

# ESQUEMAS DE MODULAÇÃO EM UM CANAL AWGN

**Disc.** Levy Gabriel, Thiago Maia e Vinicius Malafaya  
**Doc.** Prof. Dr. Márcio Rodrigues

# Introdução

- **Contextualizando:**

- Sistemas digitais são menos sensíveis ao ruído, além de poderem ser efetivamente regenerados em diferentes ponto do percurso em transmissões de longas distâncias;
- Maior integrabilidade de diferentes serviços com utilização de uma mesma infraestrutura ;
- Maior facilidade na implementação de técnicas e manipulação dos sinais digitais com os algoritmos de processamento de sinais ;



# Introdução

*International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies [i-PACT2017]*

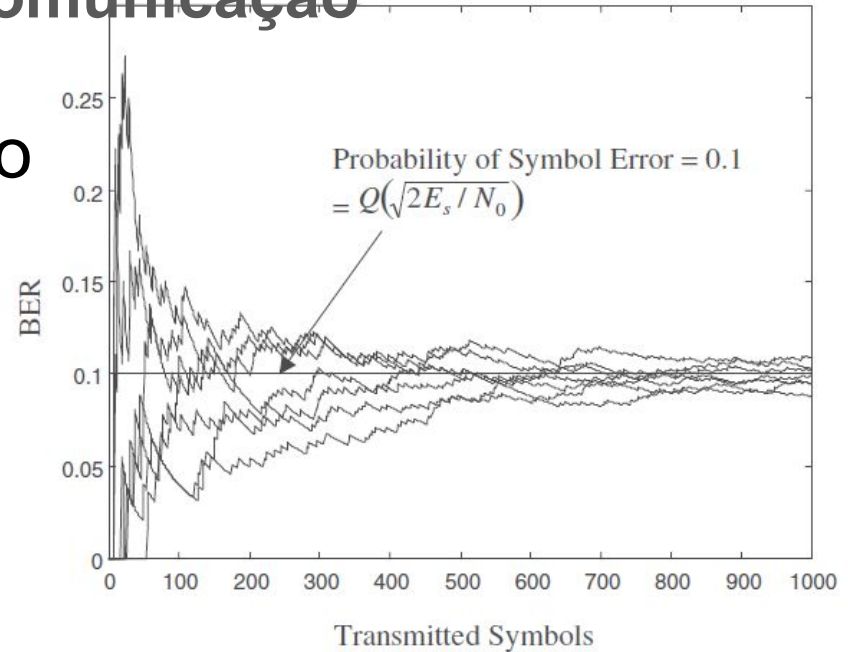
## ***COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS DIGITAL MODULATION SCHEMES IN AWGN CHANNEL***

Chirag B<sup>1</sup>, Lohith A<sup>2</sup> and Dr. H S Prashantha<sup>3</sup>  
Dept. of ECE, Nitte Meenakshi Institute of Technology  
Bengaluru, India

E-mail: [chiragbhuvaneshwar@gmail.com](mailto:chiragbhuvaneshwar@gmail.com)<sup>1</sup>, [a.lohith@yahoo.in](mailto:a.lohith@yahoo.in)<sup>2</sup>, [drhsprashanth@gmail.com](mailto:drhsprashanth@gmail.com)<sup>3</sup>

# Metodologia

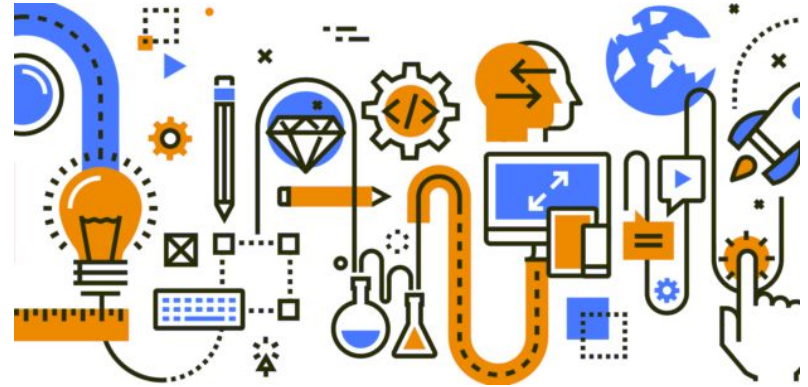
- Simulação de Sistemas de Comunicação
  - Simulação de Monte Carlo



# Metodologia

- Esquemas de Modulação Utilizados:

- FSK;
- MSK;
- M-PSK;
- M-QAM;



OBS: Em todos os esquemas é considerada a detecção coerente.

# Metodologia

- **Parâmetros Comparativos Utilizados:**
  - BER - Estimador da probabilidade de erro de bit.
  - Probabilidade de erro de bit
  - $E_b/N_0$  - Razão entre a potência do sinal e a potência do ruído branco no canal em dB.

# Metodologia

## ● Detalhes de implementação:

- Todos os esquemas de modulação foram analisados e simulados no Matlab;
- O canal utilizado foi do tipo AWGN;
- O sinal de entrada utilizados em todas as simulações para as diferentes modulações foi um sinal de áudio de tamanho 647KB no formato .wav;
- O sinal de áudio foi então digitalizado usando funções built-in do Matlab com uma taxa de amostragem de 44.110 Hz, das quais foram consideradas 1000 amostras.
- A partir das simulações foram plotados gráficos de BER x SNR para cada esquema de modulação.

