

PSTEL - RESOLUÇÃO DO EXAME DE 12/JAN/2021

1.a)  $G_A = 10 \log_{10} \left( \frac{\epsilon \text{ Area}}{A_{\text{ISO}}} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{0.5 \pi \left( \frac{0.3}{2} \right)^2}{\frac{\lambda^2}{4\pi}} \right) = 22.2 \text{ dBi}$

$$(d = \frac{c}{f_c} = \frac{300}{5800} = 0.052 \text{ m})$$

$$\theta = 70^\circ \frac{1}{D} = 70^\circ \frac{0.052}{0.3} = 12.1^\circ$$

$$r_T^* = k r_T \in [0.6 \times 6370, \infty \times 6370] = [3822, \infty] \text{ km}$$

$$\phi \in \left[ -\frac{1}{2} \cdot \frac{13 \text{ km}}{3822 \text{ km}}, \frac{1}{2} \cdot \frac{13 \text{ km}}{3822 \text{ km}} \right] \times \frac{180^\circ}{\pi} = [-0.1^\circ, 0^\circ]$$

A variação de  $0.1^\circ$  da direção do feixe por flutuações do índice de refracção é insignificante face a  $\theta = 12.1^\circ$ , pelo que a pontaria não está sujeita a tais flutuações.

b) De acordo com a tabela da pg. 21 ("PSTEL-01\_FEI"):

- PARA 64-QAM,  $P_{\text{nom}} = 3$

$$B_W = \frac{R_b}{P} = \frac{50 \text{ MHz}}{3} = 16.7 \text{ MHz}$$

- PARA  $P_b = 10^{-6}$  e 64-QAM,  $\frac{E_b}{N_0} = 18.8 \text{ dB}$

$$P_{R_{\text{MIN}}} = NF + \frac{E_b}{N_0} + 10 \log_{10} (B_z \cdot 290 \cdot R_b) = -73.2 \text{ dBm}$$

c)  $P_R = P_T + G_A + FSL + G_A = 17 \text{ dBm} + 22.2 \text{ dB} - 130 \text{ dB} + 22.2 \text{ dB} = -68.6 \text{ dBm}$

$$(FSL = 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right) = -130 \text{ dB})$$

$P_R \geq P_{R_{\text{MIN}}}$ , pelo que é possível estabelecer esta ligação.

d)  $r_T^* = 3822 \text{ km}; h_{CR} = \frac{d_1 d_2}{2 r_T^*} = 5.5 \text{ m}; h_F = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = 13.0 \text{ m}$   
 $(d_1 = d_2 = \frac{13}{2} = 6.5 \text{ km})$

$$h_{\text{MAX}} = 200 \text{ m} - h_{CR} - h_F = 181.5 \text{ m}$$

2.a) De acordo com a figura da pg. 65 ("PTEL-01-FEI"):

• PARA  $f_c = 10 \text{ GHz}$ ,  $T_{\text{céu}} = 130 \text{ K}$

$$T_a = \cancel{T_{\text{céu}}} + (1 - \cancel{x}) T_0 = 0.5 \times 130 \text{ K} + 0.5 \times 290 \text{ K} = \underline{\underline{210 \text{ K}}}$$

( $x = 50\%$  : fração do céu no padrão de radiação.)

b)  $T_{\text{ant}} = \epsilon T_a + (1 - \epsilon) T_0 = 0.6 T_a + (1 - \epsilon) T_0 = \underline{\underline{242 \text{ K}}}$

( $\epsilon = 60\%$  : eficiência total da antena.)

c)  $T_{\text{LNA}} = T_0 \left( 10^{\frac{NF_{\text{LNA}}}{10}} - 1 \right) = 35.4 \text{ K}$        $g_{\text{LNA}} = 10^{\frac{30 \text{ dB}}{10}} = 1000$   
 $\frac{f_{\text{LNA}}}{f_R}$

$$T_{\text{CABO}} = T_0 \left( \frac{1}{g_{\text{CABO}}} - 1 \right) = 2610 \text{ K}$$
       $g_{\text{CABO}} = 10^{\frac{-10 \text{ dB}}{10}} = 0.1$

$$T_R = T_0 \left( 10^{\frac{NF_R}{10}} - 1 \right) = 1540 \text{ K}$$

$$T_{\text{eq}} = T_{\text{LNA}} + \frac{T_{\text{CABO}}}{g_{\text{LNA}}} + \frac{T_R}{g_{\text{LNA}} \cdot g_{\text{CABO}}} = 35.4 + \frac{2610}{1000} + \frac{1540}{100} = \underline{\underline{53.4 \text{ K}}}$$

d)  $T_s = T_{\text{ant}} + T_{\text{eq}} = 242 \text{ K} + 53.4 \text{ K} = \underline{\underline{295.4 \text{ K}}}$

