



## Sistemas de Comunicação I

Engenharia de Telecomunicações

Professor: Roberto Wanderley da Nóbrega

Semestre: 2026.1

### Lista de exercícios 3

1. (*Demodulação soft*) Considere um sistema de comunicação digital empregando 4-PAM uniforme de média zero, com símbolos espaçados de  $\Delta = 1.0$ . Suponha que a distribuição a priori das mensagens seja  $p_{\mathbf{m}} = [0.25, 0.25, 0.40, 0.10]$ . Dado que foi recebido  $\mathbf{v} = -0.1$  de um canal AWGN discreto com ruído de variância  $\sigma_{\mathbf{w}}^2 = 1.3$ , determine:

  - (a) A distribuição a posteriori das mensagens.
  - (b) A distribuição a posteriori de cada bit, assumindo rotulagem espelhada.
2. (*PAM binário*) Considere um sistema de comunicação digital que transmite bits equiprováveis à taxa de 100 kbit/s utilizando PAM binário em um canal AWGN com densidade espectral de potência do ruído de  $N_0 = 10^{-7}$  W/Hz e recepção com filtro casado.

  - (a) Determine a probabilidade de erro de bit para uma potência recebida de 20 mW, assumindo sinalização unipolar.
  - (b) Determine a mínima potência recebida necessária para se obter uma probabilidade de erro de bit de no máximo 5%, assumindo agora sinalização polar.
3. (*PAM M-ário*) Considere um sistema de comunicação digital que utiliza 8-PAM uniforme de média zero, com pulso retangular NRZ, operando à taxa de bits de 180 kbit/s. Determine o mínimo espaçamento entre os níveis de tensão (em volts) de modo que se tenha uma probabilidade de erro de bit de no máximo  $10^{-3}$ . Assuma canal AWGN com densidade espectral de potência do ruído de  $N_0 = 10^{-5}$  V<sup>2</sup>/Hz, recepção com filtro casado e rotulagem espelhada (mapeamento Gray).
4. [1, 3.14] Considere que pulsos NRZ binários polares sejam transmitidos através de um cabo que atenua de 3 dB a potência do sinal (do transmissor ao receptor). Os pulsos são coerentemente detectados no receptor e a taxa de dados é de 56 kbit/s. Assuma ruído gaussiano com  $N_0 = 10^{-6}$  W/Hz. Qual é a mínima potência necessária no transmissor de modo a manter uma probabilidade de erro de bit de  $10^{-3}$ ?





## Bibliografia

- [1] Bernard Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2<sup>o</sup> ed. Prentice Hall PTR, 2001.
- [2] S. Haykin, *Communication Systems*, 4<sup>o</sup> ed. John Wiley & Sons, 2001.

## Respostas

1. (a)  $p_{m|v} = [0.1593, 0.3184, 0.4717, 0.0506]$ .  
(b)  $p_{b_0|v} = [0.4777, 0.5223]$  e  $p_{b_1|v} = [0.2099, 0.7901]$ .
2. (a) 7,865%.  
(b) 13,53 mW.
3.  $2B = 3,206$  V.
4. 535 mW.
5. (a) 28 kHz, 35 kHz, 42 kHz, 49 kHz e 56 kHz.  
(b) 9,33 kHz, 11,67 kHz, 14 kHz, 16,33 kHz e 18,67 kHz.
6. —
7. (a)  $S_x(f) = B^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f)$  e  $B_x = R_b$ .  
(b)  $S_x(f) = \frac{B^2 T_b}{4} \text{sinc}^2\left(\frac{T_b f}{2}\right)$  e  $B_x = 2R_b$ .  
(c)  $S_x(f) = \frac{B^2 T_b}{4} \text{sinc}^2(T_b f) + \frac{B^2}{4} \delta(f)$  e  $B_x = R_b$ .  
(d)  $S_x(f) = \frac{B^2 T_b}{16} \text{sinc}^2\left(\frac{T_b f}{2}\right) \left[1 + \frac{1}{T_b} \sum_n \delta(f - nR_b)\right]$  e  $B_x = 2R_b$ .  
(e)  $S_x(f) = B^2 T_b \text{sinc}^2\left(\frac{T_b f}{2}\right) \sin^2\left(\frac{\pi T_b f}{2}\right)$  e  $B_x = 2R_b$ .  
(f)  $S_x(f) = B^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f) \sin^2(\pi T_b f)$  e  $B_x = R_b$ .
8. —
9. (a)  $R_b = Q(\sqrt{2B^2 T_b / N_0})$ .  
(b)  $R_b = Q(\sqrt{B^2 T_b / N_0})$ .  
(c)  $R_b = Q(\sqrt{B^2 T_b / (2N_0)})$ .  
(d)  $R_b = Q(\sqrt{B^2 T_b / (4N_0)})$ .  
(e)  $R_b = Q(\sqrt{2B^2 T_b / N_0})$ .