# Metodologia

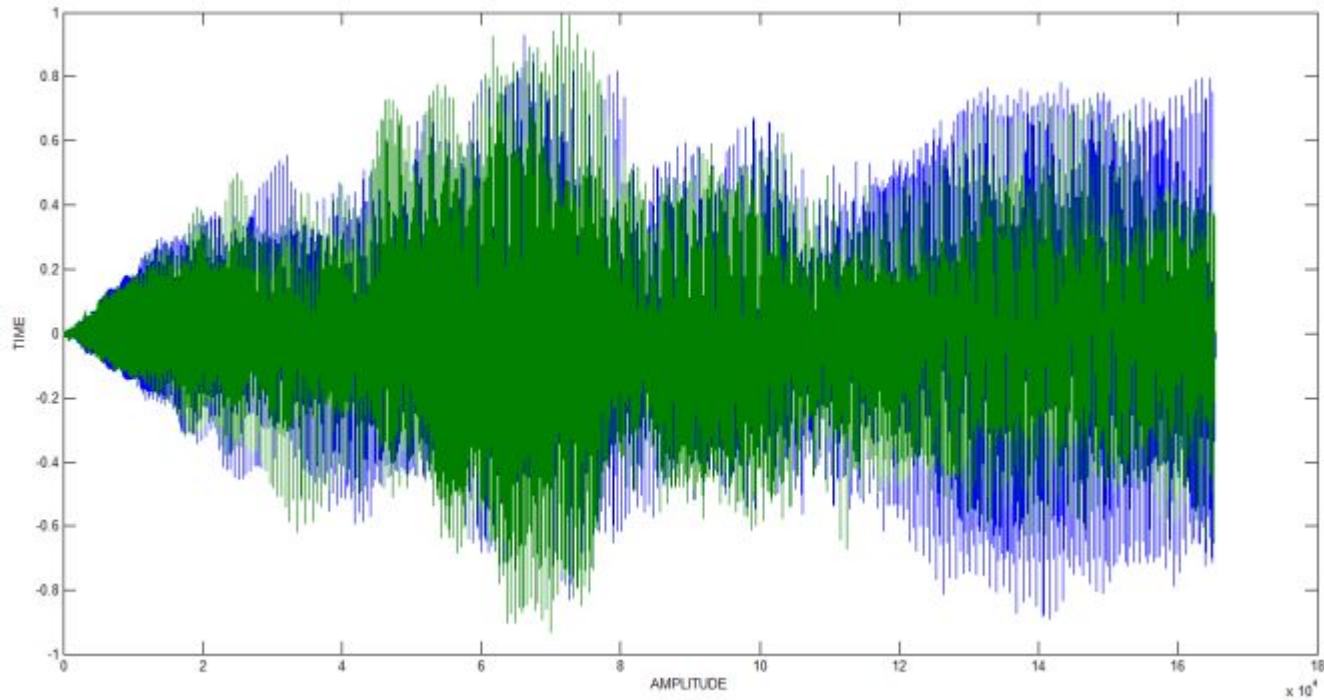


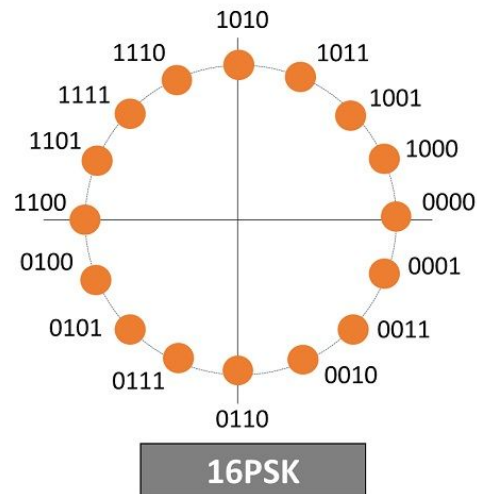
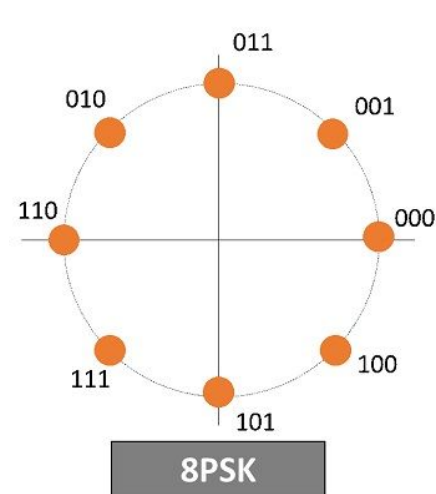
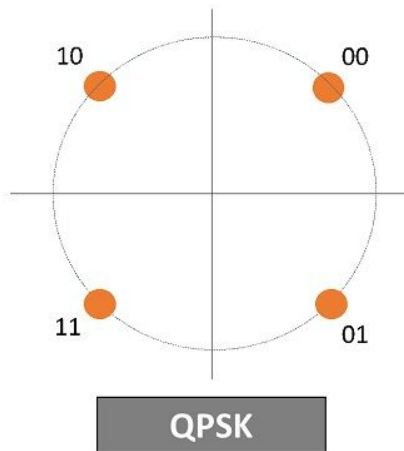
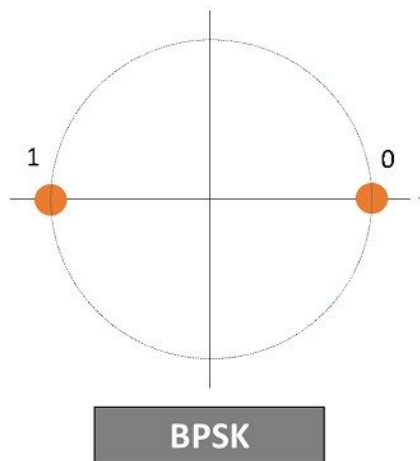
Fig. 1 - Sinal de Áudio utilizado como entrada para as simulações



# Probabilidade de erro de bit ( $P_e$ ) em diversos esquemas de modulação

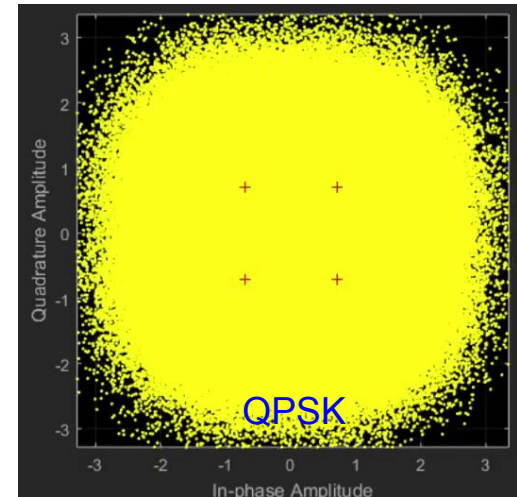
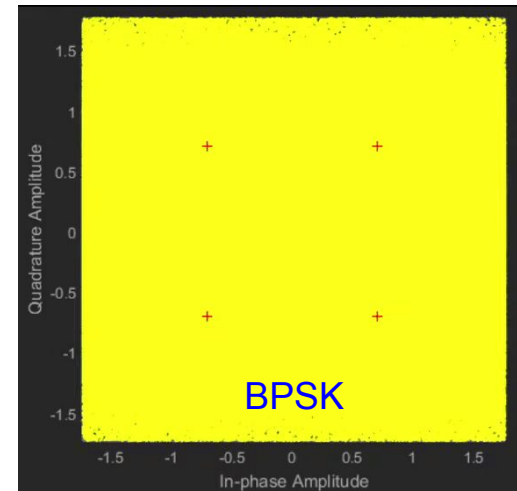
# PSK

- BPSK;
- QPSK;
- 8-PSK;
- 16-PSK;



