UEA

UNIVERSIDADE
DO ESTADO DO
AMAZONAS

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Escola Superior de Tecnologia – EST
Curso de Engenharia Elétrica
Redes de Comunicações de Dados I

M.Sc. Bruno da Gama Monteiro

Manaus - AM
2021

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

CAMADA FÍSICA

Sumário

1 Meios de Transmissão Não Guiados
1.1 O Espectro Eletromagnético
1.2 Transmissão de Rádio
1.3 Transmissão de Micro-Ondas
1.4 Transmissão em Infravermelho
1.5 Transmissão via Luz
1.6 Satélites de Comunicações

CAMADA FÍSICA

Sumário

1 Meios de Transmissão Não Guiados
1.1 O Espectro Eletromagnético
1.2 Transmissão de Rádio
1.3 Transmissão de Micro-Ondas
1.4 Transmissão em Infravermelho
1.5 Transmissão via Luz
1.6 Satélites de Comunicações

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Evolução da Transmissão sem Fio

Ano	Cientista ou projeto	Evento marcante
1873	James Clark Maxwell	Publicação de *A Treatise of Electricity and Magnetism*. Equações de Maxwell da teoria eletromagnética
1886	Heinrich Rudolf Hertz	Demonstração da existência das ondas eletromagnéticas. Velocidade de propagação
1893	Pe. Roberto Landell de Moura	Primeira radiotransmissão da voz humana, em Porto Alegre, entre o bairro Medianeira e o morro Santa Teresa
1899	Guglielmo Marconi	Primeira transmissão de código Morse entre Canal da Mancha, Inglaterra e França
1907	Lee de Forest	Primeira transmissão de radiodifusão comercial utilizando válvula eletrônica tipo triodo (New York)
1922	Edgard Roquette-Pinto	Primeira estação de radiodifusão brasileira, Rádio Sociedade do Rio de Janeiro
1927	Philo Taylor Fornsworth	Primeiro sistema de televisão totalmente eletrônica baseado em imagens digitalizadas e feixe de elétrons
1958	Projeto SCORE – NASA	SCORE (*Signal Communications by Orbital Relay Equipment*), primeiro satélite de comunicação
1962	TELSTAR – NASA	Satélite de retransmissão envia sinal de TV da Olimpíada de Tóquio (1962)
1965	COMSAT – *Early Bird*	Satélite comercial de comunicação, COMSAT (*Communications Satellite Corporation*)

Rochol, Juergen, Careli César. Sistemasde comunicação sem fio. ED. Bookman Porto alegre, 2018.

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Evolução da Transmissão sem Fio

Ano	Cientista ou projeto	Evento marcante
1976	MARISAT	Primeiro satélite de comunicação para telefonia móvel marítima, MARISAT (Maritime Telecommunication Satellites)
1978	AMPS (*American Mobile Phone System*)	Sistema experimental de telefonia celular de primeira geração (1G)
1991	GSM (*Global System Mobile*)	Sistema de telefonia europeu baseado em TDM que se tornou padrão mundial
1997	Padrão IEEE 802.11	Primeira rede local sem fio (WLAN) de 2 Mbit/s, também conhecida como consórcio Wi-Fi
1999	GSM 3G com WCDMA (UMTS)	Padrão de telefonia celular mundial que utiliza GPRS (*General Packet Radio Service*) e transmissão CDMA
2000	IMT 2000 International Mobile Telecom – 2000	IMT-2000, padrão global para a terceira geração (3G) de comunicação sem fio, definido pelo ITU-T
2005	Padrão IEEE 802.16	Rede metropolitana sem fio móvel (WMAN), também chamada WiMax pelos fabricantes
2008	LTE (Long Term Evolution) 3GPP	Padrão de rede celular de banda larga, móvel, de 4G com taxa >100Mbit/s e mobilidade de 350 km/h
2008	WiMax 4G – Comunicação móvel de quarta geração	Padrão de banda larga de 4G baseado no padrão IEEE 802.16

Fonte: Haykin e Moher (2008).

Rochol, Juergen, Careli César. Sistemasde comunicação sem fio. ED. Bookman Porto alegre, 2018.

Evolução da Transmissão sem Fio

Pe. Landell de Moura

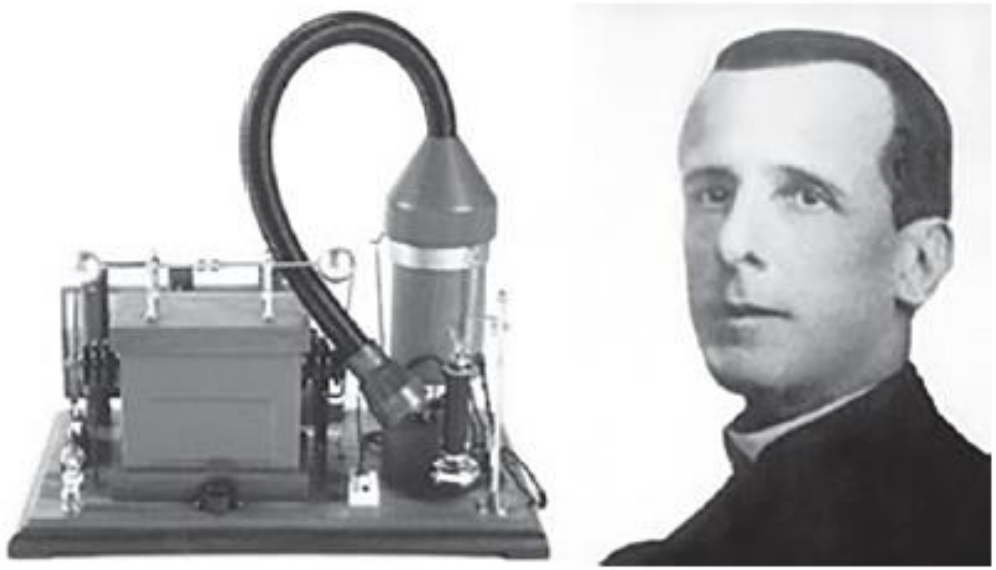


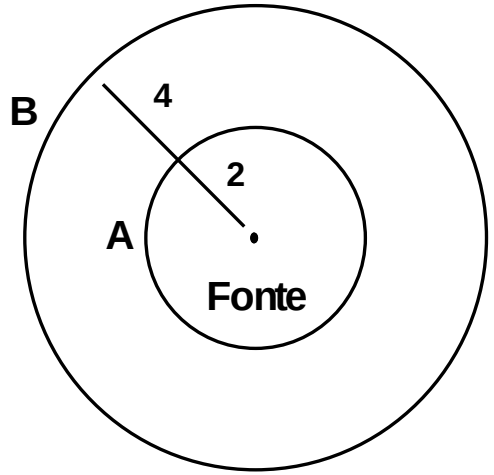
figura 1.1 Réplica funcional do transmissor de ondas com o telefone sem fio do Pe. Landell de Moura, construído por Marco Aurélio Cardoso Moura, em maio de 2004.

Rochol, Juergen, Careli César. Sistemasde comunicação sem fio. ED. Bookman Porto alegre, 2018.

1.2 Transmissão de Rádio

As propriedades das ondas de rádio dependem da **frequência**. Em baixas frequências, as ondas de rádio atravessam bem os obstáculos, mas a potencia cai abruptamente a medida que a distância da fonte aumenta, pois a energia do sinal se espalha por uma superfície maior.

A potência que chega à antena receptora corresponde apenas a uma parcela daquela irradiada pela antena transmissora, sendo a restante dispersa pelo espaço.



1.2 Transmissão de Rádio

- Densidade de potência (W), Gerada por **antena isotrópica**

Transmitindo potência $P_{T,}$ em qualquer ponto que diste "d" da antena.

Área da esfera de raio d, $A_e = 4\pi d^2$

$W = P_T / 4\pi d^2$ (W/m^2)

Para uma antena com ganho G_T:

$$w = \frac{P_T}{4\pi d^2} G_T \ (w/m^2)$$

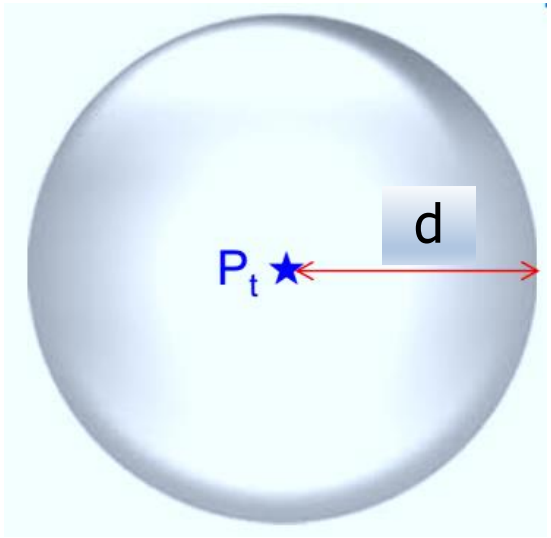


Diagrama de Radiação de uma Antena

É a representação gráfica das propriedades de radiação de uma antena em função de direções definidas por coordenadas espaciais. Na maior parte dos casos é determinado na região de campo distante. As propriedades de radiação incluem intensidade de radiação (intensidade de campo) e fase do campo radiado para uma determinada polarização (IEEE Standart Definition).

