

# Balanço de Potência em Enlace de Comunicação via Satélite

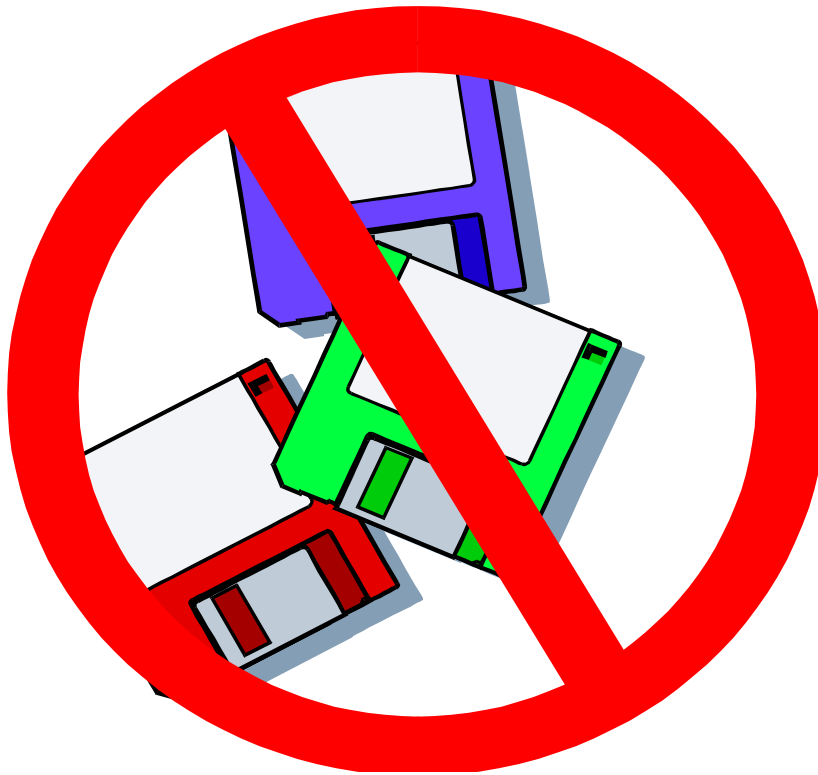
SEL 413 Telecomunicações

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.

# Balanço de potência do enlace

---

- ✓ Cálculo da potência em vários pontos do enlace para garantir qualidade na recepção
- ✓ É uma medida do desempenho do sistema de comunicação
- ✓ Inclui o segmento espacial (satélite) e o terrestre (estação)
- ✓ Enlaces de subida (uplink) e descida (downlink)
  - Uplink inclui o transmissor da estação terrestre e o receptor do satélite
  - Downlink inclui o transmissor do satélite e o receptor da estação terrestre

# Parâmetros do balanço de potência do enlace-1

---

## ✓ Órbita do satélite

- Distância entre o satélite e a estação terrestre
- A distância varia entre 35.786 e 41.680 km para satélites geoestacionários
- A potência do sinal recebido é inversamente proporcional à distância ao quadrado.
- A transmissão de sinal através da atmosfera depende da elevação, ângulo entre o enlace de radiofrequência e o plano horizontal

## ✓ Exemplos de faixas de frequências

- banda-C (6 e 4 GHz) e banda-Ku (14 e 12 GHz)

# Parâmetros do balanço de potência do enlace-2

---

## ✓ Antena

- Dispositivo passivo e recíproco
- O tipo principal é a parabólica
  - Na recepção, a potência do sinal é focalizada pelo refletor na posição do alimentador (foco)
- Ganho da antena é a relação entre a potência transmitida na direção preferencial e a potência transmitida por uma antena isotrópica

## ✓ Potência

- No satélite
  - Entre 10 e 100 W
- Estação terrestre
  - Típico 1000 W

## ✓ Temperatura de ruído

- Antena receptora do satélite recebe ruído a partir da Terra
- Potência do ruído é proporcional à temperatura do objeto
- Terra: 270-290 K

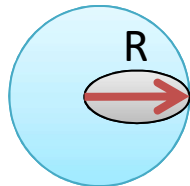
# EIRP (effective isotropic radiated power)

