SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÃO - Resolução do exame de 17/JAN/2023

1. a) Distância dos dois obstáculos à linha de vista entre as estações, contabilizando o efeito da curvatura da Terra e da refração (nula neste caso):

$$h_{F\_11.6} = 812 \times \frac{5.9}{17.5} + 760 \times \frac{11.6}{17.5} - \underbrace{\frac{11,6 \times 5.9 \times 10^3}{2 \times \underset{K=1}{1} \times 6370}}_{h_{CR}} - 717 = 55.2 \text{ m}$$

$$h_{F\_14.7} = 812 \times \frac{2.8}{17.5} + 760 \times \frac{14.7}{17.5} - \frac{14.7 \times 2.8 \times 10^3}{2 \times 1 \times 6370} - 734 = 31.1 \text{ m}$$

Cálculo do índice do elipsóide intersectado:

$$h_{Fn} = \sqrt{n \lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \iff n = \frac{h_F^2 (d_1 + d_2)}{\lambda \, d_1 \, d_2}$$

- $n_{11.6} = \dfrac{55.2^2 \times 17.5}{\frac{300}{1200} \cdot 11.6 \cdot 5.9 \times 10^3} = 3.11$
- $n_{14.7} = \dfrac{31.1^2 \times 17.5}{\frac{300}{1200} \cdot 14.7 \cdot 2.8 \times 10^3} = 1,64$

O primeiro elipsóide está desimpedido ($n_{11.6} \geq 1$; $n_{14.7} \geq 1$), sendo o obstáculo mais próximo de Almeida (734 m de altitude) o dominante ($n_{14.7} < n_{11.6}$).

b) Para modulação 64-QAM, a largura de banda nominal é dada por $B_{nom} = \frac{R_b}{3} = 18.7 \text{ MHz}$ (pg. 21 de "FEI").

c) $P_{RX} = P_{TX} - L_{CABO} + G_{ANT} + FSL + G_{ANT} - L_{CABO} =$

$= 20 \text{ dBm} - 1 \text{ dB} + 12 \text{ dBi} + 20 \log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi \, 17,5 \times 10^3}\right) + 12 \text{ dBi} - 1 \text{ dB} =$

$= -76.9 \text{ dBm}$.

d) $E_b/N_0 = P_{RX} - (10 \log_{10}(B_z . T_0 . R_b) + NF) =$

$= -76.9 \text{ dBm} - (10 \log_{10}(1.38 \times 10^{-20} . 290 . 56 \times 10^6) + 2 \text{ dB}) =$

$= -76.9 \text{ dBm} - (-96.5 \text{ dBm} + 2 \text{ dB}) = 17.6 \text{ dB}$

P_b é ligeiramente superior a 10^{-5}, pelo que $E_b/N_0 = 17.6 \text{ dB}$ não garante $P_b \leq 10^{-5}$ (pg. 19 de "FEI").

2. a) $\gamma = \arccos(\cos(lat).\cos(\Delta lon)) = \arccos(\cos(32.742204^\circ).\cos(-30^\circ-(-16.683439^\circ))) = 35.1^\circ$

Elevação: $\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{\cos(\gamma) - r_T/r_S}{\sin(\gamma)}\right) = 49.3^\circ$

Azimute: $\beta = -\arccos\left(-\frac{tg(lat)}{tg(\gamma)}\right) = -156.4^\circ \Leftrightarrow 203.6^\circ$

Distância: $d = \sqrt{1+(r_T/r_S)^2 - 2(r_T/r_S)\cos(\gamma)} \ast r_S = 37123$ km

b) A elevação deste satélite para a estação do Porto é 37.6° (vide relatórios do primeiro trabalho).

Atenuação da atmosfera na direção do zénite: 0.06 dB (pg 27 de "SAT").

Atenuação da atmosfera para as duas estações:

Porto: $Lg_{POR_{dB}} = \frac{Lg_{ZEN}}{\sin(\alpha)} = \frac{0.06}{\sin(37.6^\circ)} = 0.098$ dB $(\Leftrightarrow \underbrace{0.978}_{Lg_{POR}})$

Madeira: $Lg_{MAD_{dB}} = \frac{0.06}{\sin(49.3^\circ)} = 0.079$ dB $(\Leftrightarrow \underbrace{0.982}_{Lg_{MAD}})$

$Ta_{POR} = Lg_{POR} \underbrace{T_{cosm}}_{3K} + (1-Lg_{POR}) \underbrace{T_m}_{275 K} = 9.0$ K

$Ta_{MAD} = Lg_{MAD} T_{cosm} + (1-Lg_{MAD}) T_m = 7.9$ K

$T_{ant} = \eta\, T_a + (1-\eta) \underbrace{T_0}_{290K} = \begin{cases} 149.5 \text{ K (PORTO)} \\ 148.9 \text{ K (MADEIRA)} \end{cases}$