# BPSK/QPSK

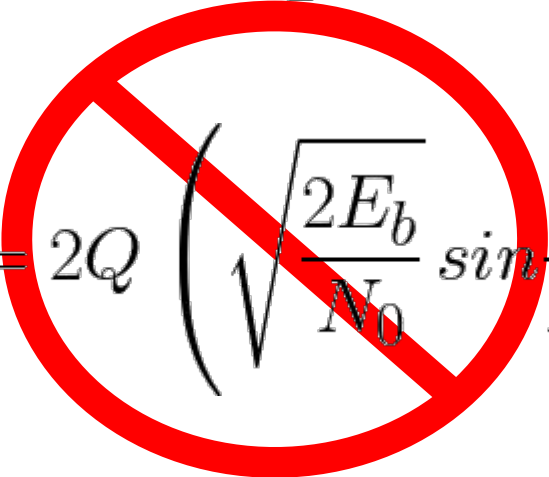
$$P_e = Q \left( \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right)$$



## M-PSK (M>2)

$$P_e \approx \frac{2}{\log_2 M} Q \left[ \sqrt{\frac{2E_b \log_2 M}{N_0}} \sin \frac{\pi}{M} \right]$$

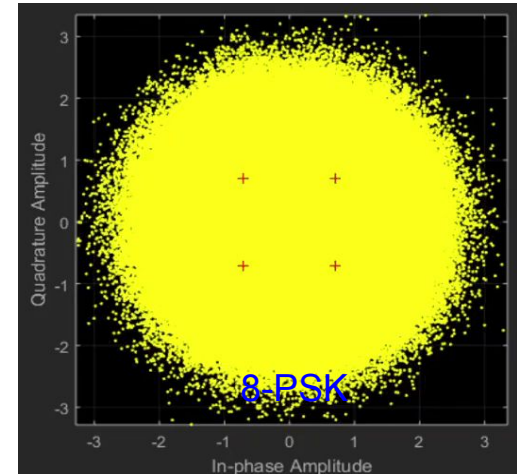
Formulação que considera a probabilidade de erro de bits para o M-PSK, onde  $E_s = E_b \log_2(M)$  e  $P_b = P_s / \log_2(M)$ . (SKLAR, 2001, pg. 229) (LATHI, 2010, pg. 560) (VAHID, 2008, pg. 4).


$$P_e = 2Q \left( \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \sin \frac{\pi}{M} \right)$$

Formulação **ERRÔNEA** apresentada no artigo que considera a probabilidade de erro de bits para o M-PSK. Provavelmente ocorreu confusão ao diferenciar a probabilidade de erro de símbolos da de bit.

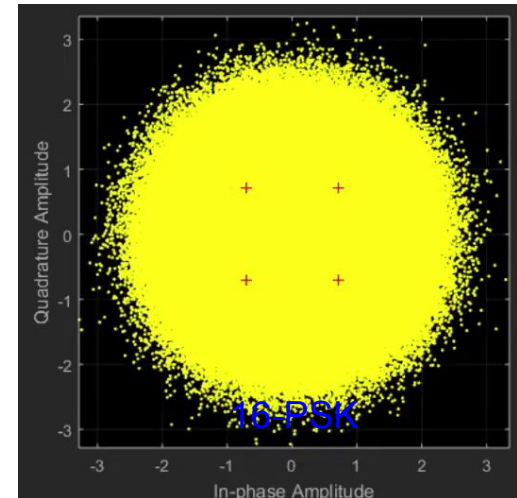
## 8-PSK

$$P_e \approx \frac{2}{3}Q \left[ \sqrt{\frac{6E_b}{N_0}} \sin \frac{\pi}{8} \right]$$



## 16-PSK

$$P_e \approx \frac{1}{2}Q \left[ \sqrt{\frac{8E_b}{N_0}} \sin \frac{\pi}{16} \right]$$



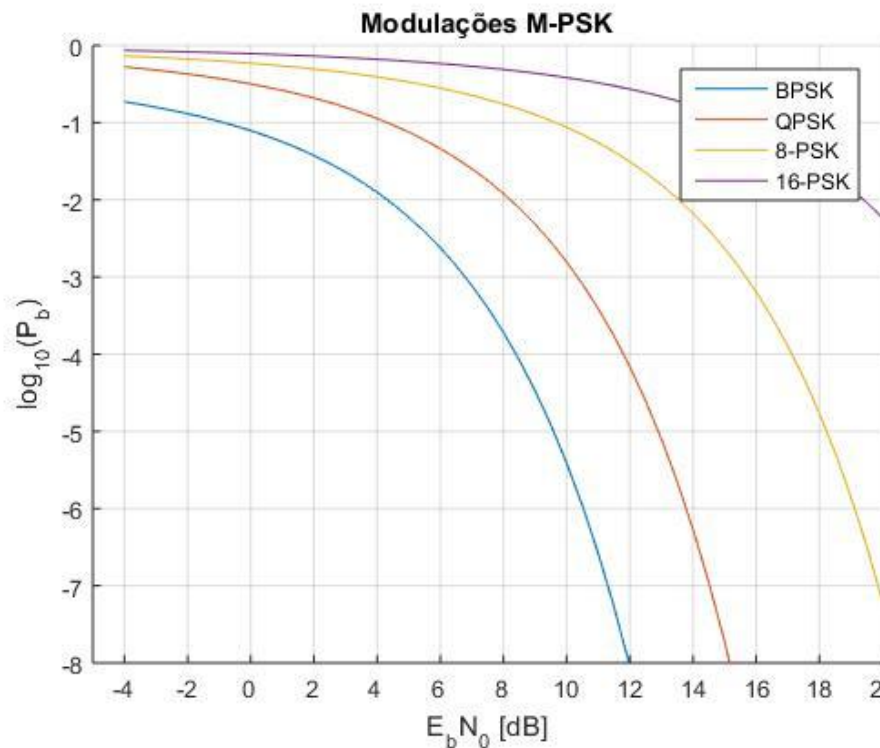


Fig. 2 - Curvas teóricas do PSK propostas pela formulação do artigo.

