

Trabalho de Sistemas de Comunicações II

Victor Medeiros

11 de Novembro de 2019

1 Exercício 1

Plote um gráfico da probabilidade de erro de símbolo (P_e) em função da razão sinal-ruído por bit (E_b/N_0), em dB, para as modulações a seguir e analise os resultados:

- M-PAM para $M = 2, 4, 8, 16$
- M-QAM para $M = 4, 16, 64, 256$
- M-PSK para $M = 8, 16, 32, 64$
- M-FSK para $M = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256$

1.1 Modulação M-PAM

Foi utilizada a Equação (1) para calcular a SER desta modulação. Com isso, foram plotadas as curvas encontradas em Figura 1.

$$P_e = 2 \frac{(M-1)}{2M} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(M) SNR}{(M^2-1)}} \right) \quad (1)$$

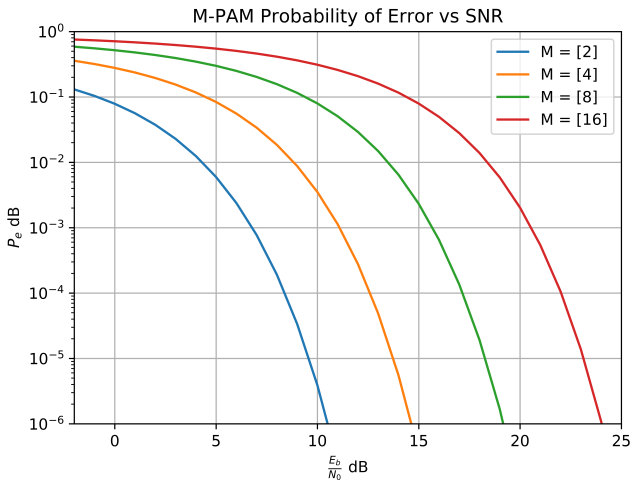


Figura 1: Probabilidade de Erro em função da Razão Sinal-Ruído – Fonte: O Autor

1.2 Modulação M-QAM

Foi utilizada a Equação (2) para calcular a SER desta modulação. Com isso, foram plotadas as curvas encontradas em Figura 2.

$$P_e = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M SNR}{M-1}} \right) - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M SNR}{M-1}} \right) \quad (2)$$

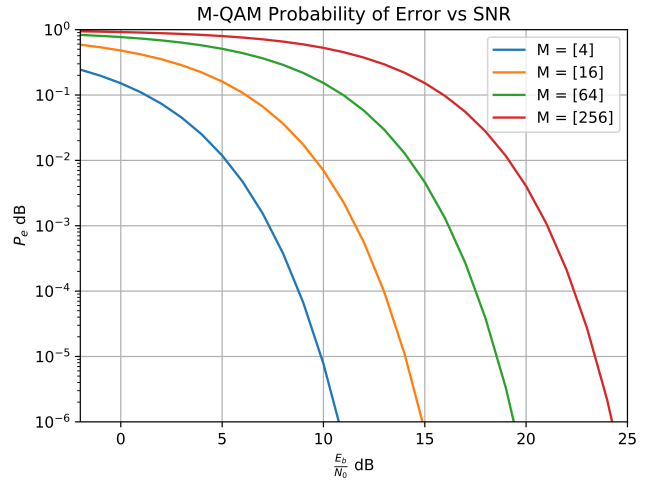


Figura 2: Probabilidade de Erro em função da Razão Sinal-Ruído – Fonte: O Autor

1.3 Modulação M-PSK

Foi utilizada a Equação (5) para calcular a SER desta modulação, para $M > 4$, para $M = 2$ e $M = 4$, foram utilizadas respectivamente as Equações (3) e (4). Com isso, foram plotadas as curvas encontradas em Figura 3.

$$P_e = Q(\sqrt{2 * SNR}) \quad (3)$$

$$P_e = 1 - (1 - Q(\sqrt{2 * SNR}))^2 \quad (4)$$

$$P_e = 2Q \left(\sqrt{2 \log_2 M \sin^2(\pi/M) * SNR} \right) \quad (5)$$

2 Exercício 2

Estime, através de simulação computacional (método de Monte Carlo), a probabilidade de erro de símbolo (P_e) em função da razão sinal-ruído por bit (E_b/N_0) para as modulações a seguir:

- 2-PAM (BPSK)
- 4-PAM
- 2-QAM (QPSK)
- 2-FSK (BFSK)

Todas as modulações em questão foram feitas em banda-base, a fim de necessitar menos recurso computacional. O código utilizado se encontra no apêndice. Todas as modulações seguiram os passos seguintes:

1. Criar array de SNR em dB para a simulação de Monte Carlo.
2. Para cada SNR, foi feita uma simulação de Monte Carlo, até que se atendesse o requisito de mínima quantidade de erros, ou estourasse o número máximo de repetições (a fim de evitar loop infinito).
3. Na simulação de Monte Carlo, foi criado para cada geração, um array de binário, simbolizando a mensagem a ser transmitida, um ruído gaussiano representando o canal AWGN. Foi modulada a mensagem, adicionado o ruído, e então demodulado o sinal.
4. Foi comparado então o sinal demodulado com o original, e contabilizados os erros, até o requisito de número de erros ser atendido.
5. Por último retorna o valor da SNR e da BER/SER, para ser exportado em um arquivo CSV (Utilizado para plotar depois com a biblioteca PGFPLOTS).

