

Segundo Projeto de Comunicações Móveis

Vítor Gabriel Lemos Lopes

¹Departamento de Engenharia de Comunicações-UFRN

Resumo. *Este Trabalho foi feito com intuito de aprendizado sobre comunicações digitais, e sobre os tipos de canais mais utilizados nas comunicações, e como se comportam, a probabilidade de erro de cada um dos canais. Para isso foi utilizado a linguagem de programação em Python para a modelagem dos canais e a probabilidade de erro de cada canal, com isso foram feitos gráficos para comparação do simulado com a probabilidade de erro teórica.*

1. Introdução

Como sabemos a transmissão sem fio dois principais tipos de atenuação, Desvanecimentos em larga escala e o desvanecimento em pequena escala. Este projeto tem como objetivo estudar o desvanecimento em pequena escala em um sistema de comunicação digital sem fio.

Na comunicação digital é estudado a quantidade de erros de bits para poder fazer uma transmissão confiável, neste trabalho vamos estudar os canais mais comuns utilizados que são: Canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) e o canal de *Rayleigh*, vamos fazer uma simulação com cada canal com o efeito de atenuação feita por esses canais ruidosos entre a modulação e demodulação e utilizar o valor da probabilidade de erro de bit teórica para comparar com o simulado.

2. Experimento 1

Para o primeiro Experimento foi pedido que fosse feita duas simulações, uma da constelação de bits com a adição do ruído AWGN e um gráfico comparando a probabilidade de erro de bits teórica com a simulada. Para isto foi criado um sinal antipodal sem formatação de pulso, e o ruído AWGN foi feito uma variável aleatória gaussiana com média 0 e variância $N_0/2$, que é dado nos livros de referência, o qual N_0 é:

$$N_0 = E_b * 10^{-SNR_{dB}/10} \quad (1)$$

Os quais:

- **N_0** : Densidade espectral do ruído.
- **E_b** : Energia de bit dado no problema.
- **SNR** : Relação sinal ruído em dB dado no problema.

2.1. Constelação

Para poder modelar o gráfico da constelação é necessário criar um sinal antipodal que foi criado com ajuda da biblioteca Numpy do Python e foi da seguinte forma:

```
bit=np.random.randint(0,2,size=b)
sinal=np.where(bit==0,-1,bit)
```

Qual foi criado um vetor aleatório de 0 e 1, e depois modificado para onde tem o bit 0 ser colocado para -1, Para o sinal ser um BPSK. O tamanho do vetor foi definido a quantidade de bits que serão transmitidos, que no caso da questão são 100 bits.

