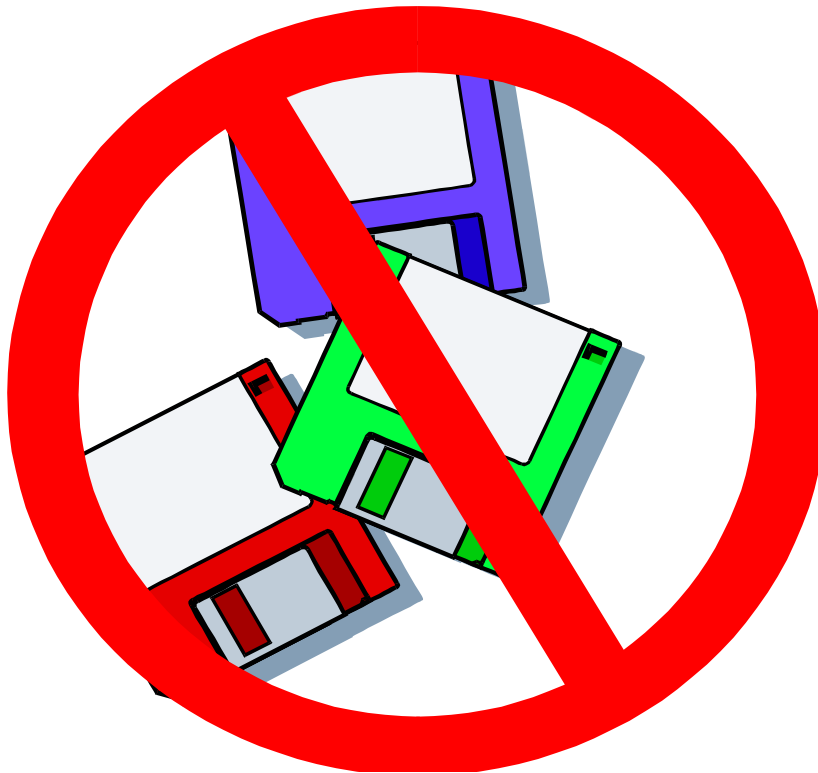


Apresentação

SEL 413 Telecomunicações

Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!



- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-413 Telecomunicações**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia aeronáutica.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

✓ Custo

- A380: USD 414 milhões; A320: USD 94 milhões

✓ Comprimento de cabos elétricos em

- Veículo terrestre automóvel caminhão: 4 a 10 km
- Helicóptero: 40 km
- Aeronaves como Airbus A380: ~500 km

✓ Aircraft on ground (AoG)

- Custo total de até USD 150000 por hora

✓ Padronização FAA (Federal Aviation Administration) e EASA (European Aviation Safety Agency)

- EWIS (Electrical Wiring Interconnection System)

Programa

calendários

critério de aprovação

Conjunto de disciplinas afins

A DISCIPLINA SEL413

Programa resumido

- ✓ Ondas eletromagnéticas
- ✓ Antenas
- ✓ Sistemas de comunicações
- ✓ Enlaces de rádio
- ✓ Comunicações via satélite
- ✓ Sistema de radares
- ✓ Compatibilidade eletromagnética

Programa completo (1)

✓ Ondas eletromagnéticas

- características; reflexão e transmissão; polarização; propagação em espaço livre: zonas de Fresnel, desvanecimento
- linhas de transmissão

✓ Antenas

- radiação eletromagnética
- características: impedância; ganho; diretividade; diagrama de radiação
- tipos

Programa completo (2)

✓ Sistemas de comunicações

- digitalização de sinais
- constituição básica
- modulação analógica e digital de sinais
- comunicações por fibra óptica: características de propagação, fontes, detectores

✓ Enlaces de rádio

- atenuação de percurso; equação de Friis
- ruído: figura de ruído, temperatura equivalente de ruído
- critérios de desempenho nos enlaces
- desempenho em transmissão digital: relação entre sinal, ruído e taxa de erros

Programa completo (3)

✓ Comunicação via satélite

- sistemas com satélites; órbitas; técnicas de acesso ao meio

✓ Sistemas de radares

- características: equação do radar; faixa de detecção
- desempenho e tipos

✓ Compatibilidade eletromagnética

- fontes de interferência; controle de interferências

Bibliografia

- ✓ William H. Hayt Jr e John A. Buck, [Eletromagnetismo](#), McGraw Hill-Artmed, 18ª edição, 2013, ISBN: 8580551536, ISBN-13: 9788580551532
- ✓ Simon Haykin e Michael Moher, [Sistemas de Comunicação](#), editora Bookman, 2011, ISBN: 8577807258, ISBN-13: 9788577807253
- ✓ Geraldo Gil Raimundo Gomes, [Sistemas de Radioenlaces Digitais: Terrestres e por Satélites](#), editora Érica, 2013, ISBN: 978-85-365-0447-6
- ✓ Gerard Maral, Michel Bousquet, Zhili Sun, [Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology](#), Wiley, 5ª edição, 2010, ISBN-10: 0470714581, ISBN-13: 978-0470714584
- ✓ Mark A. Richards, James A. Scheer e William A. Holm, [Principles of Modern Radar: Basic Principles](#), SciTech Publishing, 2010, ISBN-10: 1891121529, ISBN-13: 978-1891121524
- ✓ Henry W. Ott, [Electromagnetic Compatibility Engineering](#), Wiley, 2009, ISBN-10: 0470189304, ISBN-13: 978-0470189306

Disciplinas SEL-EESC

- ✓ SEL410 - **Eletricidade e Magnetismo**, 4 cr, 3º P
 - Eletricidade e magnetismo, circuitos elétricos, circuitos magnéticos e transformadores
- ✓ SEL411 – **Eletrônica**, 4 cr, 4º P
 - Componentes eletrônicos passivos/ativos; filtragem analógica; regulação de tensão; componentes optoeletrônicos; sensores e atuadores; sistemas eletrônicos de bordo
- ✓ SEL412 - **Tecnologia Digital**, 4 cr, 5º P
 - Circuitos combinacionais; dispositivos para lógica combinacional; circuitos sequenciais; organização de um microprocessador; programação de um microcontrolador; elementos de interfaceamento de microcontroladores; aplicações de microcontroladores em sistemas de aquisição de dados e automação
- ✓ SEL413 – **Telecomunicações**, 2 cr, 6º P

Algumas disciplinas SAA-EESC

- ✓ SAA208 - **Introdução aos Sistemas Espaciais**
 - sistema de controle de atitude, sistema elétrico, sistema de comunicações, comando e telemetria, processamento de dados
- ✓ SAA167 - **Princípios de Aviação e Navegação**
 - altímetro, velocímetro; circuitos eletroeletrônicos; sistemas de computadores; dispositivos de medida de altitude de voo, giroscópios e acelerômetros, princípios de operação; sistemas de navegação; GPS
- ✓ SAA168 - **Sistemas de Controle de Aeronaves I**
 - métodos convencionais de controle (tipos de controle). Análise e projeto de sistemas de controle; exemplos de sistemas de aumento de estabilidade longitudinal e de aviões
- ✓ SAA169 - **Sistemas de Controle de Aeronaves II**
 - Qualidades de voo e de manobras; análise e síntese de sistemas de controle de voo automáticos longitudinais e laterais (pilotos automáticos); exemplos de sistemas de controle de atitude, de trajetória, de aterrissagem

Calendários 2016

Calendário de Atividades						
AGOSTO						
DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			
SETEMBRO						
DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	
OUTUBRO						
DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					
NOVEMBRO						
DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			
DEZEMBRO						
DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10

Provas	
OUTUBRO	4 (P1)
NOVEMBRO	29 (P2)
DEZEMBRO	6 (PS); ver condições para a PS na Seção VI
Horário	3a. feira 8:10 às 10 h
Local	sala (consulte no site)

Entrega de Listas de Exercícios	
AGOSTO	30
SETEMBRO	27
OUTUBRO	25
NOVEMBRO	29

Material da disciplina em
<http://disciplinas.stoa.usp.br/>

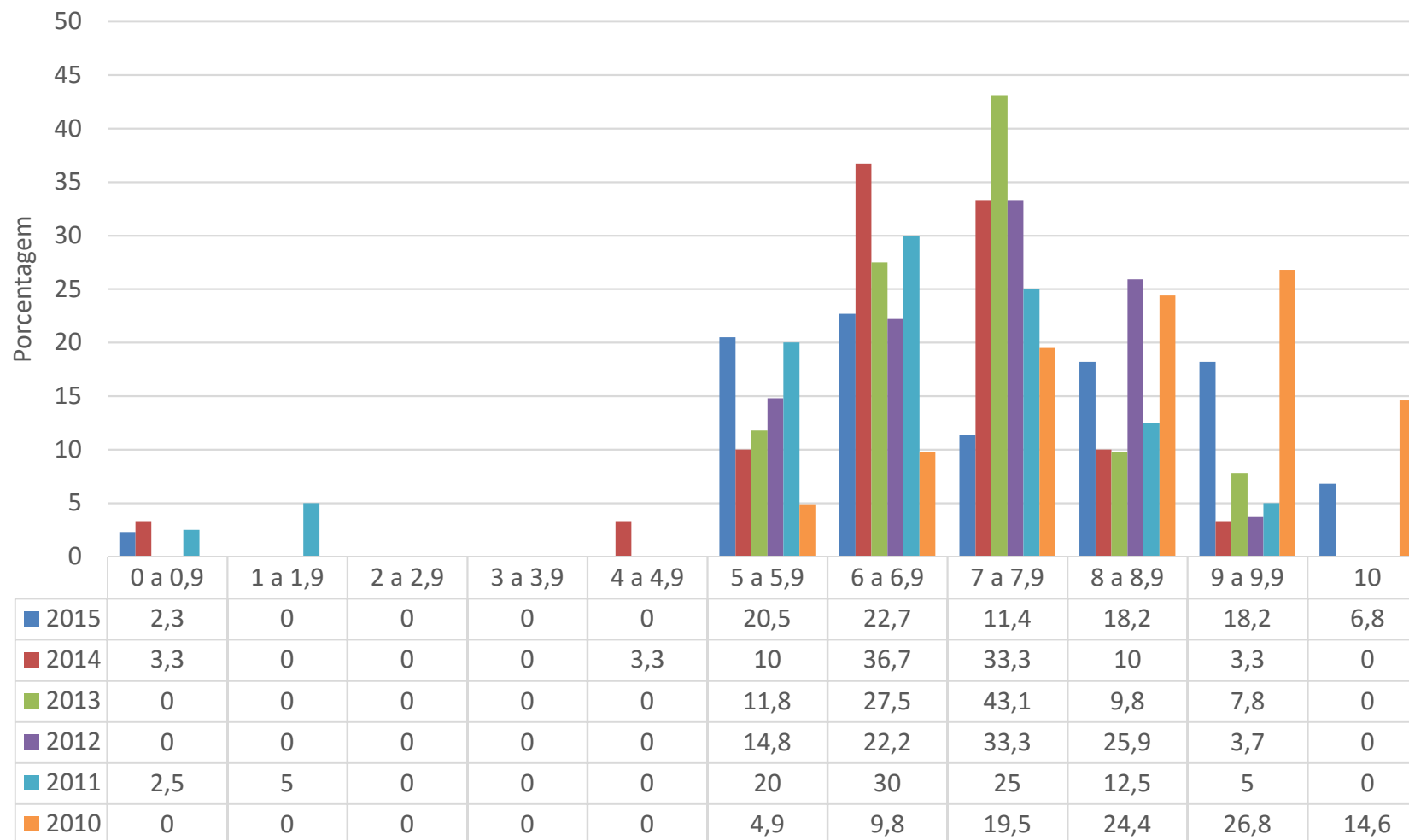
Critério de aprovação

✓ $MF = MP + Bônus$

- **MF**: média final
- **MP**: média aritmética das notas de 2 provas
- **Bônus**: acréscimo final na média com base no número de exercícios para casa entregue, de acordo com a distribuição:
 - 90 a 100%: 0,3
 - 70 a 89%: 0,2
 - 50 a 69%: 0,1

Aproveitamento 5 anos

Aproveitamento 5 anos - faixa de notas



Fonte: Júpiter USP

Avaliação de rendimento

Curso presencial

Revisão de provas

LEGISLAÇÃO USP

Legislação USP (1)

- ✓ *Seção V do RG-Da Avaliação do Rendimento Escolar*
 - *Artigo 81* - A avaliação do rendimento escolar do aluno será feita em cada disciplina em função de seu aproveitamento verificado em provas e trabalhos decorrentes das atividades previstas no § 1º do art. 65
 - § 1º - Fica assegurado ao aluno o direito de revisão de provas e trabalhos escritos, a qual deve ser solicitada ao próprio professor responsável pela disciplina em questão.
 - § 1º A - Da decisão do professor responsável pela disciplina cabe recurso para exame de questões formais ou suspeição, ao Conselho do Departamento ou órgão equivalente.
 - § 2º - A revisão de provas e trabalhos deverá ser feita na presença do aluno

Legislação USP (2)

- ✓ *Artigo 82* - É obrigatório o comparecimento do aluno às aulas e a todas as demais atividades previstas no § 1º do artigo 65

Legislação USP (3)

- ✓ **Artigo 83** - As notas variarão de zero a dez, podendo ser aproximadas até a primeira casa decimal

Legislação USP (4)

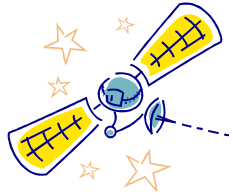
✓ *Artigo 84* - Será aprovado, com direito aos créditos correspondentes, o aluno que obtiver nota final igual ou superior a cinco **e tenha, no mínimo**, setenta por cento de frequência na disciplina

– www.leginf.usp.br

Faixas de frequências
Confinamento de energia eletromagnética
Meios dissipativos
Linhas de transmissão
Fibra óptica

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Faixas de frequências (IEEE)



Designação	Faixa (GHz)		
HF	0,003	-	0,03
VHF	0,03	-	0,3
UHF	0,3	-	1,0
banda L	1,0	-	2,0
banda S	2,0	-	4,0
banda C	4,0	-	8,0
banda X	8,0	-	12,0
banda Ku	12,0	-	18,0
banda K	18,0	-	27,0
banda Ka	27,0	-	40,0
milimétrica	40,0	-	300,0
sub-milimétrica		>	300,0