$T_S = T_{ant} + \underbrace{T_R}_{35K} = \begin{cases} 184.5 \text{ K (PORTO)} \\ 183.9 \text{ K (MADEIRA)} \end{cases}$

ΔRUÍDO $= 10 \log_{10}\left(\frac{T_{S\,MAD}}{T_{S\,POR}}\right) = 10 \log_{10}\left(\frac{183.9 \text{ K}}{184.5 \text{ K}}\right) = -0.014$ dB

COMPLETAMENTE DESPREZÁVEL.

c) $\Delta FSL = 20 \log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi d_{MAD}}\right) - 20 \log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi d_{POR}}\right) = 20 \log_{10}\left(\frac{d_{POR}}{d_{MAD}}\right) = 0.20$ dB

(d_{POR} = 37968 km, vide relatórios do primeiro trabalho)

(Neste caso, FSL é considerado como ganho. A distância à Madeira é menor que ao Porto, pelo que as perdas diminuem 0.20 dB.)

d) $E_b/N_0 = EIRP + FSL - Lg_{dB} + 10 \log_{10}\left(\frac{\eta \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\frac{\lambda^2}{4\pi}}\right) - 10 \log_{10}(B_Z . T_S . R_b)$

$= 52 \text{ dBW} - 204.8 \text{ dB} - 0.1 \text{ dB} + 43.5 \text{ dBi} - (-131.6 \text{ dBW}) =$

$= 22.2 \text{ dB} \gg 5.5 \text{ dB}$

Considerando as variações EIRP e FSL, a potência de sinal recebido na Madeira é 1.8 dB inferior. A experiência obtida no Porto mostra que a margem é superior a esta diferença.

3. a) $Res_{DIST} = \dfrac{c}{2B} = \dfrac{300}{2 \times 200} = \underline{0.75\ m}$

$\quad B \hookrightarrow$ largura de banda

$Res_{AZIM} = \underbrace{1.22 \dfrac{\lambda}{D}}_{\text{largura de feixe, em rad, de uma antena parabólica}} \times dist = 1.22 \times \dfrac{300/9600}{5} \times 50 \times 10^3 = \underline{381\ m}$

b) $NOISE_{dBW} = 10 \log_{10}(B_z . T_0 . B) + NF$

$= 10 \log_{10}(1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 200 \times 10^6) + 2dB = \underline{-119.0\ dBW}$

c) $P_{RX} = \dfrac{P_{TX} (\overbrace{\eta \pi (\frac{D}{2})^2}^{A_0})^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 r^4}$ $\rightarrow$ área efetiva de eco (pg. 7 de "RAD")

$P_{RX\,dBW} + \underbrace{G_{PROC}}_{10 \log_{10}(T_p \times B)} - NOISE_{dBW} \geqslant \underbrace{10\ dB}_{MARGEM}$

$P_{RX\,dBW} \geqslant 10\ dB - 119.0\ dBW - 10 \log_{10}(10 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^6) = -142.0\ dBW$

$P_{RX} \geqslant 10^{\frac{P_{RX\,dBW}}{10}} \geqslant 6.295 \times 10^{-15}\ W$

$\sigma \geqslant \dfrac{4\pi \lambda^2 r^4 \, P_{RX\,MIN}}{P_{TX} (\eta \pi (\frac{D}{2})^2)^2} = \dfrac{4\pi \left(\frac{300}{9600}\right)^2 \times (50 \times 10^3)^4 \times 6.295 \times 10^{-15}}{100 \times (0.5 \times \pi (\frac{5}{2})^2)^2} = \underline{0.050\ m^2}$

4. a) A variação de distância entre cada alvo elementar e as antenas do SAR ao longo da travessia da abertura sintética provoca uma significativa evolução de fase, que é explorada durante a compressão azimutal. Esta evolução de distância, tipicamente superior à resolução em distância leva à necessidade de uma correção do mapa "range-Doppler", para que a compressão azimutal possa ser realizada a longo de segmentos de reta sem desfocar a imagem obtida.

b) Abertura real da antena: $A = 0.2\ m$

Largura de feixe: $\theta = \dfrac{\lambda}{A} = 0.156\ rad$ ($\approx 9.0°$)

$\dfrac{v}{PRF} = \dfrac{50\ m/s}{5000\ Hz} = 0.01\ m < \dfrac{A}{2} = 0.1\ m$: <u>NÃO há aliasing espacial.</u>

c) Abertura sintética máxima para $R = 3\ Km$: $L_{MAX} = \theta R = \dfrac{\lambda R}{A} = 468.75\ m$

$G_{PR\_AZ} = 10 \log_{10}\left(\underbrace{\dfrac{L_{MAX} . PRF}{v}}_{\#\text{pulsos processados}}\right) = 10 \log_{10}\left(\dfrac{468.75\ m}{0.01\ m}\right) = 10 \log_{10}(46875) =$

$= \underline{46.7\ dB}$