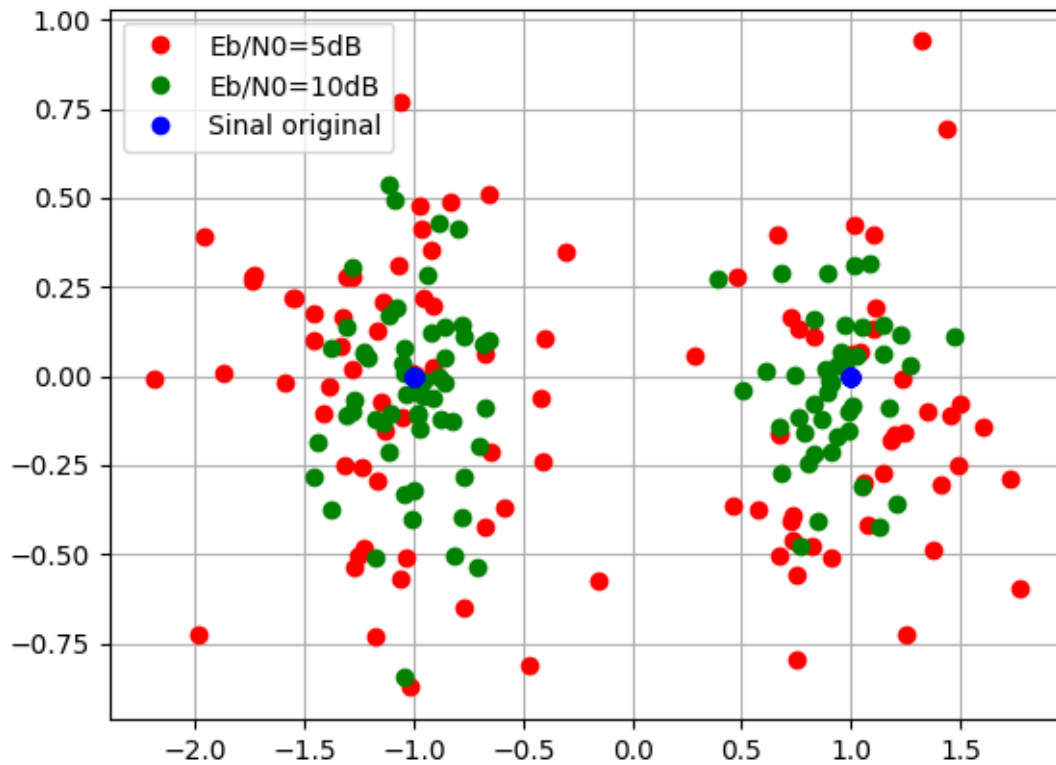


Figura 1. Constelação de bits

Com este gráfico podemos observar uma nuvem envolta do sinal original, isso é devido a adição do ruído AWGN, que como foi falado anteriormente é uma variável aleatória, só que o ruído possui componente real e imaginária, por isso vemos componentes em x e y. E podemos ver também que quanto menor o $Eb/N0$ (que é a nossa SNR da formula 1) mais espalhado são os bits que chegam no receptor, pela formula 1 podemos perceber que quanto maior a SNR, menor é a densidade espectral do ruído isso fazendo a variância do AWGN diminuir significadamente, como vimos que o ruído é a variável aleatória que depende da média e da variância, já que a média é zero, a variância quanto menor menos ele vai se afastar do ponto inicial.

2.2. Probabilidade de erro de bits

Para um canal AWGN a probabilidade de erro teórica dado nas referências é:

$$Pe = Q \left(\sqrt{\frac{2Eb}{N0}} \right)$$

Ou

$$Pe = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{Eb}{N_0}} \right) \quad (3)$$

Agora para criação do sinal simulado fazemos os procedimentos descritos anteriormente, com algumas modificações, para definirmos os sinais errados, é pego o sinal recebido que é igual o sinal original (com -1 e 1) somado ao ruído AWGN, fazemos um limiar de decisão com esse código:

```
resultbit=np.where(sinalrecpt >=0,1,-1)
```

Onde para todos os bits que chegam que são maiores que 0 são 1, e todos os menores que 0 são -1. Com isso fazemos a comparação e contamos quantos erros temos e dividimos pela quantidade de bits que foram transmitidos.

```
bit_error=np.where(sinal!=resultbit,1,0)
ber.append((sum(bit_error))/b)
```

Com essas informações podemos plotar os gráficos:

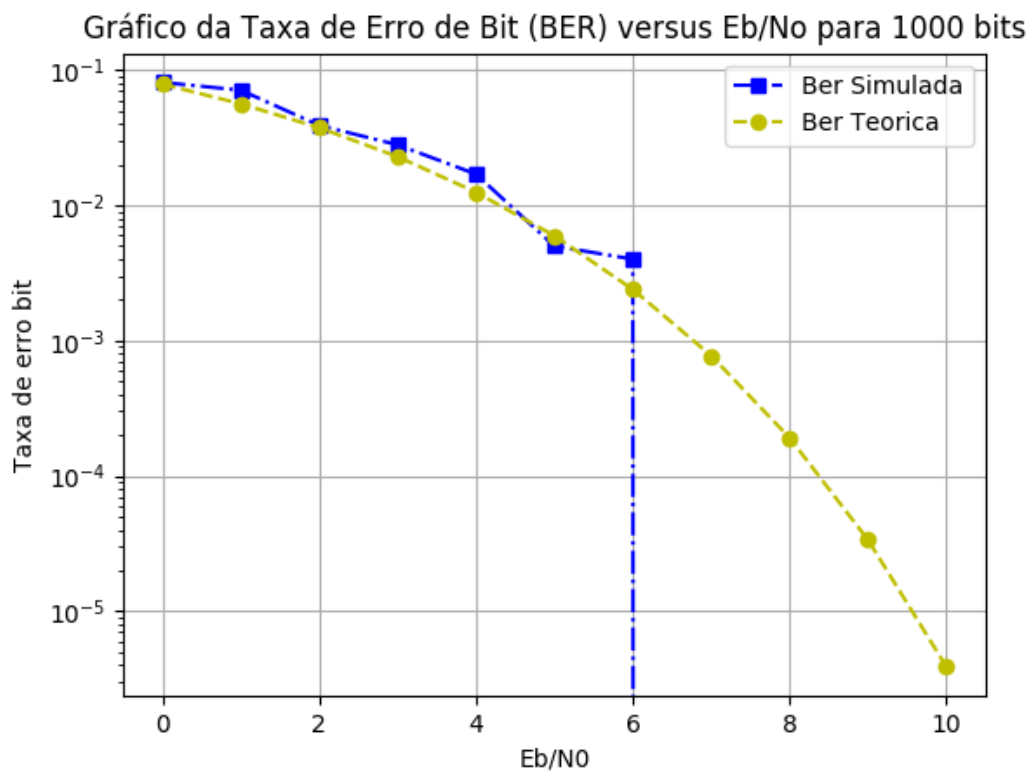


Figura 2. Probabilidade de erro com mil bits

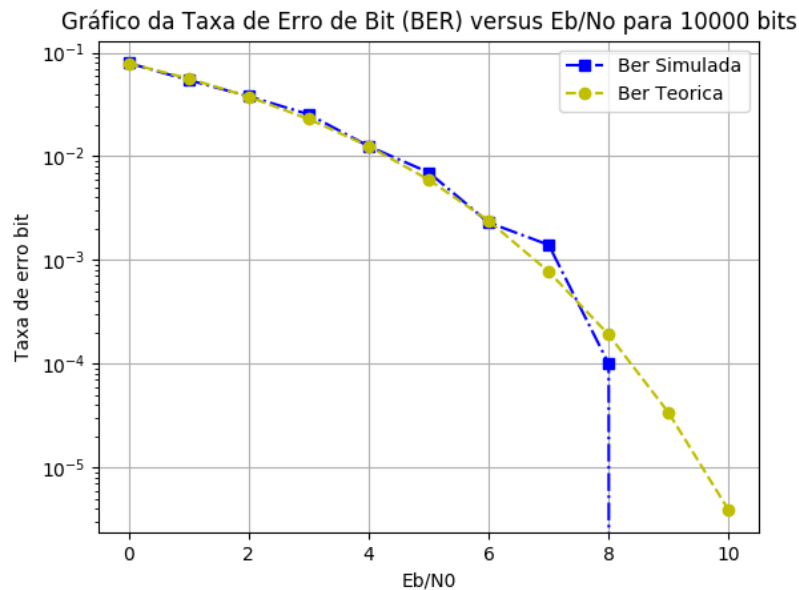


Figura 3. Probabilidade de erro com 10 mil bits

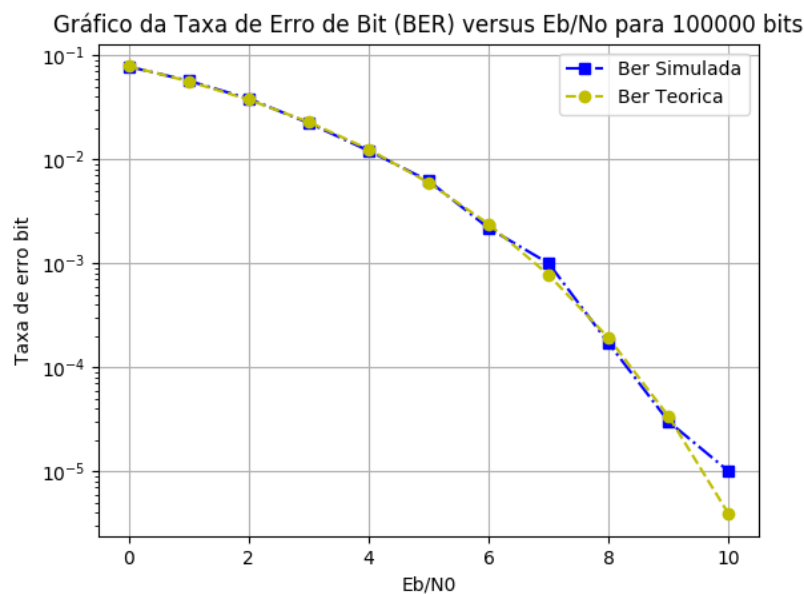


Figura 4. Probabilidade de erro com 100 mil bits

Podemos perceber que com aumento do E_b/N_0 a probabilidade de erro de bits diminui, isso é devido a que os bits ficam menos espalhados e mais próximos do sinal original assim acontecendo uma menor quantidade de erros de bits. Também é possível perceber nos gráficos que a quantidade de erro de cai pra zero em uma quantidade de bits menor, isso significa que não há bits suficientes para poder estimar a BER até os 10 dB de E_b/N_0 .

3. Experimento 2

Neste experimento foi pedido para estimar um canal com desvanecimento plano (AWGN+ Rayleigh fading) para isso vamos calcular a probabilidade de erro de bit, chamando SNR de γ , é dada pela formula:

$$\int_0^{\infty} P^{AWGN}(\gamma)p(\gamma)d\gamma \quad (4)$$

Para uma modulação BPSK a probabilidade do AWGN já foi dado na equação 2 e 3. e a distribuição da SNR em um canal com desvanecimento de Rayleigh é:

$$p(\gamma) = \frac{1}{\gamma_b} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_b}} \quad (5)$$

Onde γ_b é a SNR média, colocando de novo na equação:

$$\int_0^{\infty} Q(\sqrt{2\gamma}) \frac{1}{\gamma_b} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_b}} d\gamma = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_b}{1 + \gamma_b}} \right) \quad (6)$$

Que foi usada para calcular a probabilidade teórica do canal plano. E para o canal simulado foi criada a variável $h(t)$ dada pela formula que está nas referências:

$$h(t) = \sqrt{\frac{X^2 + Y^2}{2}} \quad (7)$$

X e Y são duas variáveis aleatórias gaussianas diferentes, com média zero e desvio padrão 1, fazendo o sinal recebido ser:

$$SinalRecpt = sinal * h(t) + AWGN \quad (8)$$

Sendo possível modelar o Gráfico:

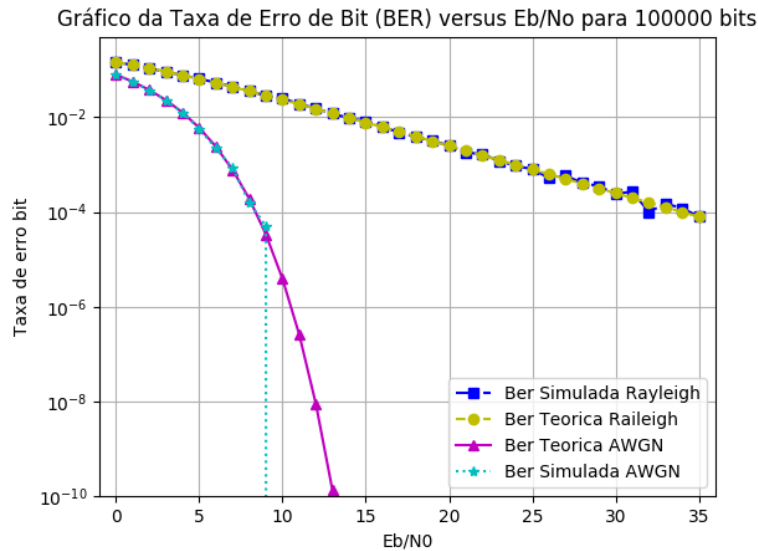


Figura 5. Comparação de canais

Com isso é possível ver que em 35 dB de SNR chega a uma probabilidade de erro em 10^{-4} no canal de Rayleigh, já no AWGN atinge essa probabilidade em 8 dB, ou seja canal de Rayleigh é um canal com um ruído muito maior que um canal AWGN e não é tão eficaz quanto o AWGN com o aumento da SNR.

4. References

[Cavalcanti 2018] [Haykin 2001] [Proakis 2011]

Referências

Cavalcanti, R. P. (2018). *Comunicação móvel celular*. 1th edition.

Haykin, S. (2001). *Sistemas de comunicação- analógicos e digitais*. 4th edition.

Proakis, J. G. (2011). *Contemporary Communication Systems Using MATLAB®*.