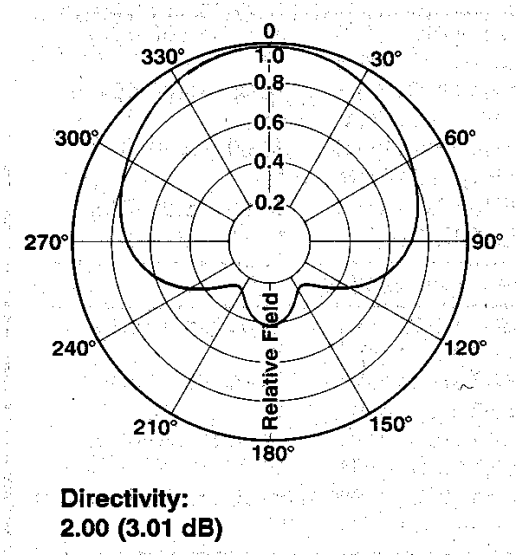


Diagrama polar

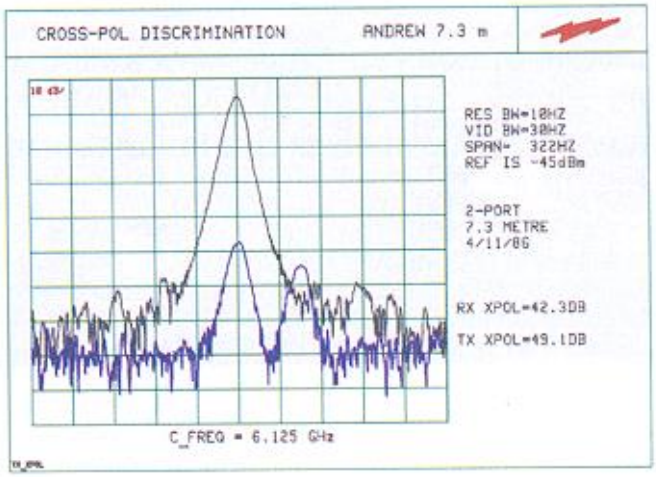
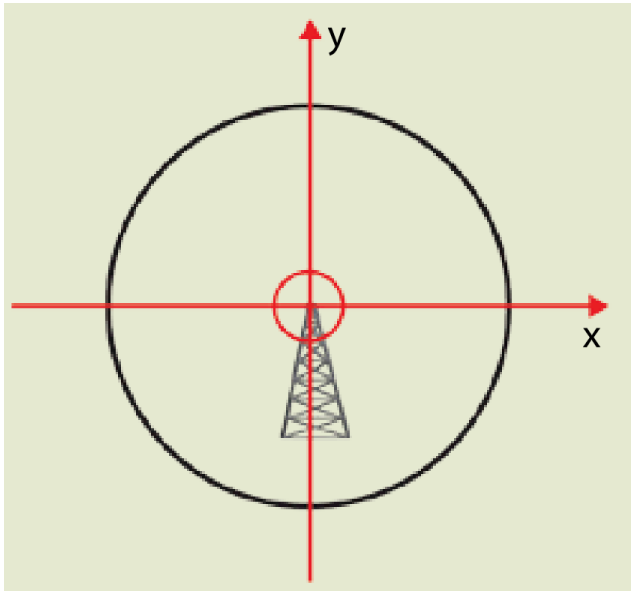
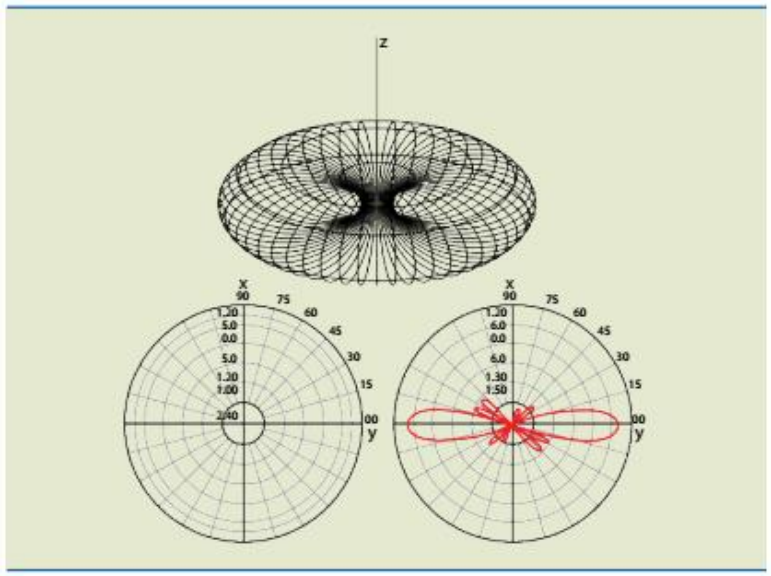


Diagrama retangular

Diagrama de Radiação de uma Antena

Representação da intensidade de campo irradiada ou recebida por uma antena em todas as direções.





UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Diretividade e Ganho das Antenas

Isotrópicas: transmitem e recebem por igual em todas as direções. Na prática, este tipo de antena não pode ser construído e serve apenas para fins didáticos e como uma referência para as antenas reais. O sol pode ser comparado a uma antena isotrópica.

Omnidirecionais: irradiam igualmente em todas as direções do plano horizontal.

Direcionais: transmitem e recebem com maior intensidade em uma direção.

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

dBd versus dBi

O radiador isotrópico é um modelo idealizado, seu diagrama de irradiação é uma esfera com densidade de potência uniforme.

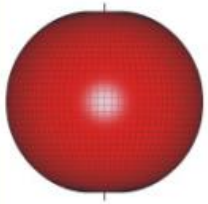
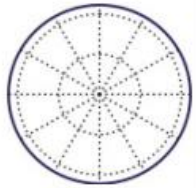
Um dipolo de meia onda em espaço livre apresenta uma capacidade de concentrar 2,15 dB a mais na sua direção de máxima irradiação quando comparado a antena isotrópica.

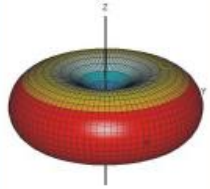
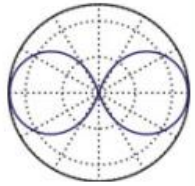
Ao referenciar-se o ganho de uma antena temos:

a) Ao **radiador isotrópico** usa-se a unidade **dBi**;
b) Ao **dipolo de meia onda**, usa-se a unidade **dBd**.

$$\mathbf{dBi = dBd + 2,15}$$

Antenas Onidirecionais e Não Diretivas

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
			
Irradiador Isotrópico	G = 0 dBi G = - 2,15 dBd	Plano Elétrico	Plano Magnético

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
			
Dipolo de Meia Onda	G = 2,15 dBi G = 0 dBd	Plano Elétrico	Plano Magnético

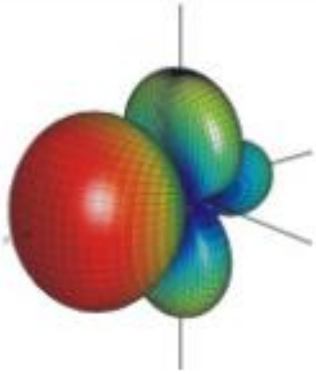
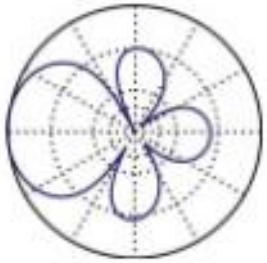
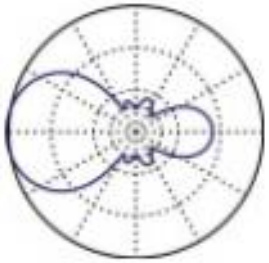
Onidirecionais (isotrópicas)

Dipolo de meia Onda (Não Diretiva)

Ganho (dipolo $\lambda/2$) = 0 dBd ou Ganho (dipolo $\lambda/2$) = 2,15 dBi

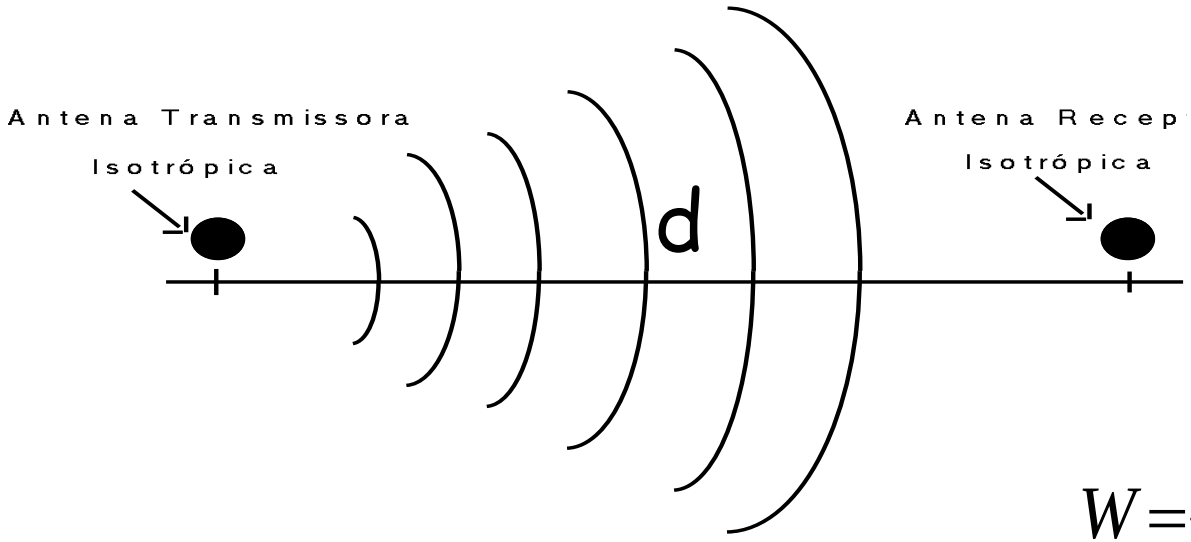
UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Antenas Diretivas

Tipo de Antena	Diagrama Tridimensional	Diagrama Vertical ou de Elevação	Diagrama Horizontal ou de Azimute
			
Yagi de 5 elementos	**G = 8 dBi** **G = 5,85 dBd**	**Plano Magnético**	**Plano Elétrico**

Equação de Friis

Para uma ligação estabelecida entre dois pontos situados no vácuo, e na ausência de qualquer corpo que possa influir na propagação das ondas de rádio



$$W = \frac{P_T}{4\pi d^2} G_T \, (W/m^2)$$

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Equação de Friis

P_T = Potência transmitida (watts);

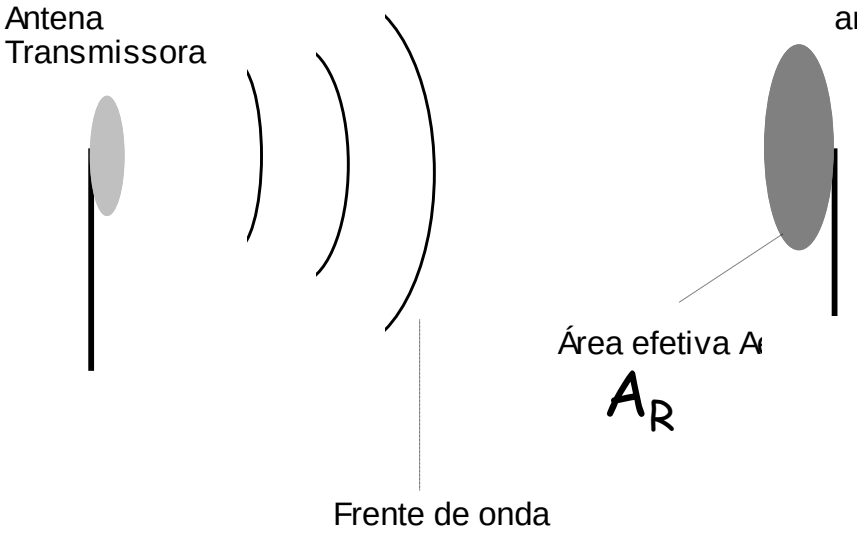
P_R = Potência recebida por uma antena situada a uma distância d (watts);

W = Densidade de potência (W/m^2);

A_R = Área efetiva da antena receptora (m^2);

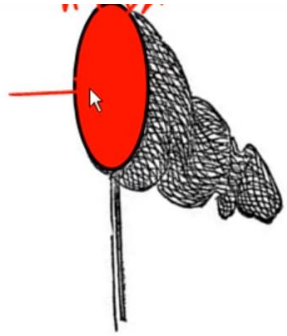
G_T, G_R = Ganhos das antenas transmissora e receptora (dB_i).

Equação de Friis



Antenna Effective Area:

$$A_{eff} = \frac{P_{intercepted}}{P_{incident}} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} \ (m^2)$$



$$P_R = A_R \times W$$

A_R é a chamada área efetiva de recepção da antena.