2.1 2-PAM (BPSK)

Na modulação BPSK, obteve-se a curva de probabilidade de erro representada na Figura 5. A Figura 6 compara com a curva encontrada no Exercício 1.

2.2 4-PAM

Na modulação 4-PAM, obteve-se a curva de probabilidade de erro representada na Figura 7. A Figura 8 compara com a curva encontrada no Exercício 1.

2.3 4-QAM (QPSK)

Na modulação QPSK, obteve-se a curva de probabilidade de erro representada na Figura 9. A Figura 10 compara com a curva encontrada no Exercício 1.

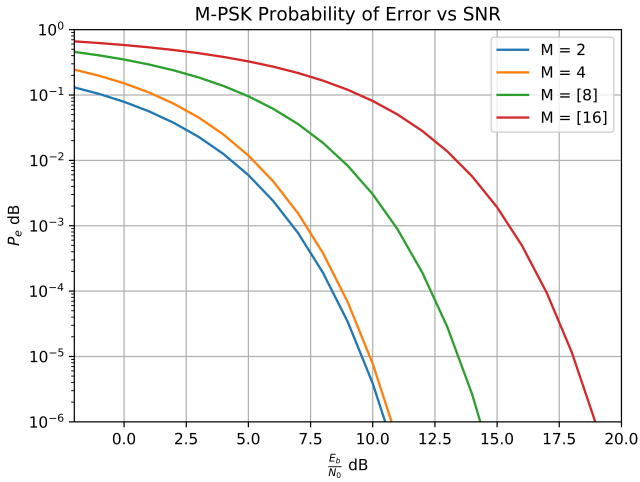


Figura 3: Probabilidade de Erro em função da Razão Sinal-Ruído – Fonte: O Autor

1.4 Modulação M-FSK

Foi utilizada a Equação (6) para calcular a SER desta modulação. Com isso, foram plotadas as curvas encontradas em Figura 4.

$$P_e = \frac{M-1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{SNR * \log_2(M)}{2}} \right) \quad (6)$$

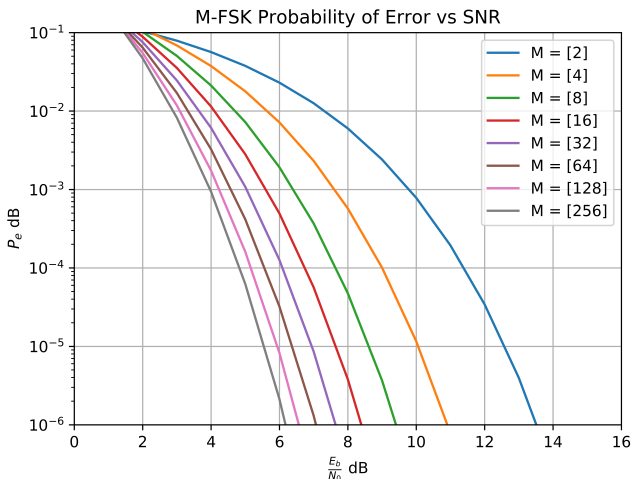


Figura 4: Probabilidade de Erro em função da Razão Sinal-Ruído – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Bit – Modulação BPSK

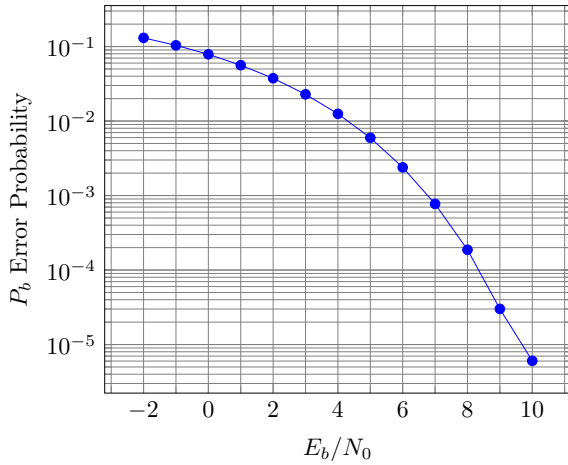


Figura 5: Simulação de Monte Carlo – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Símbolo – Modulação 4-PAM