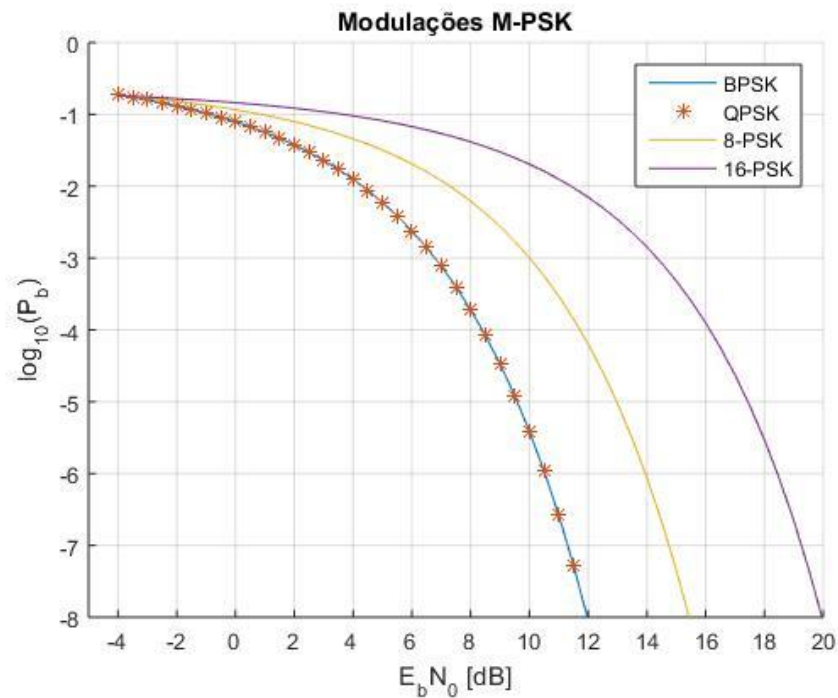
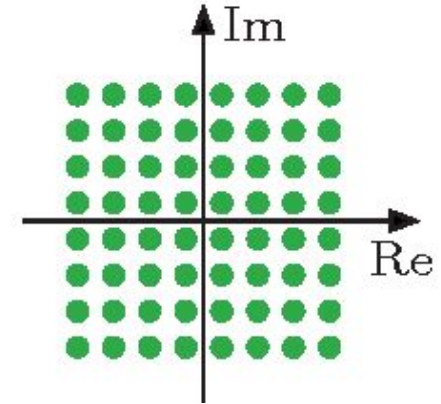
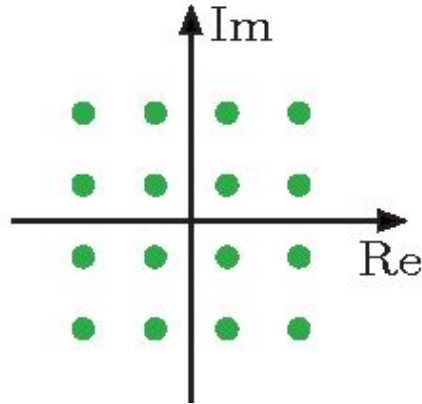
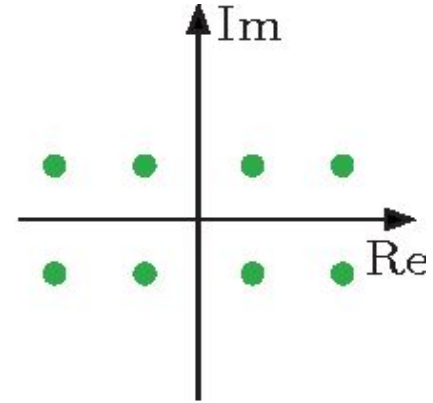
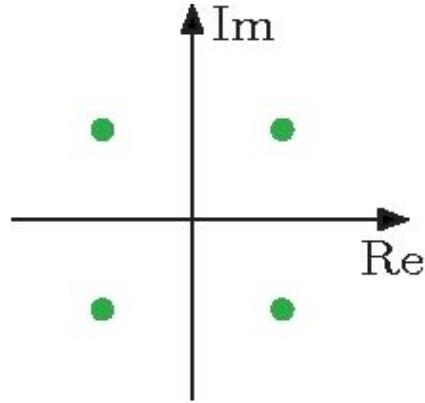


Fig. 3 - Curvas teóricas do PSK com formulação matemática proposta por Lathi (2010), Sklar (2001) e Vahid (2008).

# M-QAM

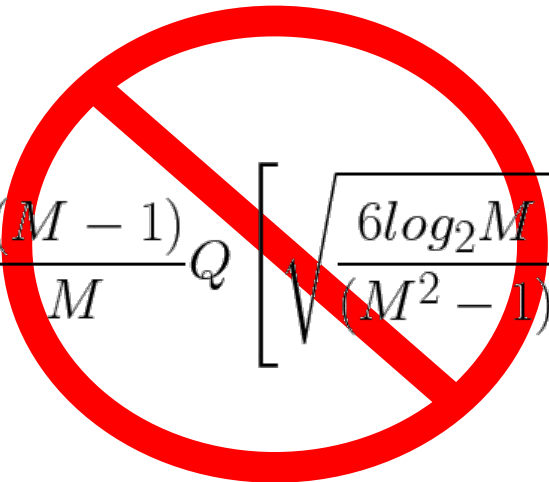
- 4-QAM;
- 8-QAM;
- 16-QAM;
- 64-QAM;



# M-QAM

$$P_e \approx \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)}{\log_2 \sqrt{M}} Q \left[ \sqrt{\left( \frac{3 \log_2 \sqrt{M}}{M - 1} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right]$$

Formulação que considera a probabilidade de erro de bits para o M-QAM. (SKLAR, 2001, pg. 565) (CARLSON *et al*, 2010, pg. 690)

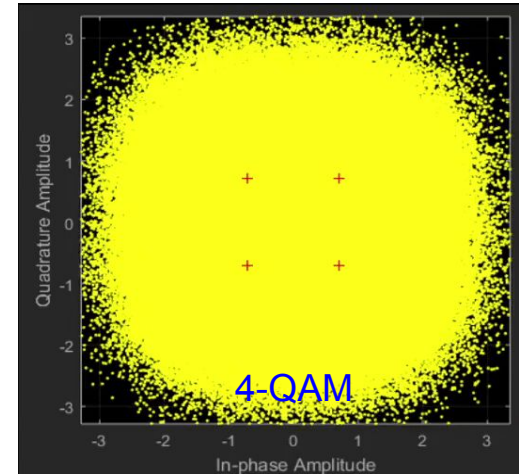

$$P_e = \frac{2(M - 1)}{M} Q \left[ \sqrt{\frac{6 \log_2 M}{(M^2 - 1)} \frac{E_{bavg}}{N_0}} \right]$$

Formulação **ERRÔNEA** apresentada no artigo que considera a probabilidade de erro de bits para o M-QAM na verdade está considerando o caso M-ASK. (WANG, 2014, pg.29) (PROAKIS, 2012, pg. 223)