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Equação de Friis

$$A_{0i} = 82 + 20\log d_{(km)} - 20\log \lambda_{(m)} - G_{T\,(dbi)} - G_{R(dBi)}$$

Para f em MHz, $\lambda = 300/f_{(MHz)}$

$$A_{0i} = 82 + 20\log d_{(km)} - 20\log 300 + 20\log f_{(MHz)} - G_{T(dBi)} - G_{R(dBi)}$$

$$A_{0i} = 33 + 20\log d_{(km)} + 20\log f_{(MHz)} - G_{T(dBi)} - G_{R(dBi)}$$

Para f em GHz:

$$A_{0i} = 92{,}4 + 20\log d_{(km)} + 20\log f_{(GHz)} - G_{T(dBi)} - G_{R((dBi)}$$

Para G_T e G_R em dB_d:

$$A_{0d} = 28{,}2 + 20\log d_{(km)} + 20\log f_{(MHz)} - G_{T(dBd)} - G_{R(dBd)}$$

Equação de Friis

Introduzindo as perdas nos cabos/guias de onda e conectores (LT e LR) em dB:

$$P_R(dB_m) = P_T(dB_m) + G_T(dB_i) - L_T(dB) + G_R(dB_i) - L_R(dB) - 20\log(\frac{4\pi d}{\lambda})$$

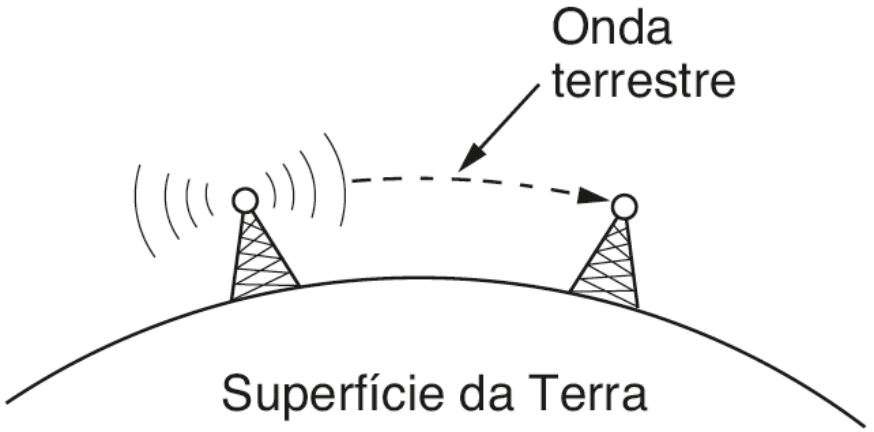
$$P_{EIRP} = P_T(dB_m) + G_T(dB_i) - L_T(dB)$$

$$P_R(dB_m) = P_{EIRP} - L_R(dB) + G_R(dB_i) - 20\log(\frac{4\pi d}{\lambda})$$

P_{EIRP}= potência efetiva irradiada em relação a uma antena isotrópica.

Transmissão de Rádio

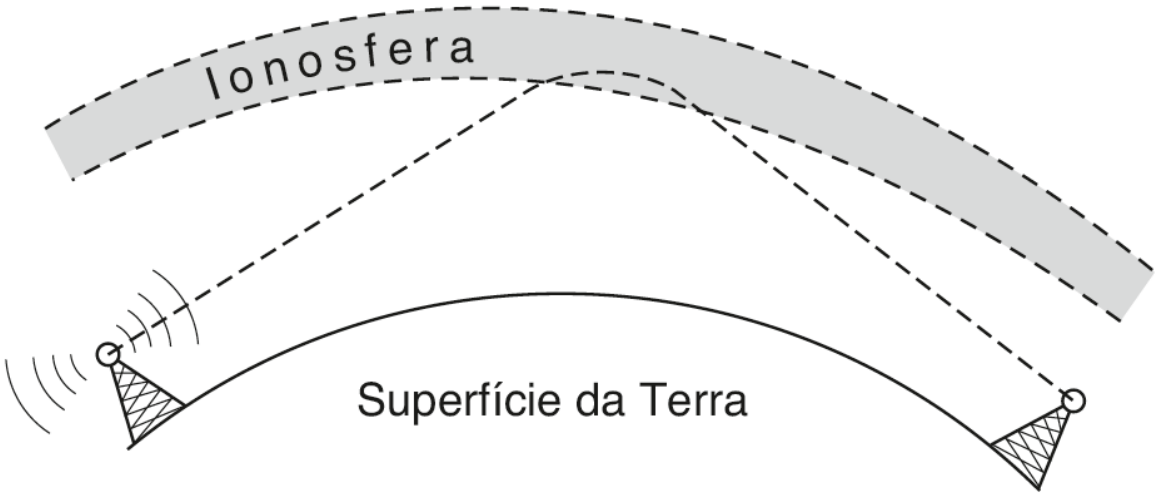
- Nas bandas **VLF, LF e MF**, as ondas de rádio se propagam perto do solo. Podem ser detectadas dentro de um raio de mil quilômetros nas frequências mais baixas; porém, nas frequências mais altas, esse raio de ação é bem menor.
- A radiodifusão em frequências AM utiliza a banda MF, razão pela qual as ondas de rádio produzidas pelas estações de rádio AM entre cidades vizinhas não podem ser captadas facilmente.



Fonte: TANENBAUM, Andrew. S. **Redes de Computadores.** 5.ed. Traduzido por Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

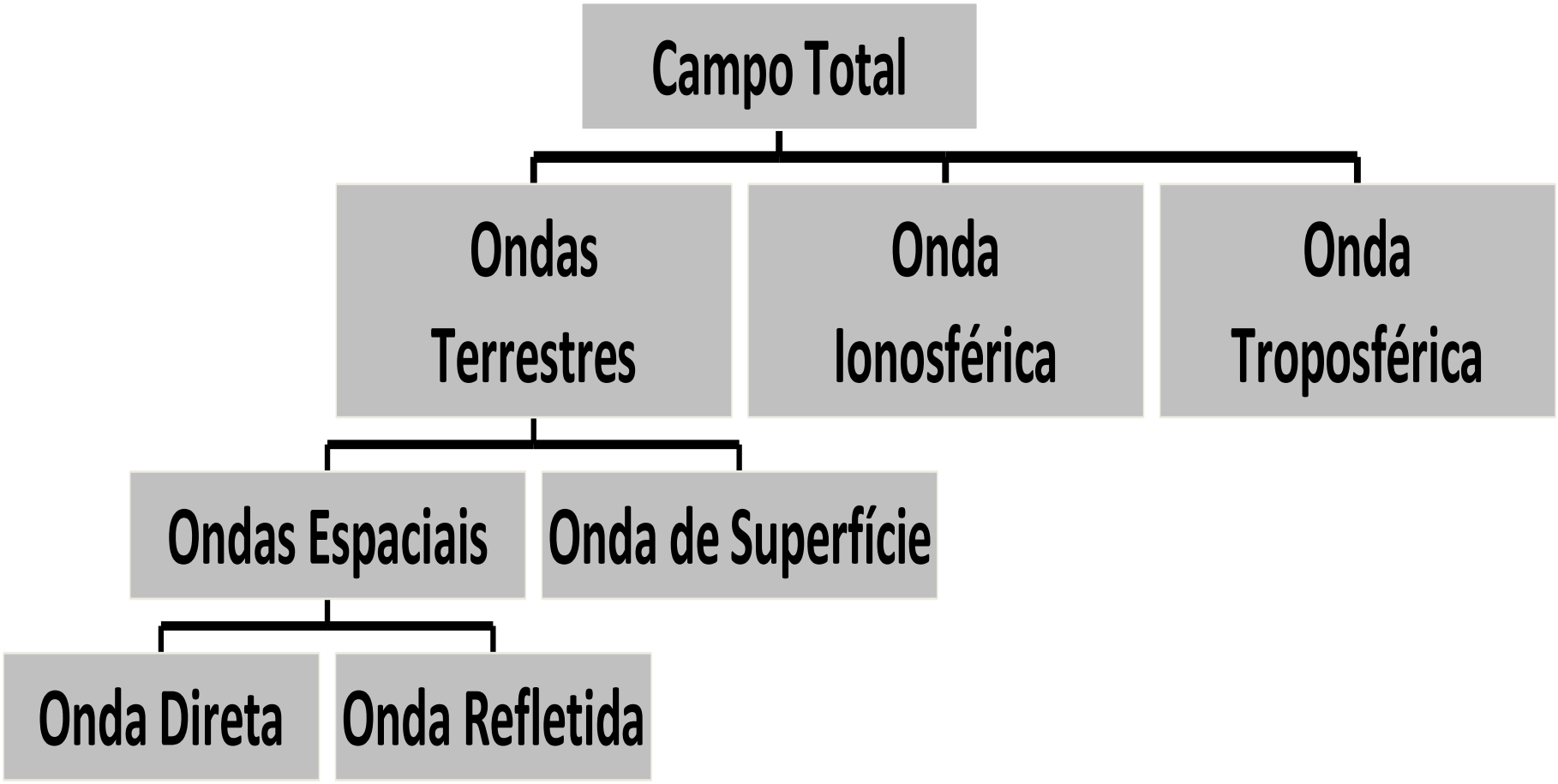
Transmissão de Rádio

- Nas bandas **HF e VHF**, as ondas que se propagam ao longo do solo tendem a ser absorvidas pela terra. No entanto, as ondas em **HF** que alcançam a ionosfera (camada de partículas carregadas situadas em torno da Terra a uma altura de 100 a 500 km) são refratadas por ela e enviadas de volta a Terra, podendo dar vários saltos na camada ionosférica.

