



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



David Maykon Krepsky Silva
João Luis Grizinsky de Brito

Modulações ASK, FSK e PSK multiníveis

Data de realização do experimento:

24 de novembro de 2015

Série/Turma:

1000/1011

Prof. Jaime Laelson Jacob

8 de dezembro de 2015

Resumo

Nos sistemas de telecomunicações reais, sempre há a presença de ruído na recepção de um sinal. Um dos modelos utilizado para simular a presença de ruído em uma transmissão é o AWGN (*aditive white Gaussian noise*), o qual representa o ruído térmico. Esse ruído perturba o sinal de forma a prejudicar a recuperação da informação, sendo que quanto maior a potência do ruído, maior a dificuldade em recuperar a informação original. Neste trabalho é analisado a eficiência na transmissão de dados utilizando as técnicas de modulação ASK, FSK e PSK M-ários, em um canal com ruído do tipo AWGN, de modo a avaliar a eficiência de cada uma delas. Foram realizados estudos para transmissões com e sem o uso da codificação Gray, que é uma técnica utilizada para melhorar a BER nos sistemas de telecomunicações. O critério de avaliação adotado para determinar o desempenho do sistema foi a taxa de erro de bit (BER - *Bit Error Rate*). Foi possível observar que conforme a quantidade de ruído aumenta, a taxa de erro de bit também aumenta e que a BER se aproxima bastante do valor calculado teoricamente.

Sumário

Resumo	1
1 Introdução	3
2 Revisão da Teoria	4
2.1 Modulação ASK	4
2.1.1 Modulador ASK	4
2.2 Modulação FSK	5
2.2.1 FSK M-ário	7
2.3 Modulação PSK	7
3 Metodologia Experimental	9
3.1 Materiais	9
3.2 Simulação M-ASK	9
3.3 Modulação M-FSK	11
3.4 Modulação M-PSK	13
3.5 Comparação entre as técnicas de modulação	14
4 Resultados	15
4.1 Modulação M-ASK	15
4.2 Modulação M-FSK	19
4.3 Modulação M-PSK	22
4.4 Comparação entre as técnicas de modulação	26
5 Discussão e Conclusão	27

1 Introdução

Atualmente, os principais sistemas de comunicação utilizam modulação digital. A internet, os celulares e até mesmo a TV necessitam de modems digitais para seu funcionamento. Isso se deve ao grande número de vantagens das técnicas de transmissão digital em relação as analógicas. Embora bastante robustas contra ruídos, as modulações digitais também perdem informação quando a quantidade de ruído é alta. Para um mesmo canal AWGN, os diferentes tipos de modulação digital possuem uma taxa de erro de bits diferente. Sendo assim, faz-se necessário uma análise do desempenho para cada uma das técnicas, de modo a possibilitar a escolha da que melhor atenda as necessidades de comunicação no canal utilizado.

2 Revisão da Teoria

2.1 Modulação ASK

A modulação ASK ("*Amplitude Shift Keying*") é uma maneira bem simples de modulação digital. Essa técnica consiste em transmitir dados através da variação da amplitude da tensão de um sinal, ou seja, a informação a ser transmitida é inserida na amplitude de uma sequência de pulsos elétricos, como mostra a figura 1.

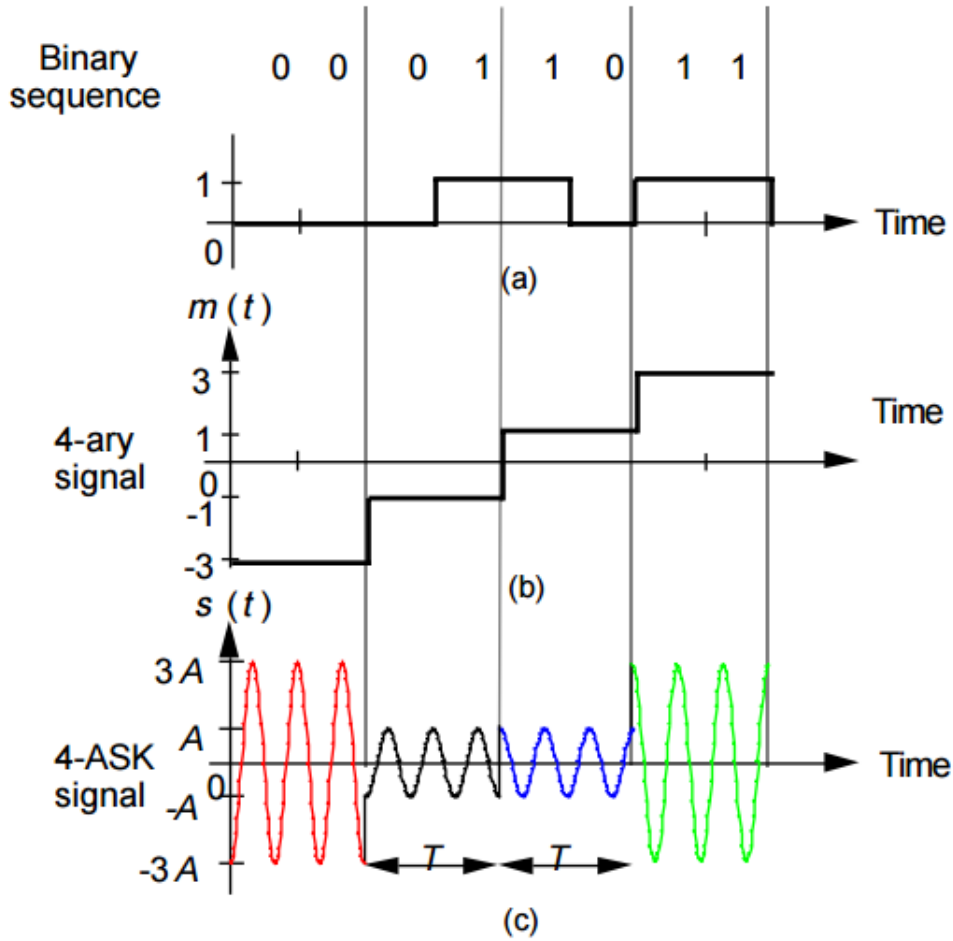


Figura 1: Modulação 4-ASK de um sinal de dados.

2.1.1 Modulador ASK

O modulador ASK é de fácil implementação, pois consiste em um multiplicador, o qual multiplica a portadora, de frequência f_c , pelo sinal digital, como pode ser visto na figura 2.

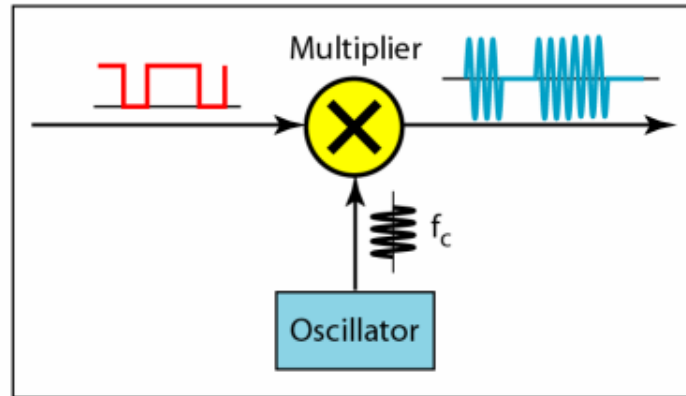


Figura 2: Modulador ASK.

Para o M-ASK, é necessário codificar os dados de entrada antes de aplicar a modulação (vide figura 1 (b)), fazendo com que cada conjunto de bits se torne um nível de tensão distinto.

2.2 Modulação FSK

A modulação FSK ("*Frequency Shift Keying*") é uma técnica de modulação que consiste em variar a frequência da portadora em função do sinal modulante, no caso o sinal digital a ser transmitido. Pode-se considerar que este tipo de modulação é equivalente a modulação FM analógica.