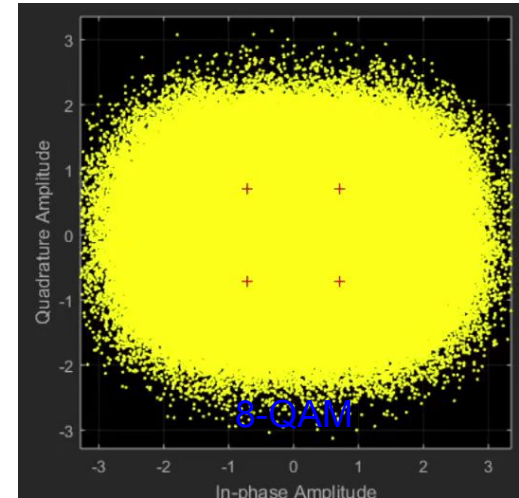
## 4-QAM

$$P_e \approx Q \left[ \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right]$$



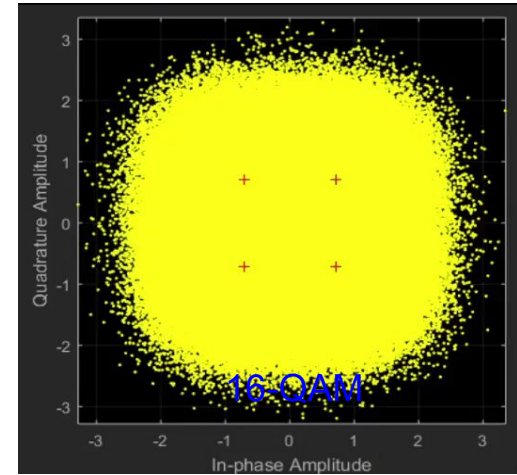
## 8-QAM

$$P_e \approx 0.8619 \times Q \left[ \sqrt{\frac{0.6429 \times 2E_b}{N_0}} \right]$$



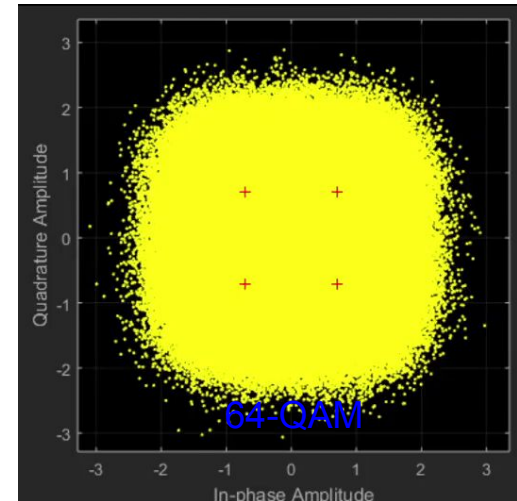
## 16-QAM

$$P_e \approx 0.75 \times Q \left[ \sqrt{\frac{0.4 \times 2E_b}{N_0}} \right]$$



## 64-QAM

$$P_e \approx 0.5833 \times Q \left[ \sqrt{\frac{0.1429 \times 2E_b}{N_0}} \right]$$



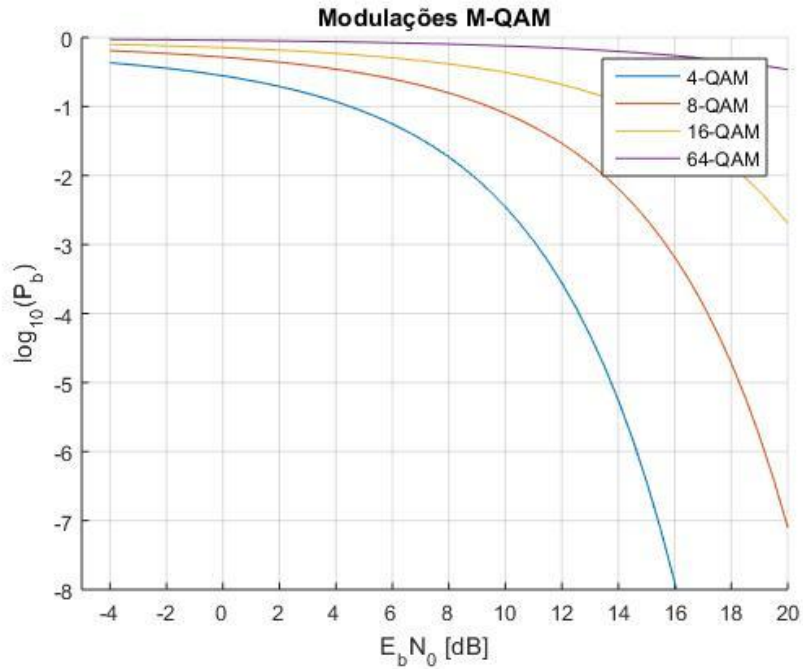


Fig. 4 - Curvas teóricas do QAM propostas pela formulação do artigo.

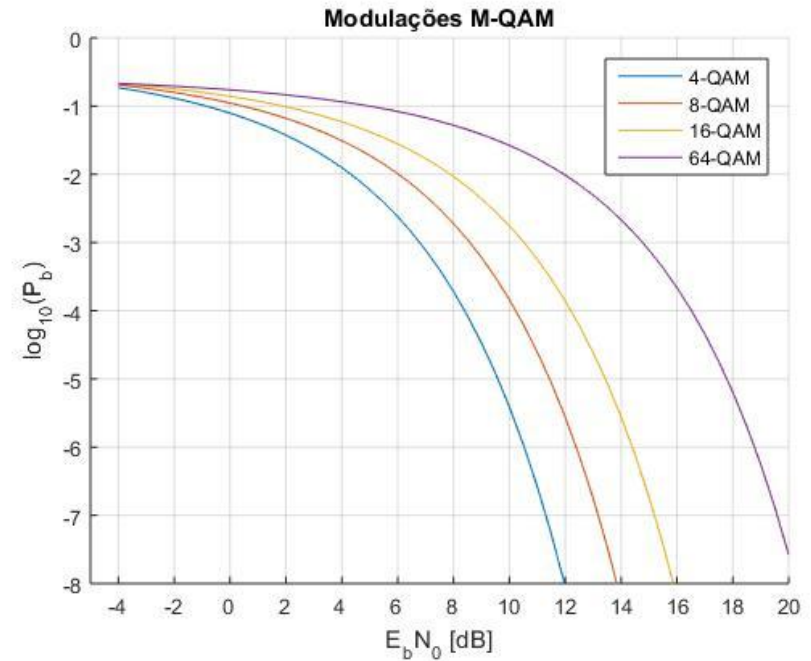


Fig. 5 - Curvas teóricas do QAM propostas pela formulação do Sklar (2001) e Carlson (2010).