3.a)  $\gamma = \arccos(\cos(\text{lat}) \cdot \cos(\Delta \text{lon})) = 41.3^\circ$

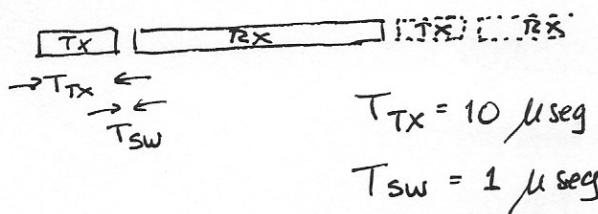
$$\text{elev} = \alpha = \arctan \left( \frac{\cos(\gamma) - \frac{r_T}{r_s}}{\sin(\gamma)} \right) = \underline{\underline{42.3^\circ}}$$

$$\text{azim} = \beta = \arccos \left( -\frac{\tan(\text{lat})}{\tan(\gamma)} \right) = \underline{\underline{174.6^\circ}}$$

$$\text{dist} = r_s \sqrt{1 + \left( \frac{r_T}{r_s} \right)^2 - 2 \left( \frac{r_T}{r_s} \right) \cos(\gamma)} = \underline{\underline{37593 \text{ km}}} \quad \begin{cases} r_s = 42164 \text{ km} \\ r_T = 6378 \text{ km} \end{cases}$$

b) Estando numa longitude mais próxima da da estação, o satélite "Eutelsat 5 West A", comparativamente ao "Eutelsat 7A", fica a menor distância (menores perdas em espaço livre) e a uma elevação superior (menor atenuação na atmosfera). Tendo também EIRP superior, a margem de receção do "Eutelsat 5 West A" é superior.

4. a)



$$d_{BLIND} = \frac{c}{2} \cdot (T_{TX} + T_{sw}) = 150 \times (10 + 1) = \underline{\underline{1650 \text{ m}}}$$

b)

$$P_{RX_{MIN}} = 10 \log_{10} (B_2 \cdot 290 \text{ K}, 60 \text{ MHz}) + 10 \text{ dB} + NF = -83.2 \text{ dBm}$$

$$G_{PROC} = 10 \log_{10} (B_w \times T_{TX}) = 10 \log_{10} (600) = 27.8 \text{ dB}$$

(Ganho de processamento por correlação com o sinal complexo transmitido.)

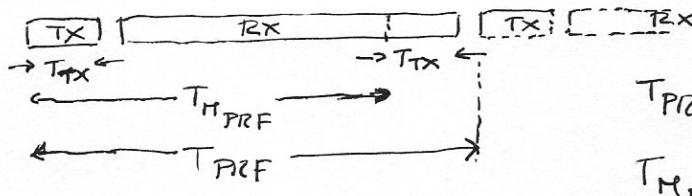
$$P_{TX} = 30 \text{ dBW} = 60 \text{ dBm}$$

$$P_{TX} + G_{ANT} + FSL + 10 \log_{10} \left( \frac{f}{A_{ISO}} \right) + FSL + G_{ANT} + G_{PROC} \geq P_{RX_{MIN}}$$

$$FSL \geq \frac{1}{2} (-60 \text{ dBm} - 32 \text{ dB} - 10 \log_{10} \left( \frac{f}{\lambda^2} \right) - 32 \text{ dB} - 27.8 \text{ dB} - 83.2 \text{ dB}) = -137.9 \text{ dB}$$

$$FSL_{MIN} = -137.9 \text{ dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda}{4\pi d_{MAX}} \right) \Leftrightarrow d_{MAX} = \underline{\underline{20.2 \text{ Km}}}$$

c)



$$T_{PRF} = \frac{1}{f_{PRF}} = 307.7 \mu\text{seg}$$

$$T_{M_{PRF}} = T_{PRF} - T_{TX} - T_{sw} = 296.7 \mu\text{seg}$$

$$d_{K_{PRF}} = \frac{c}{2} \cdot T_{M_{PRF}} = 150 \times 296.7 = \underline{\underline{44.5 \text{ Km}}}$$

d)

