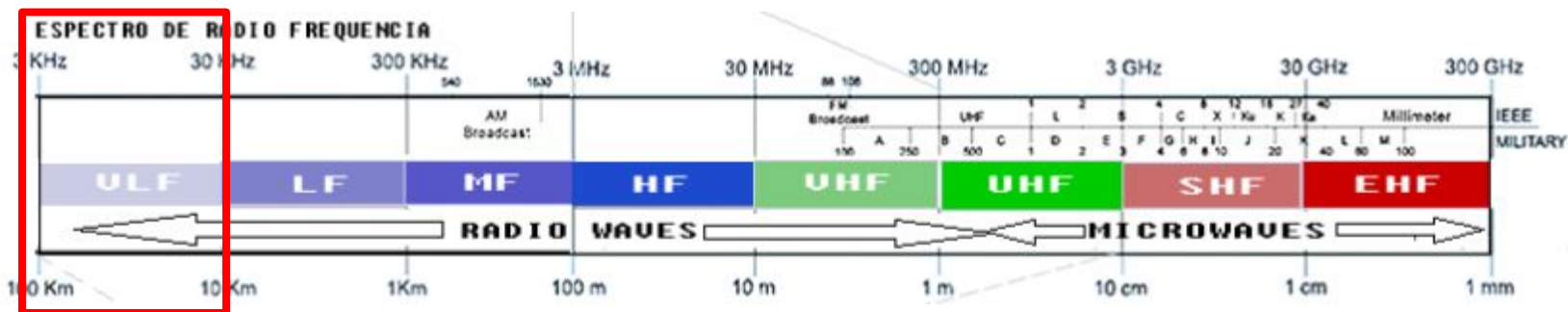
Ondas de Radio: LF – (Low Frequency)

Exemplo de antenas:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: VLF – Very Low Frequency



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: VLF – Low Frequency

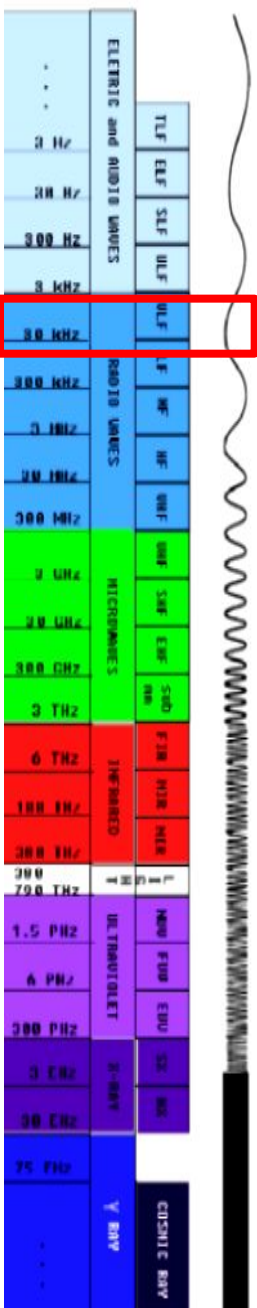
Frequência: 3 kHz a 30 kHz

Comprimento de onda: 100 km a 10 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância, baixíssima atenuação (2 a 3 dB a cada 1000km)

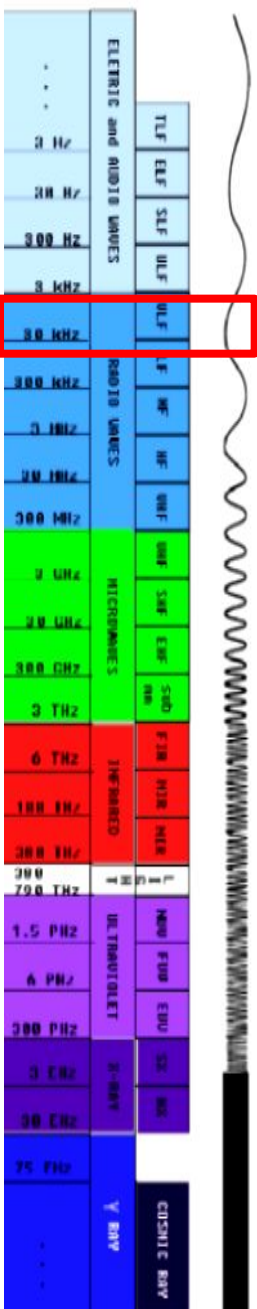
Propagação: Difrata nos obstáculos e não são bloqueadas por montanhas