# FSK

$$P_e = Q \left[ \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right]$$

# MSK

$$P_e = Q \left[ \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right]$$

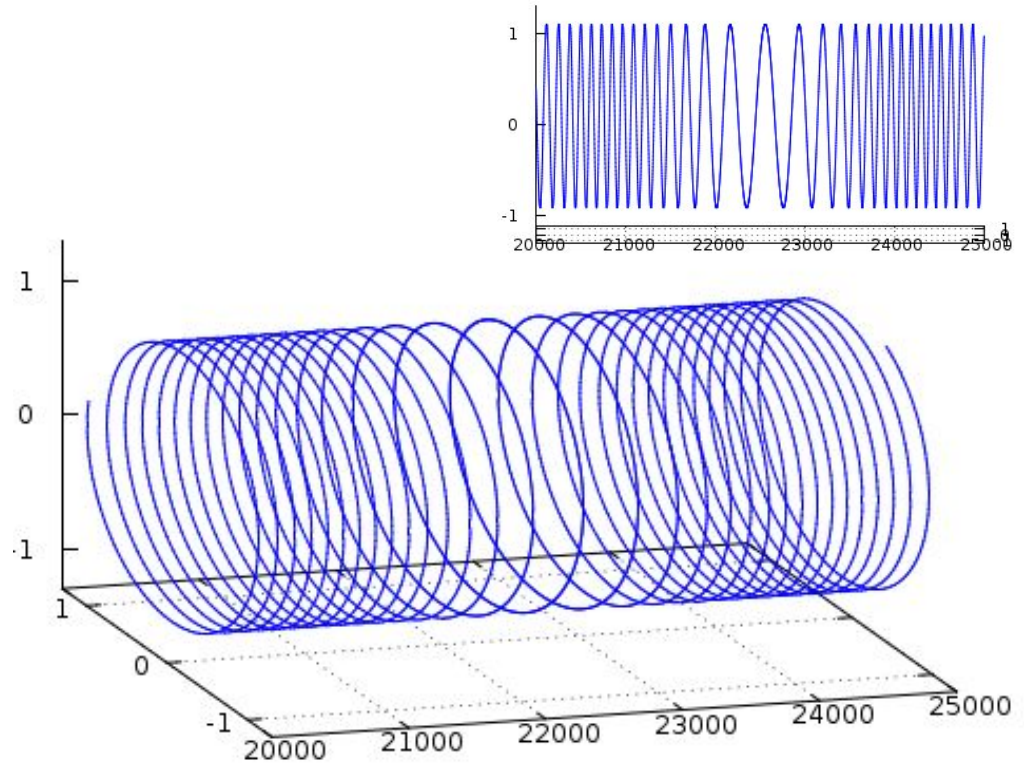


Fig. 6 - Vetor girante para uma modulação 2-FSK.  
Fonte: <<http://whiteboard.ping.se/SDR/IQ>>

# Resultados

- Curvas de BER vs. SNR propostas pelo artigo;
- Avaliação da BER para SNR = 1dB;
- Avaliação da BER para SNR = 5dB;
- Avaliação da BER para SNR = 10dB;
- Reprodução dos resultados;

# Resultados gráficos

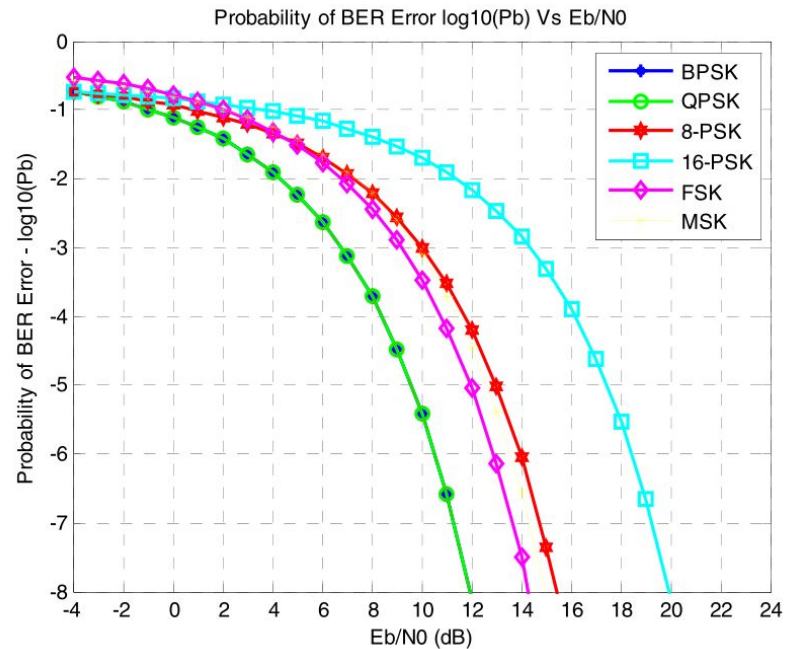
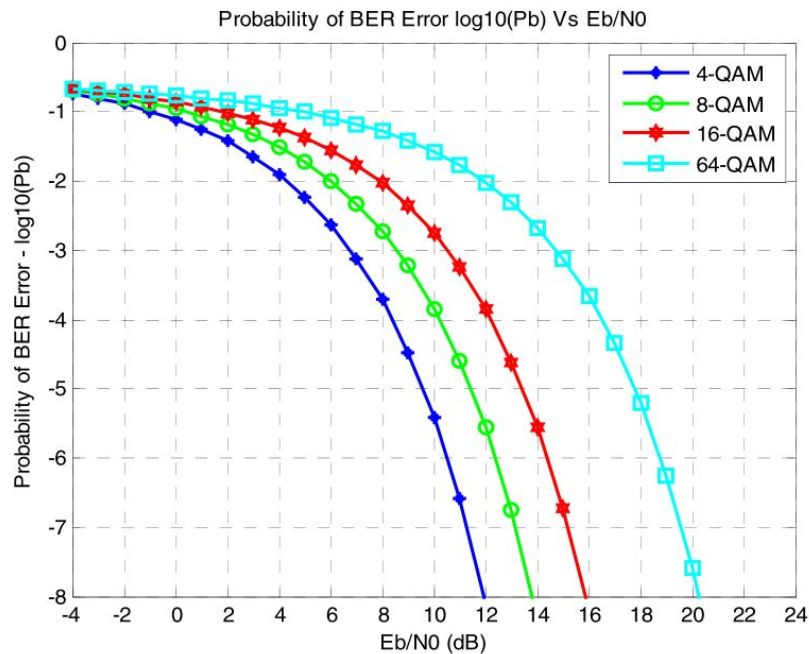


Fig. 7 - Curvas com os resultados práticos apresentados no artigo para as diversas modulações trabalhadas.