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

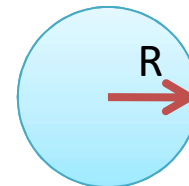
Potência recebida

$$\frac{P_t}{4\pi R^2}$$

Densidade de potência radiada por fonte isotrópica



$$S_1 = \frac{P_{1t} G_1}{4\pi R^2} \quad \text{w/m}^2$$



$$S_2 = \frac{P_{2t}}{4\pi R^2} \quad \text{w/m}^2$$

$$S_2 = S_1 \rightarrow P_{2t} = G_1 P_{1t} \equiv \text{EIRP} \text{ W}$$

$$\text{EIRP} = 10 \log(P) \text{ (dBW)} + 10 \log(G) \text{ (dB)}$$

Antena direcional radia  $P_{1t}$  e isotrópica,  $P_{2t} = G_1 P_{1t}$   
Para receptor a 2 situações são equivalentes

# Relação ganho-temperatura

---

$$\frac{G}{T} = 10 \log \left( \frac{G}{T_A} \right) \text{ dB/K}$$

$G$ : ganho da antena

$T_A$  : temperatura de ruído da antena

# Relação portadora-ruído térmico (carrier-noise ratio)

---

Potência recebida no receptor

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \text{ W}$$

Potência na entrada do receptor

$$N_i = K T_A B \text{ W}$$

Relação portadora-ruído

$$CNR = \frac{P_r}{K T_A B} = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left[ \frac{1}{\left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2} \right] \left( \frac{1}{KB} \right)$$
$$CNR = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left( \frac{1}{L_P} \right) \left( \frac{1}{KB} \right)$$



# Relação portadora-ruído térmico (em dB)-1

---

$$CNR = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left( \frac{1}{L_P} \right) \left( \frac{1}{k_B} \right)$$

unidade de  $k$

constante de Boltzmann :  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

$$[k] = \text{J} \cdot \text{K}^{-1} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{-1} = \frac{\text{W} \cdot \text{K}^{-1}}{\text{s}^{-1}} = \text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

ou watt / (hertz · kelvin)

# Relação portadora-ruído térmico (em dB)-2

---

unidade de CNR

$$CNR = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left( \frac{1}{L_P} \right) \left( \frac{1}{kB} \right)$$

$$[CNR] = (K^{-1})(W)(ad) \left( \frac{1}{(W \cdot K^{-1} \cdot Hz^{-1}) \cdot (Hz)} \right)$$

$$[CNR] = (K^{-1})(W)(ad) \left( \frac{1}{W \cdot K^{-1}} \right) = ad$$

ad: adimensional

## Relação portadora-ruído térmico (em dB)-3

---

$$CNR = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left( \frac{1}{L_P} \right) \left( \frac{1}{kB} \right)$$

$$CNR \text{ (dB)} = \frac{G_r}{T_A} \text{ (dB/K)} + EIRP \text{ (dBW)} - \\ L_P \text{ (dB)} - 10 \log(k) \text{ (dBW/HzK)} - \\ 10 \log(B) \text{ (dB} \cdot \text{Hz)}$$

# Relação portadora-temperatura de ruído

---

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad \text{W : Potência recebida no receptor}$$

$$P_r = (G_r)(G_t P_t) \left[ \frac{1}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} \right] = (G_r)(G_t P_t) \left( \frac{1}{L_p} \right) \text{W}$$

$$\frac{P_r}{T_A} = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left[ \frac{1}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} \right] = \left( \frac{G_r}{T_A} \right) (G_t P_t) \left( \frac{1}{L_p} \right) \text{W/K}$$

$$\frac{P_r}{T_A} \text{ (dBW/K)} = \frac{G_r}{T_A} \text{ (dB/K)} + \text{EIRP (dBW)} - L_p \text{ (dB)}$$