1 GHz
corresponde
a 10^9 Hz



Faixas de frequências altas

Faixa	Abrev.	Frequência e comprimento de onda (vácuo)	Exemplos de utilização
High	HF	3–30 MHz 100 m – 10 m	Shortwave broadcasts, citizens' band radio, amateur radio and over-the-horizon aviation communications, RFID, Over-the-horizon radar, Automatic link establishment (ALE) / Near Vertical Incidence Skywave(NVIS) radio communications, Marine and mobile radio telephony
Very high	VHF	30–300 MHz 10 m – 1 m	FM, television broadcasts and line-of-sight ground-to-aircraft and aircraft-to-aircraft communications. Land Mobile and Maritime Mobile communications, amateur radio, weather radio
Ultra high	UHF	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	Television broadcasts, microwave ovens, microwave devices/communications, radio astronomy, mobile phones, wireless LAN, Bluetooth, ZigBee, GPS and two-way radios such as Land Mobile,FRS and GMRS radios, amateur radio
Super high	SHF	3–30 GHz 100 mm – 10 mm	Radio astronomy, microwave devices/communications, wireless LAN, most modern radars, communications satellites, satellite television broadcasting, DBS, amateur radio
Extremely high	EHF	30–300 GHz 10 mm – 1 mm	Radio astronomy, high-frequency microwave radio relay, microwave remote sensing, amateur radio, directed-energy weapon, millimeter wave scanner
Terahertz ou Tremendously high	THz ou THF	300–3,000 GHz 1 mm – 100 µm	Terahertz imaging – a potential replacement for X-rays in some medical applications, ultrafast molecular dynamics, condensed-matter physics,terahertz time-domain spectroscopy, terahertz computing/communications, sub-mm remote sensing, amateur radio

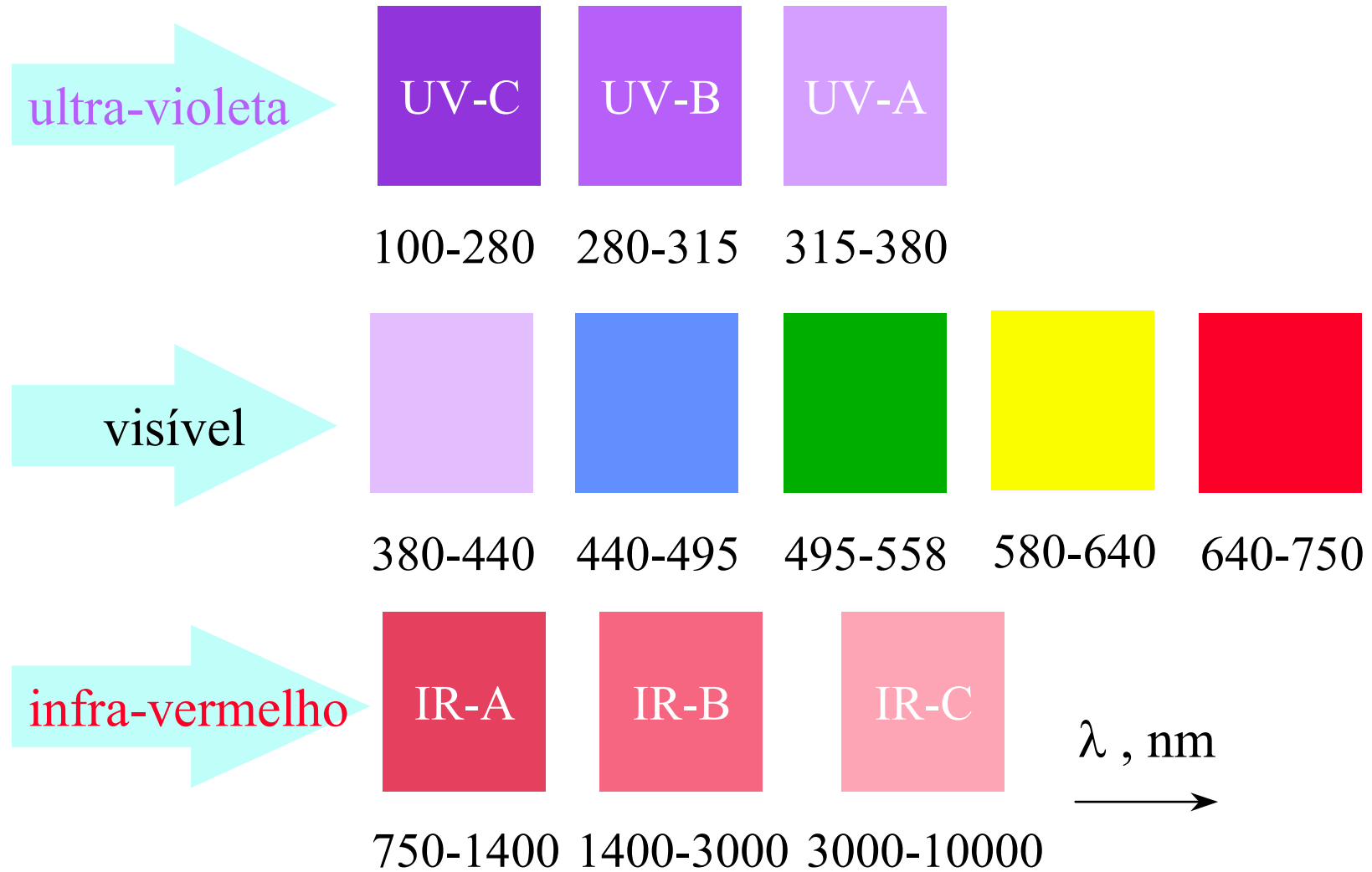
http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum ; www.radioreference.com/

Faixas de frequências baixas para comunicação

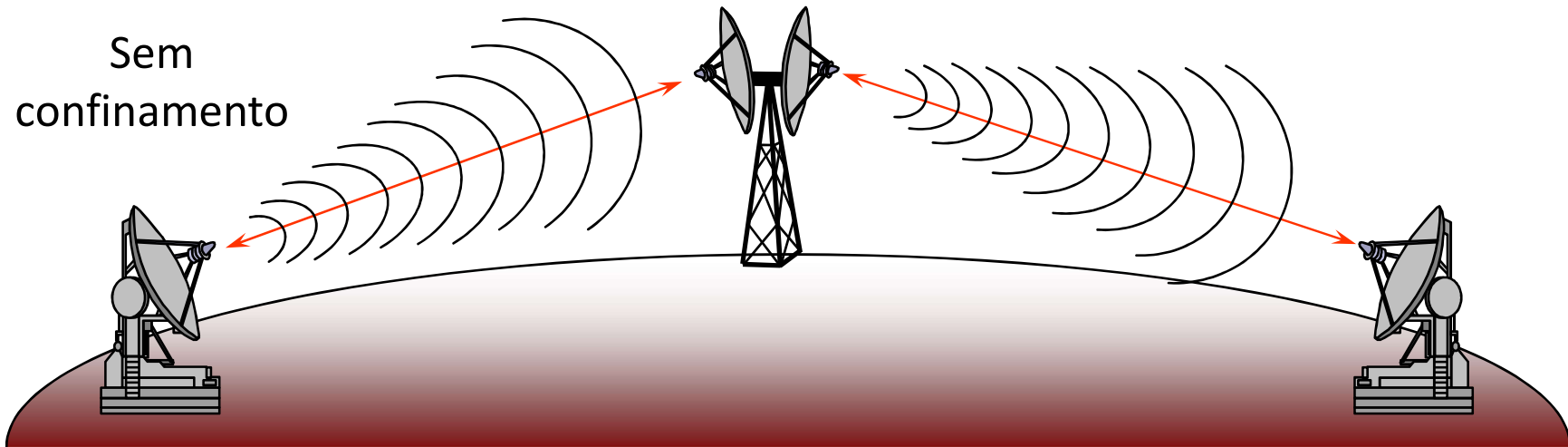
Nome da Faixa (Frequency)	Abreviação	Frequência e Comprimento de Onda (vácuo)	Exemplos de Utilização
Tremendously low	TLF	< 3 Hz > 100,000 km	Natural and artificial electromagnetic noise
Extremely low	ELF	3–30 Hz 100,000 km – 10,000 km	Communication with submarines
Super low	SLF	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km	Communication with submarines
Ultra low	ULF	300–3000 Hz 1000 km – 100 km	Submarine communication, Communication within mines
Very low	VLF	3–30 kHz 100 km – 10 km	Navigation, time signals, submarine communication, wireless heart rate monitors, geophysics

http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum

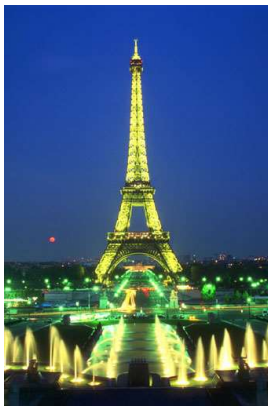
UV-Visível-IR



Transmissão de energia eletromagnética



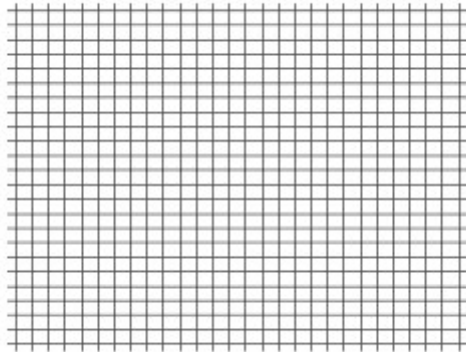
Confinada



Fibra óptica

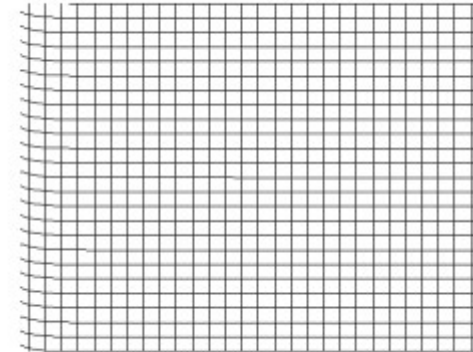


Ondas Longitudinal e Transversal



Onda longitudinal

http://en.wikipedia.org/wiki/Longitudinal_wave



Onda transversal

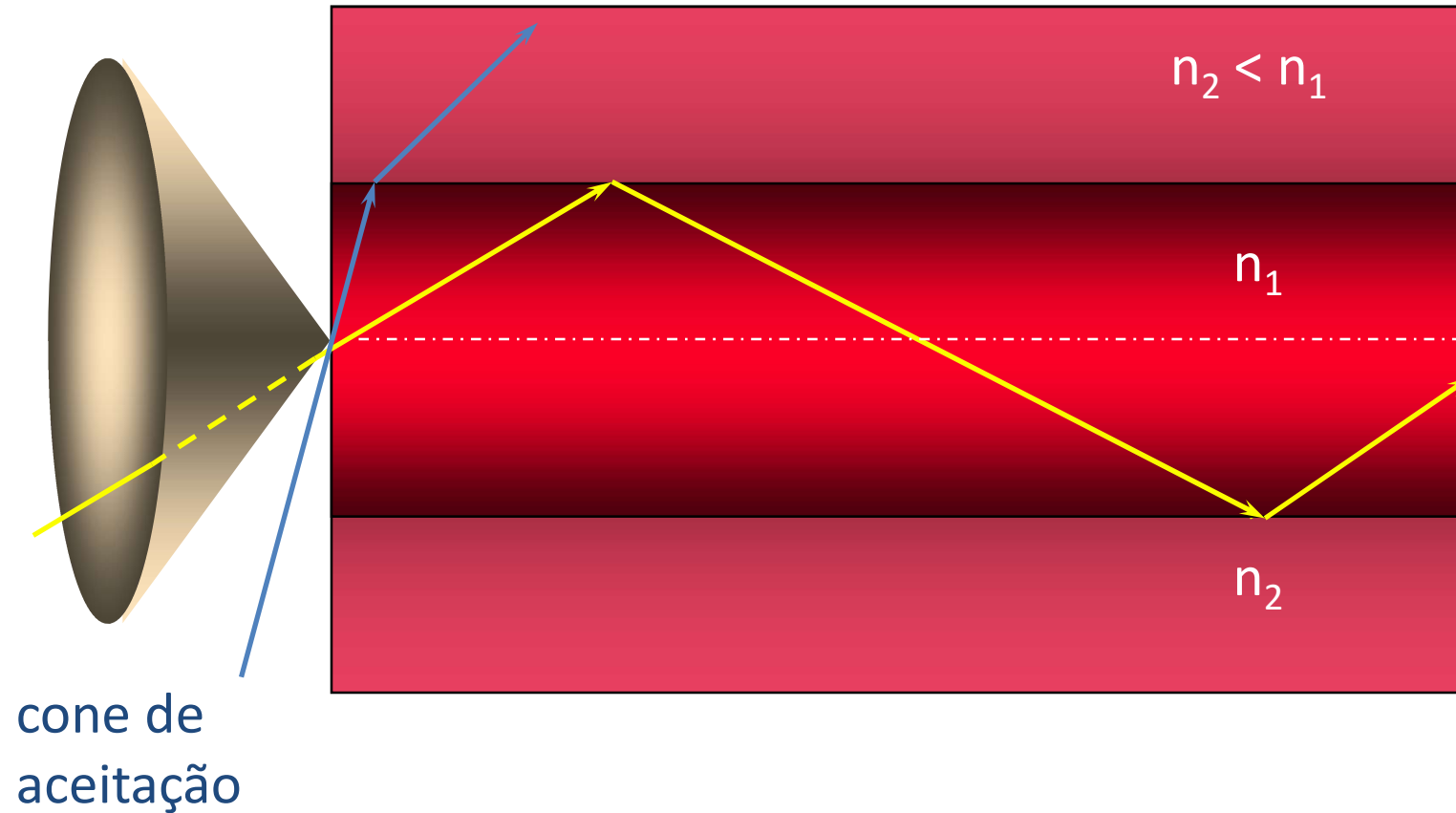
http://en.wikipedia.org/wiki/Transverse_wave

Fibra óptica

- ✓ Guia dielétrico
- ✓ Geometria cilíndrica
- ✓ Guiamento na direção do eixo
- ✓ Capacidade de informação depende da estrutura
- ✓ Atenuação reduzida
- ✓ Alta capacidade de transmissão de informação
- ✓ Dimensões reduzidas
- ✓ Baixo peso
- ✓ Imunidade a interferência eletromagnética
- ✓ Imunidade a diafonia (linha cruzada)
- ✓ Não gera interferências
- ✓ Proteção contra “grampos”
- ✓ Abundância de matéria prima (quartzo)



Cone de aceitação



Fibra óptica em aeronaves

Aircraft Family	A320	A330/A340	A380	A350
Cockpit Display System (CDS)			•	
Large displays (under development)				•
Head-Up Display (HUD)	•	•	•	•
On-board Airport Navigation System (OANS)	•	•	•	•
Taxi Aid Camera System (TACS)		•	•	•
Concentrator Multiplexing Video			•	
Network Server System/On-board Information System (NSS/OIS)				•
Cabin Video Monitoring System (CVMS)			•	
Cockpit Door Surveillance System (CDSS)			•	
In-Flight Entertainment (IFE)		•	•	•

Aircraft Family	A330/A340	A380
optical cable length (option dependent)	565 m	2.4 km