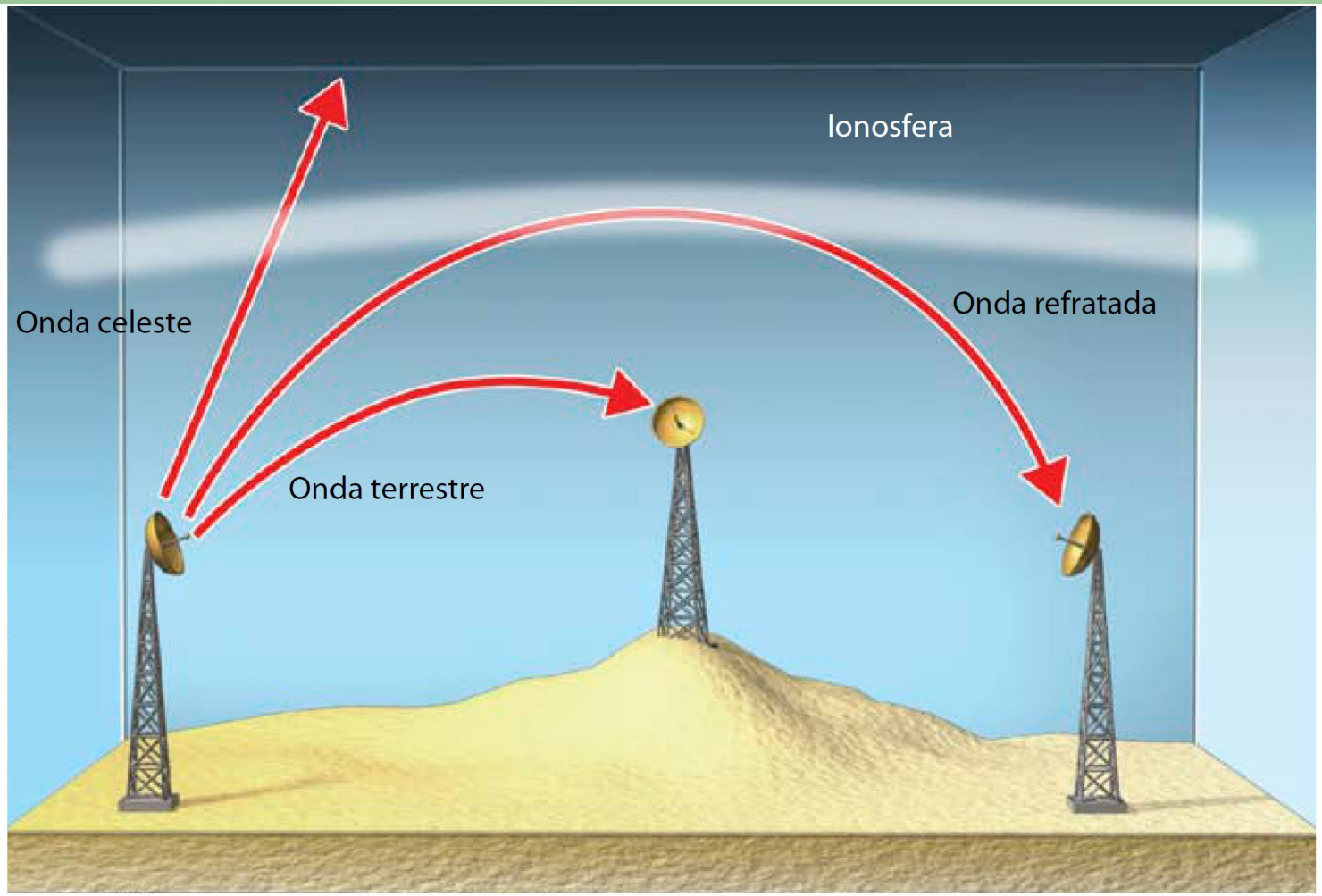


1.2 Transmissão de Rádio

Mecanismos de Propagação



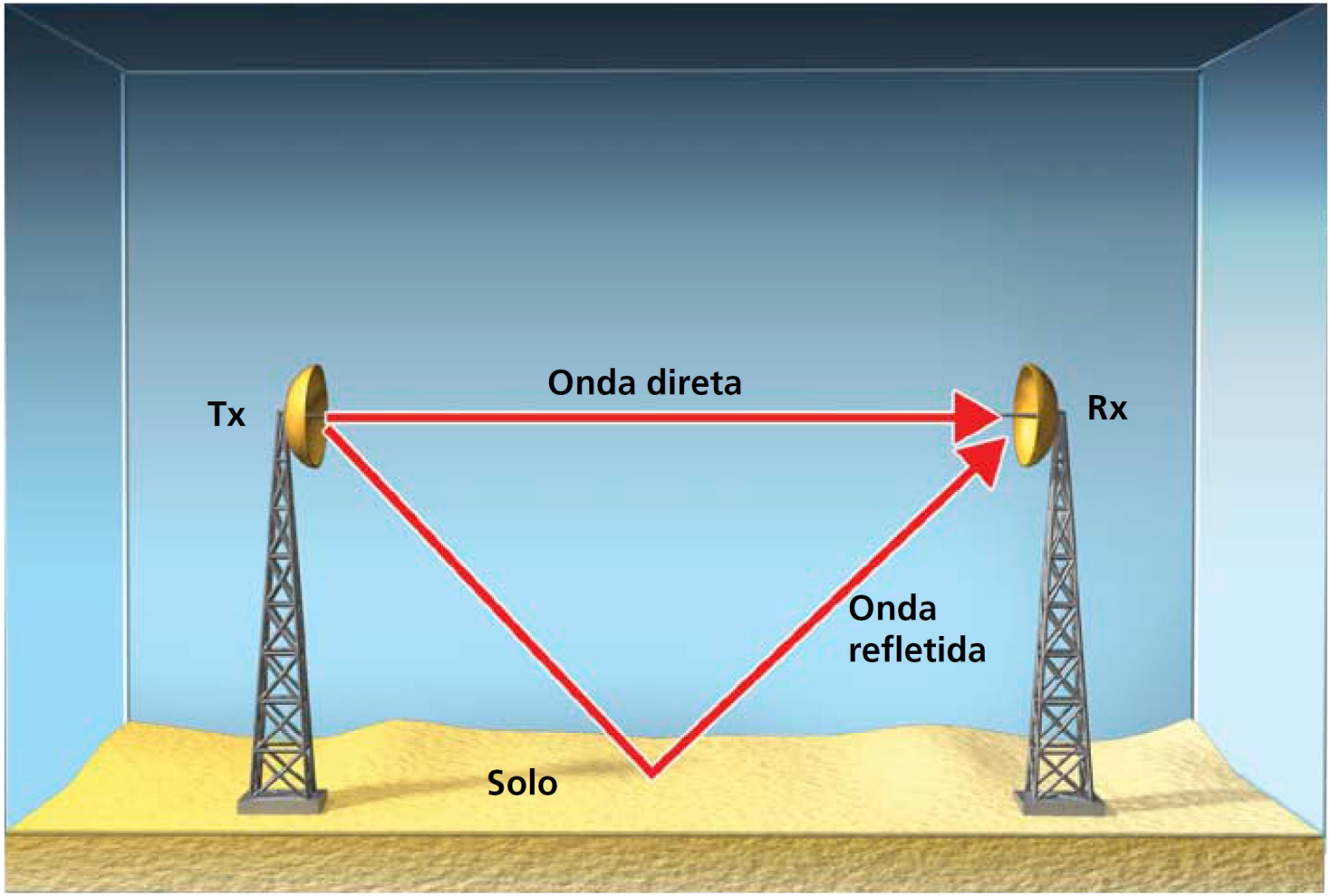
1.2 Transmissão de Rádio



Tipos de ondas transmitidas

CARVALHO, Álvaro Gomes de. **Eletrônica: telecomunicações.** São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

1.2 Transmissão de Rádio



Onda Terrestre: onda direta e onda refletida

CARVALHO, Álvaro Gomes de. **Eletrônica: telecomunicações.** São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

Mecanismos de Propagação Troposféricos

Mecanismos de Propagação

TROPOSFÉRICOS

- Espaço Livre
- Refração
- Dutos
- Espalhamentos por Chuvas
- Difusão
- Visibilidade
- Difração

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Mecanismos de Propagação

IONOSFÉRICOS

Refração

Difusão

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Troposféricos

Propagação na **Troposfera**

Principais influências:

a) refração: diferentes índices de refração das infinitas subcamadas;

b) difusão: devido a estratificação do meio;

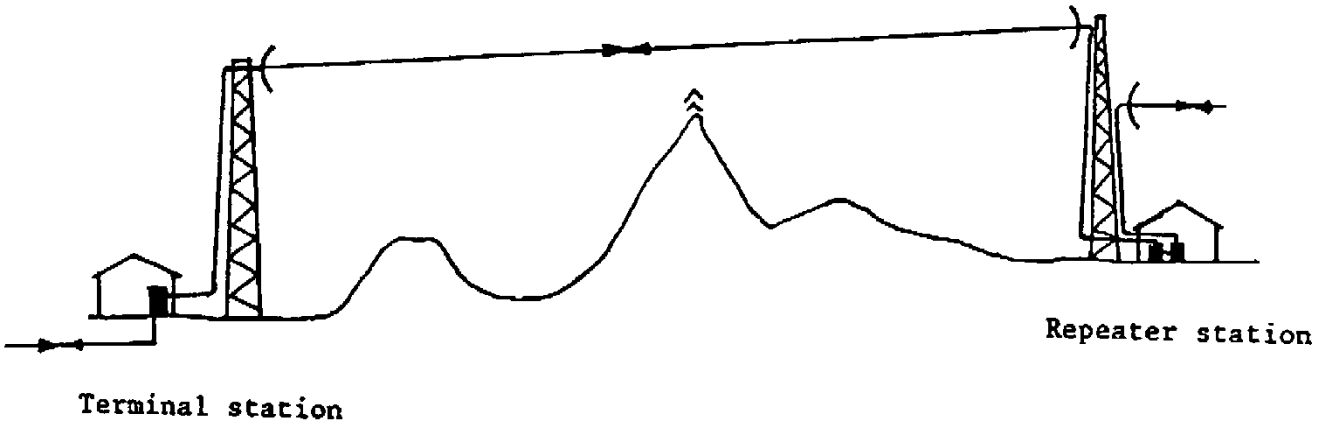
c) absorção: pelo oxigênio e vapor d'água;

d) atenuação: por hidrometeoros (chuva, granizo, neve...)

Troposféricos

Espaço Livre: Meio ideal sem fontes de campo elétrico e magnético, homogêneo, isotrópico, linear, não dispersivo, de condutividade nula e sem perdas. O Vácuo é o meio que melhor se aproxima desta definição teórica;

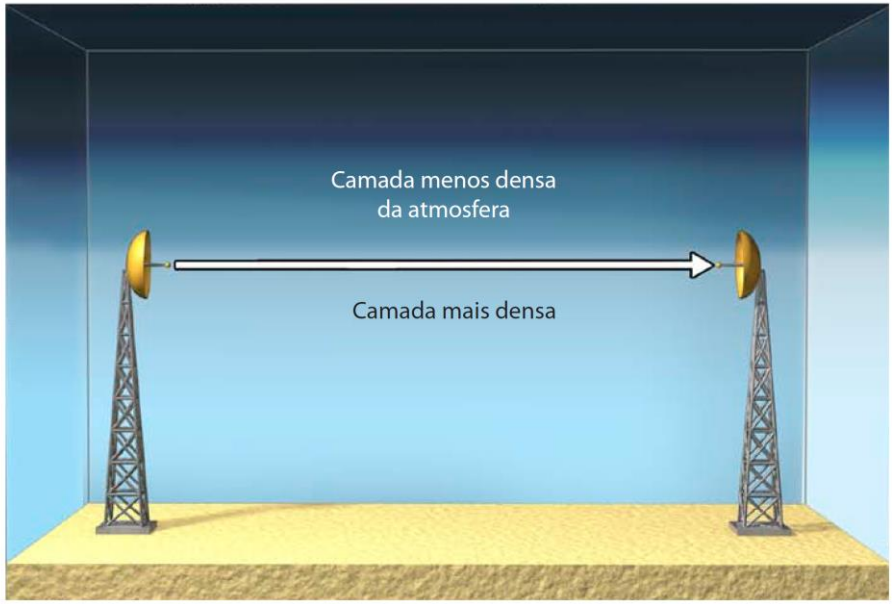
Propagação em condições ideais = propagação em espaço livre, caracterizando a **onda direta;**



Propagação em Espaço Livre

É aquela realizada no vácuo ou em uma atmosfera ideal na ausência de qualquer objeto que provoque a absorção ou reflexão dos sinais.

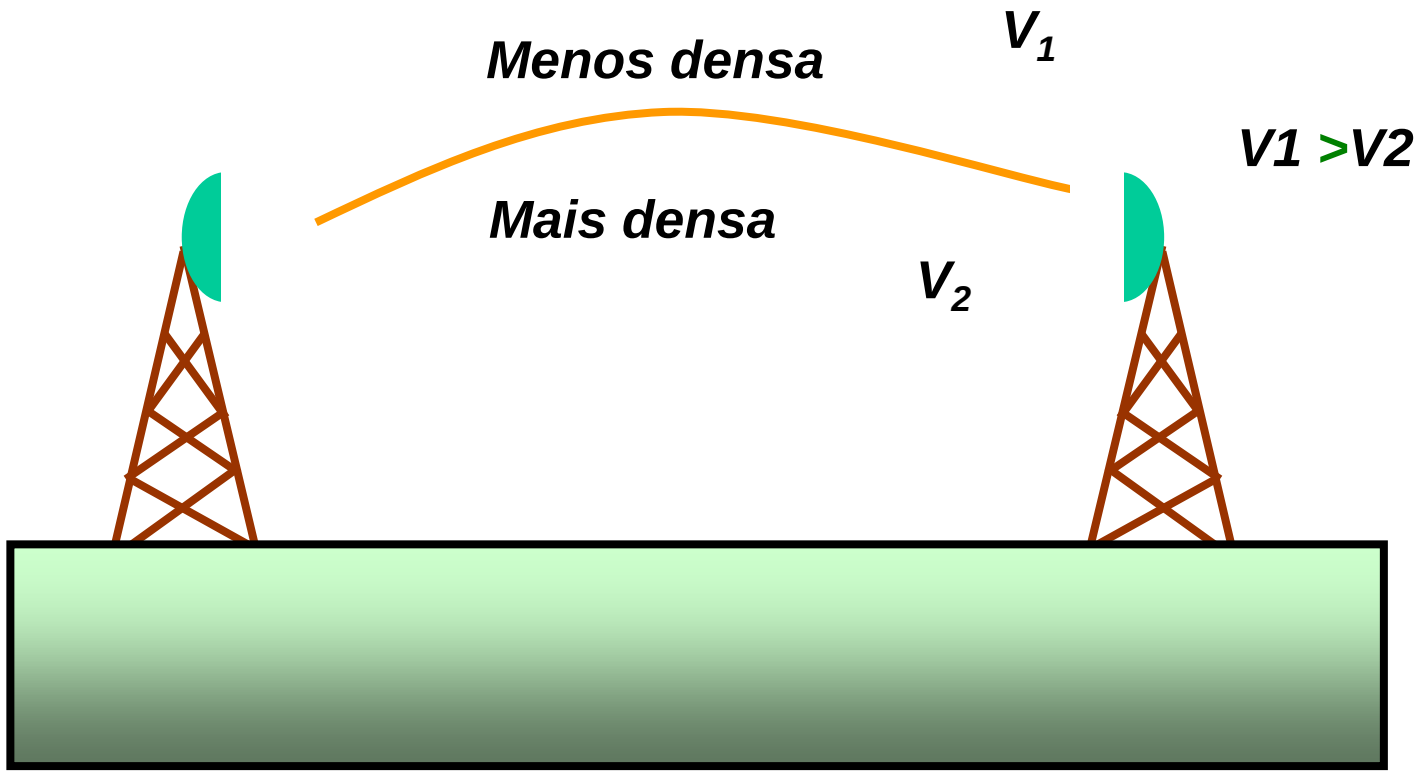
Os principais desvios dessa condição ideal se devem às variações das características da atmosfera e a presença de possíveis obstáculos no percurso de propagação, tais como, montanhas, árvores, prédios e o próprio solo.