A amplitude da onda portadora modulada é mantida constante durante todo o processo de modulação, quando o sinal digital apresenta nível lógico "1" a frequência da portadora é alterada para posteriormente ser detectada no processo de demodulação. A frequência resultante transmitida será a frequência da onda portadora f_c diminuída de uma frequência de desvio f_d . Ou seja

$$f_r = f_c - f_d \quad (1)$$

Para a ocorrência de um nível lógico "0", a frequência resultante será a frequência da portadora mais a frequência de desvio.

$$f_r = f_c + f_d \quad (2)$$

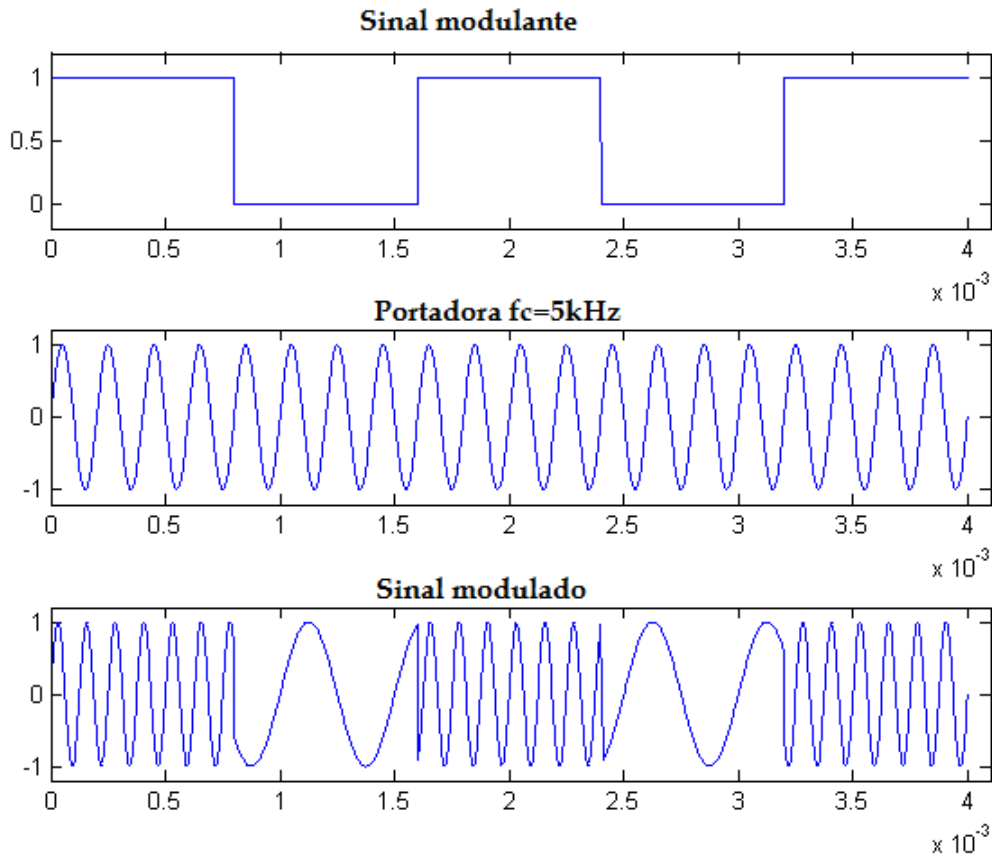


Figura 3: Modulação FSK

A Figura 3 mostra um sinal modulante, uma portadora $f_c = 5kHz$ com $f_d = 3kHz$. É possível observar um sinal em $8kHz$ quando o sinal modulante é "1" e em $2kHz$ quando o sinal modulante é "0", ou seja, o esquema FSK se utiliza da frequência como um meio de transportar a informação, sendo que, para cada frequência f_i , é mapeado um símbolo s_i .

A largura de banda utilizada na transmissão de sinais modulados em FSK é:

$$BW = 2 \cdot \Delta f + 2B.$$

Onde BW é a largura de banda ocupada, Δf é a variação de frequência para representar os bits e B é a banda ocupada desde $f_c + \Delta f$ até o primeiro nóculo da onda *sinc*, a qual representa o espectro de um nível do sinal. Esse fato fica evidente ao analisarmos a figura 4, a qual mostra o espectro de um sinal FSK.

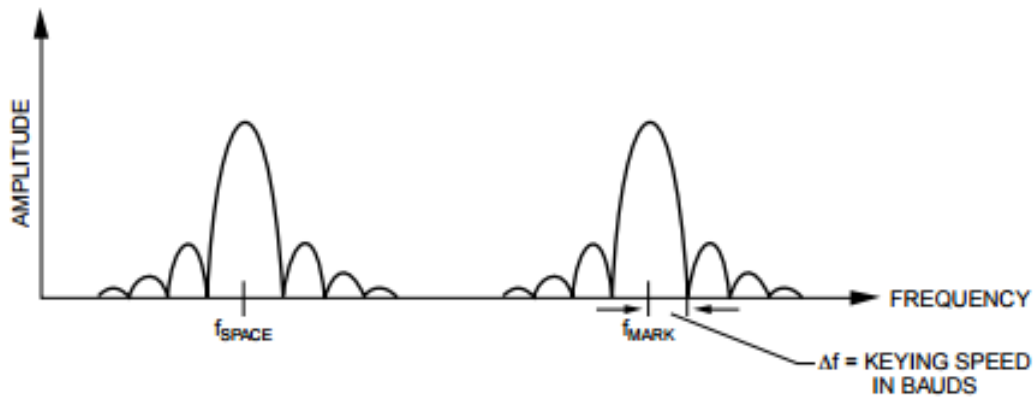


Figura 4: Espectro de uma sinal modulado com FSK.

2.2.1 FSK M-ário

Para o FSK M-ário, a diferença é que cada símbolos é representado por uma frequência diferente. A largura de banda mínima torna-se:

$$BW = M \cdot \Delta f + 2B.$$

2.3 Modulação PSK

O A técnica de modulação conhecida por PSK (Phase Shift- Keying), é o processo pelo qual se altera a fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. Para este processo são usados pulsos bipolares de altura $A_1 = 2$ e $A_0 = -2$ no sinal senoidal da onda portadora em lugar de dois pulsos de altura 0 e A.

Quando ocorrer uma transição de nível lógico do sinal digital a ser transmitido (sinal modulante), haverá uma mudança de 180 graus na fase da onda portadora com relação ao ângulo anterior. A transição observada pode ser tanto de nível lógico "0"para "1"como de nível lógico "1"para "0", como pode ser observado na figura 5.

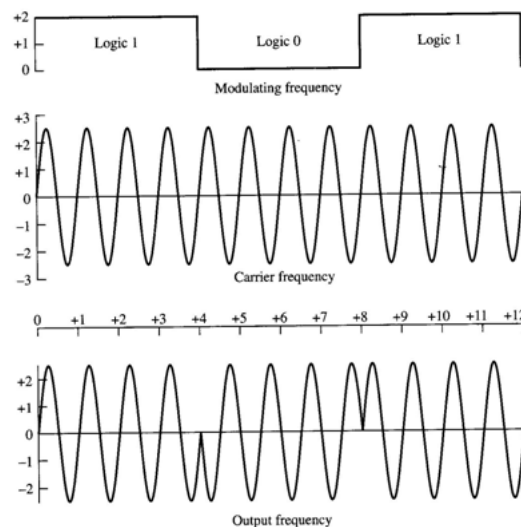


Figura 5: Modulação PSK.

Para este tipo de modulação deve se usar a detecção síncrona, já que esta tem como base o conhecimento preciso a respeito da fase da onda portadora recebida, bem como da sua frequência. Esta técnica de modulação devido ao fato mencionado, envolve circuitos de recepção (demodulação) mais sofisticados; em compensação oferece melhor desempenho que as técnicas ASK e FSK.

3 Metodologia Experimental

3.1 Materiais

Para a realização do experimento foi utilizado o software Simulink do pacote Matlab.

O experimento foi realizado em três partes. De início, foi estudado o comportamento da modulação ASK multinível. Em seguida, foi analisada a modulação FSK multinível e por ultimo, a modulação PSK multinível.

3.2 Simulação M-ASK

Na primeira atividade, foi montado o circuito da figura 6 com ajuda do roteiro que continha todos os parâmetros necessários para configurar os blocos.

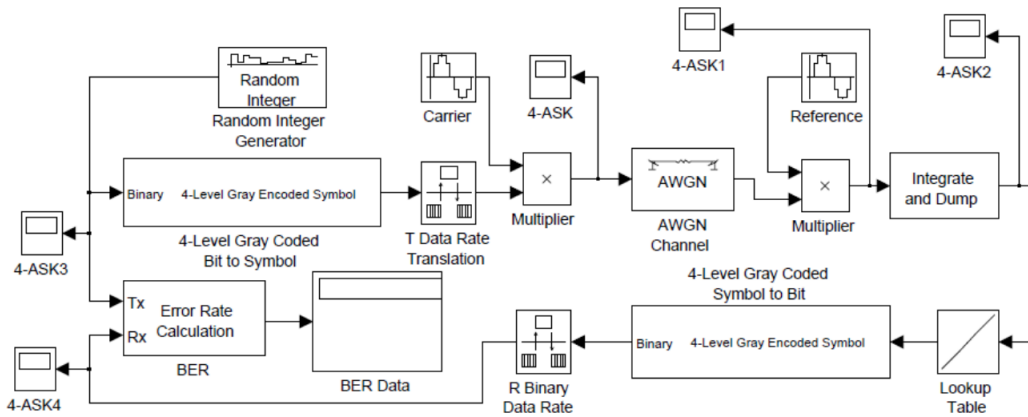


Figura 6: Diagrama do sistema 4-ASK.

