

Bruna Casagrande Cagliari
Gabriel Lando

Trabalho Final

A razão E_b/N_0 (*energy per bit to noise power spectral density ratio*) é uma importante métrica usada por engenheiros para fazer escolhas dentro do projeto RF. Essa medida pode ser usada, em conjunto com o BER (*bit error rate*), para comparar diferentes esquemas de modulação, buscando garantir a eficiência esperada.

Dentro do escopo deste trabalho, buscamos comparar os esquemas de modulação M-QAM e M-PSK, utilizando variações de 'M' e codificadores de canal diferentes. Tal como solicitado, utilizamos códigos de Hamming com diferentes 'p', ou seja, variamos a razão k/n . Esta razão representa o custo da codificação em termos de redundância: quanto mais alta a razão, mais o 'k' se aproxima de 'n' e menos redundância é adicionada à palavra, ou seja, mais barato é o código.

Para os experimentos, o grupo utilizou os parâmetros descritos na Tabela 1. Todos estes parâmetros foram cruzados, resultando em 36 simulações. Algumas simulações foram selecionadas para serem discutidas neste relatório, mas todas as imagens das simulações foram enviadas na entrega do presente trabalho. Para a execução das simulações, uma aplicação foi desenvolvida na linguagem C#, gerando todas as combinações de simulação através de um arquivo de configurações e executando o software *Octave* via linha de comandos.

Parâmetros alterados		
# bits de paridade	Ordem de modulação	E_b/N_0 (dB)
0 (sem codificador)	4	0:1:9
4 ($k/n = 0.73$)	16	-2:1:12
5 ($k/n = 0.84$)	64	-5:1:15
10 ($k/n = 0.99$)		

Tabela 1 - Lista de parâmetros alterados para simulação.

Primeiramente, fixamos o $P=10$ e o E_b/N_0 (dB) = "-5:1:15". Então, observamos como o gráfico BER x E_b/N_0 muda ao variarmos o parâmetro M, ou seja, a ordem de modulação das constelações PSK e QAM. As simulações referentes a estes experimentos estão ilustradas nas Figuras 1 a 3. Ao variarmos M, é natural que as curvas apresentem valores maiores no eixo x, pois a energia por bit

(Eb) também cresce. Além do mais, a taxa de erro (BER) é maior, pois estamos modulando mais bits por símbolo.

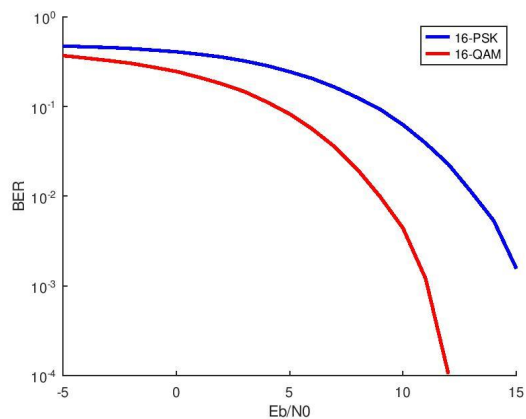


Figura 1 - $P=10$, $M=16$ e E_b/N_0 (dB) = "-5:1:15".

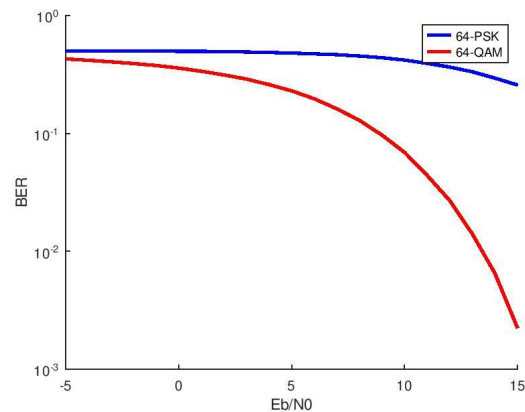


Figura 2 - $P=10$, $M=64$ e E_b/N_0 (dB) = "-5:1:15".