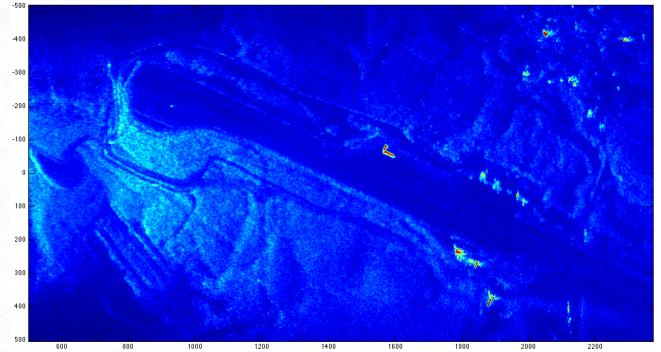
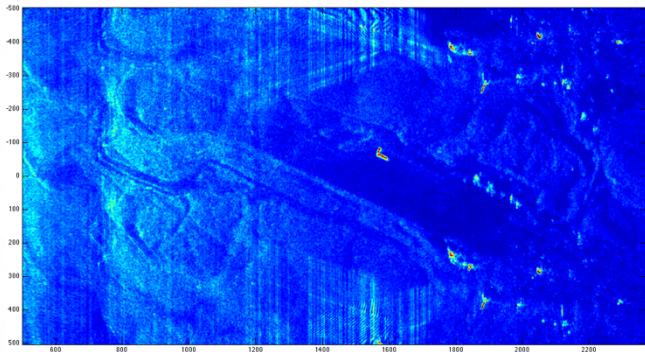
Largura de feixe da antena:  $\theta = \frac{\lambda}{L} \times \frac{180^\circ}{\pi} = 1^\circ$

Taxa de revolução:  $\eta = \frac{360^\circ}{2 \text{ seg}} = 180^\circ/\text{seg}$

$$t_\theta = \frac{1^\circ}{\eta} = \frac{1}{180} \text{ seg} \Rightarrow \# \text{ Pulses} = \left[ PRF \times t_\theta \right] = \left[ \frac{3250}{180} \right] = 18$$

(dados a largura de feixe e a taxa de revolução da antena, cada alvo é iluminado por 18 pulsos consecutivos)

O ganho de processamento aumenta 18 vezes (12.6 dB) e a distância aumenta  $\sqrt[4]{18} = 2.06$  vezes ( $d'_{MAX} = 41.6 \text{ Km}$ ).



5. a) A imagem apresentada, copiada acima (esquerda), apresenta repetição de alvos segundo a direção azimutal (eixo vertical). Para facilitar a identificação, a imagem respetiva sem esse defeito é apresentada à direita. Este defeito consiste em "aliasing" segundo a direção azimutal, e deve-se a uma taxa de amostragem azimutal (PRF) insuficiente (distância entre transmissões demasiado elevada).
- b) A compressão azimutal de um alvo à distância  $R$  e posição azimutal  $x$  é realizada pela correlação discreta:

$$u(R, x) = \sum_k A_k e^{j 2\pi \frac{2\sqrt{R^2 + (\Delta x k)^2}}{\lambda}} e^{-j 2\pi \frac{2\sqrt{R^2 + (x + \Delta x k)^2}}{\lambda}}$$

onde  $\Delta x$  é o intervalo entre transmissões

Aproximando as raízes pela série de Taylor (2º grau):

$$u(R, x) \approx \sum_k A_k e^{-j 2\pi \frac{1}{\lambda R} (x^2 + 2x \Delta x k)}$$

Dos pontos  $x_1$  e  $x_2$  tal que  $x_2 - x_1$  seja a distância de aliasing para determinado  $R$  verificam a condição de aliasing:  $\frac{2x_2 \Delta x}{\lambda R} - \frac{2x_1 \Delta x}{\lambda R} = 1$

Logo:  $\Delta x = \frac{\lambda R}{2(x_2 - x_1)}$ . Pela figura, para  $R = 1800$  m, verifica-se, por exemplo,  $x_2 - x_1 = 650$  m. Logo,  $\Delta x = 0,18$  m

$$\text{PRF} = \frac{v}{\Delta x} = \frac{50}{0,18} \approx 280 \text{ Hz} \text{ (valor aproximado)}.$$