

Referências Bibliográficas

- [1] **Maximum permissible levels of interference in a satellite network (GSO/FSS; non-GSO/FSS; non-GSO/MSS feeder links) for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service caused by other codirectional FSS networks below 30 GHz.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R S.1323 - (1997).
- [2] **LUENBERGER, D. G.. Introduction to linear and nonlinear programming.** Addison-Wesley Publishing Company, Washington, 1973.
- [3] **Analysis of criteria for sharing between non-geostationary satellite systems operating in the high-elliptical orbits and geostationary networks in the fixed satellite service.** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/402-E, 28 de março de 2002.
- [4] **Working document on the derivation of possible EPFD levels for HEO systems to protect GSO FSS networks in the 19.7-20.2 GHz band.** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/509-E, 27 de fevereiro de 2003.
- [5] **Considerations on EPFD limits in the frequency band 19.7-20.2 GHz .** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/503-E, 24 de fevereiro de 2003.
- [6] **A proposed draft new recommendation on an alternative set of EPFD limits applicable to HEO NON-GSO FSS systems in the 19.7-20.2 GHz band.** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/502-E, 21 de fevereiro de 2003.
- [7] **Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.618-7 - (1986-1990-1992-1994-1995-1997-1999-2001).

- [8] **Rain height model for prediction methods.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.839-3 - (1992-1997-1999-2001).
- [9] **Characteristics of precipitation for propagation modelling.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.837-4 - (1992-1994-1999-2001-2003).
- [10] **Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.** União Internacional de Telecomunicações, Recommendation ITU-R P.838-3 - (1992-1999-2003-2005).
- [11] **Terrestrial and space services sharing frequency bands above 1 GHz.** União Internacional de Telecomunicações, Radio Regulations - Article 21.
- [12] **Space services.** União Internacional de Telecomunicações, Radio Regulations - Article 22.
- [13] **Sharing between HEO systems and GSO networks in frequency bands where 22.2 applies.** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/386-E, 7 de março de 2002.
- [14] **Sharing between geostationary networks and non-geostationary systems in the 6/4 GHz range.** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/533-E, 5 de março de 2003.
- [15] CRANE, R. K.. **A two-component rain model for the prediction of attenuation statistics.** Radio Science, 17:1371–1387, 1982.
- [16] **Proposed PDNR on PFD masks for the protection of GSO FSS networks against interference from HEO/HICGO FSS satellite systems.** Radiocommunication Study Groups - União Internacional de Telecomunicações, Document 4A/424-E, 2 de abril de 2002.

A

Polinômios de Legendre

Os polinômios de Legendre deslocados (*shifted Legendre polynomials*) $P_n(x)$ são definidos por

$$P_n(x) = (-1)^n \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \binom{n+k}{k} (-x)^k \quad (\text{A-1})$$

sendo que tais polinômios constituem uma base de funções ortogonais no intervalo $[0,1]$.

Os 11 primeiros polinômios de Legendre deslocados são:

$$P_0(x) = 1$$

$$P_1(x) = 2x - 1$$

$$P_2(x) = 6x^2 - 6x + 1$$

$$P_3(x) = 20x^3 - 30x^2 + 12x - 1$$

$$P_4(x) = 70x^4 - 140x^3 + 90x^2 - 20x + 1$$

$$P_5(x) = 252x^5 - 630x^4 + 560x^3 - 210x^2 + 30x - 1$$

$$P_6(x) = 924x^6 - 2772x^5 + 3150x^4 - 1680x^3 + 420x^2 - 42x + 1$$

$$P_7(x) = 3432x^7 - 12012x^6 + 16632x^5 - 11550x^4 + 4200x^3 - 756x^2 + 56x - 1$$

$$P_8(x) = 12870x^8 - 51480x^7 + 84084x^6 - 72072x^5 + 34650x^4 - 9240x^3 + 1260x^2 - 72x + 1$$

$$P_9(x) = 48620x^9 - 218790x^8 + 411840x^7 - 420420x^6 + 252252x^5 - 90090x^4 + 18480x^3 - 1980x^2 + 90x - 1$$

$$P_{10}(x) = 184756x^{10} - 923780x^9 + 1969110x^8 - 2333760x^7 + 1681680x^6 - 756756x^5 + 210210x^4 - 34320x^3 + 2970x^2 - 110x + 1$$