Ref.: www.airbus.com/support/publications/?eID=dam_frontend_push&docID=17475

ALP-365/EL Pinger Technical Specs

Specification	Description
Frequency	25-40 kHz in 0.5 kHz increments (user selectable)
acoustic output: re 1 μ Pa@1m (acoustic power)	162 dB (0.125W) 168 dB (0.5W) 174 dB (2W) 177 dB (5W)
Pulse length	4ms
Pulse repetition	User selectable: 2 pulse/sec; 1 pulse/sec; 1 pulse/2 sec
Housing	Aluminum
Weight in air	1.0 kg (2.25 lbs)
Dimensions	30.2 cm (11.88 in) length x 5.08 cm (2.0 in) diameter
Power source	Requires six 9V alkaline or six 9V lithium batteries (not included)
Battery life	Pulse repetition dependent: 0.125W: 60-78 days 9V alkaline; 135-180 days 9V lithium 0.5W: 30-60 days 9V alkaline; 60-135 days 9V lithium 2W: 9-30 days 9V alkaline; 18-60 days 9V lithium 5W: 3-12 days 9V alkaline; 6-24 days 9V lithium



0 dB: 20 μ Pa
Limiar auditivo (1 kHz)
1 Pa=1 N/m²

www.benthos.com/

Extra: Curiosidade

- ✓ Príncipe saudita Alwaleed Bin Talal pagou USD 500 milhões por A380 personalizado
 - ✓ Estacionamento para seu Rolls Royce
 - ✓ Sala de concertos com piano de cauda, com capacidade para 10 lugares e palco para entretenimento privativo
 - ✓ Sauna-SPA em mármore
 - ✓ A sala de estar completa com TVs de tela plana nas paredes e pisos
 - ✓ Cinco quarto com camas king size, banheiro privativo e chuveiros
 - ✓ 20 salas privadas pequenas
 - ✓ Elevador privativo que liga o quarto principal para a pista para entradas e saídas rápidas
 - ✓ Sala de reuniões com monitores holográficos
 - ✓ Sala de oração monitorada por computador com tapetes de oração que se ajustam automaticamente para a direção de Meca
- ✓ www.celebritynetworth.com/articles/entertainment-articles/saudi-princes-500-million-airbus-a380-blow-mind/

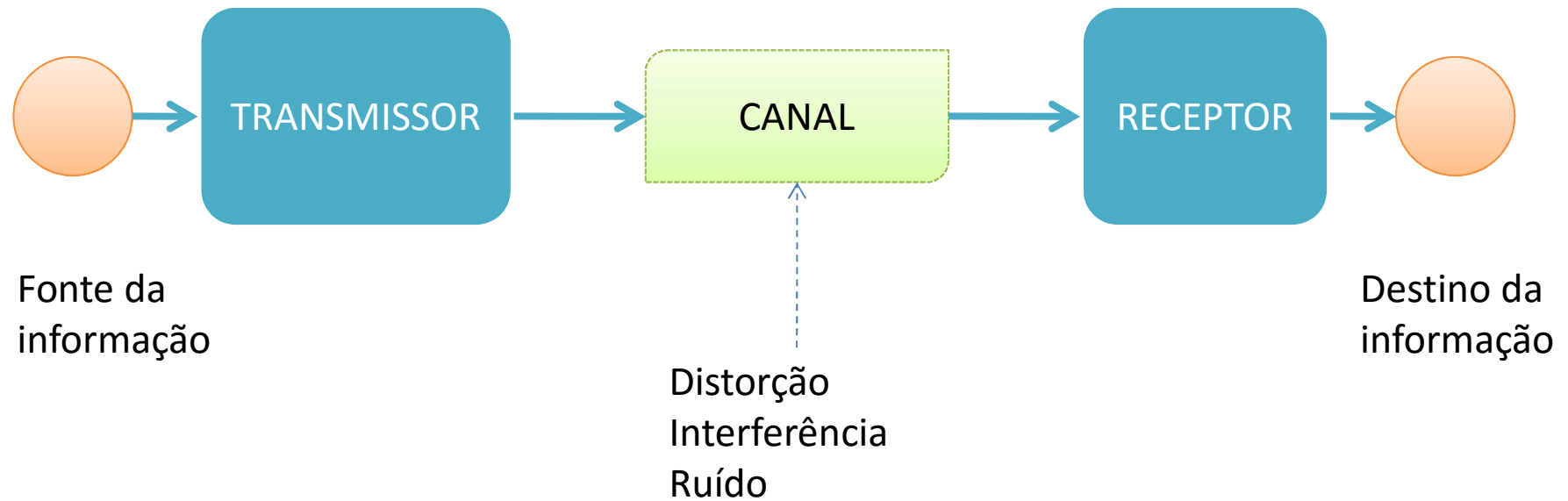
Propagação

Modulação

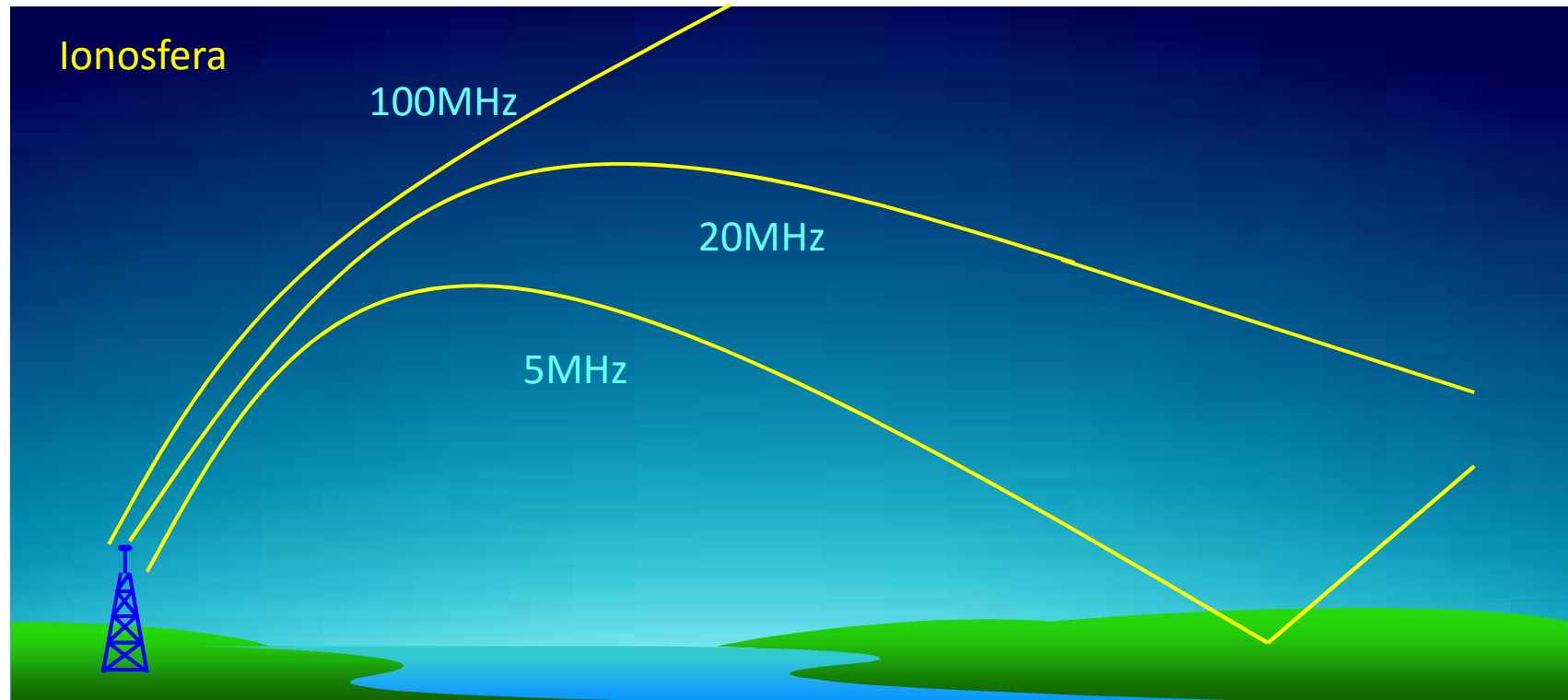
Protocolo

SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

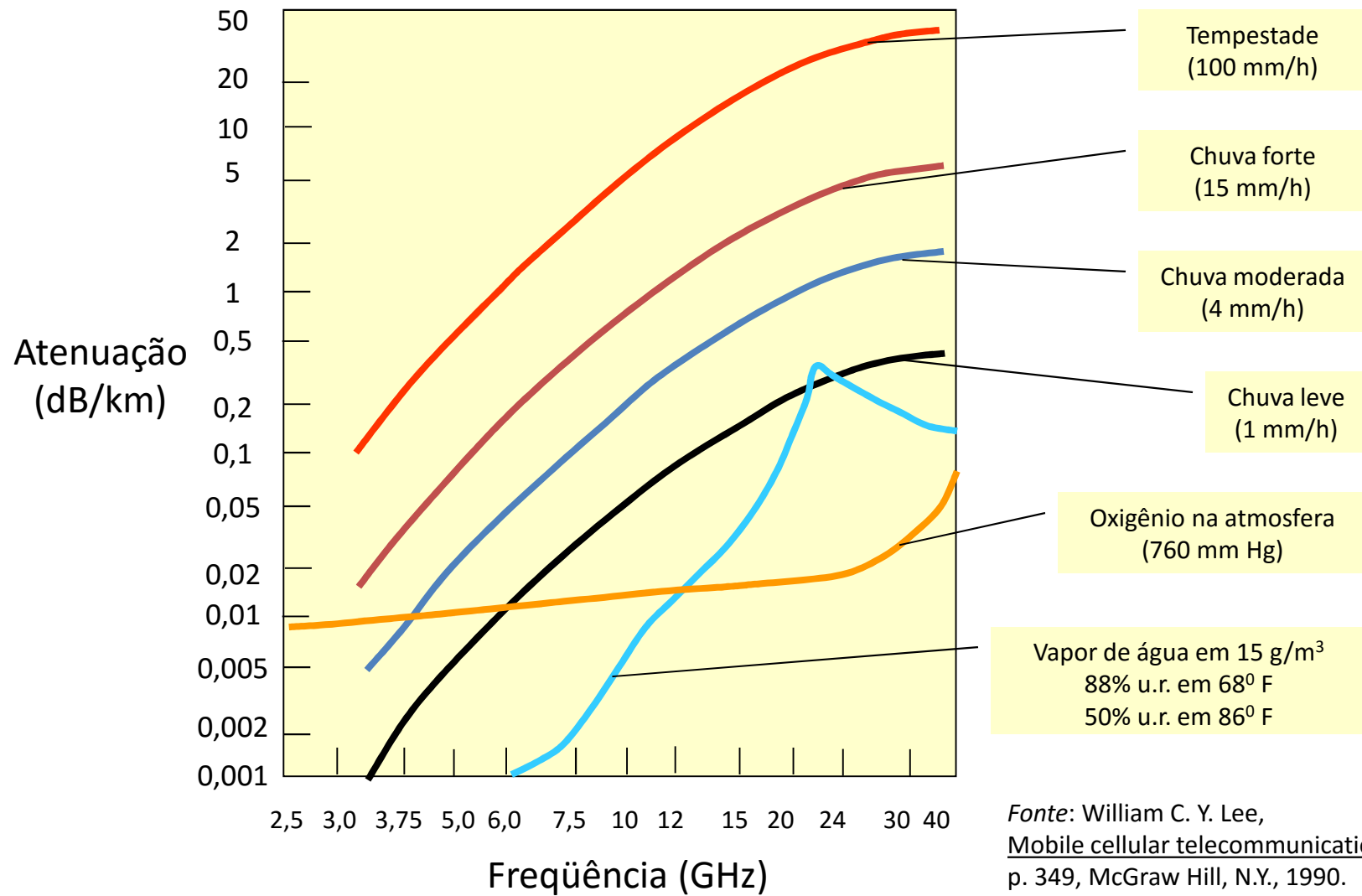
Sistema de comunicação



Propagação

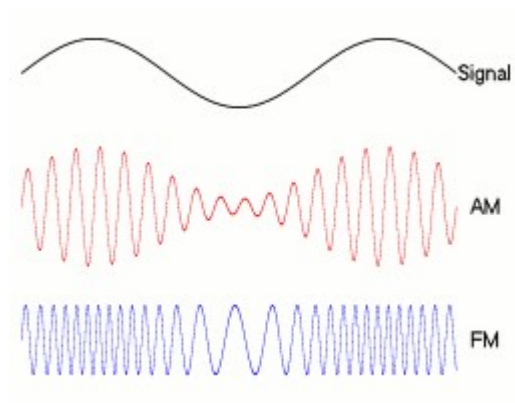


Absorção atmosférica



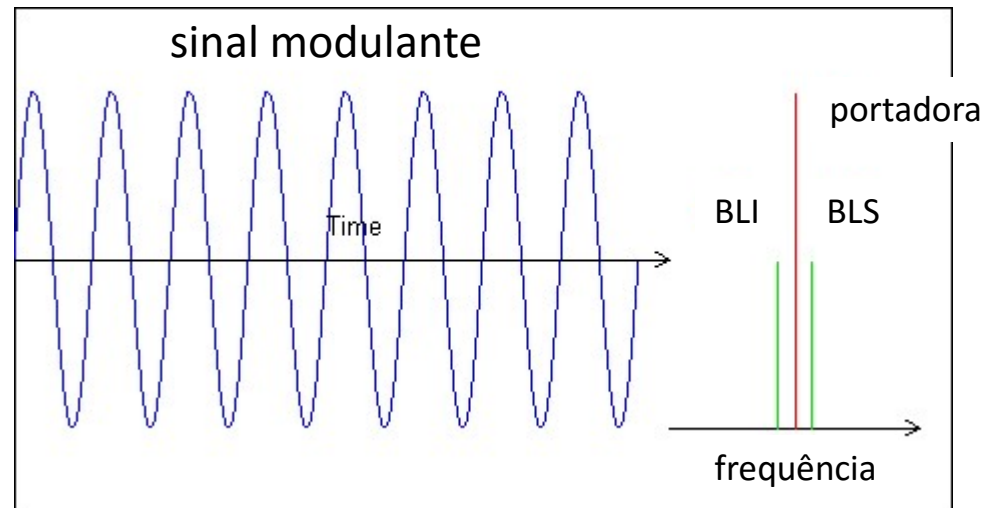
Fonte: William C. Y. Lee, *Mobile cellular telecommunications systems*, p. 349, McGraw Hill, N.Y., 1990.

