

**PROJETO 02 - Multiplexação OFDM (ortogonalidade, transmissão e recepção, desempenho em canal AWGN)**

Resumo: Este trabalho tem como objetivo, entender a modelagem da multiplexação OFDM, entender o processo de ortogonalização entre subportadoras OFDM, entender a modelagem da demultiplexação OFDM e demonstrar o processo de demultiplexação OFDM em canais AWGN.

**1. Entrega: loopback OFDM em canais AWGN**

A entrega do presente projeto consistiu em realizar um loopback OFDM em canais AWGN realizando as seguintes mudanças em relação às práticas:

- $E_b/N_0$  como variável de entrada. Variar a  $E_b/N_0$  de 0 a 14 dB e calcular a variância do ruído, considerando modulação BPSK e 16-QAM;
- Usar as funções `ifft` e `fft` para multiplexar (Tx) e demultiplexar (Rx);
- Fazer o gráfico da BER x  $E_b/N_0$  para com OFDM e, no mesmo gráfico, o gráfico da  $P_e$  vs  $E_b/N_0$  (fórmula teórica) da modulação BPSK e 16-QAM sem OFDM.

**1.1. Transmissão do sinal OFDM**

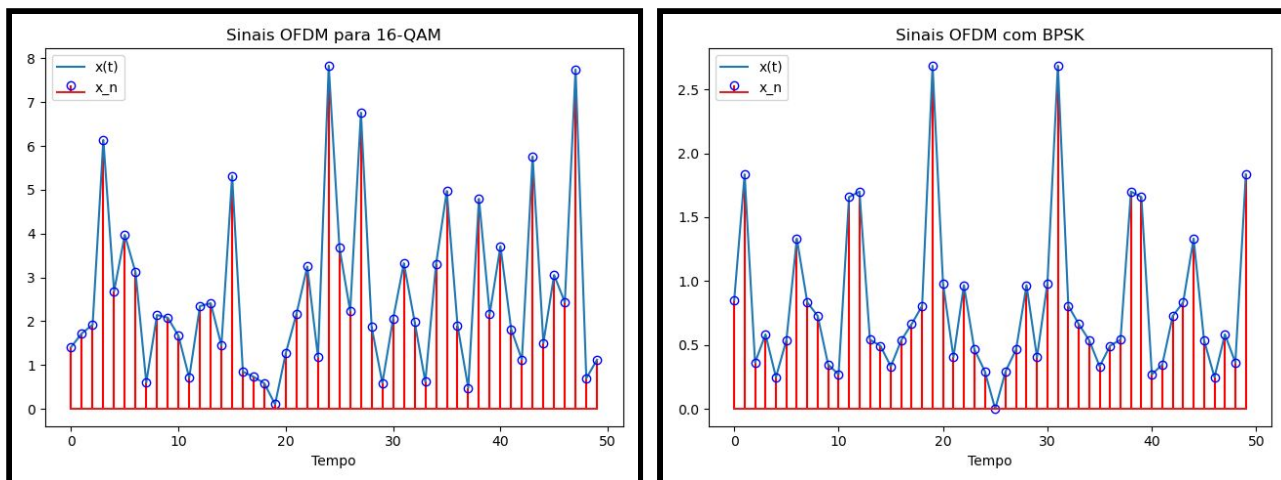
Na entrega nos foi pedido para usar as funções `ifft` e `fft` para multiplexar (Tx) e demultiplexar (Rx). Considerando que a multiplexação das subportadoras do OFDM pode ser obtida utilizando uma IFFT no transmissor. Assim, primeiramente montamos  $x_n$  fazendo:

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X'_k e^{j2\pi n \frac{k}{N}}$$

Assim, substituindo a IDFT do experimento pela IFFT, obtemos  $x_t$  por meio da seguinte equação:

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X'_k e^{j2\pi n \frac{k}{T}}$$

Assim, os sinais OFDM gerados podem ser visualizados nas figuras a seguir:



**Figura 1a e 1b: Sinais OFDM transmitido para 16-QAM e BPSK.**

## 1.2. Variância do ruído para BPSK e 16-QAM

Com  $x_t$  sendo o sinal que chega ao receptor OFDM, modelamos sua recepção, através de sua forma amostrada  $x_n$ , na qual aplicamos o ruído AWGN. Assim, para cada constelação, obtivemos as variâncias apresentadas nas tabelas a seguir.