Um sistema de comunicação digital ASK retangular 4-ário com canal AWGN e um receptor coerente ótimo implementado com um integrador e um limiar é mostrado na figura 6. Os pulsos 4-ASK retangular tem, a priori, igual probabilidade de ocorrência. O sistema de comunicação 4-ASK retangular com código Gray de 2 bits é similar ao sistema retangular não codificado. O código Gray atribui entrada de i -bits 00, 01, 10 e 11 como os quatro níveis de saída 0, 1, 3 e 2, respectivamente. Os parâmetros de simulação devem ser ajustados de acordo com o roteiro.

O próximo passo é montar um codificador para código *Gray*, conforme a figura 7. Para recuperar a informação, é necessário montar um conversor símbolos *Gray* para pulsos binários, conforme a figura 8.

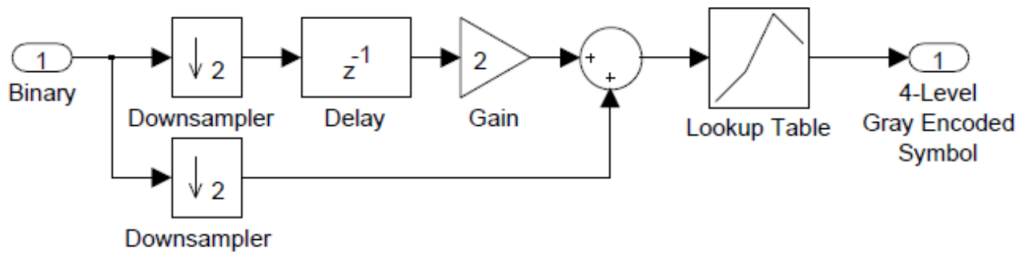


Figura 7: Conversor de binário para código *Gray*.

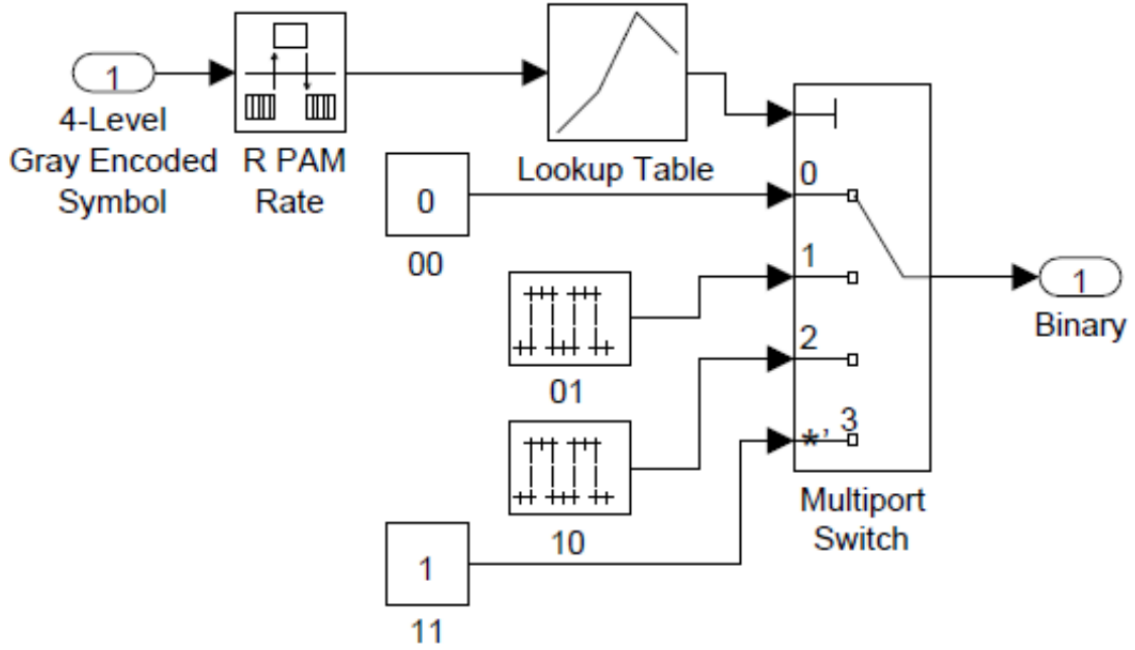


Figura 8: Conversor de símbolos em codificação *Gray* para binário.

Em seguida, obter os gráficos nos pontos onde há osciloscópio para o 4-ASK e também verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido. Plotar o gráfico BER x E_b/N_0 (semilogy).

Em seguida, montar uma tabela de acordo com a tabela 1, com os dados obtidos nas simulações. O valor de P_b é dado pela equação 3.

$$P_{b,4bits,cod.Gray} = \frac{3}{4} Q \left(\sqrt{\frac{0,286 E_b}{N_0}} \right) \quad (3)$$

Como ultimo passo, obter o gráfico da densidade espectral de potência (PSD) da modulação 4-ASK com os blocos mostrados na figura 9.

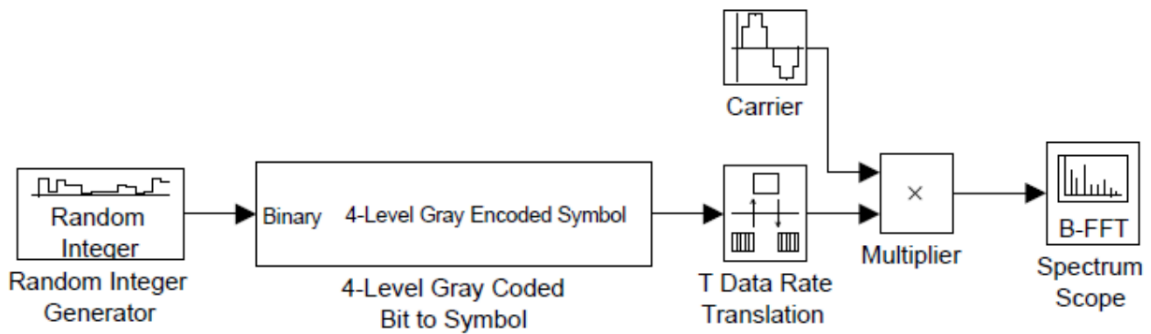


Figura 9: Blocos para obtenção do gráfico da PSD da modulação 4-ASK utilizada.

Tabela 1: Tabela BER x Eb/No para modulação 4-ASK

$\frac{Eb}{No}$ [dB]	BER	P_b
14	$2, 3 \times 10^{-3}$	
12		$1, 27 \times 10^{-2}$
10		
8		
6		
4		
2		
0		

3.3 Modulação M-FSK

Como próxima atividade, simular o circuito 4-FSK com codificação binária.

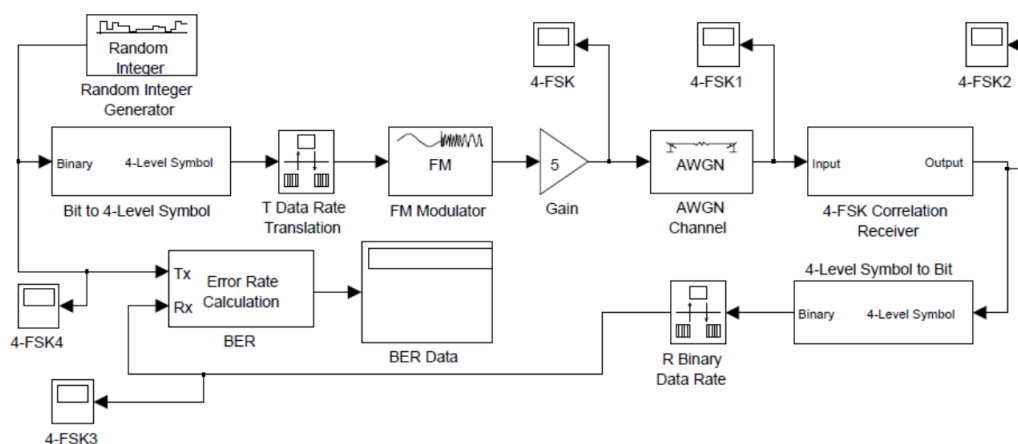


Figura 10: Sistema 4-FSK com codificação binária.