Modulação AM e FM



<http://en.wikipedia.org/wiki/Modulation>

Modulação em amplitude (1)



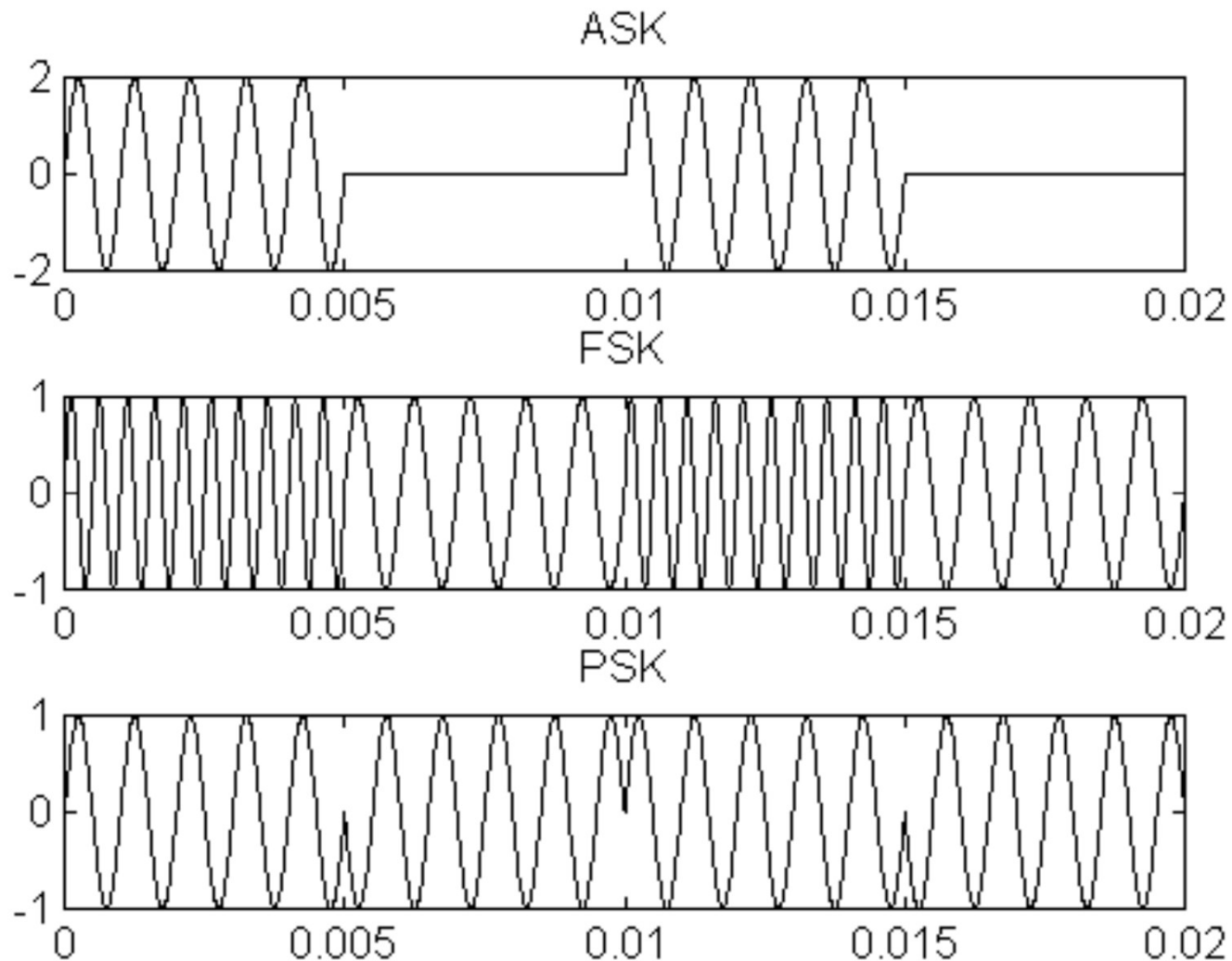
BLI: banda lateral inferior

BLS: banda lateral superior

http://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation

<http://demonstrations.wolfram.com/AmplitudeModulation/>

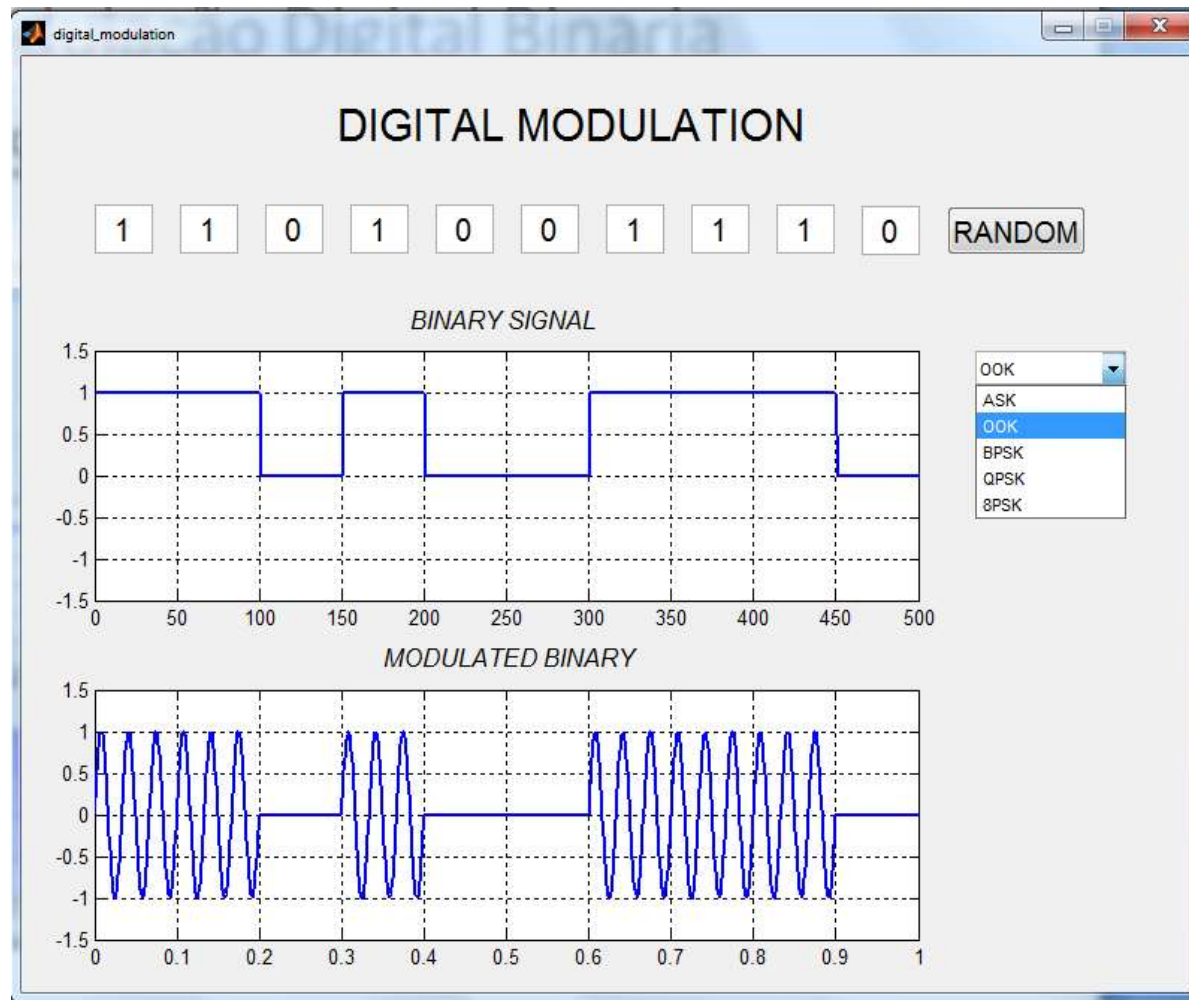
Modulação digital



ASK (amplitude-shift keying); **FSK** (frequency-shift keying); **PSK** (phase-shift keying)

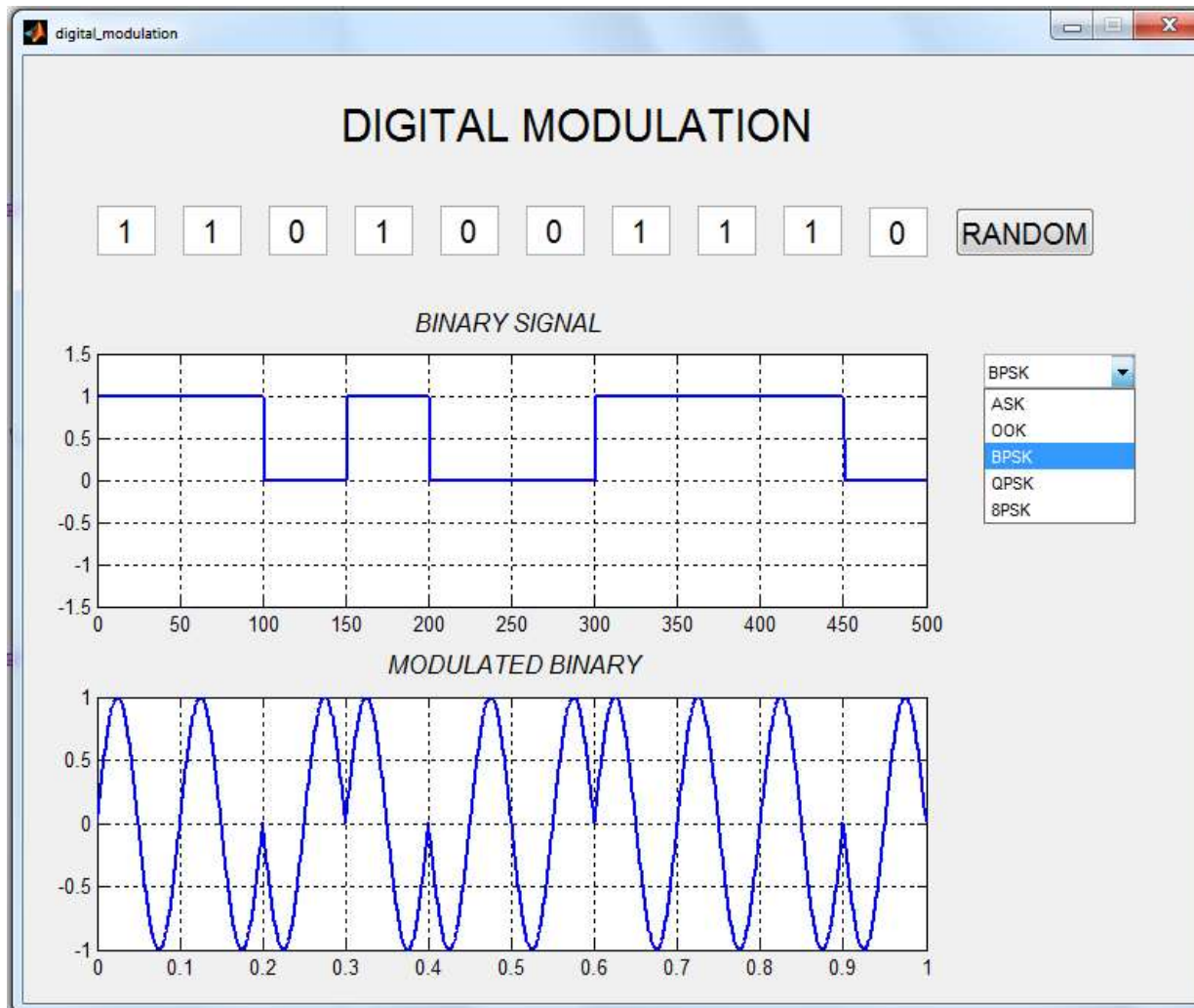
Amplitude-Shift Keying (ASK) (2)

On-Off Keying (OOK)



www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/14328-digital-modulation

Phase-Shift Keying (PSK)



www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/14328-digital-modulation

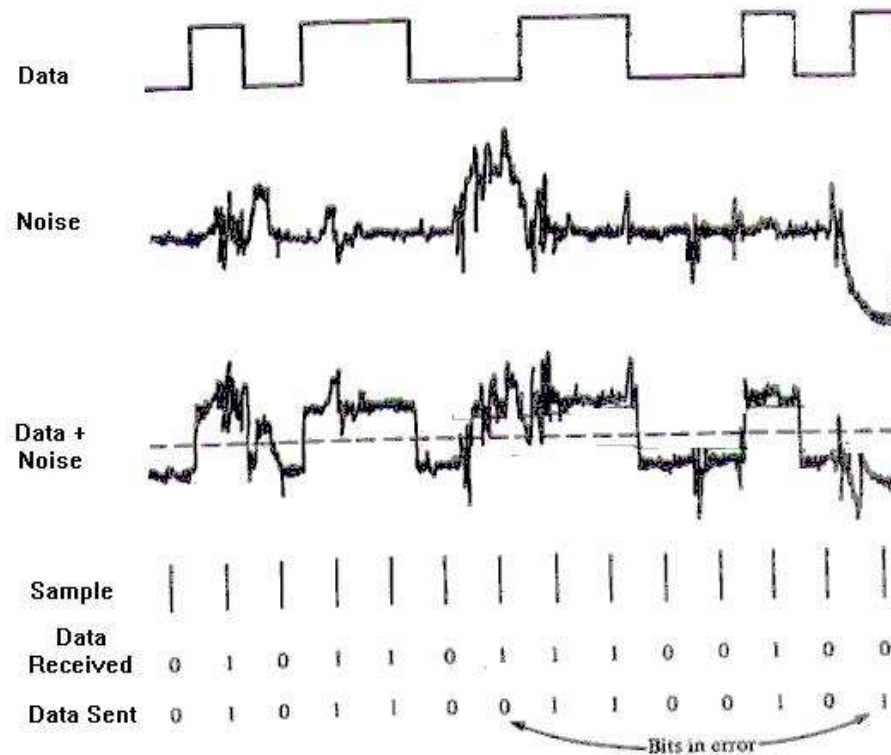
Protocolo

- ✓ ARINC (Aeronautical Radio, Incorporated)
 - Sede em Annapolis, Maryland, EUA
- ✓ ARINC 429
 - Especificação que define como os equipamentos devem se comunicar
 - Conexão por meio de fio e par trançado
 - Especificação define características elétricas e protocolos DITS (Digital Information Transfer System)
- ✓ ARINC 429 utiliza transmissão unidirecional
 - Palavra de 32 bits
 - Formato RZ bipolar
 - sobre par trançado
 - 12,5 a 100 kbps
- ✓ Utilização em
 - Airbus A310/A320; A330/A340, Bell Helicopters
 - Boeing 727, 737, 747, 757, 767, 777 (ARINC 629)
 - McDonnell Douglas MD-11