B

Procedimento para cálculo da distribuição cumulativa de atenuação por chuvas

O procedimento descrito a seguir está baseado na Recomendação ITU-R P.618-7 [7] e provê uma estimativa da estatística de longa duração da atenuação devida a chuvas de enlaces por satélite em uma dada região, para frequências até 55GHz. Os seguintes parâmetros são requeridos:

$R_{0.01}$: taxa de precipitação pluviométrica pontual para a região, para 0,01% de um ano médio (mm/h)

h_s : altitude da estação terrena acima do nível médio do mar (km)

θ : ângulo de elevação (graus)

φ : latitude da estação terrena (graus)

f : frequência (GHz)

R_e : raio efetivo da Terra (8500 km)

O cálculo é realizado segundo os seguintes passos:

Passo 1 : Determine a altura da chuva, h_R , conforme indicado na Recomendação ITU-R P.839 [8].

Passo 2 : Para $\theta \geq 5^\circ$ calcule o comprimento do lance, L_S , abaixo da altura da chuva, a partir de

$$L_S = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad km \quad (B-1)$$

Para $\theta < 5^\circ$, é utilizada a expressão

$$L_S = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} \quad km \quad (B-2)$$

Passo 3 : Calcule a projeção horizontal, L_G , do comprimento do lance, a partir de

$$L_G = L_S \cos \theta \quad km \quad (B-3)$$

Passo 4 : Obtenha a taxa de precipitação pluviométrica, $R_{0.01}$, excedida por 0,01% do ano médio (com um tempo de integração de 1 min). Se a estatística de longa

duração não puder ser obtida de uma fonte de dados local, uma estimativa pode ser obtida a partir dos mapas de taxa de precipitação pluviométrica apresentados na Recomendação ITU-R P.837 [9].

Passo 5 : Obtenha a atenuação específica, γ_R , usando os coeficientes dados na Recomendação ITU-R P.838 [10] e a taxa de precipitação pluviométrica, $R_{0.01}$, determinada no passo 4, utilizando

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad dB/km \quad (B-4)$$

Passo 6 : Calcule o fator de redução horizontal, $r_{0.01}$, para 0,01% do tempo

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38 (1 - e^{-2L_G})} \quad (B-5)$$

Passo 7 : Calcule o fator de ajuste vertical, $\nu_{0.01}$, para 0,01% do tempo

$$\zeta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_G r_{0.01}} \right) \quad \text{graus} \quad (B-6)$$

Se $\zeta > \theta$,

$$L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta} \quad km \quad (B-7)$$

Senão,

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\text{sen } \theta} \quad km \quad (B-8)$$

Se $|\varphi| < 36^\circ$,

$$\chi = 36 - |\varphi| \quad \text{graus} \quad (B-9)$$

Senão,

$$\chi = 0 \quad \text{graus} \quad (B-10)$$

$$\nu_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\text{sen } \theta} \left(31 (1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \frac{\sqrt{L_G \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right)} \quad (B-11)$$

Passo 8 : O comprimento efetivo do lance é

$$L_E = L_R \nu_{0.01} \quad km \quad (B-12)$$

Passo 9 : A atenuação prevista excedida para 0,01% de um ano médio é obtida por

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \quad dB \quad (B-13)$$

Passo 10 : A atenuação estimada a ser excedida para outras percentagens de um ano médio, na faixa de 0,001% a 5%, é determinada a partir da atenuação a ser

excedida para 0,01% de um ano médio:

