

3

Cálculo Básico de Enlace Via Satélite

Neste capítulo é tratado o cálculo básico de um enlace via-satélite, subentendido em condições normais de propagação (espaço livre) nos percursos de subida e descida e considerados os efeitos de ruídos e interferências.

A Figura 3.1 mostra os diversos estágios por onde flui o sinal num enlace via-satélite de comunicações com as respectivas degradações.

A relação portadora ruído total (RPR_{total}), definida pela razão entre a potência da portadora e a potência de ruído mais interferências, ambas na entrada do receptor da ET de destino, é a grandeza principal do cálculo básico de um enlace via-satélite. A diferença entre a RPR_{total} e o valor mínimo aceitável é definida como a folga ou margem de céu-claro do enlace que, por sua vez, determina a sua condição operacional durante as condições normais de propagação.

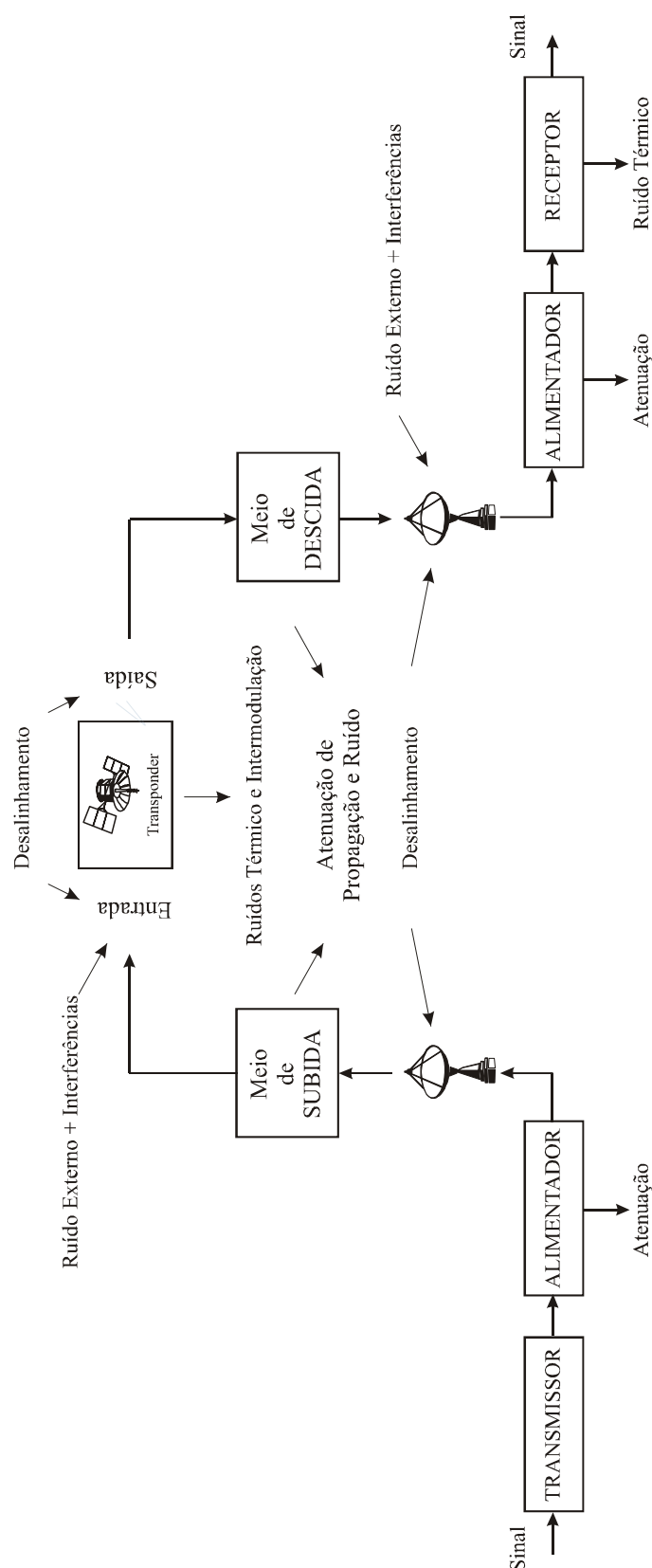


Figura 3.1: Diagrama esquemático de um enlace via-satélite e os principais fatores de degradação de desempenho

3.1.

Parâmetros Fundamentais de Transmissão e Recepção

Determinados parâmetros de transmissão e recepção são tradicionalmente utilizados em cálculos de enlaces via-satélite como a *Densidade de Fluxo de Potência* ou *PFD* (*power flux density*), *Potência Efetiva Isotropicamente Irrradiada* ou *EIRP* (*equivalent isotropic radiated power*) e *Fator de Mérito* ou G/T_e .