RUÍDO

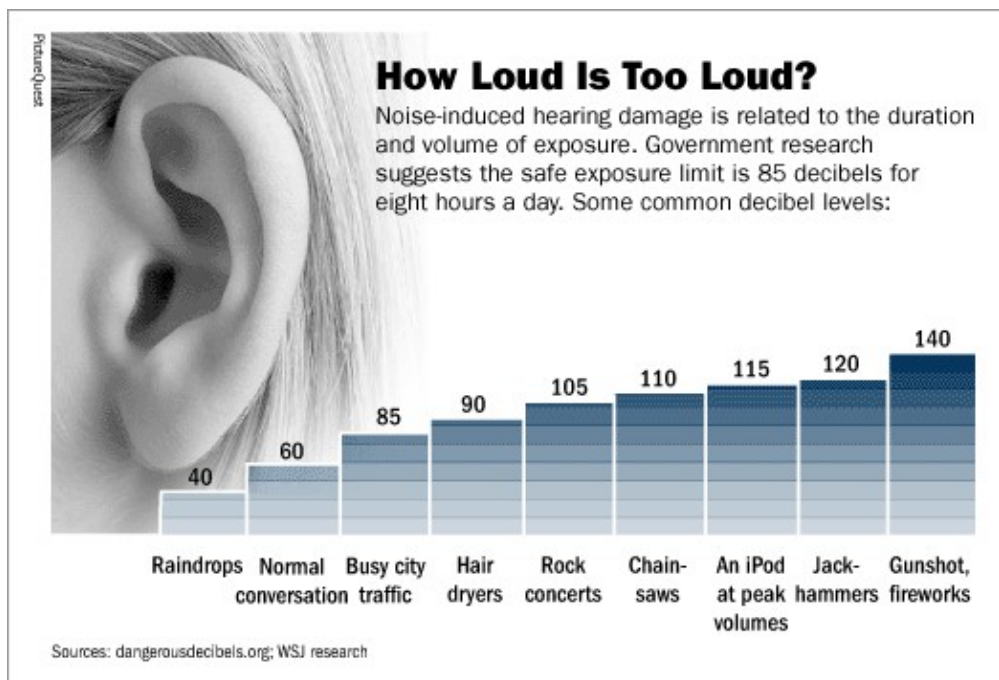
Efeitos do ruído



<http://davidwills.net/cmit265/Images/noise.jpg>

Si Wang, Ting-Zhu Huang, Xi-le Zhao, and Jun Liu, "An Alternating Direction Method for Mixed Gaussian Plus Impulse Noise Removal"
Abstract and Applied Analysis
v.2013 (2013), Article ID 850360,
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/850360>

Ruído acústico



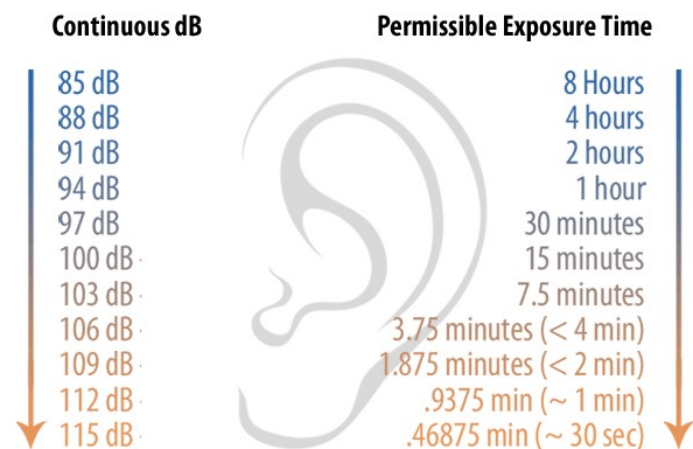
Sound pressure level (SPL)
20 μ Pa (1 kHz) limiar da audição humana

chainsaw: motosserra

Jackhammer: equipamento pneumático

“I’m Thinking. Please. Be Quiet”

www.protectear.com/2014/01/20/im-thinking-please-be-quiet/



www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/hearing_brochure.pdf (Hearing and noise in aviation)

www.dangerousdecibels.org/

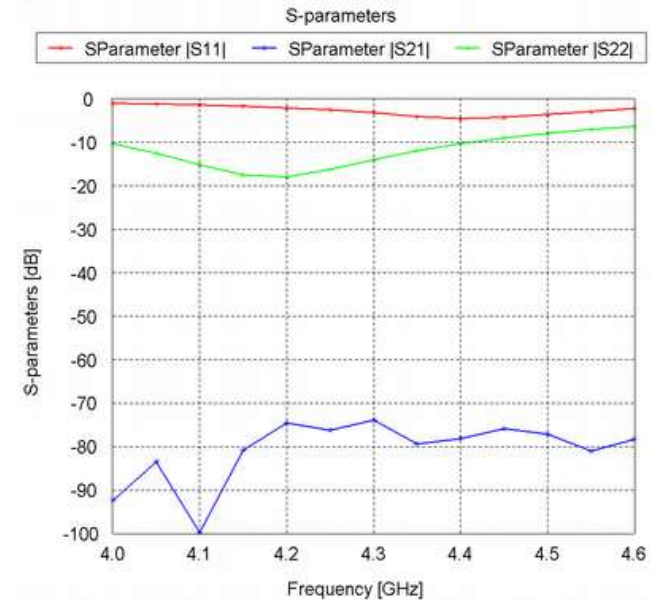
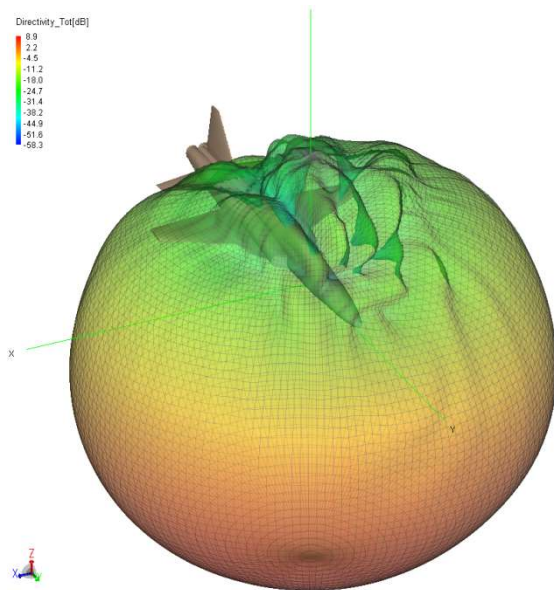
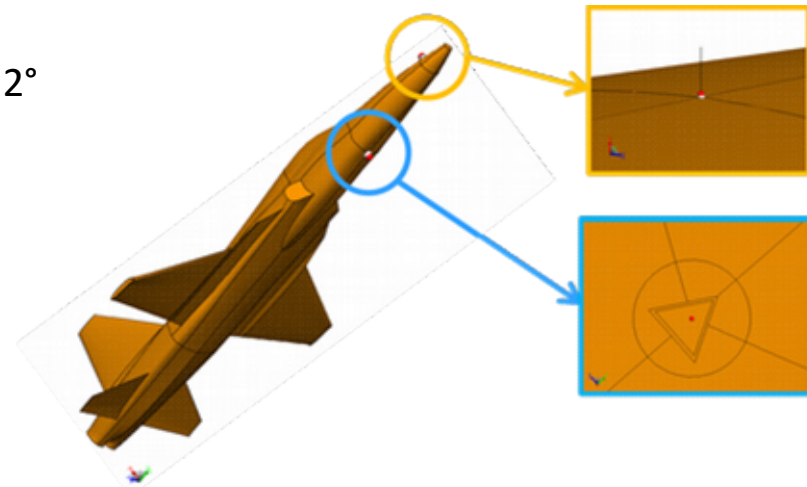
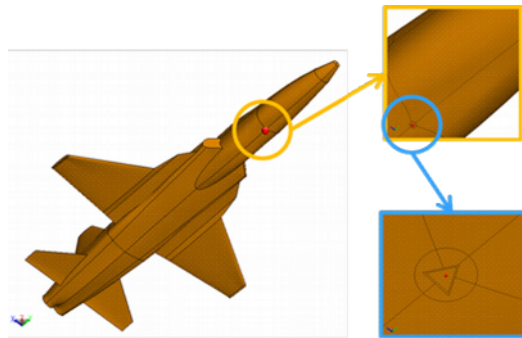
www.protectear.com/2012/04/23/types-of-noise-induced-hearing-problems/

www.asha.org/Publications/leader/2009/090811/f090811b.htm (Personal Music Players: Are We Measuring the Sound Levels Correctly?)

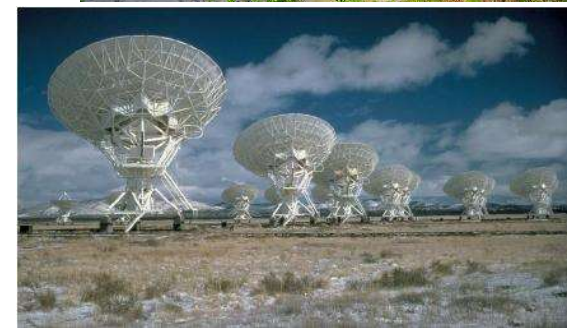
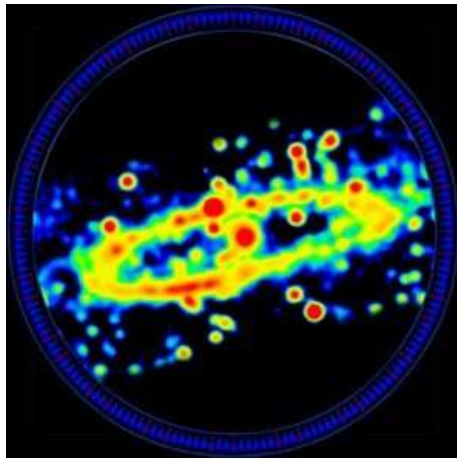
ANTENAS

Antena patch triangular em fuselagem

Frequência central: 4,3 GHz; Ganho: 9 dBi
E-plane beam width: 88 °; H-plane beam width: 52°



Radioastronomia



NASA's Deep Space Network 70 metros



Goldstone, California; www.nasa.gov/topics/technology/features/dsn20100714.html

Antena para comunicação de voz e dados

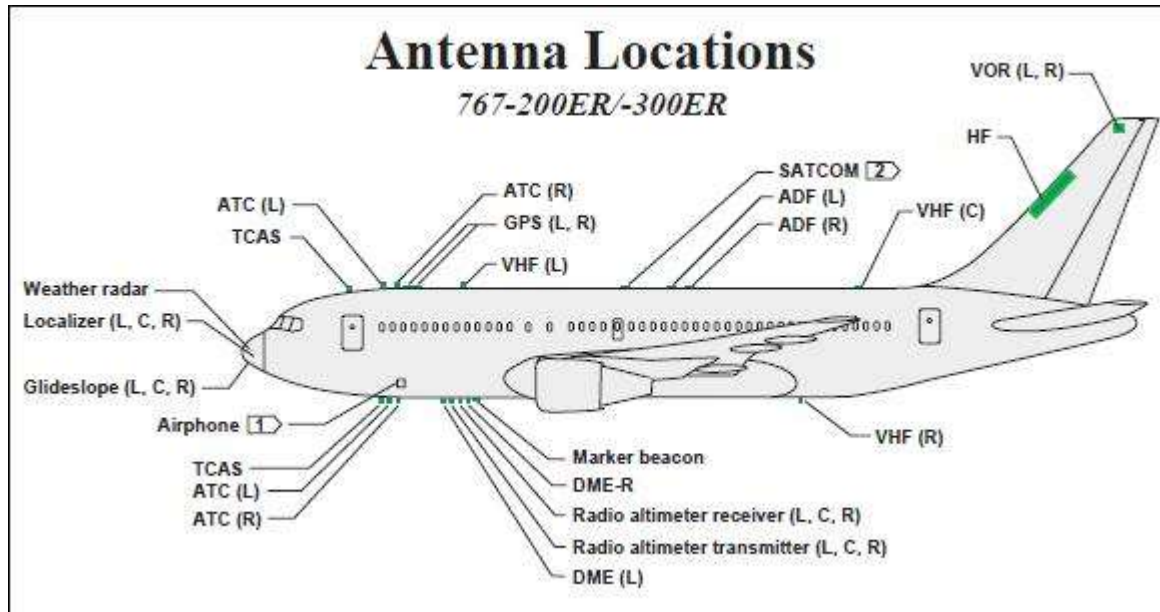


Esterline  **CMC Electronics**

MONTREAL • OTTAWA • CHICAGO • www.cmcelectronics.ca

- ✓ Serviço
 - ✓ Inmarsat
 - ✓ Voz e dados até 432 kbps
 - ✓ Compatibilidade ARINC 781
- ✓ Frequências
 - ✓ Recepção: 1525 a 1559 MHz
 - ✓ Transmissão: 1626,5 a 1660,5 MHz
- ✓ Cobertura
 - ✓ Entre 12 e 17 dBi sobre 90%
 - ✓ Mínimo de 9 dBi sobre 100%
- ✓ Polarização
 - ✓ Circular à direita
- ✓ Aerodinâmica
 - ✓ Penalidade combustível: 0,04%
- ✓ Certificação A330 e A340

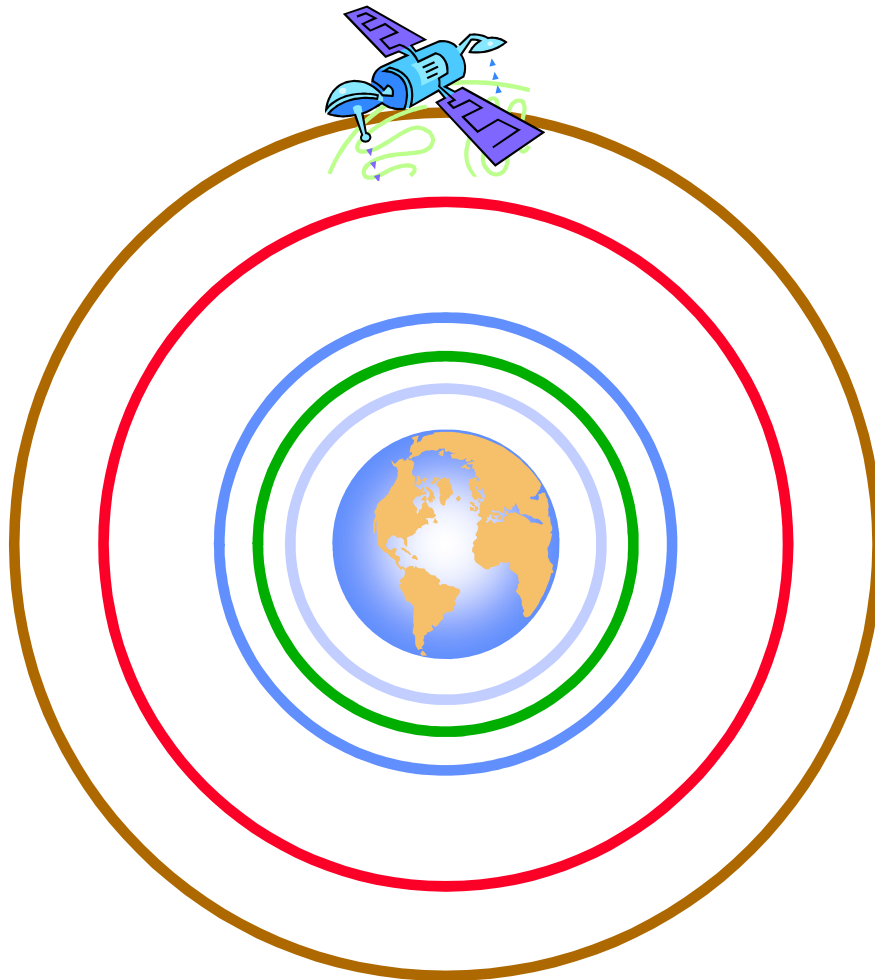
Antenas e localização



- DME: Distance measuring equipment
- VOR: VHF omnidirectional range
- ATC: Air traffic control
- ADF: Automatic direction finder
- TCAS: Traffic collision avoidance system