Os blocos com o codificador e decodificador binário estão nas figuras 11 e 12, respectivamente.

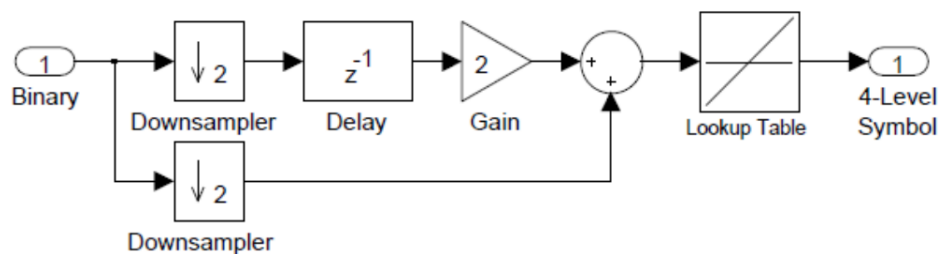


Figura 11: Blocos para codificação em binário.

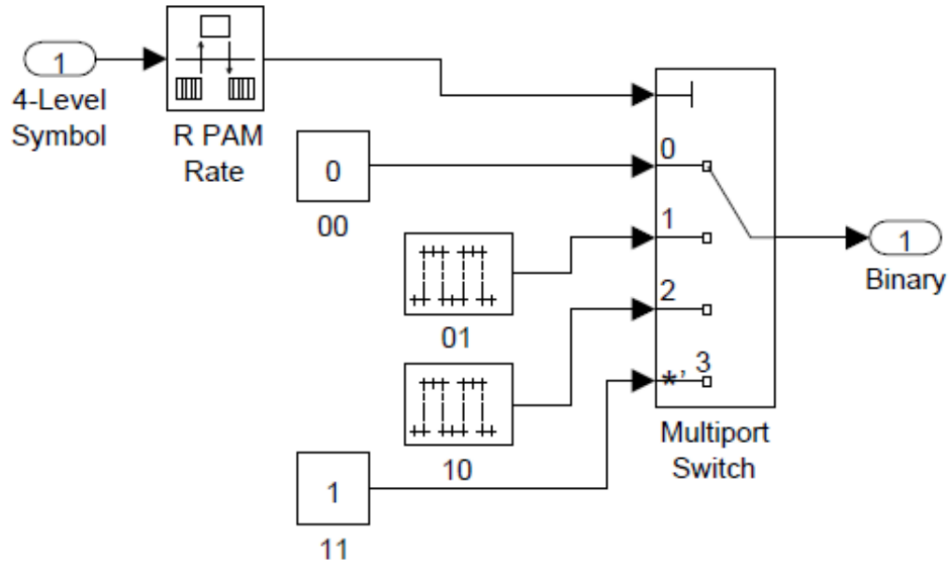


Figura 12: Blocos para decodificação de binário.

Por conseguinte, gerar os gráficos nos pontos onde possui o osciloscópio. Verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido e plotar o gráfico BER x E_b/N_0 (semilogy). A tabela 2 deverá ser preenchida com os dados encontrados. A equação 5 deve ser utilizada para encontrar os valores de P_b .

$$P_{b,4bits,cod.binria} = \frac{M}{2} \mathcal{Q} \left(\sqrt{\log_2 M \left[\frac{E_b}{N_0} \right]} \right) \quad \text{para } M > 4. \quad (4)$$

Tabela 2: Tabela BER x E_b/N_0 para 4-FSK com codificação binária.

$\frac{E_b}{N_0}$ [dB]	BER	P_b
8	1×10^{-4}	
6		$4,8 \times 10^{-3}$
4		
2		
0		

Obter também o gráfico da densidade espectral de potência com os blocos da figura 13.

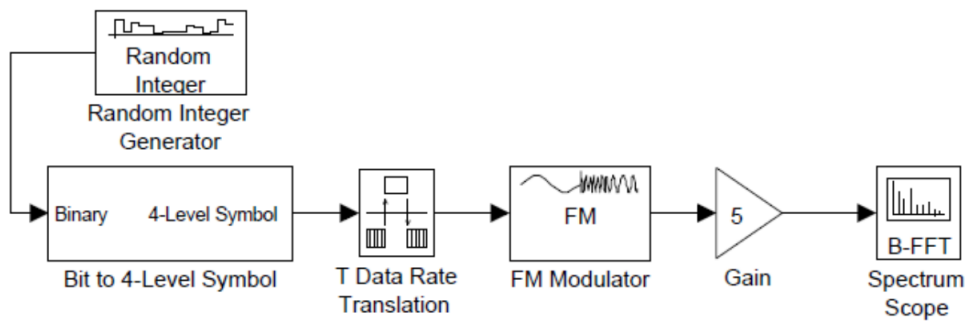


Figura 13: Blocos para obter a PSD para modulação FSK.

3.4 Modulação M-PSK

Como próxima atividade, simular o circuito 4-PSK com codificação *Gray*.

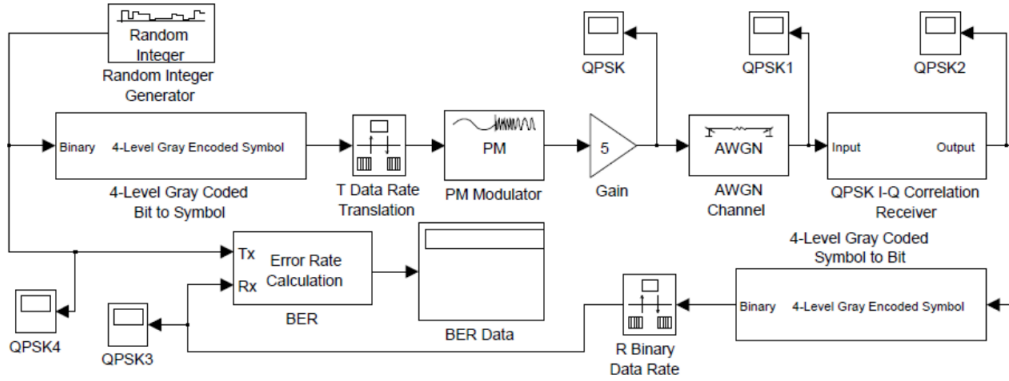


Figura 14: Sistema 4-PSK com codificação *Gray*.

Os blocos com o codificador e decodificador binário estão nas figuras 7 e 8, respectivamente.

Gerar os gráficos nos pontos onde possui o osciloscópio. Verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido e plotar o gráfico BER x E_b/N_0 (semilogy). A tabela 6 deverá ser preenchida com os dados encontrados. A equação ?? deve ser utilizada para encontrar os valores de P_b .

$$P_{b,4bits,cod.Gray} = \frac{M}{M-1} \mathcal{Q} \left(\sqrt{2 \log_2 M \left[\frac{E_b}{N_0} \right] \sin^2 \frac{\pi}{M}} \right) \quad \text{para } M > 4. \quad (5)$$

Tabela 3: Tabela BER x E_b/N_0 para 4-PSK com codificação *Gray*.

$\frac{E_b}{N_0}$ [dB]	BER	P_b
8	2×10^{-4}	
6		$2,4 \times 10^{-3}$
4		
2		
0		

Obter também o gráfico da densidade espectral de potência com os blocos da figura 15.

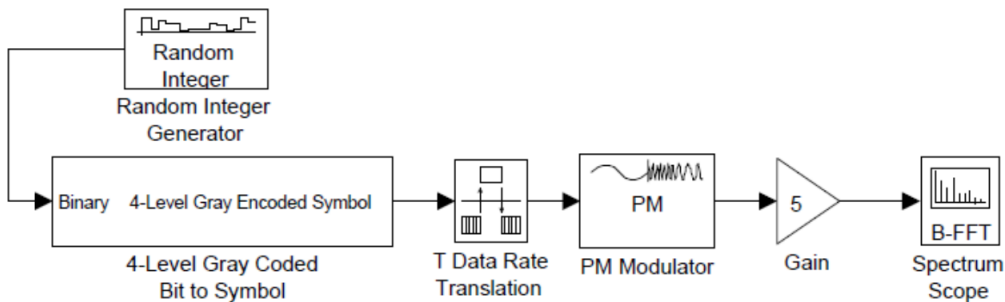


Figura 15: Blocos para obter a PSD para modulação PSK.