# Recorte dos resultados gráficos (1dB)

BER (dB) vs. Modulação para SNR = 1dB

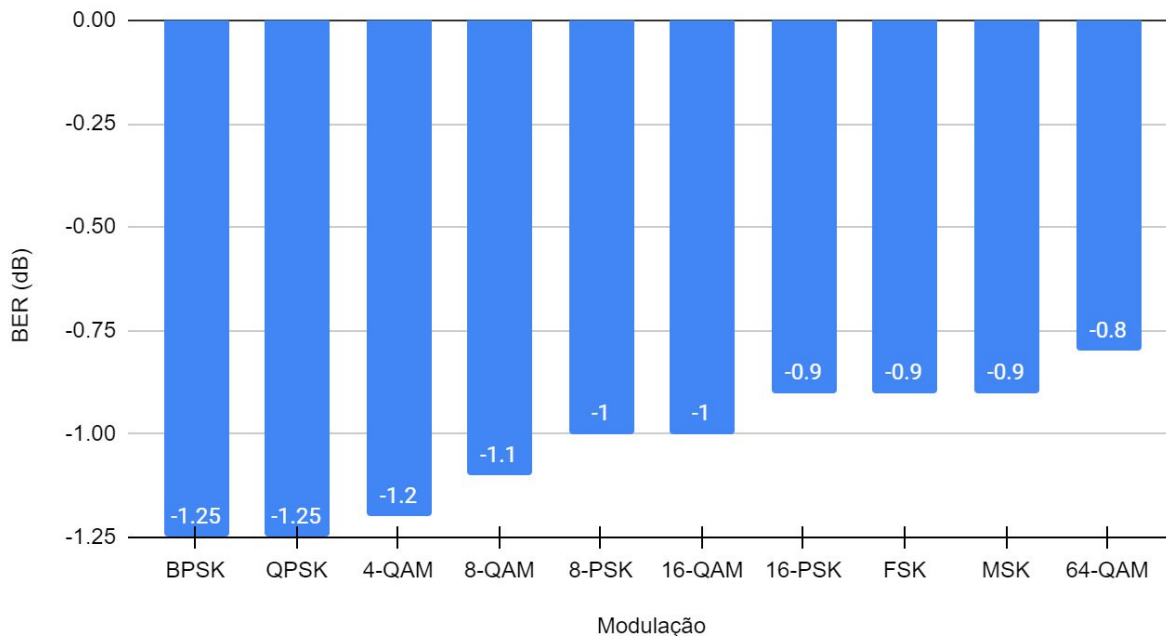


Tabela. 1 - Recorte dos valores de BER de cada modulação avaliada em SNR fixa de 1dB.

# Recorte dos resultados gráficos (5dB)

BER (dB) vs. Modulação para SNR = 5dB

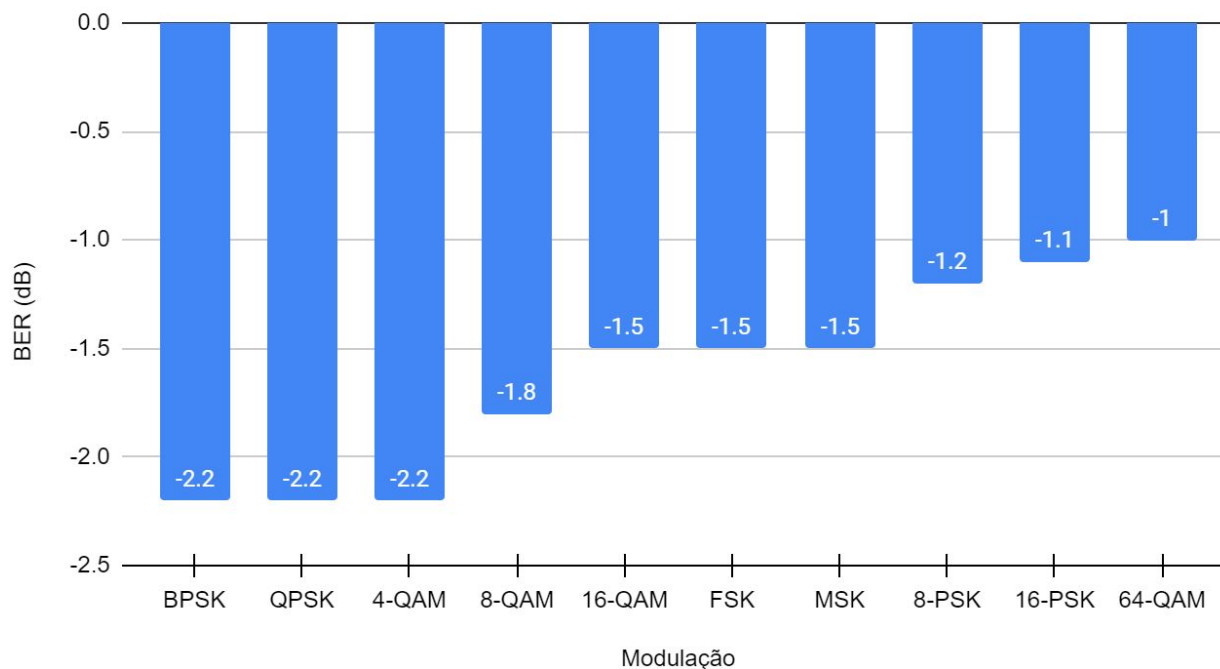


Tabela. 2 - Recorte dos valores de BER de cada modulação avaliada em SNR fixa de 5dB.