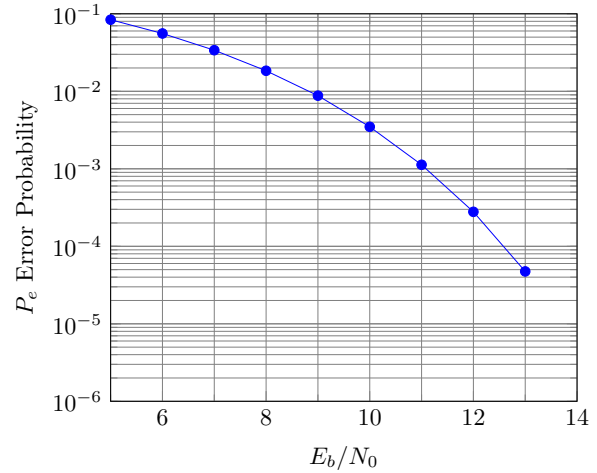


Figura 7: Simulação de Monte Carlo – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Bit – Modulação BPSK

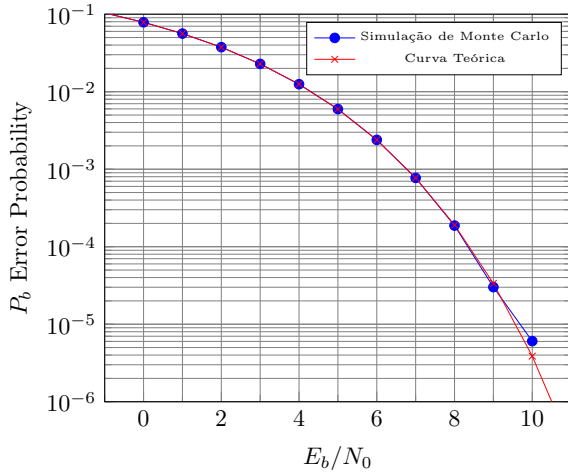


Figura 6: Comparativo Simulação de Monte Carlo vs SER Teórica – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Símbolo – Modulação 4-PAM

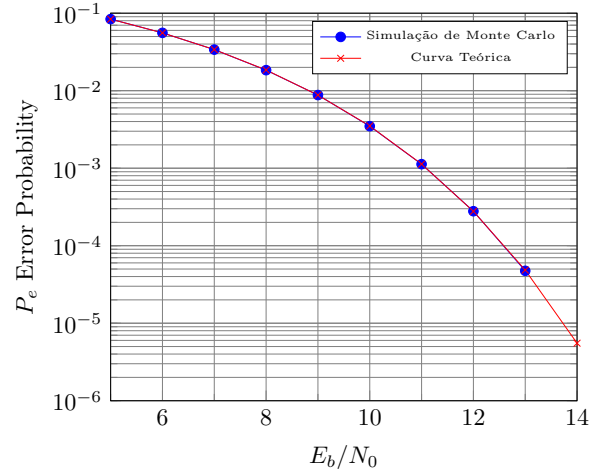


Figura 8: Comparativo Simulação de Monte Carlo vs SER Teórica – Fonte: O Autor

2.4 2-FSK (BFSK)

Na modulação BFSK, obteve-se a curva de probabilidade de erro representada na Figura 11. A Figura 12 compara com a curva encontrada no Exercício 1.

3 Exercício 3

Repita os itens b-c do problema anterior para estimar a probabilidade de erro de bit (P_b) utilizando os seguintes mapeamentos: Mapeamento natural e Mapeamento Gray.

Seguem nas Figuras 13 e 14 a comparação das modulações utilizando ambos os mapeamentos.

Probabilidade de Erro de Símbolo – Modulação QPSK

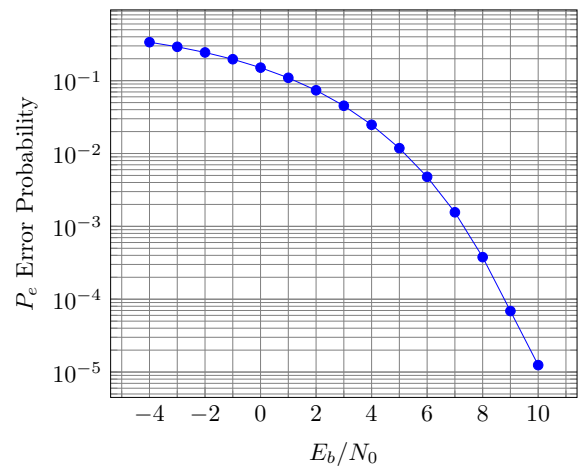


Figura 9: Simulação de Monte Carlo – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Símbolo – Modulação 4-QAM