Se $p \geq 1\%$ ou $|\varphi| \geq 36^\circ$:

$$\beta = 0 \quad (\text{B-14})$$

Se $p < 1\%$ e $|\varphi| < 36^\circ$ e $\theta \geq 25^\circ$:

$$\beta = -0,005(|\varphi| - 36) \quad (\text{B-15})$$

Senão:

$$\beta = -0,005(|\varphi| - 36) + 1,8 - 4,25 \sin \theta \quad (\text{B-16})$$

e temos então

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0,01} \right)^{(0,655+0,033 \ln(p)-0,045 \ln(A_{0.01})-\beta(1-p) \sin \theta)} \quad dB \quad (\text{B-17})$$

C

Procedimento para obtenção de $(E_b/N_0)_{CS}$

Neste Apêndice é apresentado o procedimento para determinação da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ (Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico em condições de céu claro) para um enlace, considerando-se somente a presença de chuvas.

Para garantir um desempenho adequado para o enlace, estabelecem-se, inicialmente, restrições para a taxa de erro de bit, limitando-se as percentagens de tempo durante as quais determinados níveis pré-estabelecidos de taxas de erro de bit podem ser excedidos. Estabelecem-se, portanto, pares formados, respectivamente, por Taxas de Erro de Bit $\{BER_j, j = 1, \dots, m\}$ e percentagens de tempo $\{p_j, j = 1, \dots, m\}$ que não poderão ser excedidas.

A dependência da Taxa de Erro de Bit (BER) com a razão E_b/N_0 (Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico) é usualmente conhecida e dada pela curva de desempenho do MODEM utilizado. Pode-se, então, a partir desta curva de desempenho e do conjunto de pares $\{(BER_j, p_j) ; j = 1, \dots, m\}$, obter um outro conjunto de pares $\{((E_b/N_0)_j, p_j) ; j = 1, \dots, m\}$.

A Recomendação ITU-R S.1323 da International Telecommunication Union (ITU) [1], em seu Item 3.1, estabelece que para uma determinada rede de satélites, a interferência causada por emissões das demais redes de satélites que operem na mesma banda de frequências, deve ser responsável por, no máximo, 10% do tempo permitido para as Taxas de Erro de Bit (BER) especificadas nas metas de desempenho da rede considerada. Em decorrência desta recomendação, como é impossível prever interferências futuras, a degradação x devida à chuva não pode utilizar, mesmo em ambientes sem interferência, mais que 90% das percentagens de tempo associadas a cada nível de E_b/N_0 . Portanto, numa condição onde a degradação de desempenho seja atribuída apenas à chuva, devemos ter

$$1 - F_x \left(\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \right) \leq 0,9p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-1)$$

ou ainda,

$$1 - F_x(z'_j) \leq 0,9p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-2)$$

onde:

$$z'_j = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-3)$$

Obtido o conjunto de pares $\{(E_b/N_0)_j, p_j\}$; $j = 1, \dots, m$, conforme procedimento exposto anteriormente, e dada a curva de Distribuição Cumulativa de Probabilidade $P(x > X)$ da degradação x devida a chuvas, o cálculo da razão $(E_b/N_0)_{CS}$, é, então, realizado através dos seguintes passos:

- (i) Identificam-se, na curva de Distribuição Cumulativa de Probabilidade $P(x > X)$, os valores das degradações z'_j ; $j = 1, \dots, m$, correspondentes a 90% de cada um dos valores p_j ; $j = 1, \dots, m$ especificados.
- (ii) Os valores nominais $(E_b/N_0)_{CS}$ associados a cada z'_j ; $j = 1, \dots, m$, são obtidos por

$$\left(\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} \right)_j = z'_j + \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-4)$$

- (iii) O valor nominal final $(E_b/N_0)_{CS}$ para o enlace será dado pelo maior dos valores calculados em (C-4), ou seja,

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} = \max_j \left(z'_j + \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \right) \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (C-5)$$