3.1.1.

Densidade de Fluxo de Potência (PFD)

É uma grandeza que representa a densidade superficial de potência num determinado ponto, expressa em dB relativo a 1 W/m^2 . Também é bastante utilizada para limitação de interferências geradas por satélites na superfície da Terra.

Em satélites que utilizam transponder tipo de repetição (“*bent pipe*”) em que não ocorrem outros processamentos além de ganho de potência, filtragem e conversão de frequência e aplicáveis tanto para transmissões digitais quanto analógicas, ocorre um processo de saturação de potência. Tal saturação implica que a potência de transmissão do satélite, correspondente ao transponder em questão, atinge um valor máximo possível. Ocorre quando a densidade de fluxo de potência na antena receptora devida a todas as portadoras que se destinam ao transponder excede o valor de saturação (PFDS). O seu valor é fundamental para o cálculo dos “back-offs”, definidos a seguir.

3.1.2.

Potência Efetiva Isotropicamente Irradiada (EIRP)

Trata-se de um parâmetro de transmissão aplicado à estação terrena transmissora para o enlace de subida e ao satélite para o enlace de descida, definida por:

$$EIRP(dBw) = P_T(dBw) + G_T(dBi) - A_{L/T} \quad (3.1)$$

Onde:

P_T : Potência de transmissão (antes do alimentador)

G_T : Ganho da antena transmissora

$A_{L/T}$: Atenuação do alimentador da antena transmissora

No caso do satélite, a EIRP de saturação (EIRPS) e a PFD de saturação (PFDS) são fornecidas pelo seu fabricante na forma de mapas de cobertura (“*footprints*”).

Em decorrência do processo de saturação de um transponder de repetição, foi definido o parâmetro “*back-off*” de entrada (BO_i) de acordo com:

$$BO_i \text{ (dB)} = PFDS \text{ (dB w/m}^2\text{)} - PFD_{total} \text{ (dB w/m}^2\text{)} \quad (3.2)$$

Onde PFD_{total} é a densidade de fluxo de potência agregada das portadoras que se destinam ao transponder.

Associado ao BO_i define-se como backoff de saída a seguinte diferença:

$$BO_o \text{ (dB)} = EIRPS \text{ (dBw)} - EIRP \text{ (dBw)}$$

Dependendo da característica entrada *versus* saída do amplificador de alta potência do transponder, há uma relação entre BO_o e BO_i e que tem sido modelada com o seguinte tipo de função:

$$BO_o = aBO_i + b \quad (3.3)$$

Onde a e b são constantes do transponder.

Um modelo proposto é:

$$\begin{aligned} BO_o &= 0,82BO_i - 3,7; \quad BO_i \geq 4,5 \text{ dB} \\ BO_o &= 0; \quad BO_i < 4,5 \text{ dB} \end{aligned} \quad (3.4)$$

A EIRP com que o satélite transmite determinada portadora no enlace de descida pode ser calculada a partir de sua densidade de potência no satélite (PFD_c), do BO_i e da PFDS de acordo com:

$$EIRP_c = EIRPS - (PFDS + (1 - a)BO_i + b + PFD_c) \quad (3.5)$$

O PFD_c pode ser avaliada através da fórmula:

$$PFD_c = EIRP_{tx} (dBW) - A_0 - A_g - A_{ch} - A_n + 20 \log f_s (GHz) + 21,45 \quad (3.6)$$

Onde:

$EIRP_{tx}$: EIRP da estação terrena transmissora para a portadora de subida

A_0 : Atenuação de espaço livre

$$A_0 = 20 \log d_s (Km) + 20 \log f_s (GHz) + 92,4 \text{ dB} \quad (3.7)$$

d_s : distância ET transmissora-satélite

f_s : frequência de subida

3.1.3.

Fator de Mérito (G/T_e)

Trata-se de um parâmetro de recepção aplicável ao satélite para o enlace de subida e à ET receptora para o enlace de descida, definido por:

$$G/T_e (dB / K) = G_R (dBi) - 10 \log(T_e (K)) - A_{L/R} \quad (3.8)$$

Onde:

G_R : Ganho da antena receptora (dBi)

T_e : Temperatura efetiva de ruído do sistema de recepção, em graus Kelvin

$A_{L/R}$: Atenuação do alimentador da antena receptora (dB)

No caso do satélite este parâmetro também é fornecido pelo seu fabricante através dos mapas de cobertura.

