



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Relatório – Avaliação 1 - Diversidade

SER de M-QAM com MRC (L=2) em AWGN

Disciplina: COM029008 - SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO II (2025 .2 - T01)

Professor: Marcio Henrique Doniak

Alunos: Igor Budag e Wagner Santos

Setembro de 2025

Sumário

1. Objetivo	3
2. Fundamentação Teórica	3
3. Metodologia	3
4. Parâmetros	3
5. Resultados	4
5.1. Obtidos	4
5.2. Esperados:	5
6. Conclusões	5

1. Objetivo

Comparar a SER em AWGN (banda base) entre 4-QAM e 16-QAM, e entre $L=1$ (SISO) e $L=2$ (MRC), quantificando o ganho por diversidade e o impacto da ordem de modulação.

2. Fundamentação Teórica

- Conversão: $E_s/N_0 = E_b/N_0 \cdot \log_2(M)$; em dB: $E_s/N_0[\text{dB}] = E_b/N_0[\text{dB}] + 10 \cdot \log_{10}(\log_2(M))$.
- MRC (L ramos independentes) em AWGN: ganho $\approx 10 \cdot \log_{10}(L)$ dB \rightarrow para $L=2$, 3 dB.
- 16-QAM requer mais E_b/N_0 do que 4-QAM (mesma SER) — diferença típica 3 dB.

3. Metodologia

- Geração de símbolo aleatório por experimento (Pack=1).
- Varredura de E_b/N_0 para 4-QAM e 16-QAM; para cada M , avaliar $L=1$ e $L=2$.
- Canal AWGN calibrado via E_s/N_0 (convertido de E_b/N_0).
- Combinação MRC por soma coerente e normalização por L .
- Demodulação e contagem de erros de símbolo \rightarrow SER.

4. Parâmetros

- Modulações: 4-QAM e 16-QAM
- Ramos: $L=1$ (SISO) e $L=2$ (MRC)
- E_b/N_0 [dB]: grade uniforme (ex.: -8:4:20)
- Iterações por ponto: ≥ 10000
- Canal: AWGN, banda base