CARVALHO, Álvaro Gomes de. **Eletrônica: telecomunicações.** São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

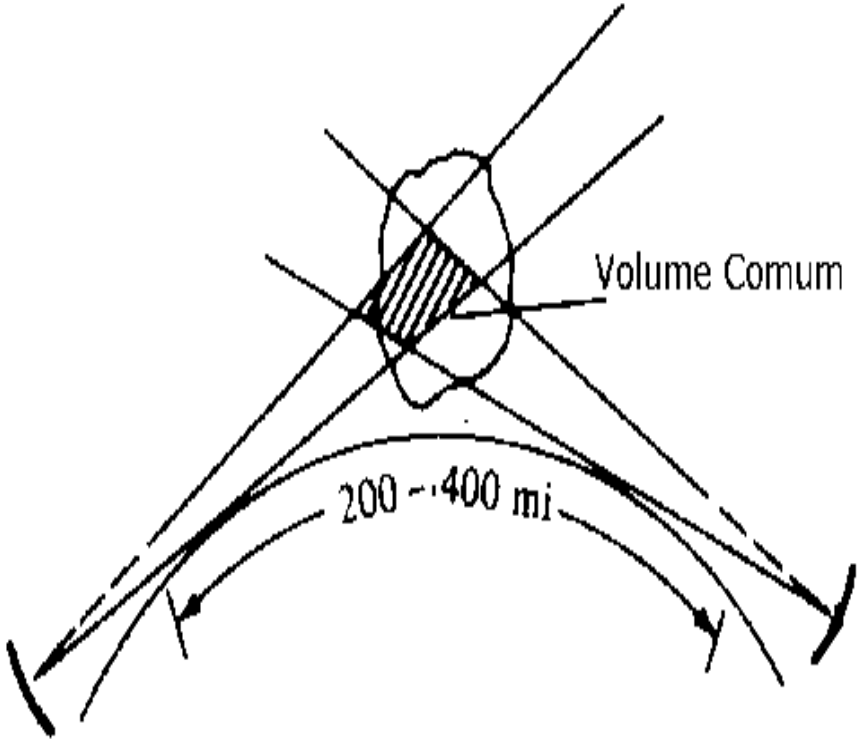
Troposféricos

Refração: ocorre quando a O.E. passa de um meio para outro com índice de refração diferente. O índice de refração é a relação entre a velocidade da onda no vácuo e a velocidade da onda no meio considerado (troposfera)



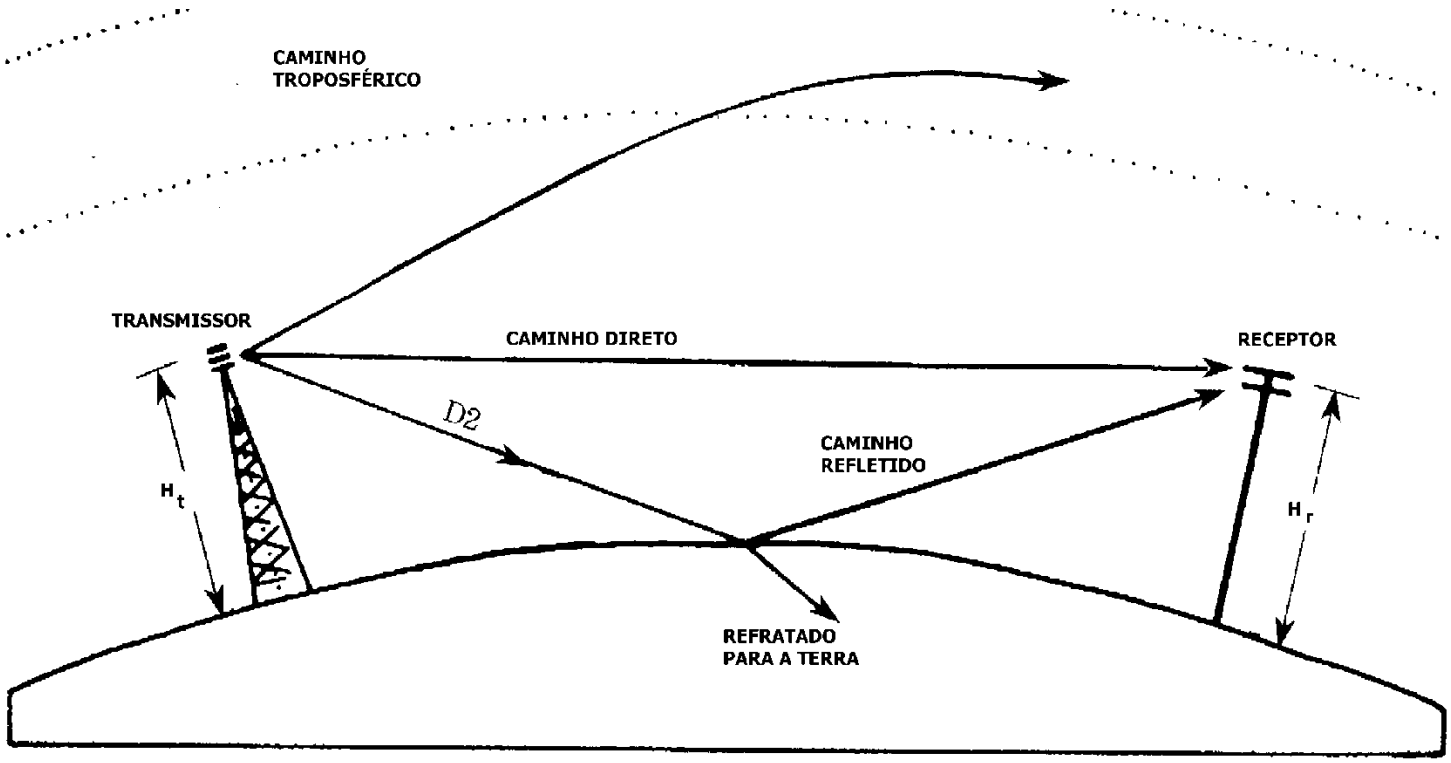
Troposféricos

Tropodifusão: ocorre a aproximadamente 2 km de altura, em consequências das múltiplas e aleatórias refrações da O.E. na troposfera estratificada e turbulenta, provocando o espalhamento da energia em todas as direções;



Troposféricos

Visibilidade: ocorre quando há visada direta entre as antenas TX e RX e não está presente a Difração. A onda refletida poderá estar presente, compondo-se aleatoriamente em módulo e fase com a onda direta. A onda refletida será considerada sempre prejudicial.



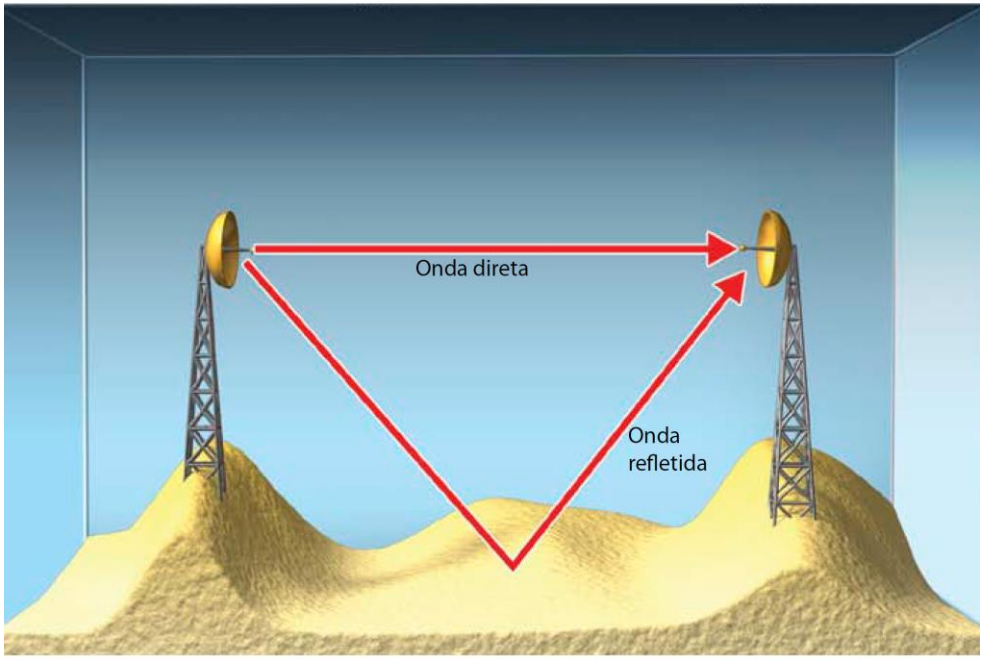
Troposféricos

Visibilidade

ocorre quando há visada direta entre as antenas TX e RX e não está presente a Difração.

A onda refletida poderá estar presente, compondo-se aleatoriamente em módulo e fase com a onda direta.

A onda refletida será considerada sempre prejudicial.

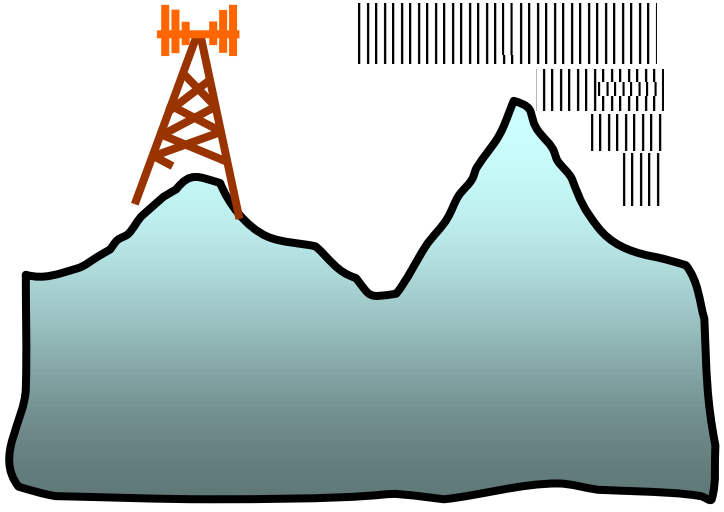


Troposféricos

Difração: ocorre quando há obstáculos na linha de visada entre as antenas, fazendo com que apenas uma parte as energia irradiada chegue ao receptor.