3.5 Comparação entre as técnicas de modulação

Como ultimo passo, montar um gráfico contendo a BER para os três tipo de modulação estudados e comparar o desempenho das mesmas.

4 Resultados

4.1 Modulação M-ASK

Foi colocado as ponteiros nos lugares demarcados segundo a figura 6 e obteve-se a seguinte sequência de gráficos nos pontos onde se tinha osciloscópios:

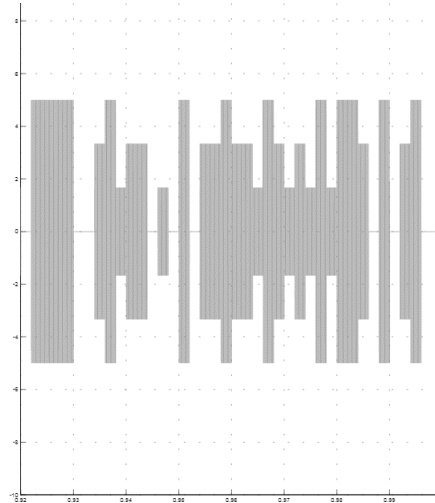


Figura 16: ASK.

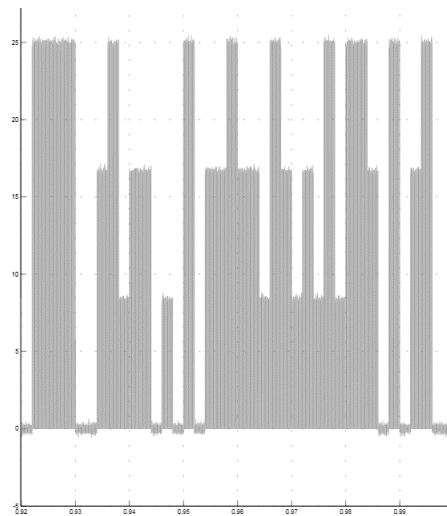


Figura 17: ASK1.

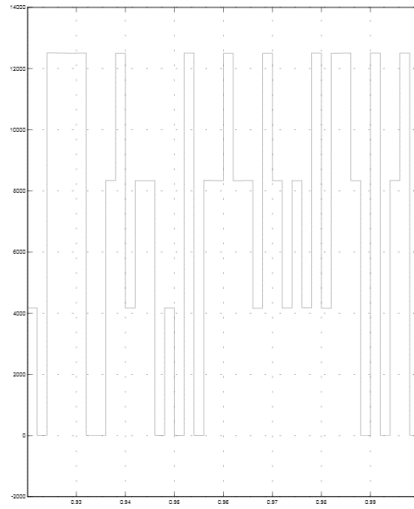


Figura 18: ASK2.

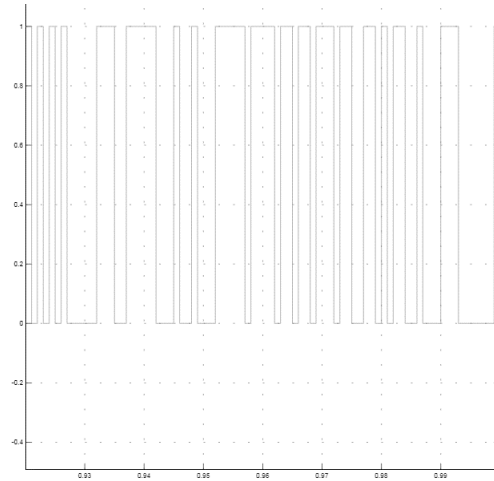


Figura 19: ASK3.

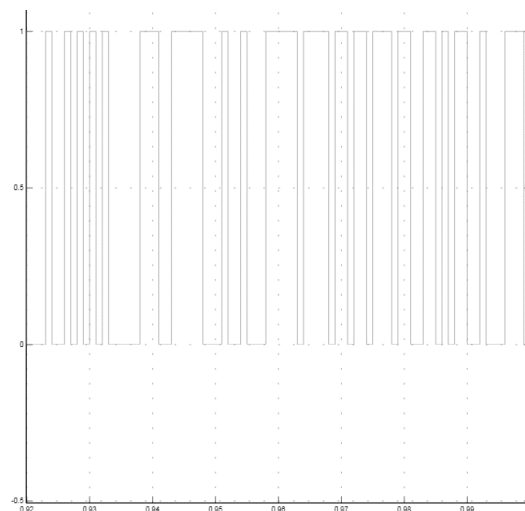


Figura 20: ASK4.

Para ser verificado o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido, verificou-se pela figura 21, que temos um atraso de 6 bits da entrada em relação a saída:

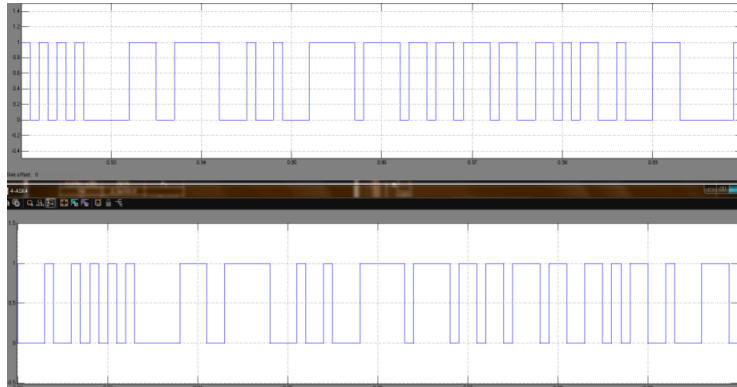


Figura 21: Atraso.

Obteve-se então o seguinte gráfico relacionando os resultados práticos (BER) e os teóricos (PB), de acordo com a tabela acima apresentada:

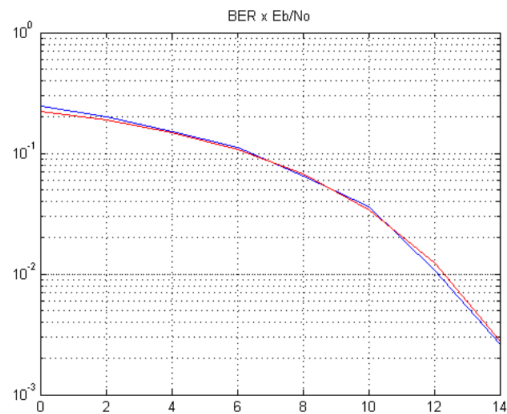


Figura 22: Relação BERxNo e Pb.

Também encontrou-se a relação ASK com ASK4 e ASK2 com ASK1, sendo respectivamente as imagens abaixo. Esses pontos são os respectivos que provam na pratica a teoria da modulação ASK.

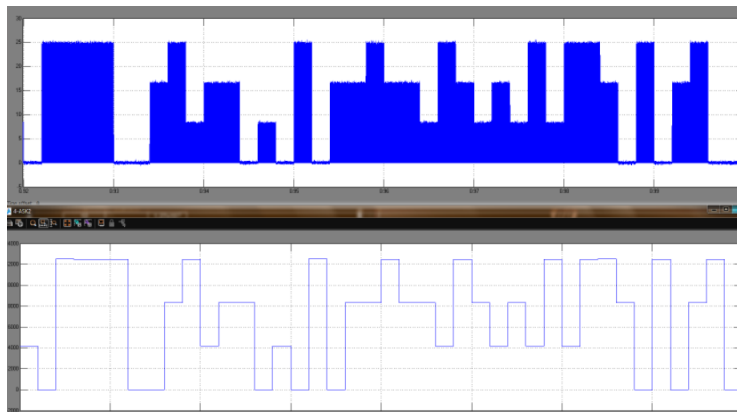


Figura 23: ASK x ASK4.

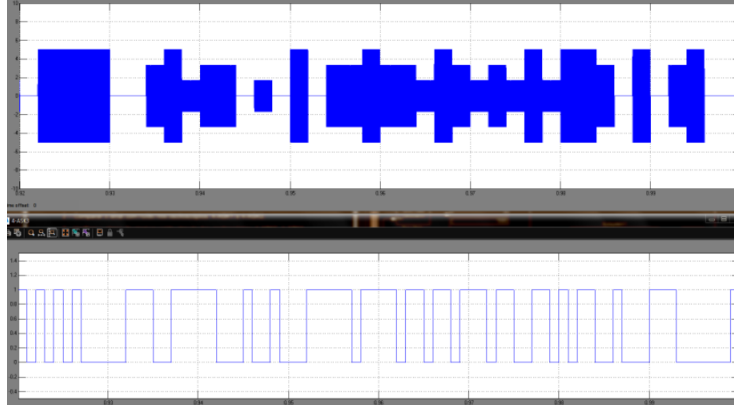


Figura 24: ASK2 x ASK1.