# Recorte dos resultados gráficos (10dB)

BER (dB) vs. Modulação para SNR = 10dB

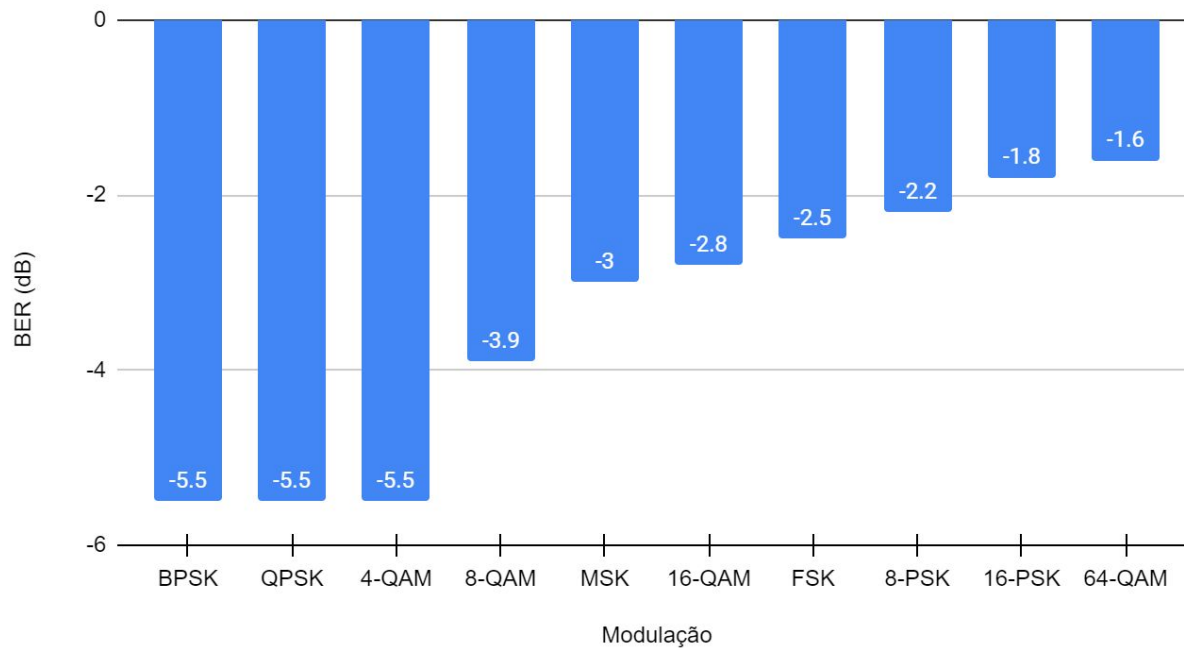


Tabela. 3 - Recorte dos valores de BER de cada modulação avaliada em SNR fixa de 10dB.

# Resultados próprios

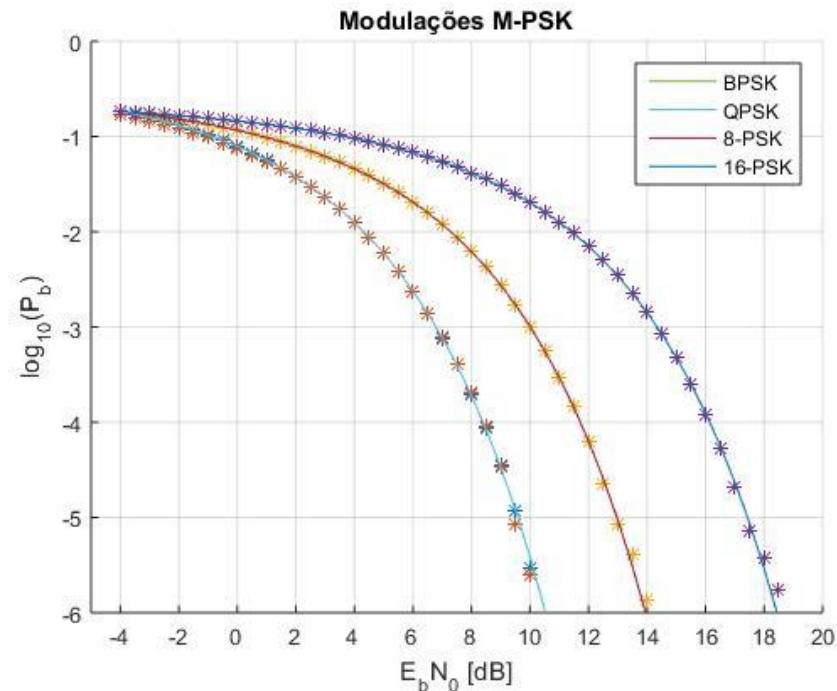
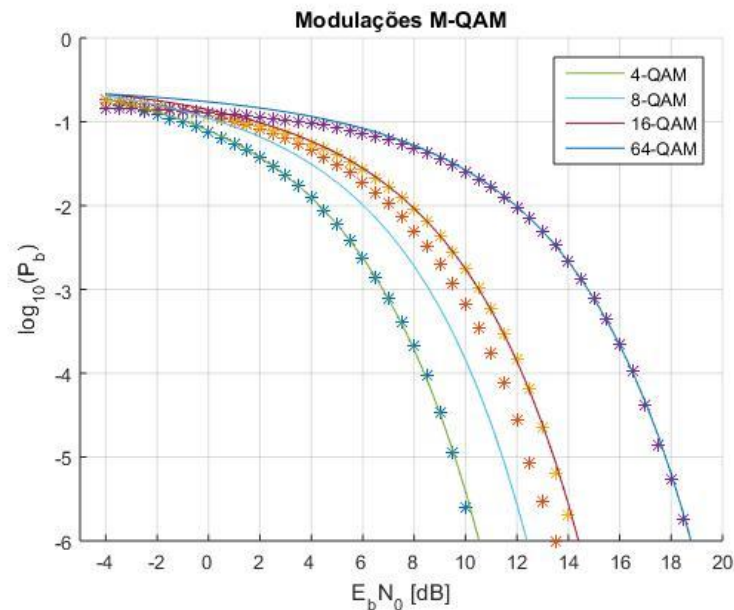


Fig. 8 - Curvas com os resultados práticos obtidos durante a reprodução dos experimentos



# Conclusões

- Em condições de baixa SNR, o uso do BPSK/QPSK oferecem menor BER;
- Em condições de alta SNR, torna-se melhor utilizar modulações com maior taxa de dados como o MPSK e MQAM, visto que seus níveis de BER serão baixos;
- Para manter uma boa taxa de dados, recomenda-se que um esquema de modulação adaptativo que altere entre esquemas de modulação simples e de baixa taxa de dados entre esquemas complexos e de alta taxa de dado, dependendo da SNR do sinal recebido.

# Referências

- Giordano, Arthur A., and Allen H. Levesque. Modeling of Digital Communication Systems Using SIMULINK. John Wiley & Sons, 2015.
- Couch, Leon W. Digital & Analog Communication Systems. Pearson Higher Ed, 2012.
- Proakis, John G., Masoud Salehi, and Gerhard Bauch. Contemporary communication systems using MATLAB. Nelson Education, 2012.
- Carlson, A. Bruce, P. B. Crilly, and J. C. Rutledge. "An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication." (2010).
- Wang, Maolin. "Gauss-Chebyshev Quadratures for Wireless Performance Analysis." (2014).
- Meghdadi, Vahid. "BER calculation." Wireless Communications (2008). Disponível em: <[https://www.unilim.fr/pages\\_perso/vahid/notes/ber\\_awgn.pdf](https://www.unilim.fr/pages_perso/vahid/notes/ber_awgn.pdf)>, acessado em 17 de dezembro de 2020.
- Chirag, B., A. Lohith, and H. S. Prashantha. "Comparative performance analysis of various digital modulation schemes in AWGN channel." 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT). IEEE, 2017.
- Lathi, Bhagwandas Pannalal. Modern Digital and Analog Communication Systems 3e Osece. Oxford University Press, Inc., 1998.
- Tranter, William H., et al. Principles of communication systems simulation with wireless applications. Vol. 1. New Jersey: Prentice Hall, 2004.