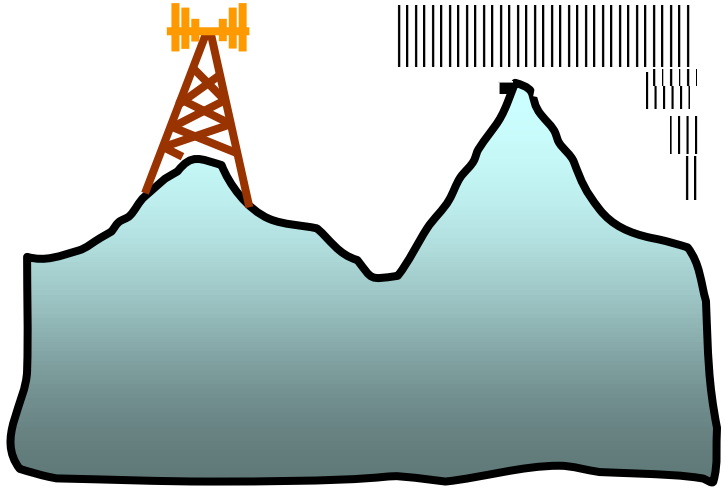
a) Frequência f_1

Frente de Onda



b) Frequência $f_2 > f_1$

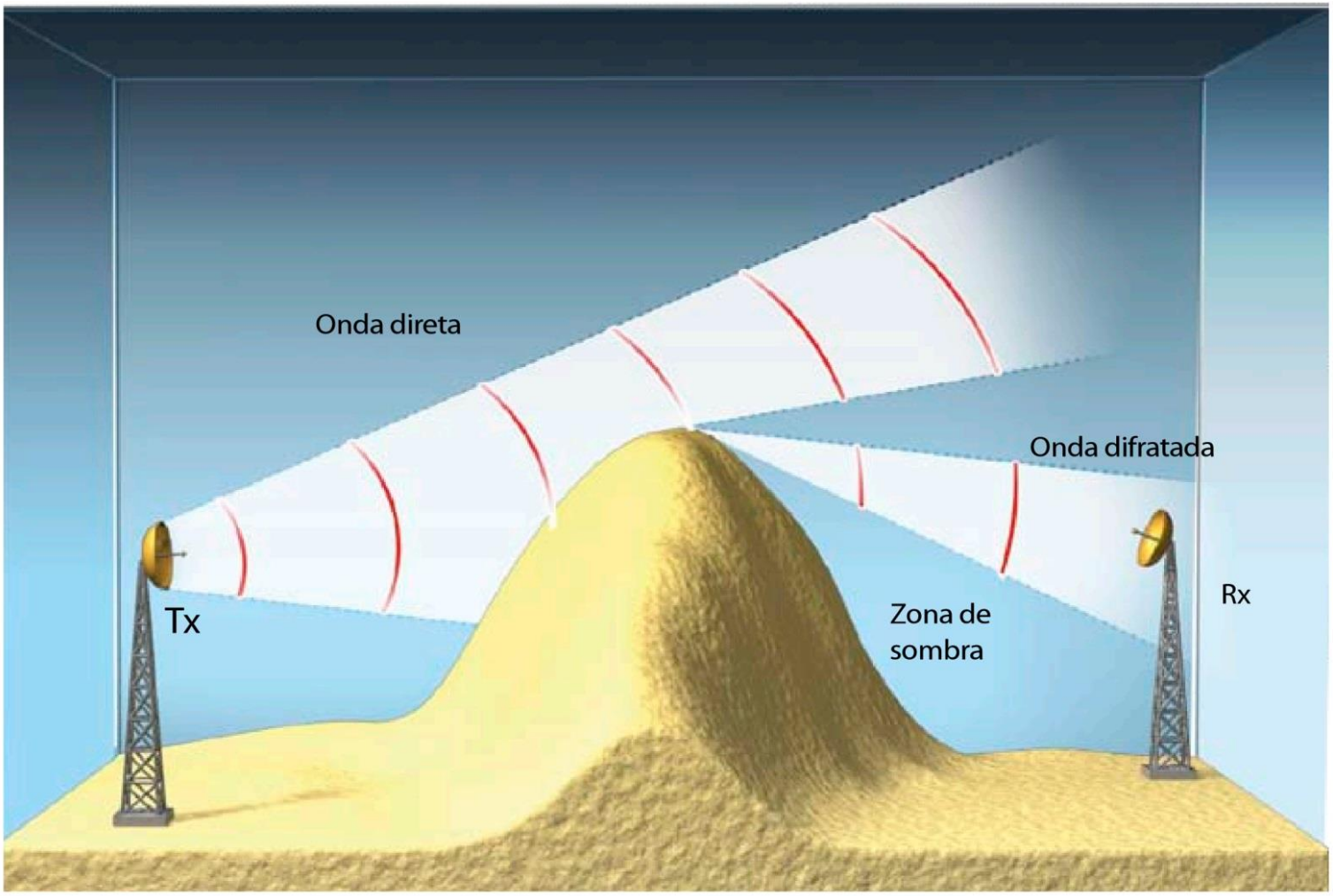
Frente de Onda



$f_2 > f_1$

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Troposféricos



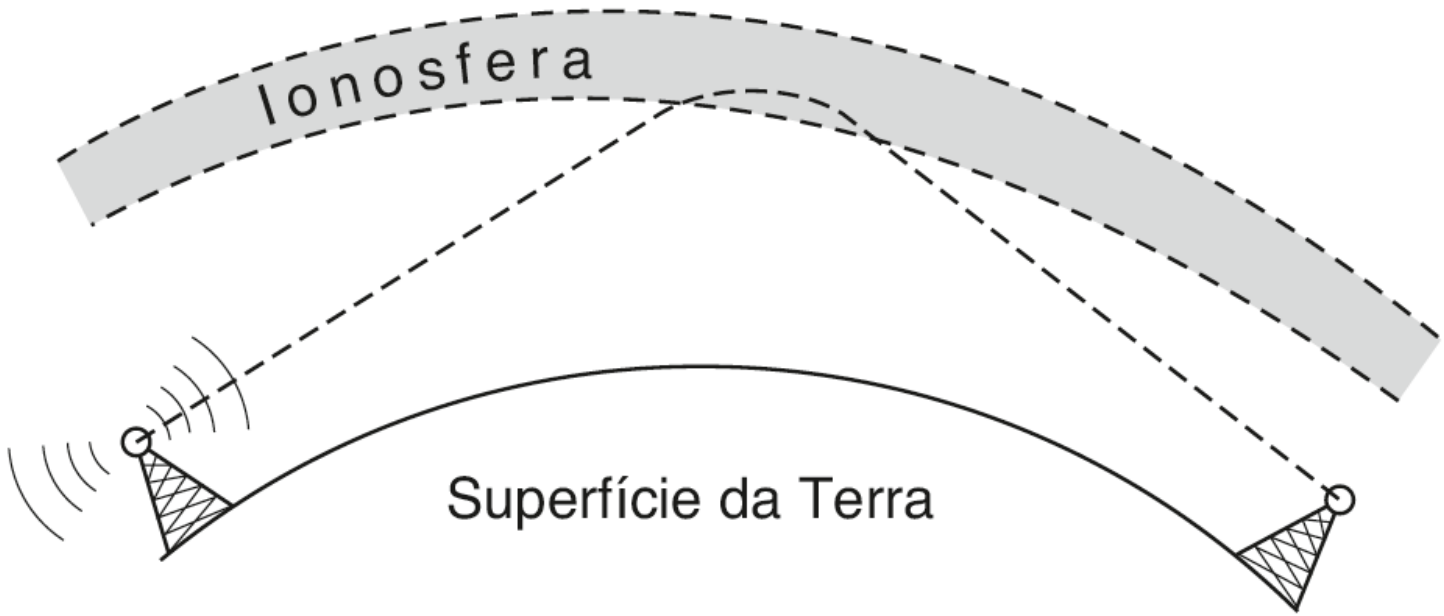
Difração

CARVALHO, Álvaro Gomes de. **Eletrônica: telecomunicações.** São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