Além de tudo isso já apresentado, foi obtido a PSD do esquema seguindo o modo de implementação do bloco abaixo também representado, obtendo então a banda central assim como suas frequências:

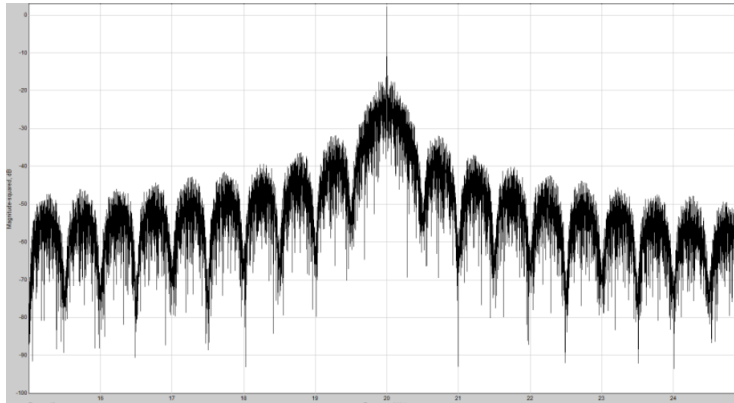


Figura 25: Densidade espectral de potência para modulação ASK.

Para a obtenção do gráfico E_b/N_o x BER (semilog), desenvolveu-se a tabela abaixo, além de seguir a fórmula abaixo tendo uma potência do sinal de 25W: Para o Matlab:

Tabela 4: Tabela BER x E_b/N_o para 4-ASK com codificação *Gray*.

$\frac{E_b}{N_o}$ [dB]	BER	P_b
14	0,002	0.0028
12	0,0108	0.0125
10	0,0364	0.0341
8	0,0654	0.0672
6	0,1113	0.1072
4	0,1519	0.1488
2	0,2019	0.1878
0	0,2484	0.2223

4.2 Modulação M-FSK

Foi colocado as ponteiros nos lugares demarcados segundo a figura 10 e obteve-se a seguinte sequência de gráficos nos pontos onde se tinha osciloscópios:

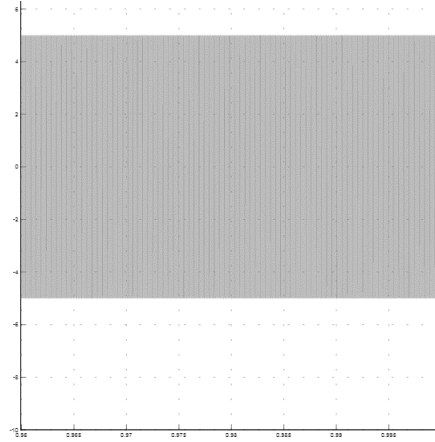


Figura 26: FSK.

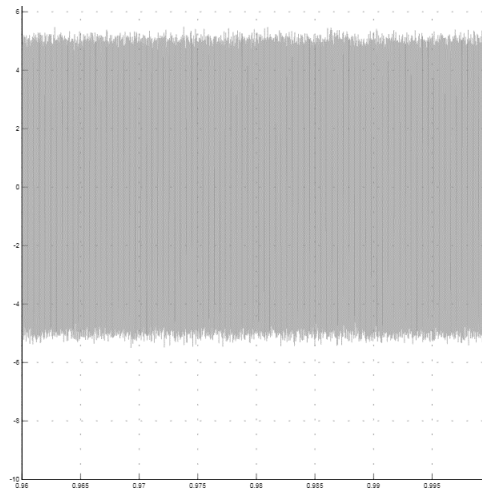


Figura 27: FSK1.

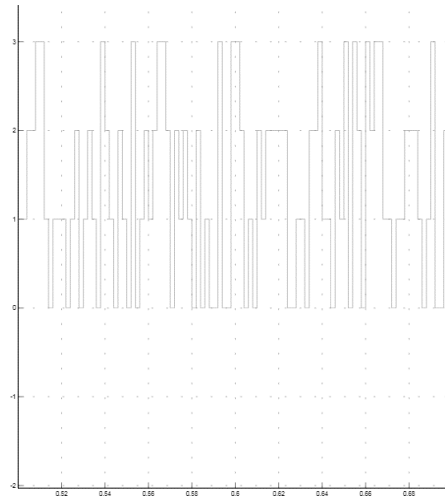


Figura 28: FSK2.

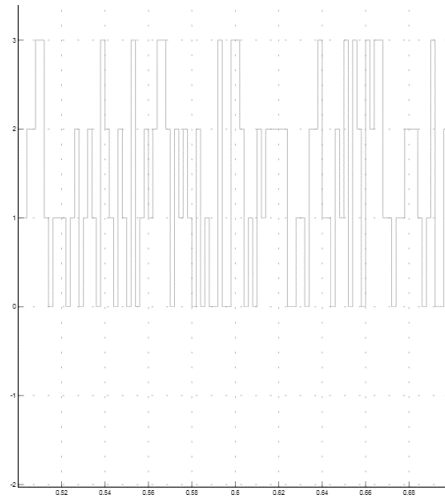


Figura 29: FSK3.

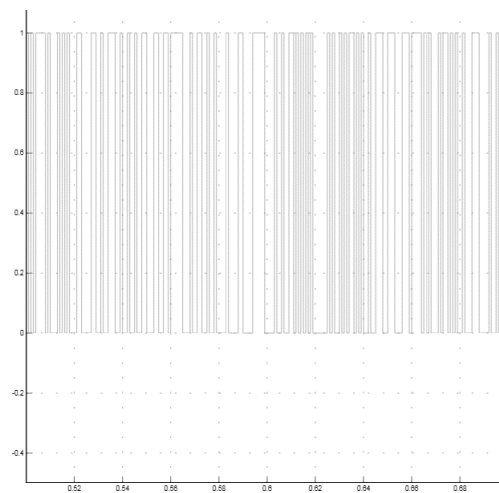


Figura 30: FSK4.

Para ser verificado o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido, verificou-se pela figura 31, que temos um atraso de 6 bits da entrada em relação a saída:

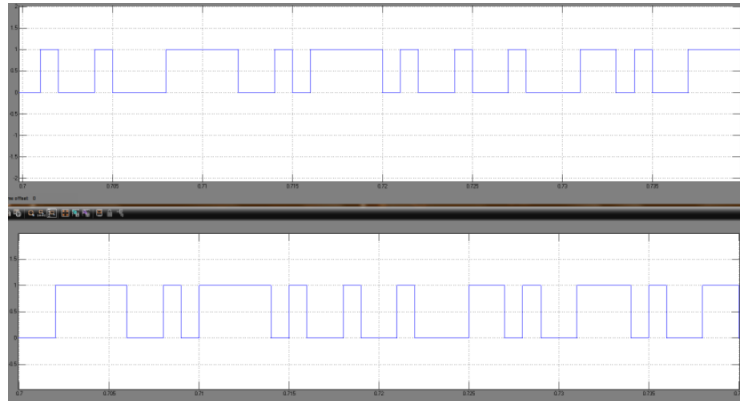


Figura 31: Atraso.

Obteve-se então o seguinte gráfico relacionando os resultados práticos (BER) e os teóricos (PB), de acordo com a tabela acima apresentada:

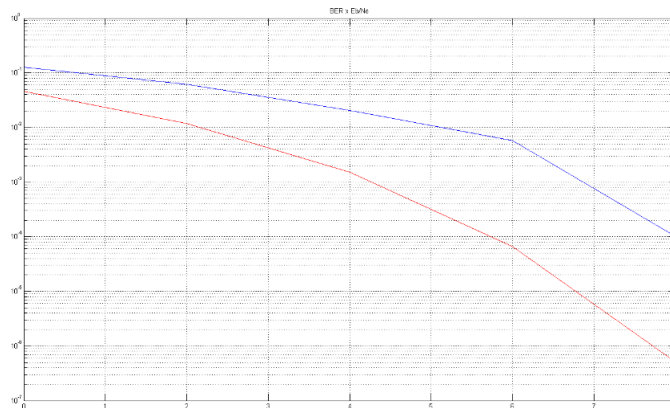


Figura 32: Relação $BER \times N_0$ e P_b .