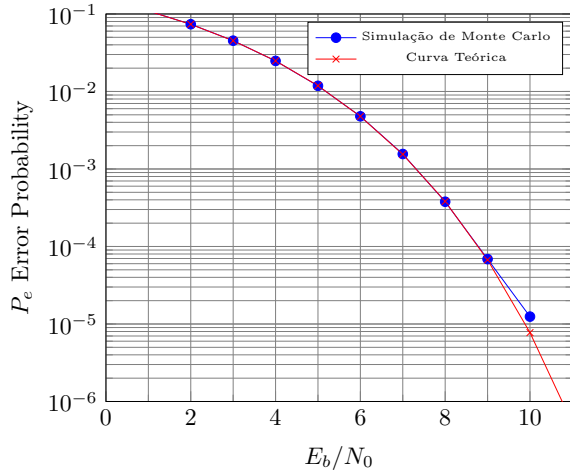


Figura 10: Comparativo Simulação de Monte Carlo vs SER Teórica – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Símbolo – Modulação BFSK

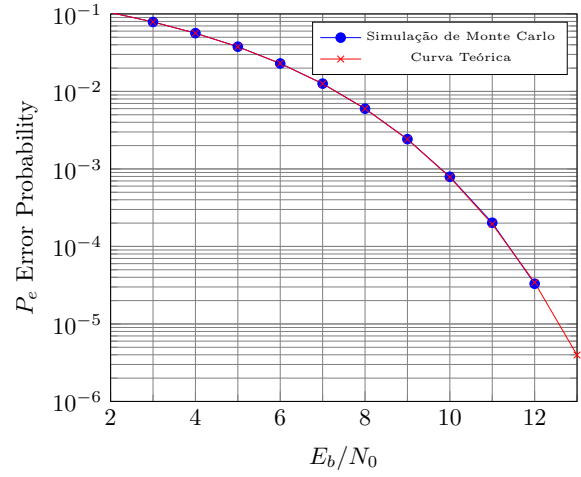


Figura 12: Comparativo Simulação de Monte Carlo vs SER Teórica – Fonte: O Autor

Probabilidade de Erro de Bit – Modulação BFSK

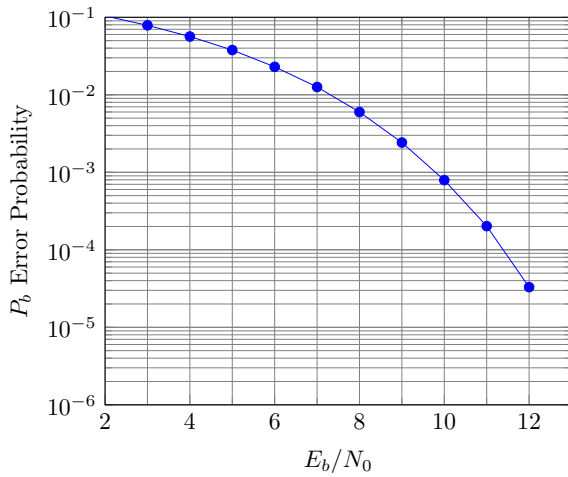


Figura 11: Simulação de Monte Carlo – Fonte: O Autor

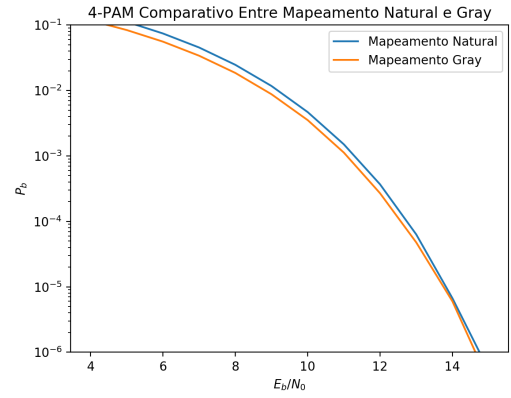


Figura 13: Modulação 4-PAM Diferença Entre o Mapeamento Natural e Gray

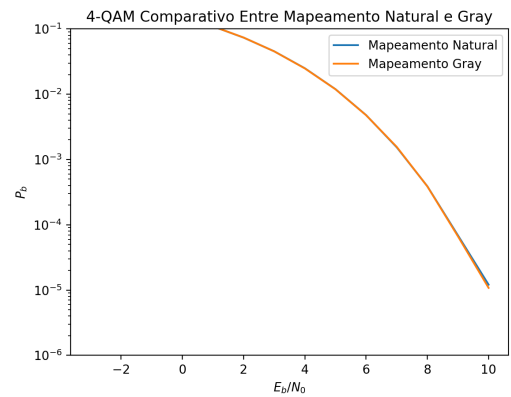


Figura 14: Modulação 4-QAM Diferença Entre o Mapeamento Natural e Gray