Espectro Eletromagnético

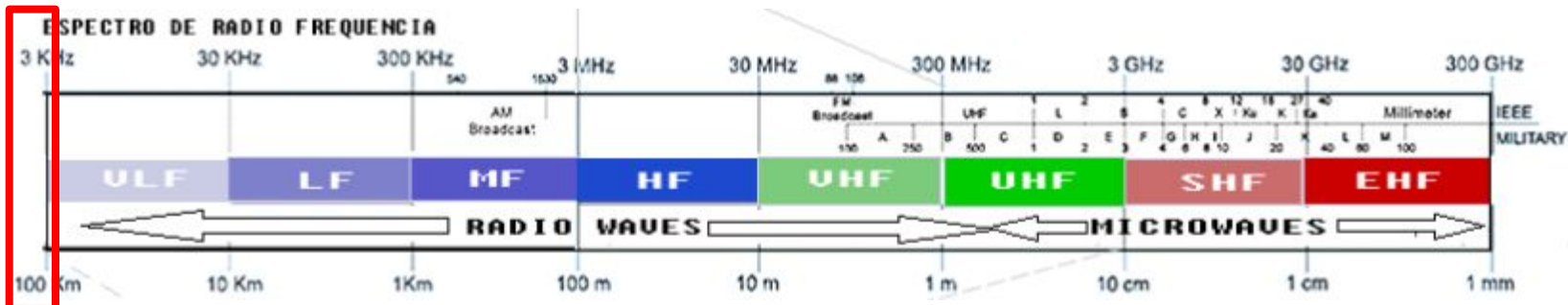
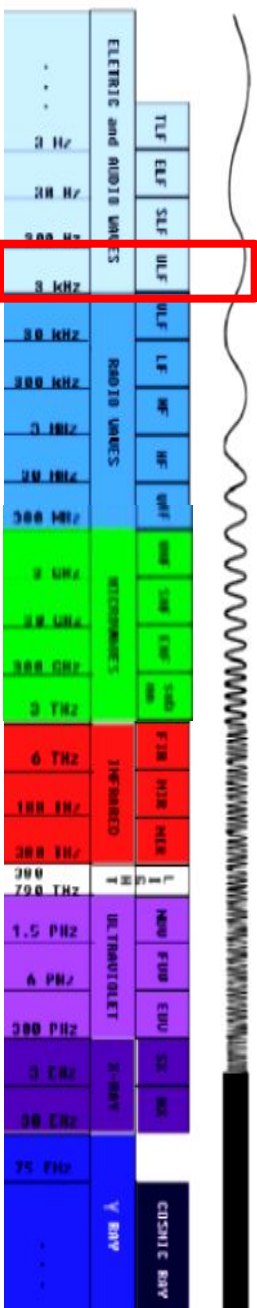
Ondas de Radio: VLF – Low Frequency

Exemplo de antenas:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency

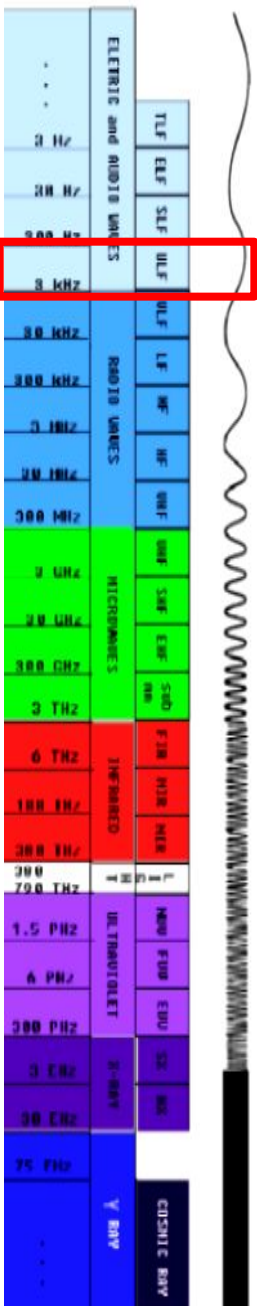
Frequência: 0.3 kHz a 3 kHz

Comprimento de onda: 1000 km a 100 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância

Propagação: ondas de superfície



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency

Exemplo de antenas:



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: SLF – Super Low Frequency

Frequência: 30 Hz a 300 Hz

Comprimento de onda: 10.000 km a 1000 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

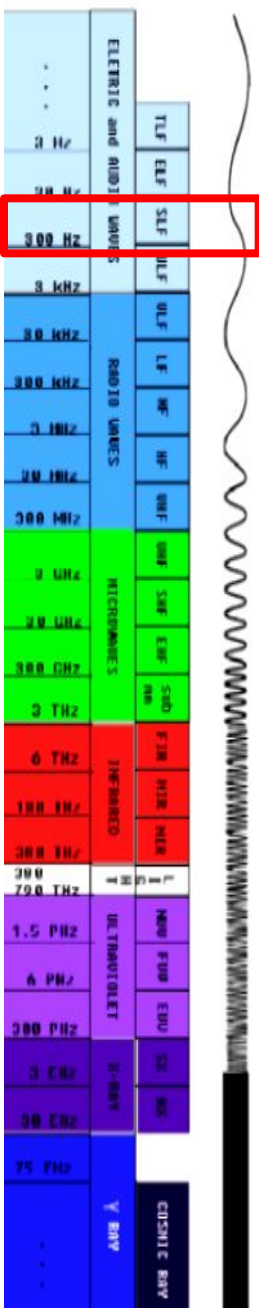
Vantagem: penetrância

Propagação: ondas de superfície

Aplicação:

Comunicação Submarina

Comunicação Minas



Espectro Eletromagnético

Ondas de Radio: ELF – Extreme Low Frequency

Frequência: 3 Hz a 30 Hz

Comprimento de onda: 100.000 km a 10.000 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância

Propagação: ondas de superfície