Também encontrou-se a relação FSK com FSK4 e FSK2 com FSK1, sendo respectivamente as imagens abaixo. Esses pontos são os respectivos que provam na pratica a teoria da modulação FSK.

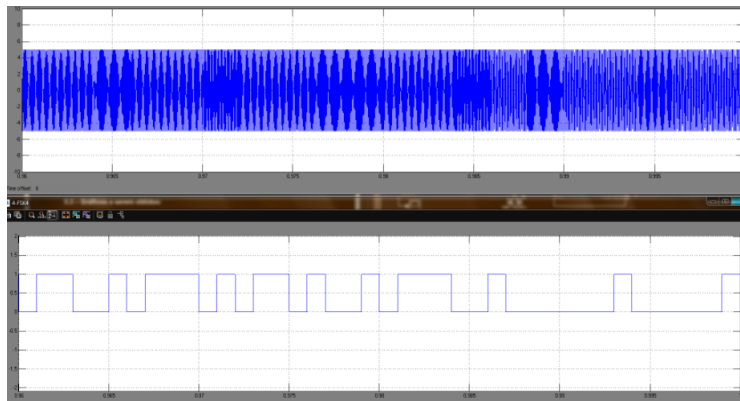


Figura 33: FSK x FSK4.

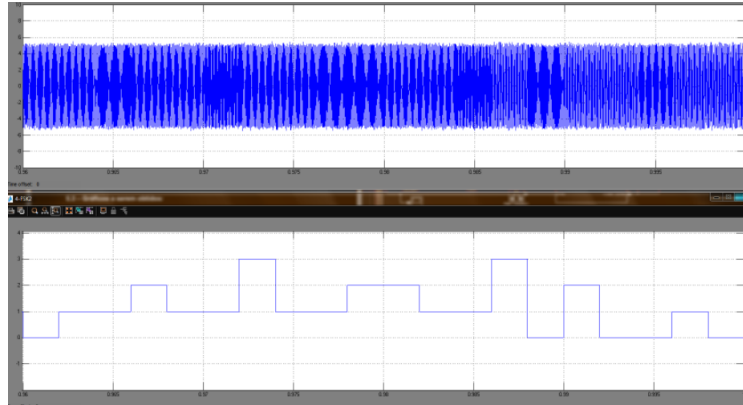


Figura 34: FSK2 x FSK1.

Além de tudo isso já apresentado, foi obtido a PSD do esquema seguindo o modo de implementação do bloco abaixo também representado, obtendo então a banda central assim como suas frequências:

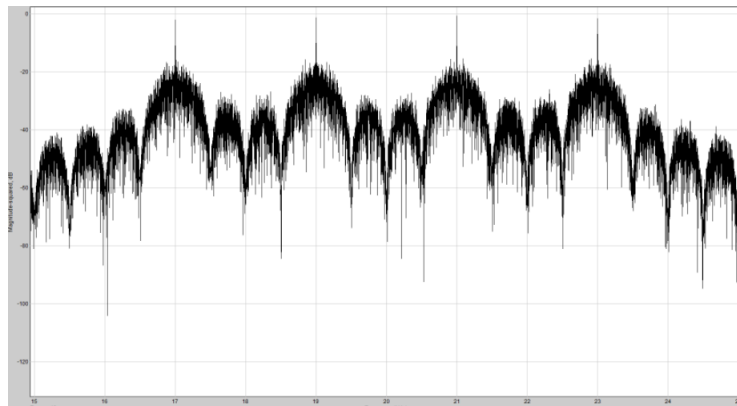


Figura 35: Densidade espectral de potência para modulação FSK.

Para a obtenção do gráfico E_b/N_0 x BER (semilog), desenvolveu-se a tabela abaixo, além de seguir a fórmula abaixo tendo uma potência do sinal de 25W: Para o Matlab:

Tabela 5: Tabela BER x E_b/N_0 para 4-FSK com codificação *Gray*.

$\frac{E_b}{N_0}$ [dB]	BER	P_b
8	0,0001	0.0004
6	0,0057	0.0048
4	0,0207	0.0250
2	0,0623	0.0750
0	0,1262	0.1573

4.3 Modulação M-PSK

Foi colocado as ponteiros nos lugares demarcados segundo a figura 14 e obteve-se a seguinte sequência de gráficos nos pontos onde se tinha osciloscópios:

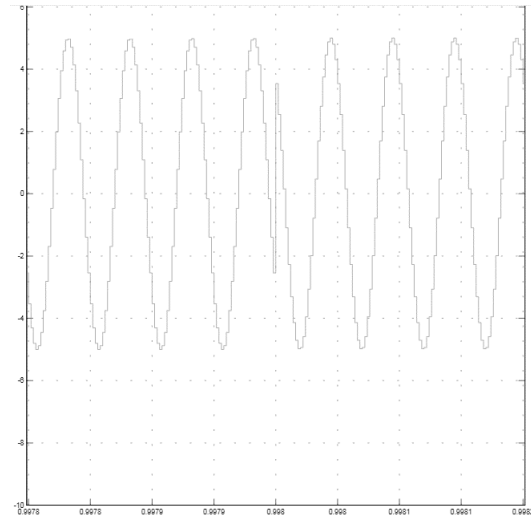


Figura 36: PSK.

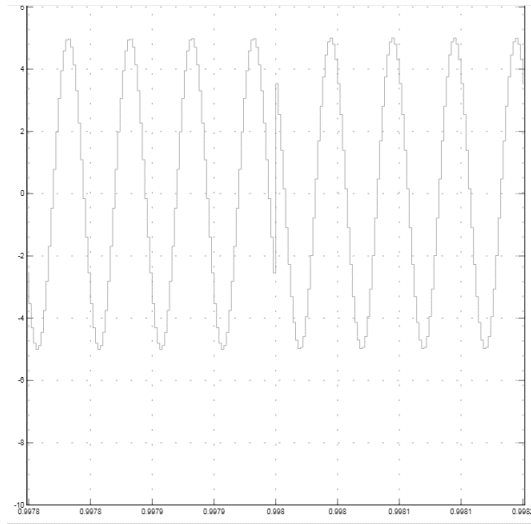


Figura 37: PSK1.

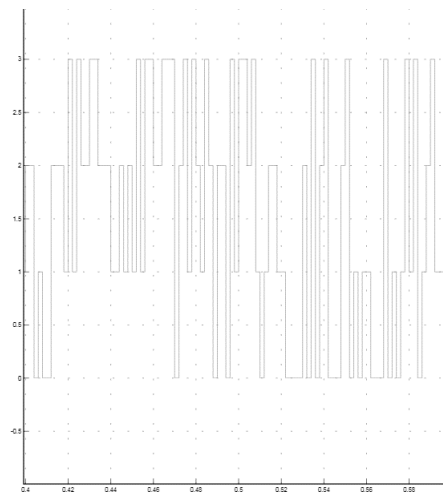


Figura 38: PSK2.

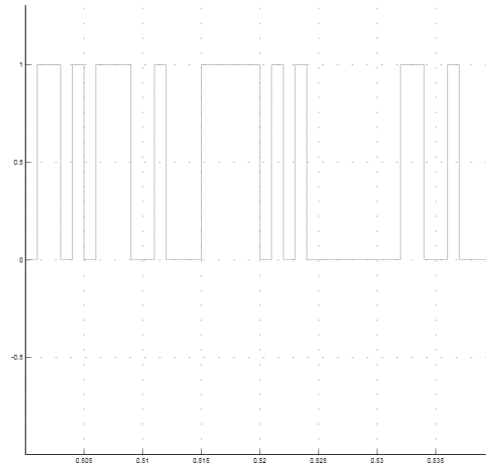


Figura 39: PSK3.

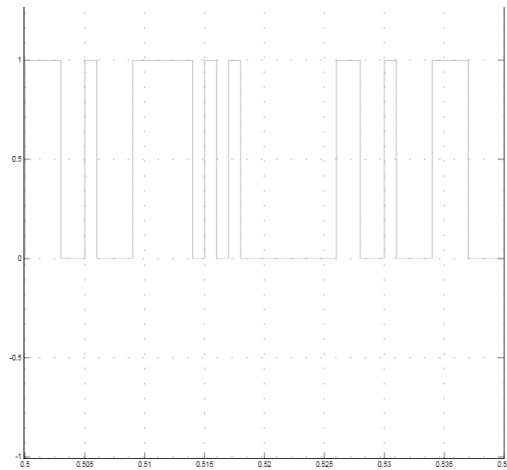


Figura 40: PSK4.