COMUNICAÇÃO VIA SATÉLITE

Consórcios de satélites



IRIDIUM - 780 km

GLOBALSTAR - 1.414 km

ECCO† - 2.000 km

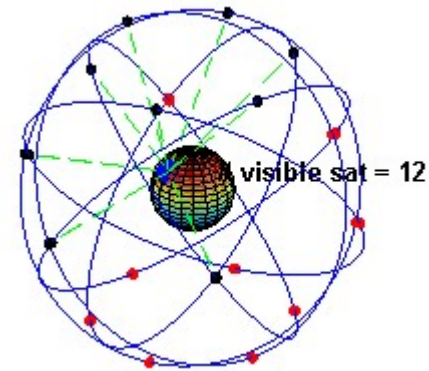
ELLIPSO† - 7.800 - km

INMARSAT - 10.300 km

ODISSEY† - 10.354 km

GPS constelação

Band	Frequency (MHz)
L1	1575.42
L2	1227.60
L3	1381.05
L4	1379.913
L5	1176.45

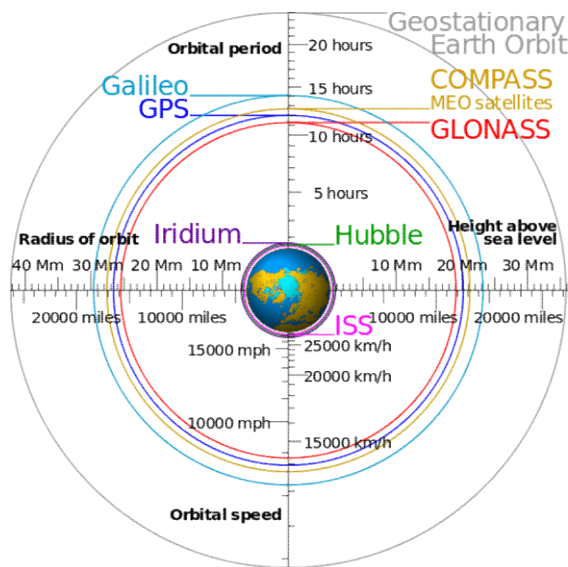


Exemplo com 24 satélites

Atualmente, 31 satélites

Órbita 20.200 km

Tempo 11 horas e 58 minutos



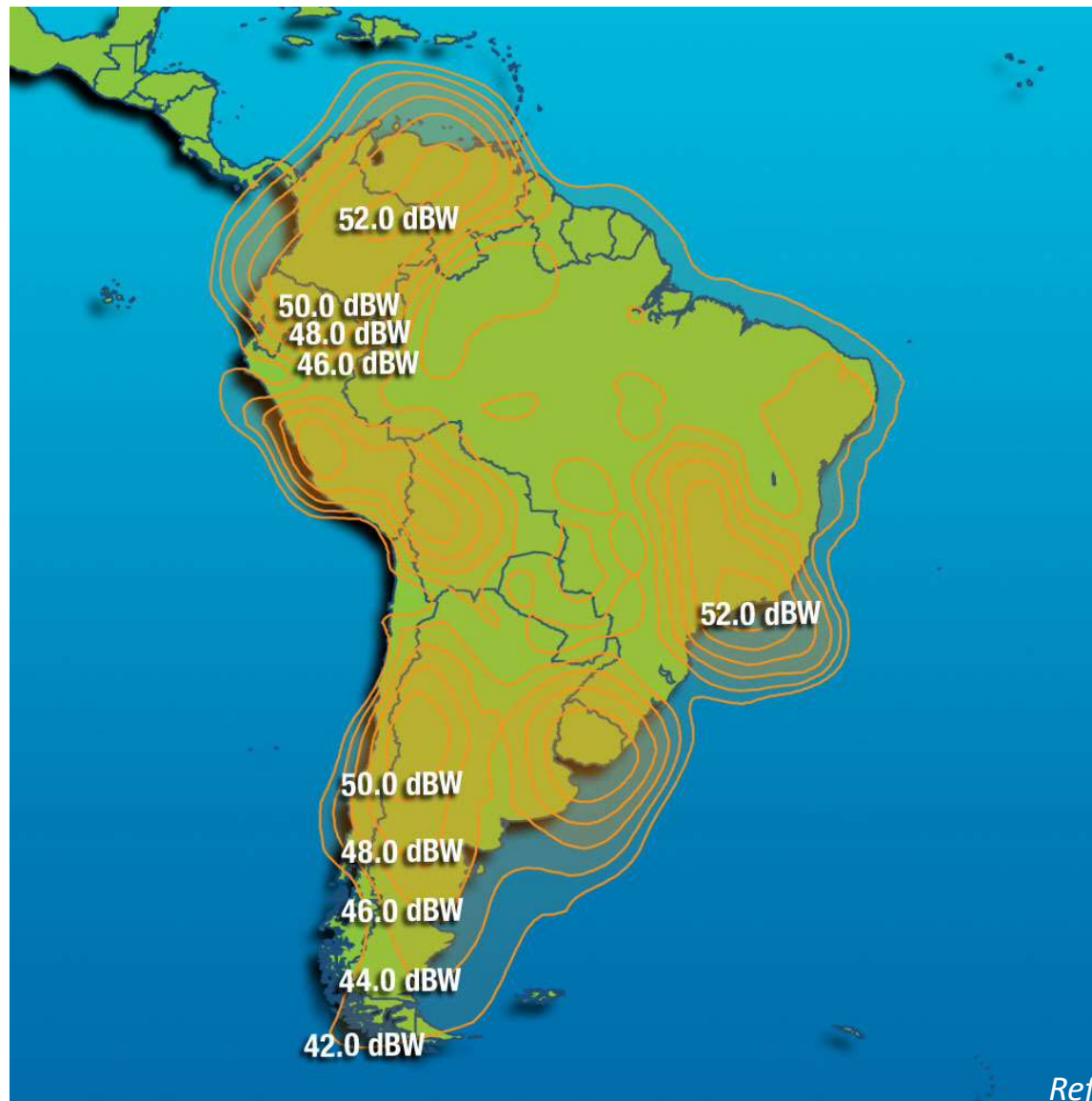
Ref.: http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

Intelsat: mapa de cobertura



Mapa interativo: <http://exnetapps.intelsat.com/flash/coverage-maps/index.html>

Intelsat IS-1R at 310° E Ku-band South America Beam (2)



Ref. www.intelsat.com

TCAS

ILS

Radar

ADS-B

EQUIPAMENTOS

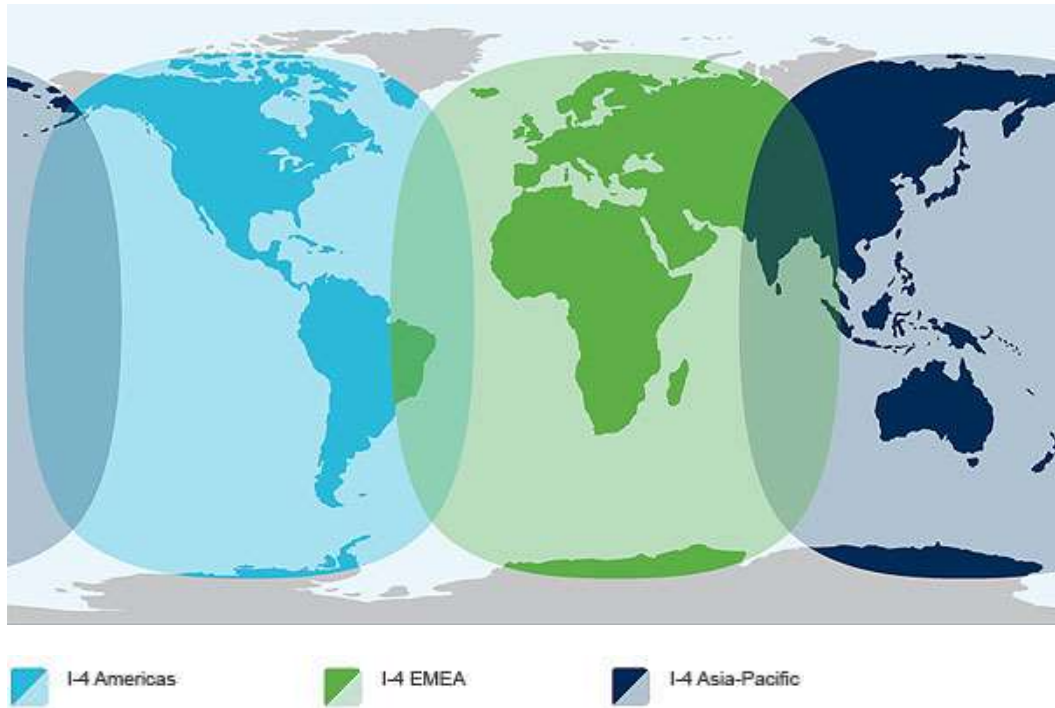
OnAir

- ✓ Inmarsat
- ✓ Global System for Mobile Communications (GSM) and General Packet Radio Service (GPRS)
- ✓ IP data até 432kbps
- ✓ IP data streaming sob demanda 32, 64 e 128kbps (largura de faixa dedicada)
- ✓ Telemedicina
- ✓ Conexão a partir de 4 km de altura
- ✓ Desconexão automática em decolagem e pouso
- ✓ Voos de longa distância: rede Wifi a bordo



- ✓ Picocélula a bordo
- ✓ Central de comutação a bordo
- ✓ Interconexão com serviços em terra
- ✓ No Brasil
 - Airbus A21
- ✓ www.onair.aero

Inmarsat SwiftBroadband-cobertura



- ✓ 3 constelações
- ✓ 11 satélites
- ✓ Órbita geoestacionária (37,786 km)

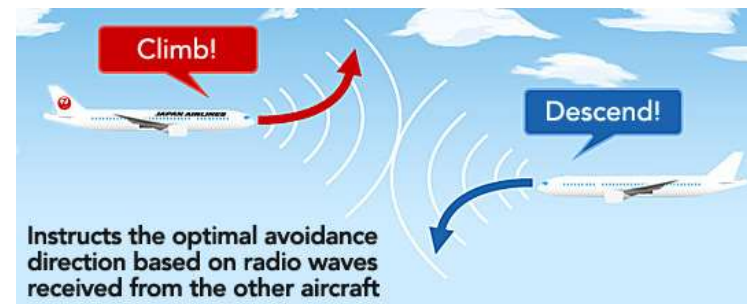
The TopFlight satcom establishes a new level of performance for making and receiving voice calls, SMS text messaging, e-mails or surfing the web with personal electronic devices, passing data over Inmarsat SwiftBroadband. SwiftBroadband is being used as the backbone for the cell phone/GSM in aircraft solutions - these are being developed by AeroMobile and OnAir for both data and voice usage. These solutions will allow passengers to use their own devices to make phone calls, text messages and emails.

www.inmarsat.com/services/swiftbroadband

TCAS

- ✓ Traffic collision avoidance system (TCAS) ou traffic alert and collision avoidance system
 - Interrogação em 1030 MHz e resposta em 1090 MHz
 - 2 antenas
 - Pacotes de comprimento 26/64 bits
 - Largura de faixa 1 Mbps

www.jal.com/en/flight/Safety/equipment/tcas.html



Instrument Landing System (ILS)-1

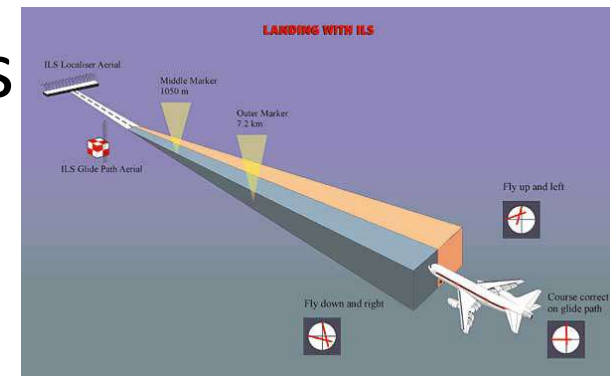
✓ Instrument Landing System (ILS)

- Diferença de profundidade de modulação
- 2 frequências de modulação: 90 e 150 Hz
- Taxa: 0,145 % por metro