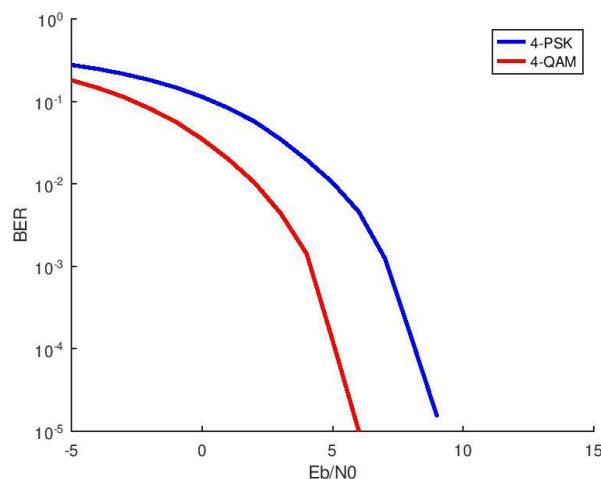


Figura 3 - $P=10$, $M=4$ e E_b/N_0 (dB) = "-5:1:15".

A fim de observarmos a influência do parâmetro P sobre os resultados obtidos, fixamos os parâmetros $M=4$ e o E_b/N_0 (dB) = "-2:1:12". Pelas Figuras 4 a 7, nota-se que quanto maior o valor de P , maior a taxa BER se manteve, pois a razão k/n é maior e, conforme já explicado, isso significa que uma redundância menor é utilizada sobre as mensagens, tornando a codificação menos custosa, porém menos eficiente. Salientamos que, devido ao cálculo de E_b ($E_b = E_s / ((\log_2(M) * r))$), quanto maior a razão ($r=k/n$), menor será a energia por bit obtida. Também é notável que a simulação realizada sem codificação e decodificação (Figura 7) apresentou uma taxa BER maior quando comparada com as demais simulações, pois não conta com nenhum esquema de detecção e correção de erros.

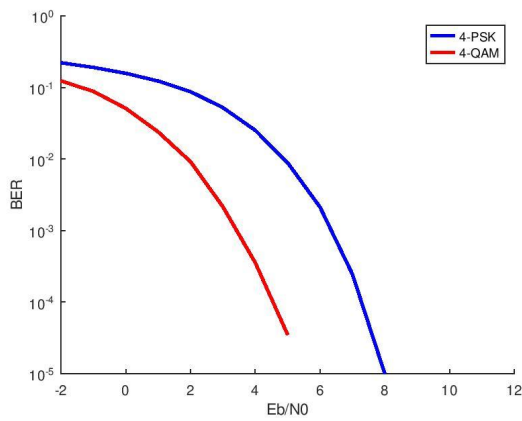


Figura 4 - $P=5$, $M=4$ e E_b/N_0 (dB) = "-2:1:12".

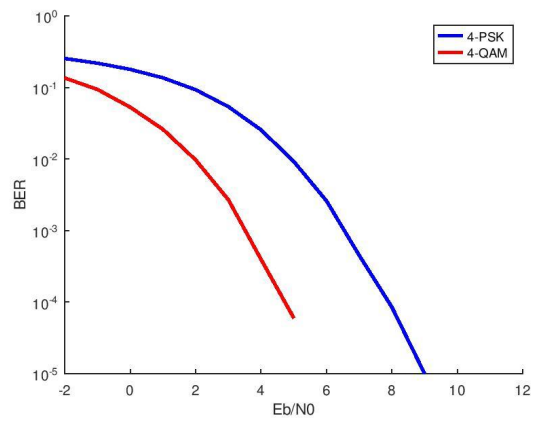


Figura 5 - $P=4$, $M=4$ e E_b/N_0 (dB) = "-2:1:12".

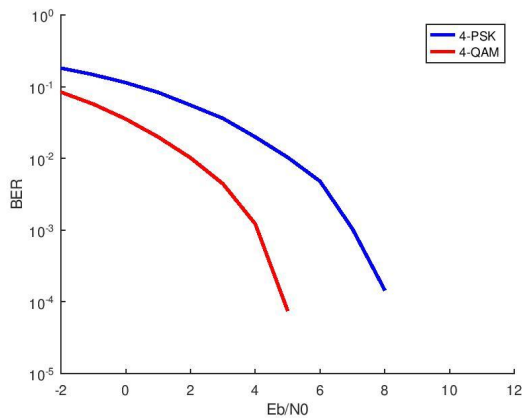


Figura 6 - $P=10$, $M=4$ e E_b/N_0 (dB) = "-2:1:12".