3.2.

Relação Portadora-Ruído Térmico

A relação portadora-ruído térmico (RPRT) é definida por:

$$RPRT = 10 \log \left(\frac{P_R(W)}{N(W)} \right) \quad (3.9)$$

Onde:

P_r : Potência da portadora à entrada do receptor

N : Potência de ruído térmico, referida na entrada do receptor

Para um enlace via-satélite a relação portadora-ruído térmico deve ser calculada para ambos os percursos de subida e descida.

3.2.1.

Relação Portadora-Ruído Térmico no Enlace de Subida

A expressão resultante neste percurso é:

$$RPRT_s(dB) = EIRP_{tx}(dBw) + (G/T_e)_{sat} - A_0 - 10 \log B_e(MHz) + 168,6 \quad (3.10)$$

Onde:

$EIRP_{tx}$: EIRP da estação terrena para a portadora de subida

$(G/T_e)_{sat}$: Fator de mérito do sistema de recepção do satélite

B_e : Faixa de ruído do receptor

A_0 : atenuação de espaço livre

3.2.2.

Relação Portadora-Ruído Térmico no Enlace de Descida

A expressão resultante neste percurso é:

$$RPRT_d(dB) = EIRP_c(dBw) + (G/T_e) - A_0 - A_p - 10 \log B_e(MHz) + 168,6 \quad (3.11)$$

Onde:

$EIRP_c$: EIRP do satélite correspondente à portadora de descida

(G/T_e) : Fator de mérito do sistema de recepção da estação terrena receptora

3.3.

Relação Portadora-Ruído de Intermodulação

A principal fonte de ruído de intermodulação num enlace via satélite é o amplificador de alta potência de um transponder de repetição. Devida à característica não linear deste amplificador, principalmente próxima da região de

saturação, produtos de intermodulação são originados quando o transponder é compartilhado por várias portadoras simultaneamente. Um modelo bastante referenciado e utilizado para avaliar a relação portadora-ruído de intermodulação no enlace de subida tem a seguinte expressão matemática:

$$RPRI(dB) = 48,6 - 10 \log n_p - 10 \log B + 2BO_0 \quad (3.12)$$

Onde:

B: Largura de faixa do canal em KHz

n_p : número de portadoras no transponder (≥ 3)

3.4. Relação Portadora-Interferência

Portadoras interferentes constituem atualmente numa das principais preocupações para sistemas Rádio em geral devido ao crescente compartilhamento de faixas de frequências por sistemas distintos.

O efeito agregado de todas portadoras interferentes no satélite ou na estação terrena receptora é tratado como uma soma de ruídos, resultando numa relação portadora-interferência total para os enlaces de subida ou descida dada por:

$$RPI_{s,d}(dB) = -10 \log \left[\sum_i^m 10^{-RPI_i(dB)/10} \right] \quad (3.13)$$

Onde:

$RPI_{s,d}$: valor total nos enlaces de subida e descida, respectivamente

m: número de portadoras interferentes

RPI_i : relação portadora-interferência do i -ésimo caso definida por:

$$RPI_i(dB) = P_r(dBw) - I_i(dBw) \quad (3.14)$$

Onde:

P_r : Potência da portadora interferida na entrada do receptor

I_i : Potência da portadora interferente na entrada do receptor incluído efeito de filtragem

3.5. Relação Portadora-Ruído Total

A relação portadora-ruído total é determinada pela composição dos efeitos do ruído térmico, de intermodulação e interferências nos enlaces de subida e descida.

3.5.1. Relação Portadora-Ruído Total de Subida

Para o enlace de subida a relação portadora-ruído total é dada por:

$$RPR_s = -10 \log \left[10^{-RPT_s(dB)/10} + 10^{-RPI(dB)/10} + 10^{-RPI_s/10} \right] \quad (3.16)$$

3.5.2. Relação Portadora-Ruído Total de Descida

A relação portadora-ruído total referente ao enlace de descida é dada por:

$$RPR_d = -10 \log \left[10^{-RPT_d(dB)/10} + 10^{-RPI_d/10} \right] \quad (3.17)$$

3.5.3. Relação Portadora-Ruído Total

A relação portadora-ruído total de um enlace via-satélite é uma composição das relações devidas aos percursos de subida. Com transponder de repetição ou “bent pipe” esta composição é dada por:

$$RPR_{total} = -10 \log \left[10^{-RPR_s(dB)/10} + 10^{-RPR_d(dB)/10} \right] \quad (3.18)$$