✓ Frequências

- Localizer: 108,1-111,95 MHz
- Glide Slope: 329,15-335,0 MHz

✓ Arranjo de antenas direcionais

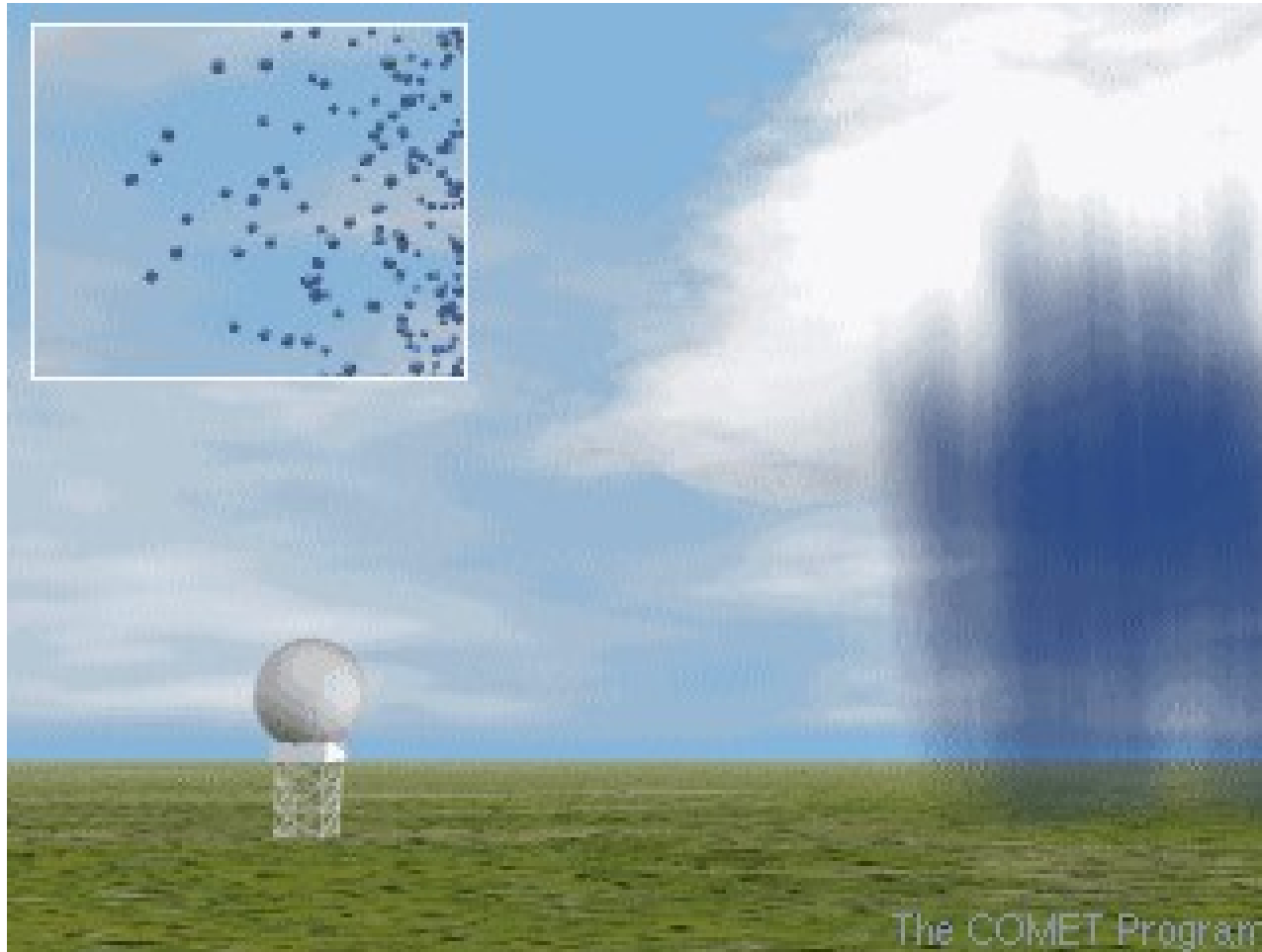


Instrument Landing System (ILS)-2



108,10 MHz a 111,95 MHz

Radar meteorológico



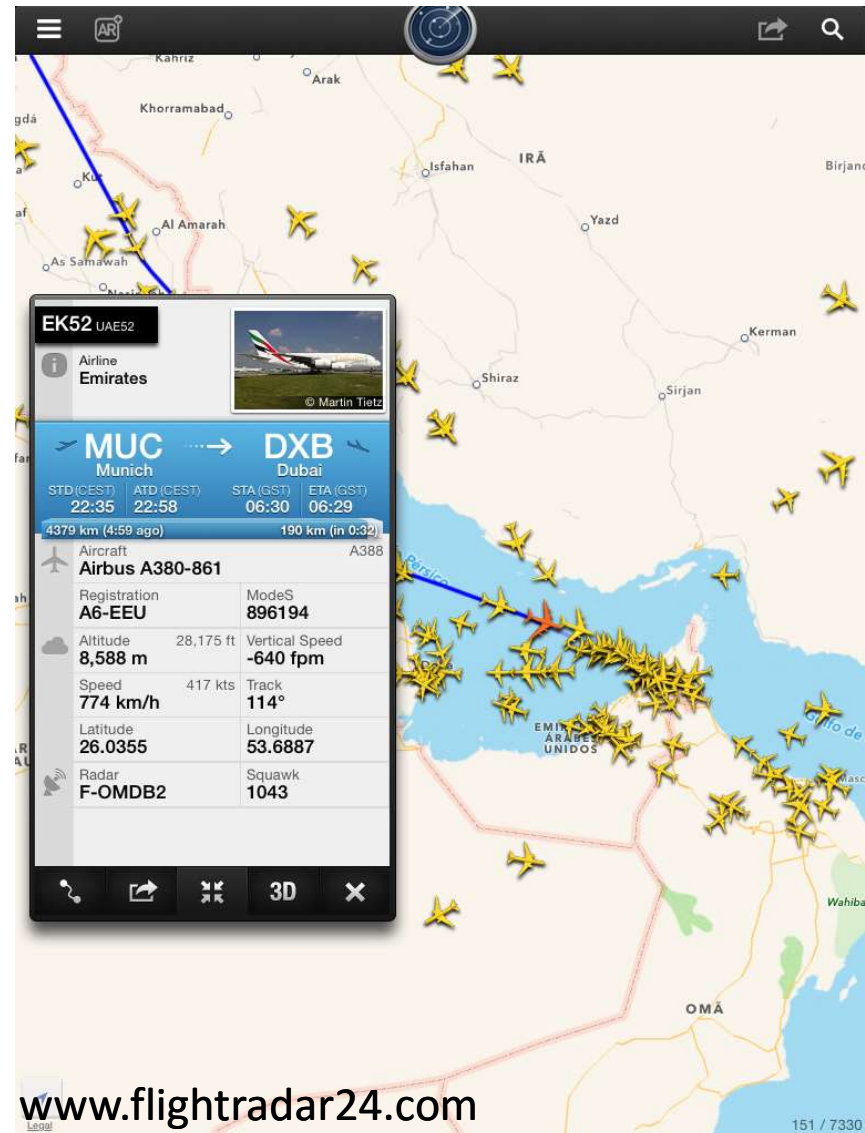
Automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B)

- ✓ Localização via GPS
- ✓ Transponder ADS-B nas aeronaves transmitem a localização (e outras informações)
- ✓ Atualmente, 60% das aeronaves de passageiros são equipadas com ADS-B
- ✓ 2 frequências: 1090 MHz e 978 MHz
- ✓ Cobertura dos receptores: 250 a 400 km



Ref.: www.flightradar24.com ; www.flightradar24.com/how-it-works
http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_dependent_surveillance-broadcast

ADS-B: Exemplo



www.flightradar24.com

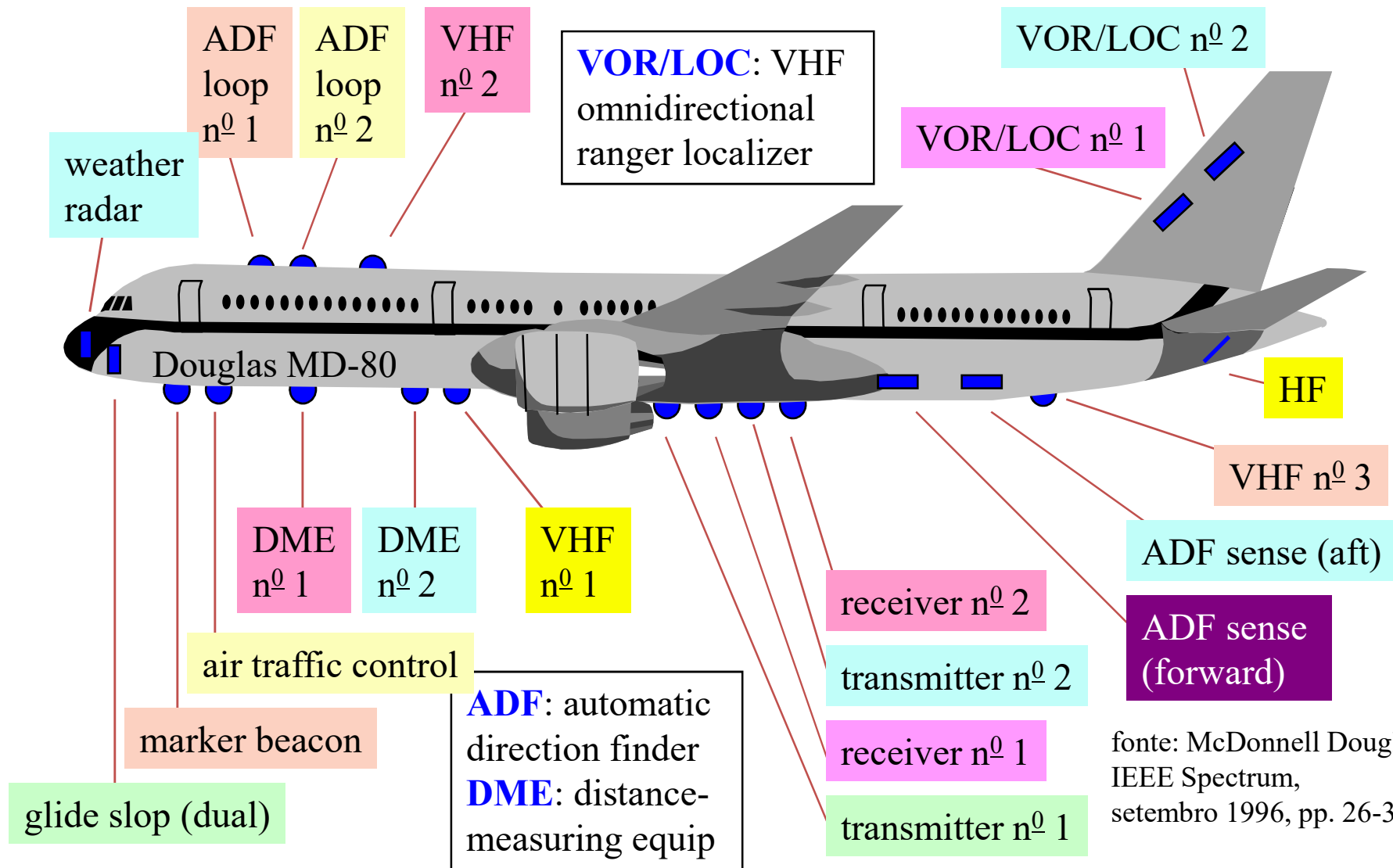
COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

EMC e EMI

- ✓ **Compatibilidade Eletromagnética (EMC)**
 - Habilidade de um dispositivo ou sistema de funcionar sem erro no ambiente eletromagnético no qual é instalado

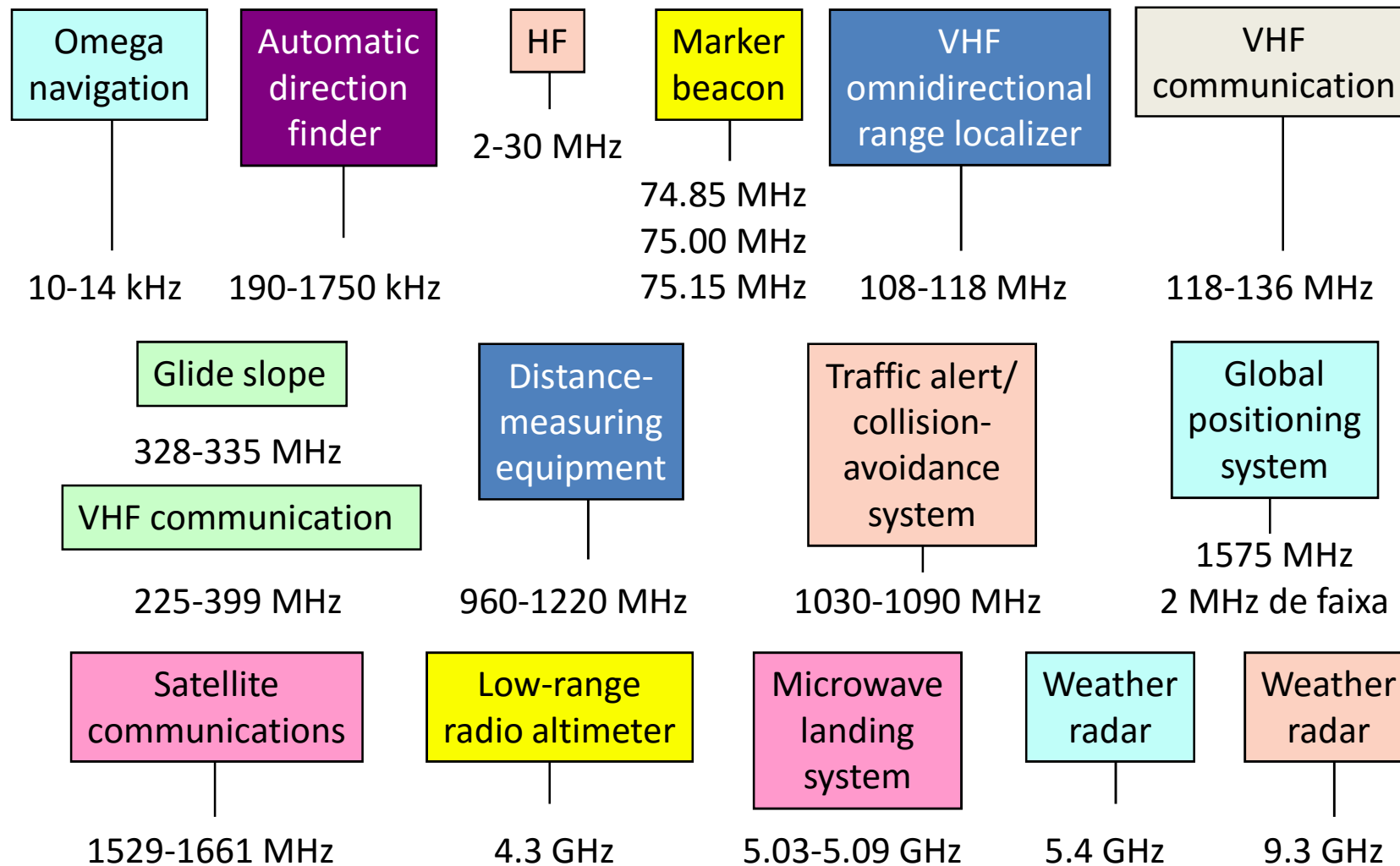
- ✓ **Interferência Eletromagnética (EMI)**
 - Emissão eletromagnética de um dispositivo ou sistema que interfere com a operação normal de outro dispositivo ou sistema; acoplamento de sinal