1.2 Transmissão de Rádio

Mecanismos de Propagação Ionosféricos

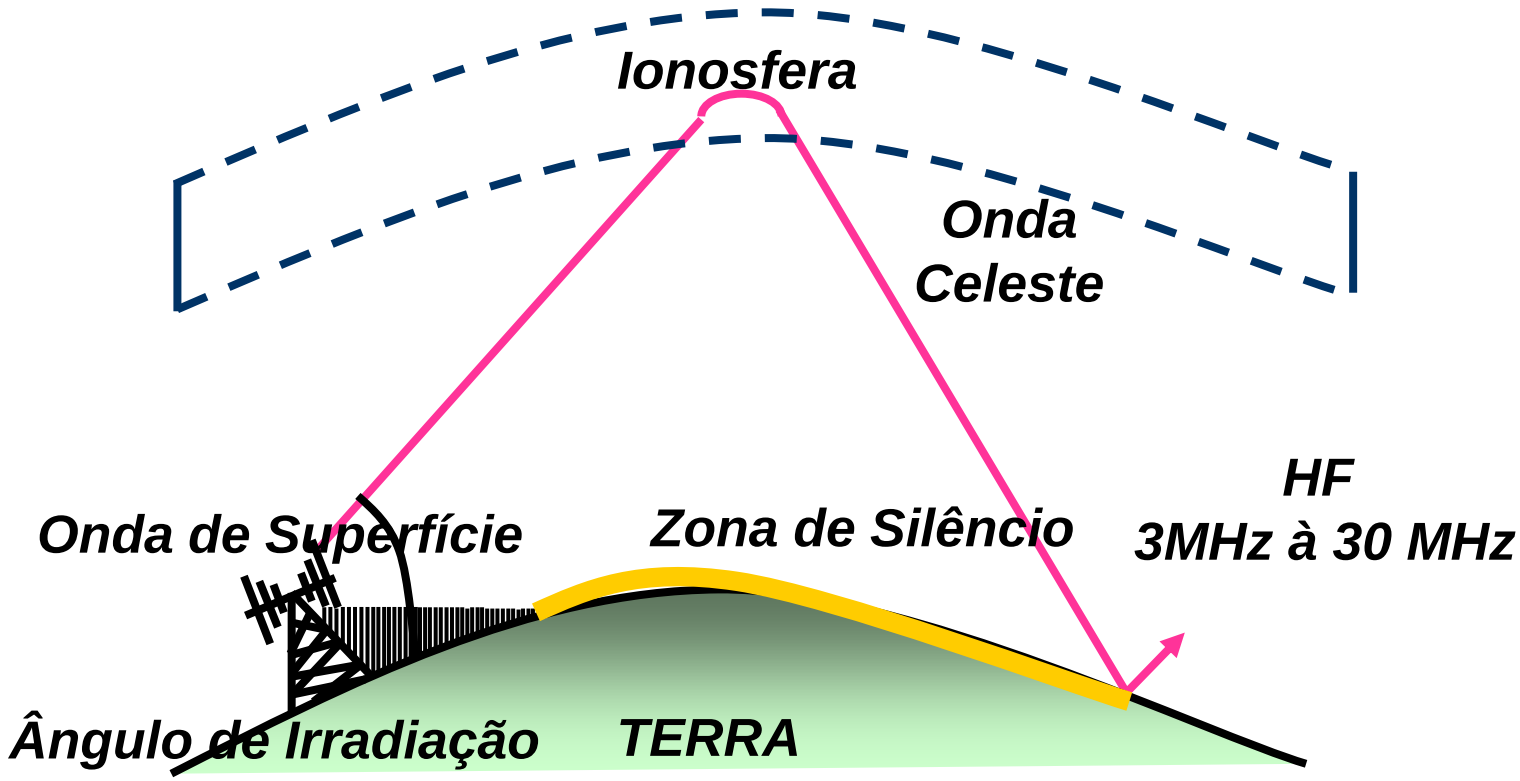
Ionosféricos



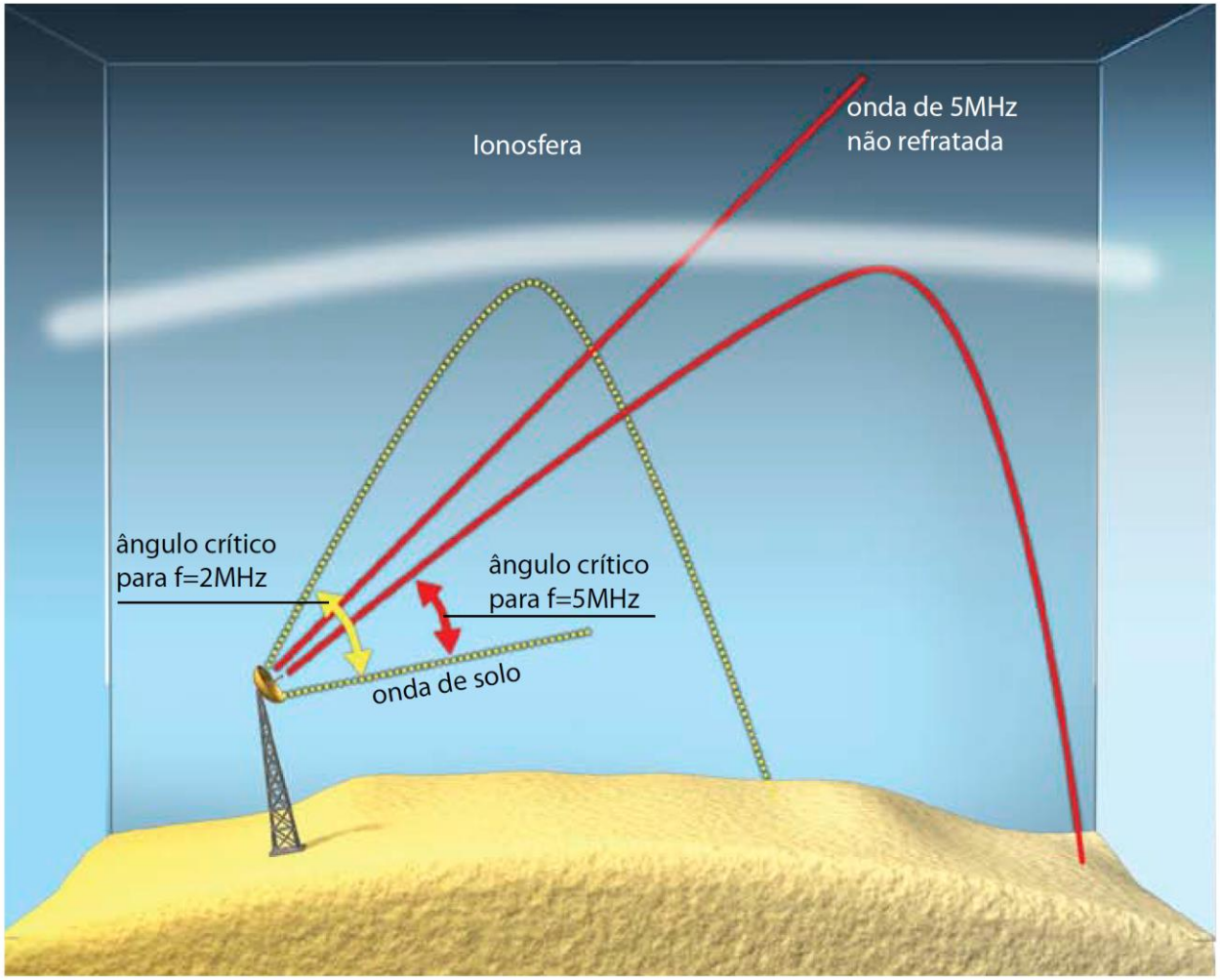
Fonte: TANENBAUM, Andrew. S. **Redes de Computadores.** 5.ed. Traduzido por Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

Ionosféricos

Refração (reflexão): resulta de refrações nas camadas de índices de refração diferentes da ionosfera, proporcionando o retorno da onda à Terra. Comumente entendido como uma reflexão da onda .



1.2 Transmissão de Rádio

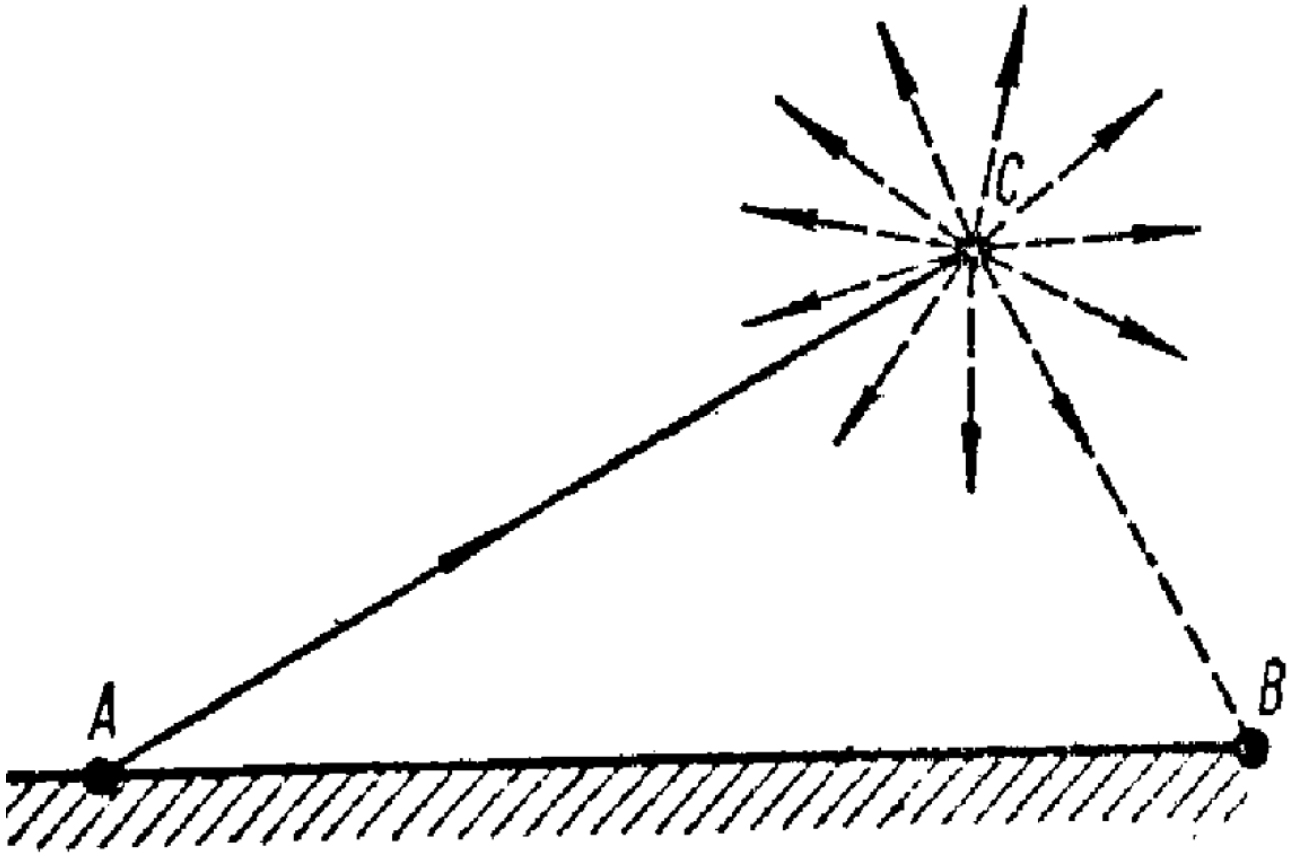


Onda Celeste (ionosférica)

CARVALHO, Álvaro Gomes de. **Eletrônica: telecomunicações.** São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

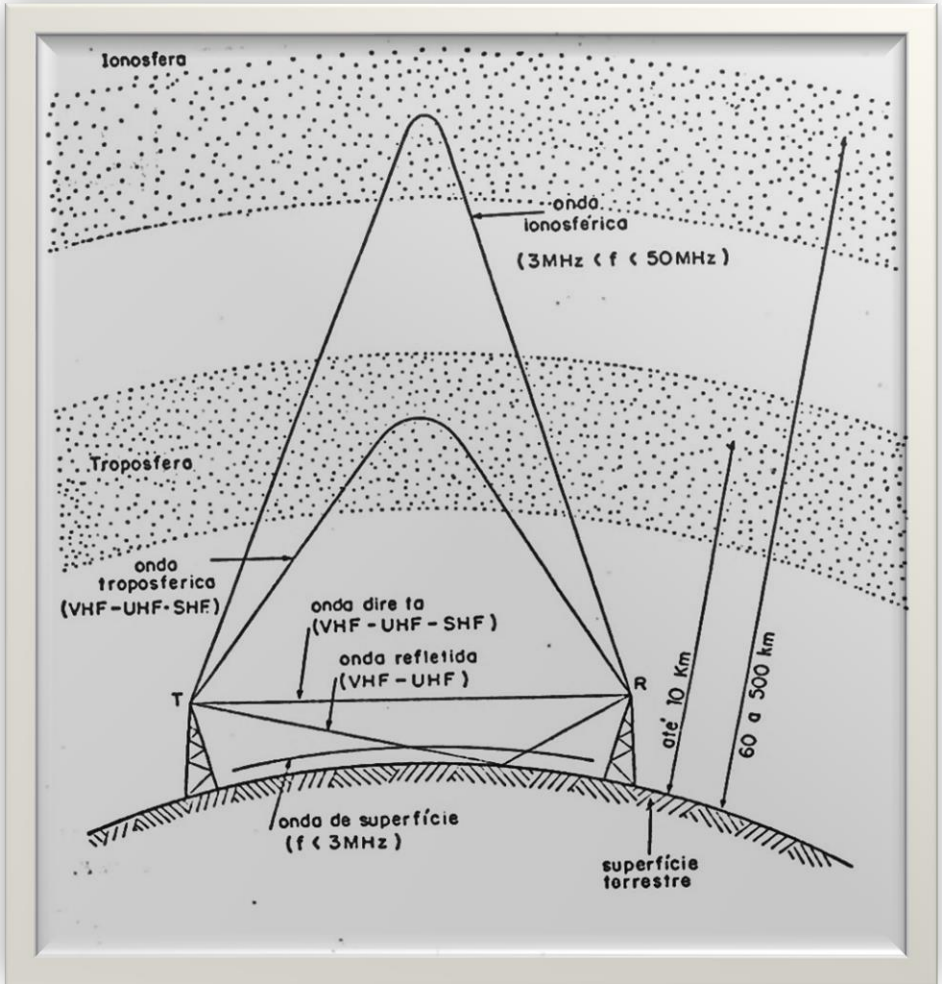
Ionosféricos

Difusão: resulta do espalhamento da onda na ionosfera, que é dinâmica, irregular e turbulenta. Devido ao espalhamento da energia, o sinal poderá ser recebido aleatoriamente em determinadas regiões.