5. Resultados

5.1. Obtidos

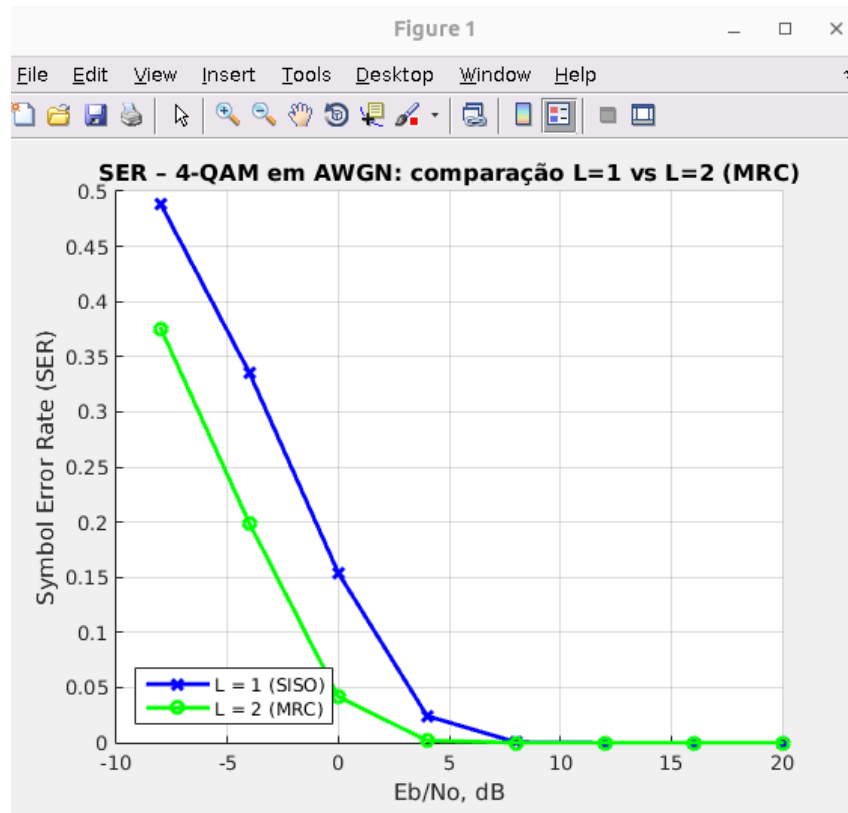


Figure 1: 4-QAM

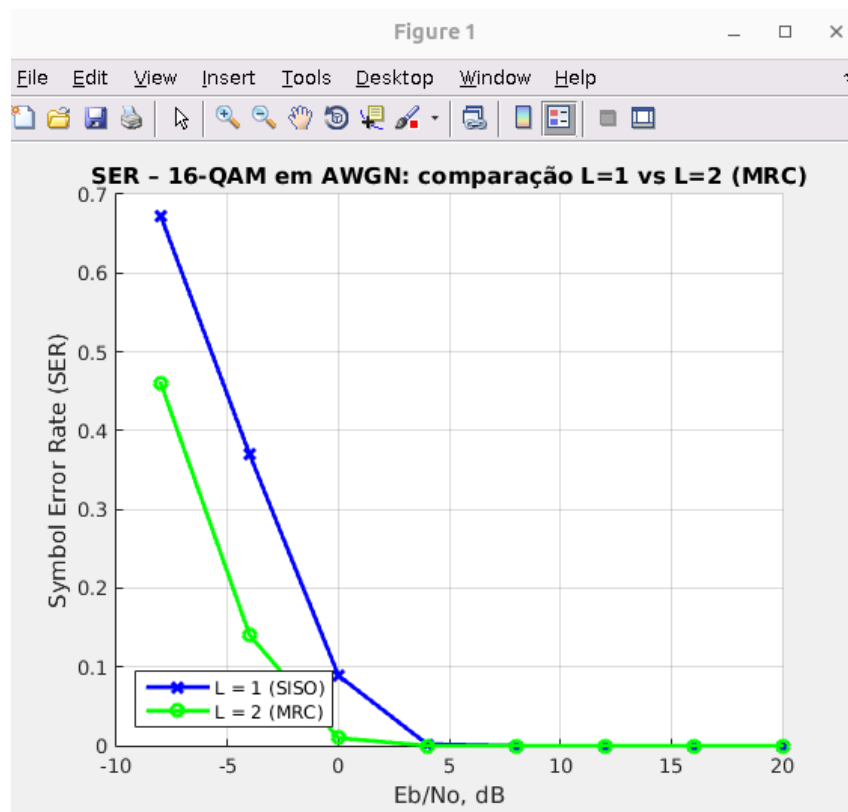


Figure 2: 16-QAM

Observou-se queda monotônica da SER com o aumento de E_b/N_0 . Em todas as condições, $L=2$ (MRC) deslocou a curva ≈ 3 dB à esquerda de $L=1$ (SISO), confirmando o ganho de diversidade em AWGN. Comparando modulações, 4-QAM apresentou desempenho superior à 16-QAM (mesma SER com menor E_b/N_0), com diferença típica de $\approx 3-4$ dB. Pequenas discrepâncias e “pisso zero” em SER decorrem do número finito de amostras; ao aumentar o total de símbolos simulados, as curvas tornam-se mais lisas nas baixas SER.

5.2. Esperados:

- $L=2$ desloca a curva ≈ 3 dB à esquerda de $L=1$ (ganho de diversidade).
- 16-QAM precisa de 3 dB a mais que 4-QAM (mesma SER), em AWGN.
- Aumentar iterações reduz flutuações em SER baixa.

6. Conclusões

- MRC ($L=2$) melhora o desempenho em relação ao SISO, conforme teoria.
- 4-QAM é mais robusta que 16-QAM em AWGN para a mesma SER.
- Resultados coerentes com expectativas analíticas.