Instrumentos de navegação do MD-80



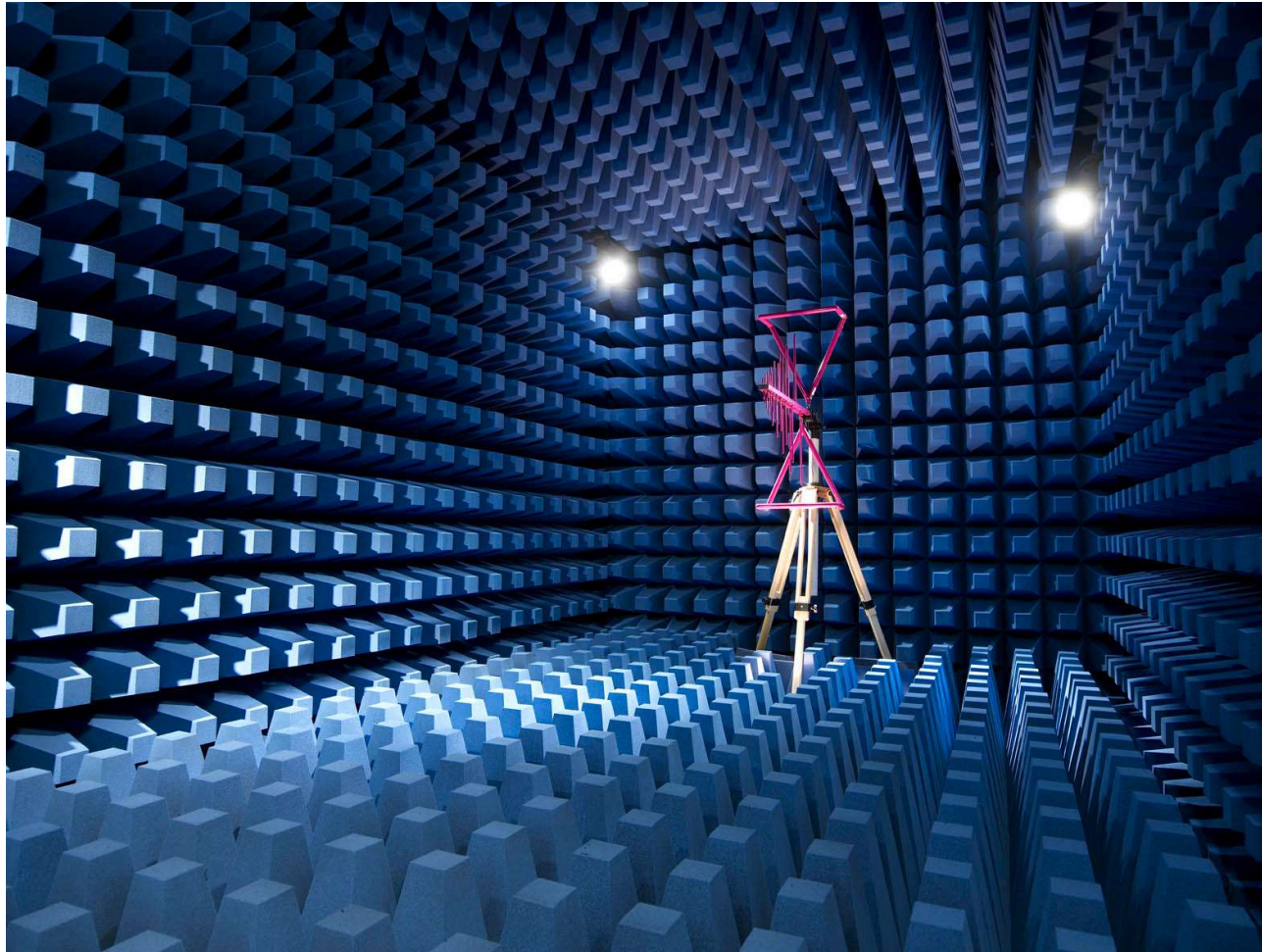
fonte: McDonnell Douglas; IEEE Spectrum, setembro 1996, pp. 26-33

Exemplo de Espectro eletromagnético em aviação



fonte: Boeing Commercial Airplane Group; IEEE Spectrum, setembro 1996, pp. 26-33

Câmara anecóica



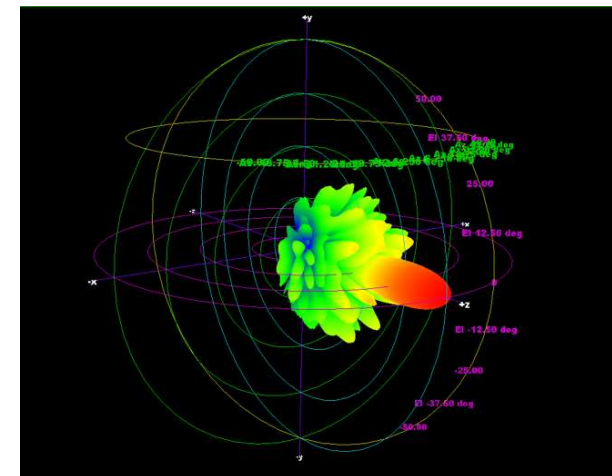
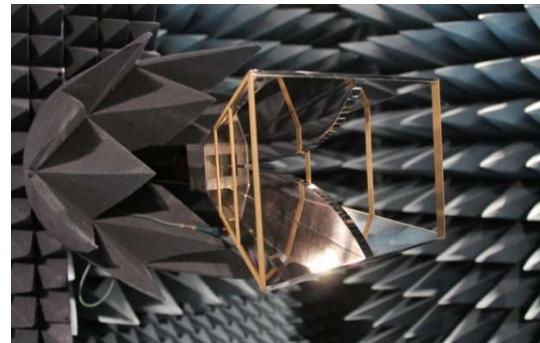
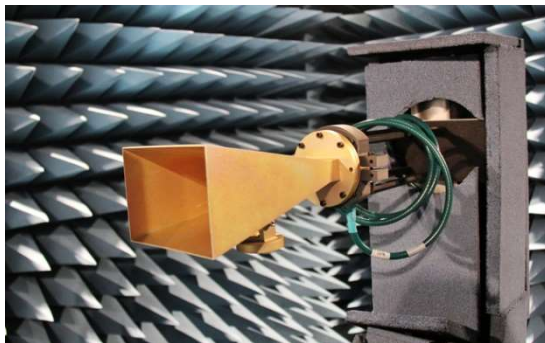
www.vialite.com/antennas_overview.php

Câmara anecóica de RF



Hércules AC-130J posicionado na câmara anecóica da empresa Benefield Anechoic Facility para teste de radar instalado na aeronave.

<http://air-attack.com/images/single/640/A-C-130J-Hercules-is-positioned-in-the-chamber-of-the-Benefield-Anechoic-Facility.html>



Equipamento de transmissão e recepção na faixa 900 MHz a 40 GHz

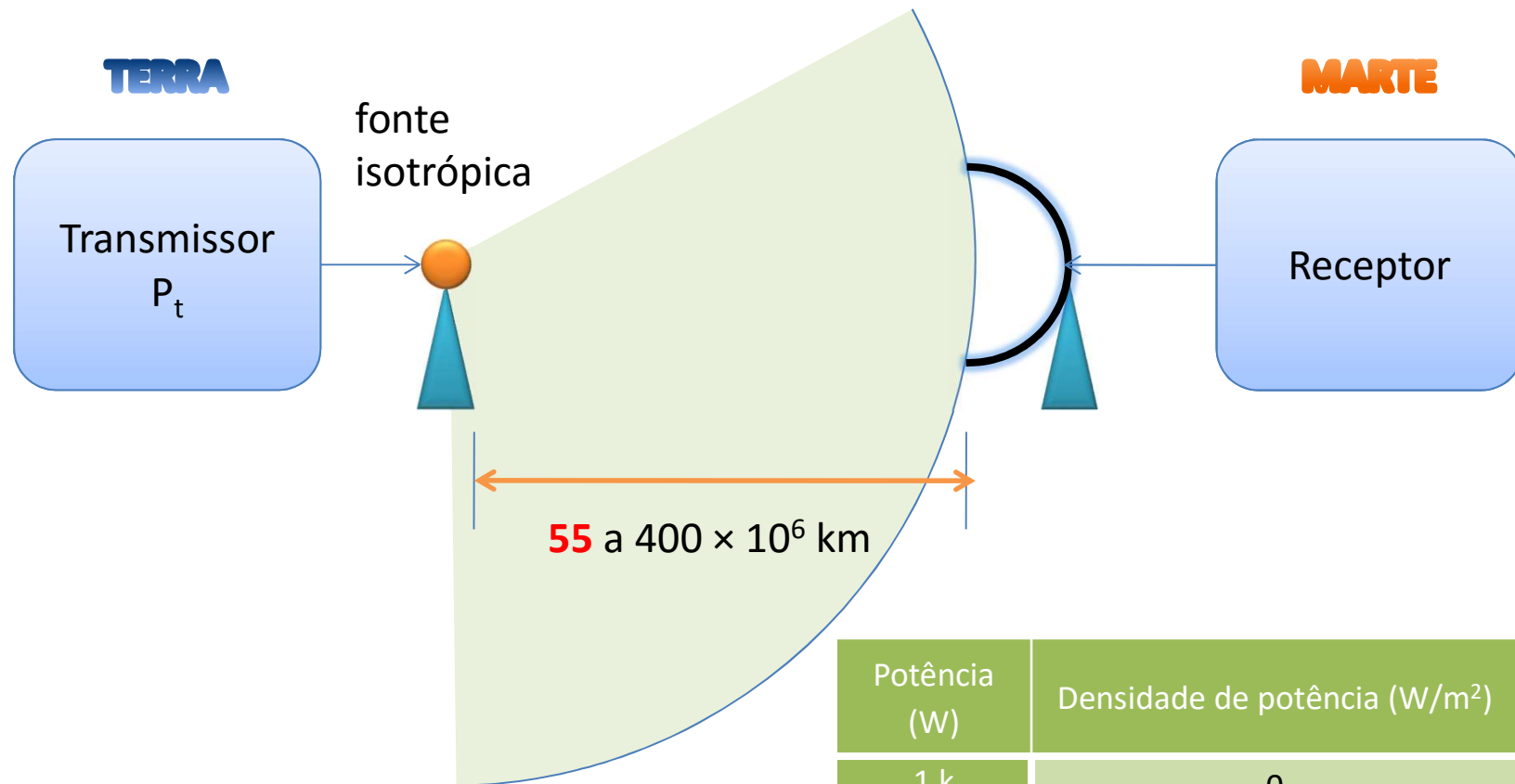
www.ece.engineering.ualberta.ca/en/NewsEvents/ECENews/2013/July/AshwinIyerAnechoic.aspx

MRO

Nasa Curiosity

COMUNICAÇÃO TERRA-MARTE

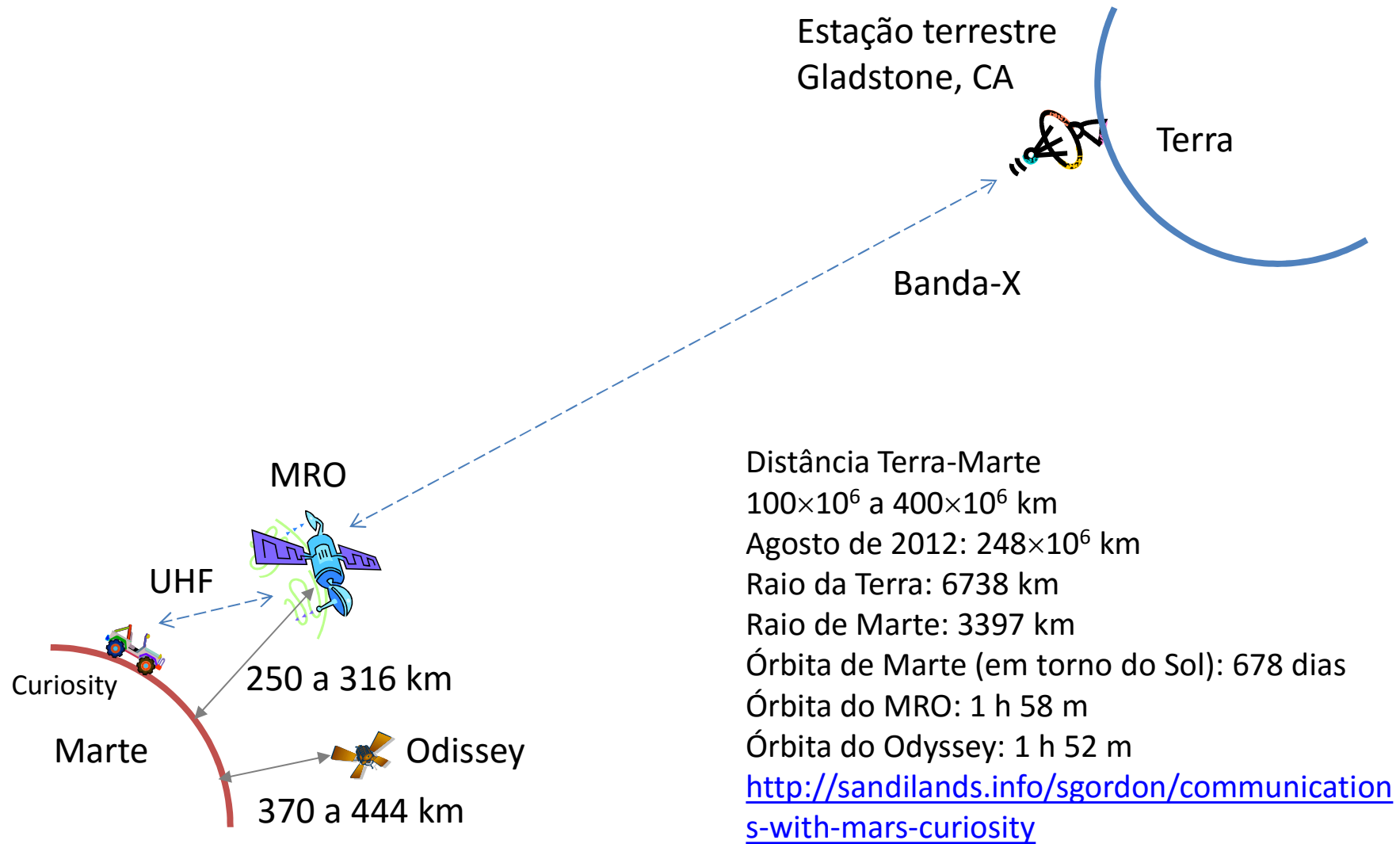
Distância Terra-Marte-1



$$S = \frac{P_t}{4\pi R^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Potência (W)	Densidade de potência (W/m ²)
1 k	0
1 M	0
100 M	$2,6 \times 10^{-15}$
1 G	$2,6 \times 10^{-14}$
100 G	$2,6 \times 10^{-12}$

Curiosity



Curiosity vídeos

Simulação

https://www.youtube.com/watch?v=FZYnlLNz3c&index=33&list=FLO4alMf38WFQWgUQIncZ_yg

pouso

https://www.youtube.com/watch?v=N9hXqzkH7YA&list=FLO4alMf38WFQWgUQIncZ_yg&index=54

Phoning Home: Communicating from Mars

<https://www.youtube.com/watch?v=2t7p08hcQzs>

Contato



Prof. Dr. Amílcar Careli César
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação

Av. Trabalhador São-carlense, 400
13560-590 São Carlos SP
Fone: 16-3373-8130 (sala)

E-mail: amilcar@sc.usp.br
Web: www.sel.eesc.usp.br/tele/amilcar