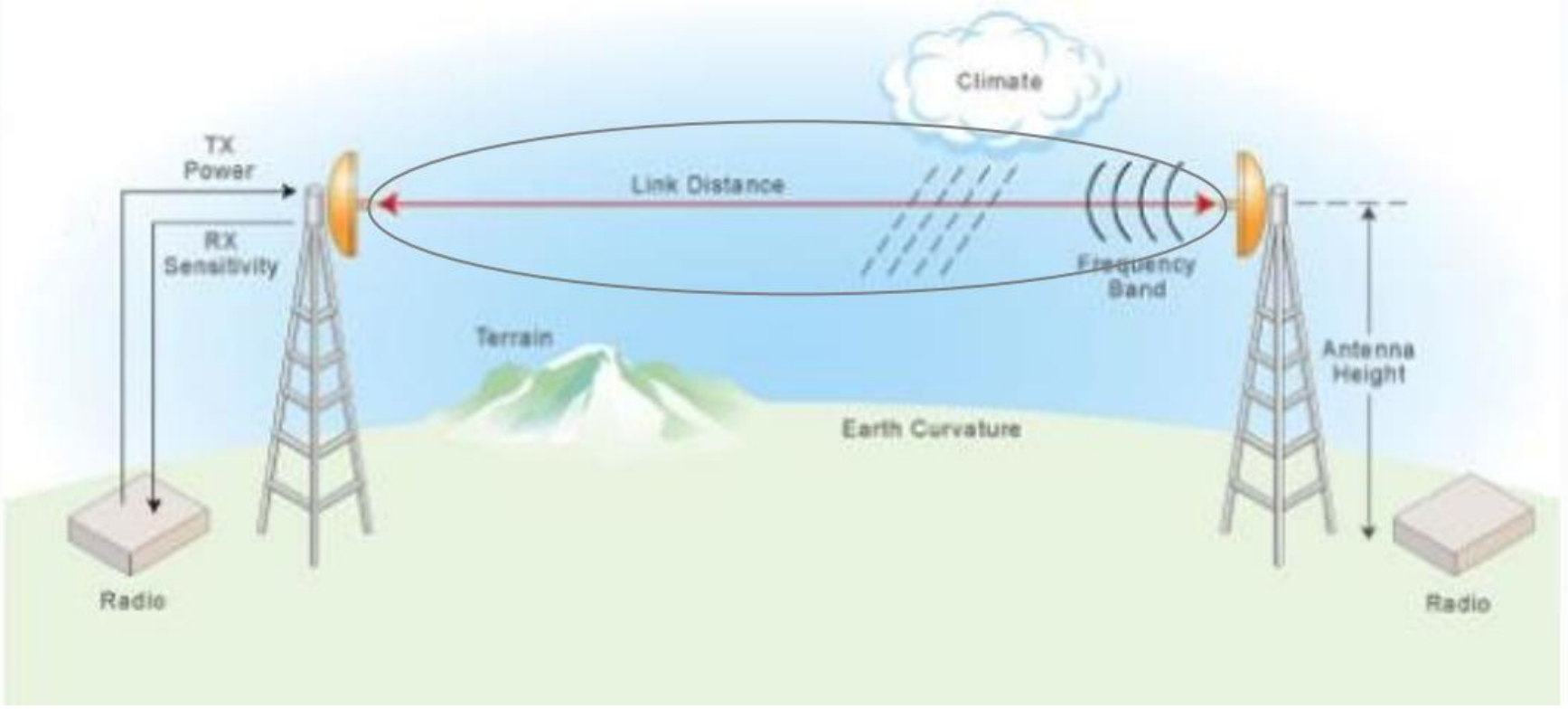
1.2 Transmissão de Rádio

Apesar da alta probabilidade de ocorrência de mais de um **mecanismo de propagação** simultaneamente num radioenlace, é possível que haja um mecanismo principal, cuja influência será dominante sobre os demais.



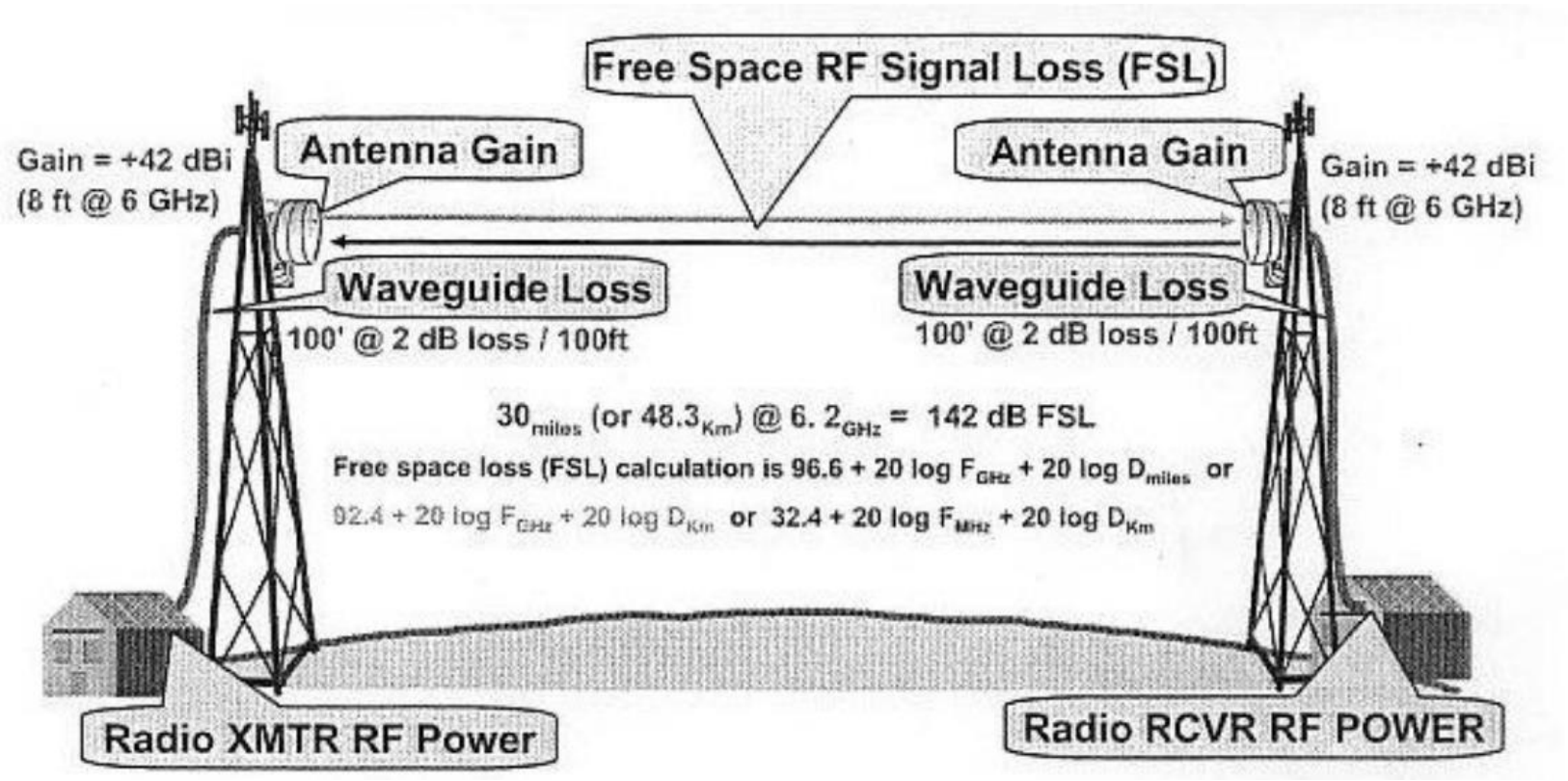
Equilíbrio ou Balanço de um Sistema de Telecomunicações

O desempenho de um link de comunicações depende do dimensionamento do enlace, e da qualidade dos dispositivos envolvidos.



DE CASTRO, Maria Cristina Felippetto Propagação Radioelétrica , Porto Alegre, 2017.

Equilíbrio ou Balanço de um Sistema de Telecomunicações

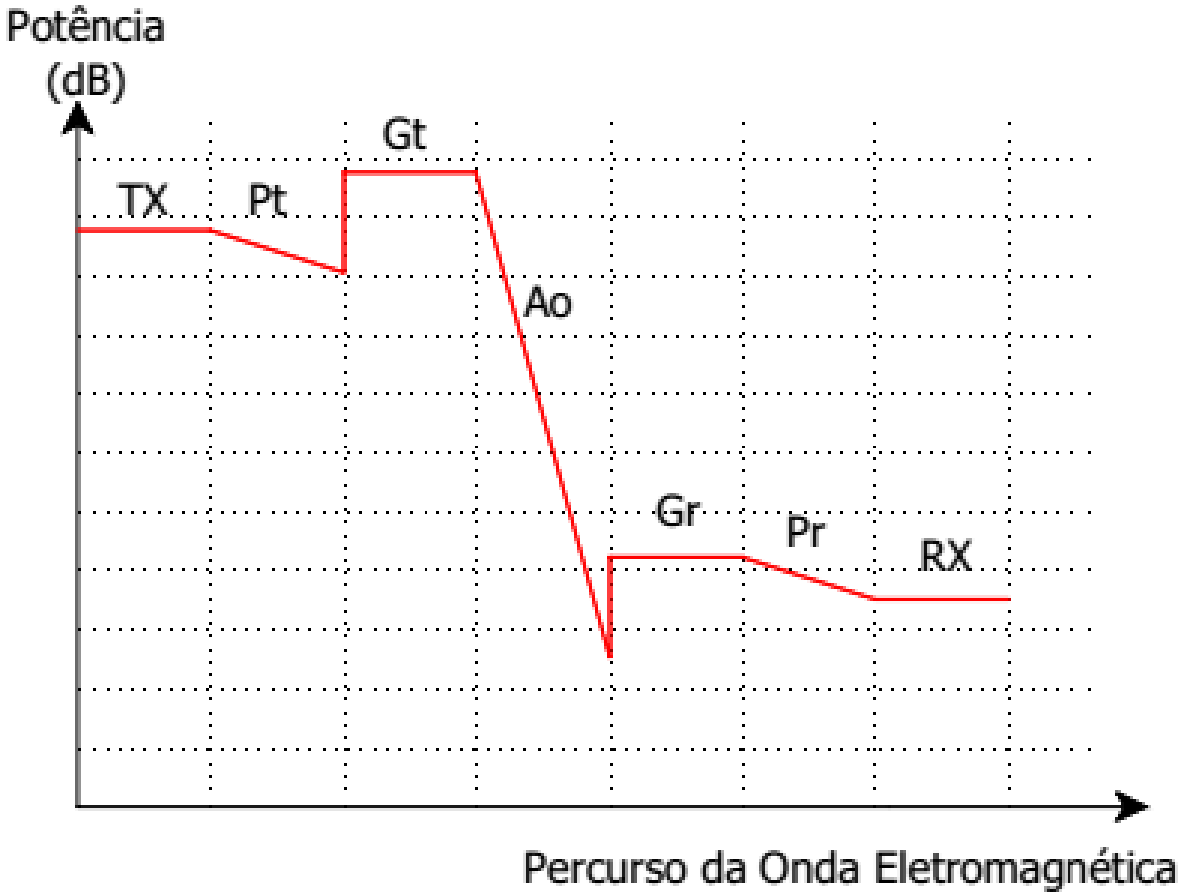


Potência recebida (dB) = Potência transmitida (dB) + Ganhos (dB) - Perdas (dB)

DE CASTRO, Maria Cristina Felippetto Propagação Radioelétrica , Porto Alegre, 2017.

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Equilíbrio ou Balanço de um Sistema de Telecomunicações



UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Referências

TANENBAUM, Andrew. S; Wetherall, David. **Redes de Computadores.** 5.ed. Traduzido por Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Tradução de: Computer networks.

FIM

UEA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Bibliografia

Básica:

1 STALLINGS, William, Data and computer communications – Prentice Hall – 1997.

2 KUROSE, James F., Redes de computadores e a internet. Ed. São Paulo, 2006.

3 TANENBAUM, André S., rede de Computadores, Ed. Campos, 2003.

Complementar:

4 SOUZA, Lindeberg Barros, Redes de Computadores: Dados, Voz, Imagem, Ed. Érica, 2005.

5 SOARES, Luiz Fernando Gomes, Rede de Computadores: Das redes LANs, MANs e WANs Redes ATM – Ed. Campos, 1995

6 SOARES, Neto Vicente. Telecomunicação – Redes de alta velocidade – Ed. Érica, 2005.