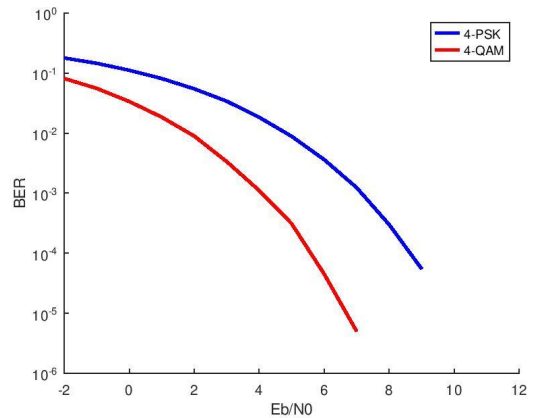


Figura 7 - Sem P , $M=4$ e E_b/N_0 (dB) = "-2:1:12".

Também foram realizados testes com diferentes valores de E_b/N_0 (dB). Com os resultados, percebemos que para valores de E_b/N_0 (dB) acima de 12, o BER ficou próximo de 10^{-4} para o esquemas de modulação 16-QAM, enquanto que para o esquemas de modulação 16-PSK, o BER ficou próximo de 10^{-3} , o que pode ser visto nas Figuras 8 a 10. Percebemos que a modulação QAM apresentou menor BER para um mesmo valor de E_b/N_0 em relação ao PSK para as três ordens de modulação testadas quando comparadas uma mesma ordem de modulação entre os dois esquemas. Sendo assim, pode-se concluir que a modulação QAM é menos suscetível a ruídos que a modulação PS, principalmente para valores de 'M' maiores ou iguais a 16.

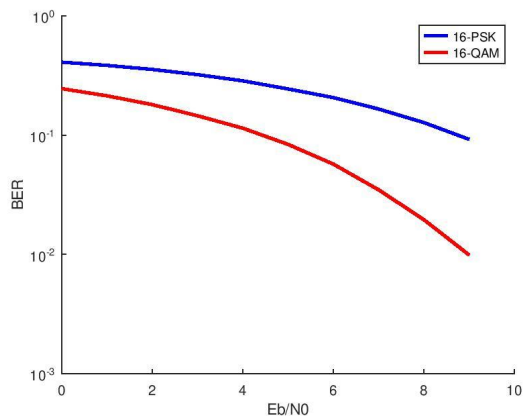


Figura 8 - $P=10$, $M=16$ e E_b/N_0 (dB) = "0:1:9".

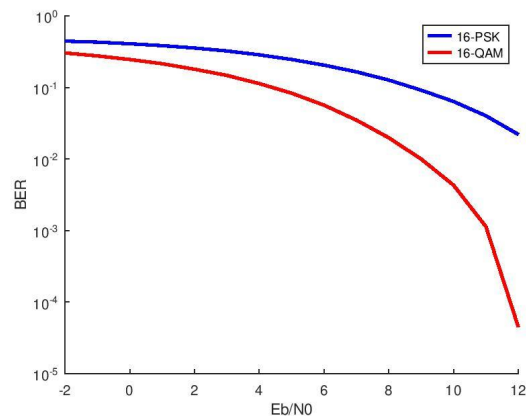


Figura 9 - $P=10$, $M=16$ e E_b/N_0 (dB) = "-2:1:12".

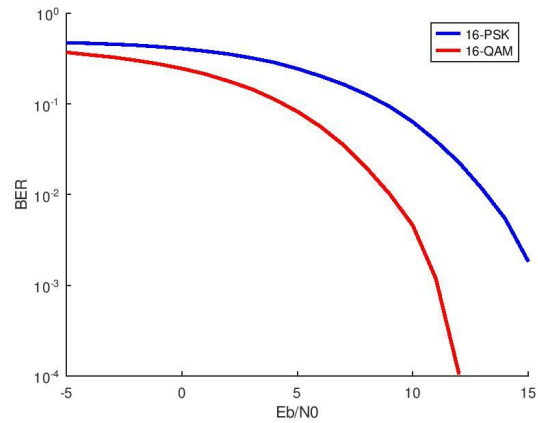


Figura 10 - $P=10$, $M=16$ e E_b/N_0 (dB) = "-5:1:15".

Os resultados obtidos foram satisfatórios e condizem com o esperado. O grupo teve algumas dificuldades iniciais com a implementação no Octave, porém buscou a melhor solução possível para entregar um código limpo e bem organizado. Acharmos o assunto relevante e concordamos que despertou o interesse de ambos.