Para ser verificado o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido, verificou-se pela figura 41, que temos um atraso de 6 bits da entrada em relação a saída:

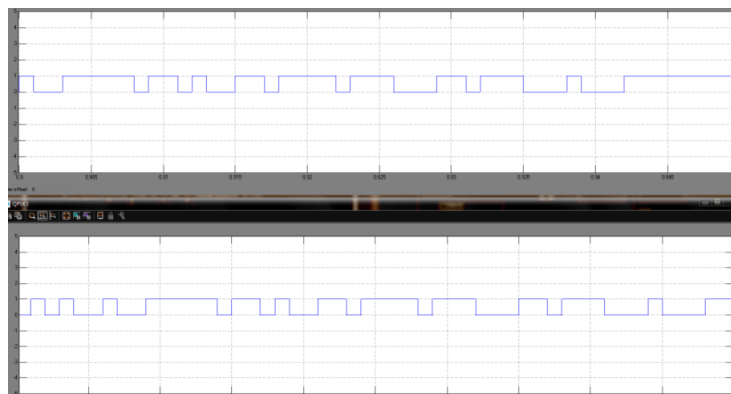


Figura 41: Atraso.

Obteve-se então o seguinte gráfico relacionando os resultados práticos (BER) e os teóricos (PB), de acordo com a tabela acima apresentada:

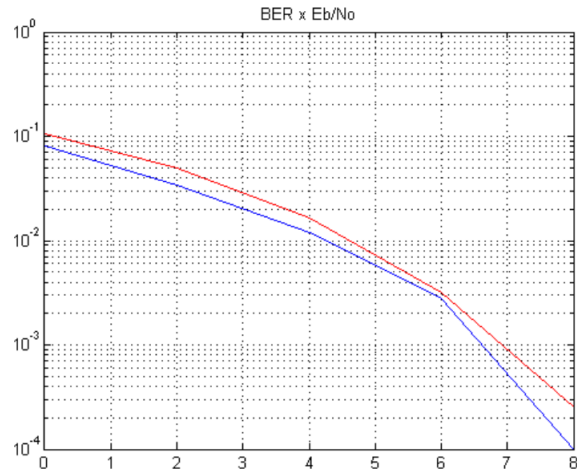


Figura 42: Relação BERxNo e Pb.

Também encontrou-se a relação PSK com PSK4 e PSK2 com PSK1, sendo respectivamente as imagens abaixo. Esses pontos são os respectivos que provam na pratica a teoria da modulação PSK.

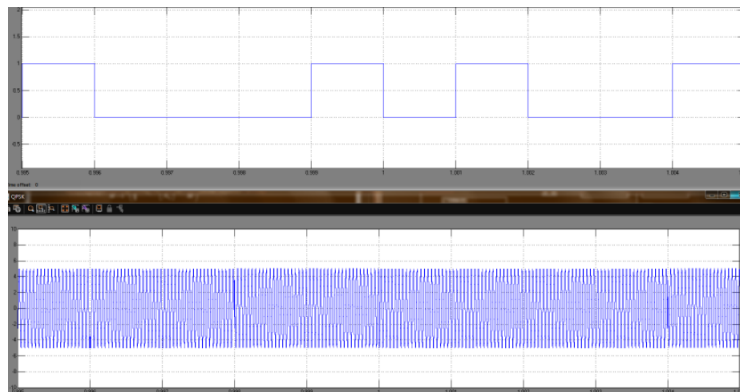


Figura 43: PSK x PSK4.

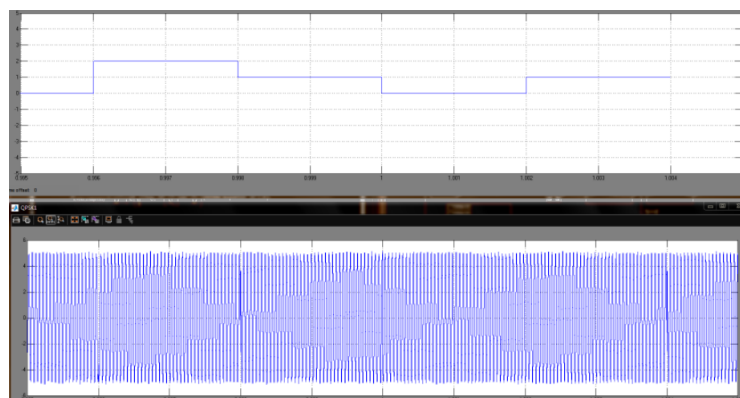


Figura 44: PSK2 x PSK1.

Além de tudo isso já apresentado, foi obtido a PSD do esquema seguindo o modo de implementação do bloco abaixo também representado, obtendo então a banda central assim como suas frequências:

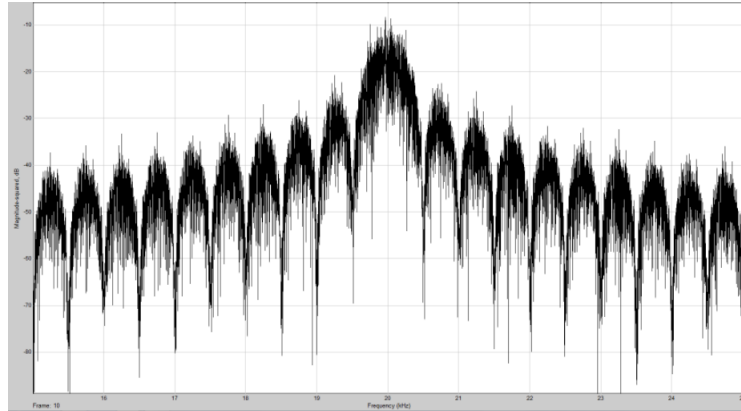


Figura 45: Densidade espectral de potência para modulação PSK.

Para a obtenção do gráfico E_b/N_0 x BER (semilog), desenvolveu-se a tabela abaixo, além de seguir a fórmula abaixo tendo uma potência do sinal de 25W: Para o Matlab:

Tabela 6: Tabela BER x E_b/N_0 para 4-PSK com codificação *Gray*.

$\frac{E_b}{N_0}$ [dB]	BER	P_b
8	0,0001	0.0003
6	0,0028	0.0032
4	0,012	0.0167
2	0,0338	0.0500
0	0,082	0.1049

4.4 Comparação entre as técnicas de modulação

Como último item do relatório, juntou-se todas as relações de BER/ N_0 de todas as modulações apresentadas para verificar qual seria a melhor, conforme a figura

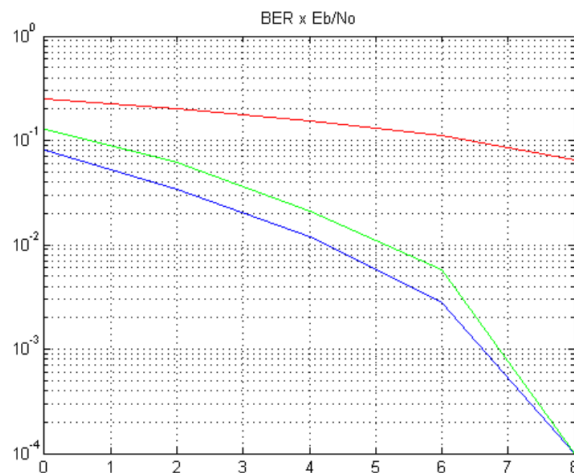


Figura 46: Comparação entre a BER para modulação ASK, FSK e PSK.

5 Discussão e Conclusão

As simulações tiveram resultados condizentes com a teoria, comprovando na prática, diversos circuitos relacionados com esse relatório sobre modulações ASK, PSK e FSK. É super interessante observar essas modulações na prática para ter convicção e compreensão de seus funcionamentos. As primeiras imagens de cada item na parte experimental provam todos esses funcionamentos. Sobre a BER, observa-se um valor bastante próximo entre teoria e prática, gerando maior confiabilidade nos sistemas na hora de implementação dentro de um circuito, porém na última imagem (41) é onde encontra-se o maior resultado, onde compara-se todas as 3 modulações e verifica-se que a modulação PSK possui uma atenuação muito menor se comparado com os outros tipos de modulação, não que as outras sejam ruins, porém a PSK é um método que consegue garantir garantia do sinal próximo de íntegro de uma transmissão no meio de telecomunicações.