# Relação portadora-densidade de ruído

---

Potência de ruído disponível

$$N = kTB \text{ W}$$

$$N_0 = \frac{N}{B} = kT \text{ W/Hz: densidade de ruído}$$

Relação portadora-densidade de ruído

$$\frac{P_r}{N_0} = \frac{P_r}{kT} = \left( \frac{P_r}{T} \right) \left( \frac{1}{k} \right) \text{ Hz}$$

$$\left[ \frac{P_r}{N_0} \right] = \frac{W}{W / \text{Hz}} = \text{Hz}$$

# Relação portadora-densidade de ruído

---

$$\frac{P_r}{N_o} = \frac{P_r}{kT} = \left(\frac{P_r}{T}\right)\left(\frac{1}{k}\right) \text{ Hz}$$

$$\frac{P_r}{N_o} \text{ (dBHz)} = 10 \log\left(\frac{P_r}{T}\right) \text{ (dBW/K)} - 10 \log(k) \text{ (dBW/HzK)}$$

$$\frac{P_r}{N_o} \text{ (dBHz)} = 10 \log\left(\frac{P_r}{T}\right) \text{ (dBW/K)} + 228,6 \text{ (dBW/HzK)}$$

## Balanço de potência nos enlaces de subida e descida-resumo

---

$$EIRP \text{ (dBW)} = 10 \log(P_t) \text{ (dBW)} + G_t \text{ (dB)}$$

$$\frac{P_r}{T} \text{ (dBW/K)} = \frac{G_r}{T} \text{ (dB/K)} + EIRP \text{ (dBW)} - L_p \text{ (dB)}$$

$$\frac{P_r}{N_0} \text{ (dBHz)} = \frac{P_r}{T} \text{ (dBW/K)} + 228,6 \text{ (dBW/HzK)}$$

# Exemplo (a)

## Enunciado

Um sistema DBS (direct broadcast system) opera em 12,45 GHz (faixa 12,2 a 12,7 GHz). A potência transmitida é 120 W, o ganho da antena transmissora é 34 dB, a largura de faixa de FI (frequência intermediária) é 20 MHz, a distância Terra-satélite é 36.000 km, o ganho da antena receptora é 33,5 dB, o diâmetro da antena receptora é 18 polegadas, a temperatura de brilho de fundo é 50 K e a figura de ruído do LNB (*low noise block*) é 1,1 dB.

## Determinar

- (a) A EIRP do transmissor;
- (b) A relação G/T da antena receptora e LNB;
- (c) A potência recebida;
- (d) A CNR na saída do LNB.





## Exemplo (b)

---

$$f = 12,45 \text{ GHz}; P_t = 120 \text{ W}; G_t = 34 \text{ dB}; B = 20 \text{ MHz};$$
$$R = 39.000 \text{ km}; D = 18''; G_r = 33,5 \text{ dB}; T_b = 50 \text{ K}; F_{LNB} = 1,1 \text{ dB}.$$

Conversão de unidades

$$34 \text{ dB} \rightarrow 2512; 1,1 \text{ dB} \rightarrow 1,29; 33,5 \text{ dB} \rightarrow 2239$$

$$12,45 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 0,0241 \text{ m}.$$

$$EIRP = P_t G_t = 120 \times 2512 = 3,01 \times 10^5 \text{ W} = 54,8 \text{ dBW}$$

$$T_e = T_A + T_{LNB} = T_A + (F - 1)T_0 = 50 + (1,29 - 1) \times 290 = 134 \text{ K}$$

$$\frac{G}{T} = 10 \log \left( \frac{2239}{134} \right) = 12,2 \text{ dB/K}$$

## Exemplo (c)

---

$f = 12,45 \text{ GHz}$ ;  $P_t = 120 \text{ W}$ ;  $G_t = 34 \text{ dB}$ ;  $B = 20 \text{ MHz}$ ;  
 $R = 39.000 \text{ km}$ ;  $D = 18''$ ;  $G_r = 33,5 \text{ dB}$ ;  $T_b = 50 \text{ K}$ ;  $F_{LNB} = 1,1 \text{ dB}$ .

Conversão de unidades

$34 \text{ dB} \rightarrow 2512$ ;  $1,1 \text{ dB} \rightarrow 1,29$ ;  $33,5 \text{ dB} \rightarrow 2239$

$12,45 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 0,0241 \text{ m}$ .

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} = \frac{(3,01 \times 10^5)(2239)(0,0241)^2}{(4\pi \times 3,9 \times 10^7)^2} = 1,63 \text{ pW}$$

ou  $-117,9 \text{ dBW}$

$$CNR = \frac{P_r}{KT_e B} = \frac{1,63 \times 10^{-12}}{(1,38 \times 10^{-23})(134)(20 \times 10^6)} = 44,1 \text{ ou } 16,4 \text{ dB}$$