Para o BPSK:

<b>Eb/No (dB)</b>	<b>Variância (<math>\sigma</math>)</b>	<b>Eb/No (dB)</b>	<b>Variância (<math>\sigma</math>)</b>
0	0.03853	8	0
1	0.02987	9	0.00007
2	0.03968	10	0
3	0.01199	11	0
4	0.00197	12	0
5	0.00117	13	0
6	0.00009	14	0
7	0.00003	-	-

**Tabela 1: Variância do ruído para o BPSK.**

Para o 16-QAM:

<b>Eb/No (dB)</b>	<b>Variância (<math>\sigma</math>)</b>	<b>Eb/No (dB)</b>	<b>Variância (<math>\sigma</math>)</b>
0	0.29399	8	0.00199
1	0.18930	9	0.00009
2	0.11433	10	0
3	0.06864	11	0.00004
4	0.03786	12	0
5	0.01807	13	0
6	0.00451	14	0
7	0.00397	-	-

**Tabela 2: Variância do ruído para o 16-QAM.**

### 1.3. BER x Eb/No

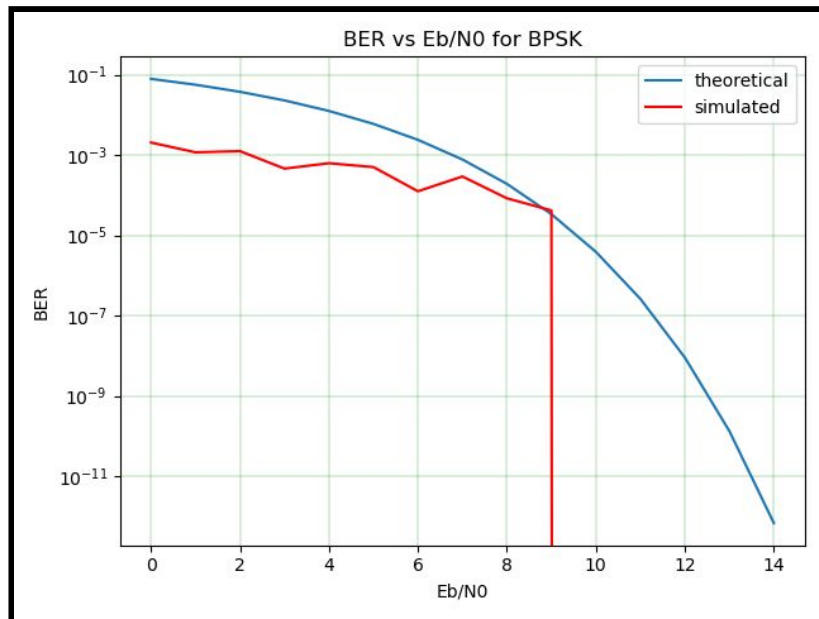
Por fim, modelando a transmissão OFDM utilizando as modulações BPSK e 16-QAM, foi realizada a verificação de rendimento com relação a BER x Eb/No para as duas técnicas.

Para o BPSK, a probabilidade de erro de bit teórica é dada por:

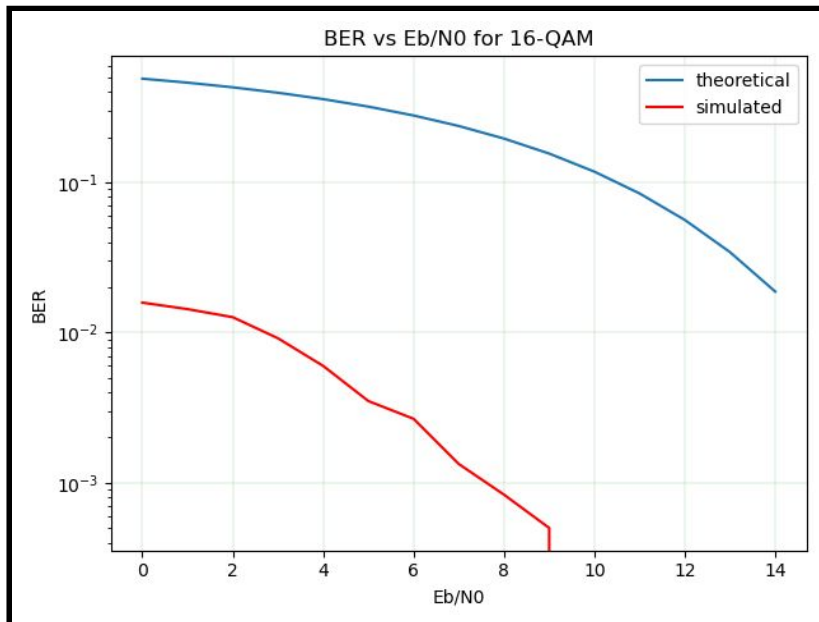
$$Pe = 0.5 \cdot \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{Eb}{No}}\right)$$

Para modulações M-QAM, a probabilidade de erro de bit teórica é dada por:

$$Pe = 0.5 \cdot \left[ 2 \cdot \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \cdot \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{3}{2 \cdot (M-1)} \frac{Eb}{No}}\right) \right]$$



**Figura 2a: BER Simulada x Teórica para o BPSK.**



**Figura 2b: BER Simulada x Teórica para o 16-QAM.**

## Referências

Mathuranathan Viswanathan. Simulatin of Difital Communication Systems Using MATLAB. Mathuranathan Viswanathan at Gaussianwaves, 2014.

PROAKIS, J. G., SALEHI, M., BAUCH, G. Modern Communication Systems Using Matlab, 3aedição. Cengage Learning, 2013.