

# Equalização de Canal em Cenários de Multipercurso com Filtros Adaptativos

Emanuel Savegnago Maziero

Engenharia de Telecomunicações  
Departamento de Eletrônica e Computação  
Centro de Tecnologia  
Universidade Federal de Santa Maria

27 de janeiro de 2023

# Sumário

## 1 Introdução

## 2 Objetivo

## 3 Desenvolvimento

- Transmissão
- Recepção
- Canal
- Filtragem Adaptativa LMS

## 4 Resultados de simulação

- Parâmetros do sistema de telecomunicações
- Transmissão com canal ideal
- Transmissão em canal com eco
- Transmissão em canal com eco e equalização

## 5 Conclusão



# Eco em um Sistema de Telecomunicações

Sistemas de telecomunicações sofrem com um efeito chamado multipercurso (do inglês, multipath), caracterizado pelo fato de que uma onda eletromagnética transmitida no ar reflete em inúmeros obstáculos do ambiente e isso faz com que elas cheguem no receptor em instantes de tempo diferentes, já que percorreram caminhos com distâncias diferentes. Os vários sinais que chegam no receptor podem se sobrepor de forma destrutiva, dependendo da fase de cada um. A informação sobre esses multipercursos em forma de amplitude e tempo de atraso é dada pelo delay profile. Com o delay profile e com o symbol rate, é possível determinar a resposta ao impulso desse canal convertendo o atraso de segundos para amostras.

# Eco em um Sistema de Telecomunicações

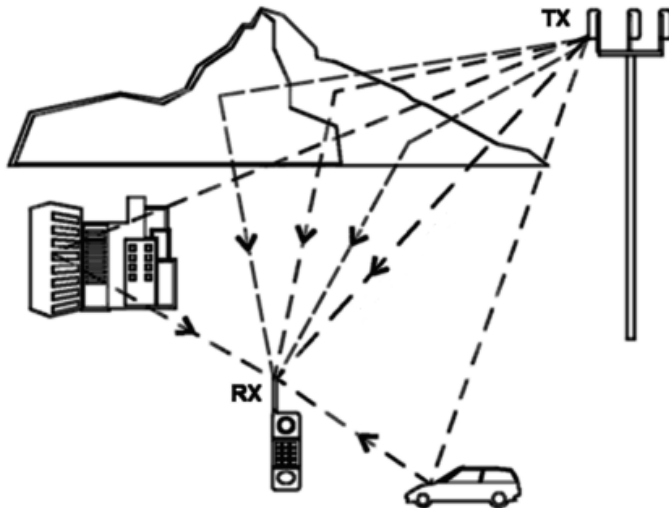


Figura: Cenário de transmissão e recepção com multipercurso

# Abordagem escolhida e motivação da escolha

O objetivo desse trabalho é analisar a performance, em termos de Bit Error Rate (BER), um sistema de telecomunicações que não sofre com o multipercurso e então um que sofre com esse problema para usar uma técnica de filtragem adaptativa chamada Least Mean Squares (LMS) buscando reduzir a interferência desse problema no sistema como um todo. Essa escolha foi feita pois esse filtro é um técnica clássica e consolidada, fator que interessou o Autor no sentido de verificar o quão poderosa ela é em cenários cada vez mais complexos.

# Sistema de telecomunicações simplificado

Para realizar a análise de performance, foi simulado um sistema que é caracterizado pelos blocos e processos presentes na Figura abaixo

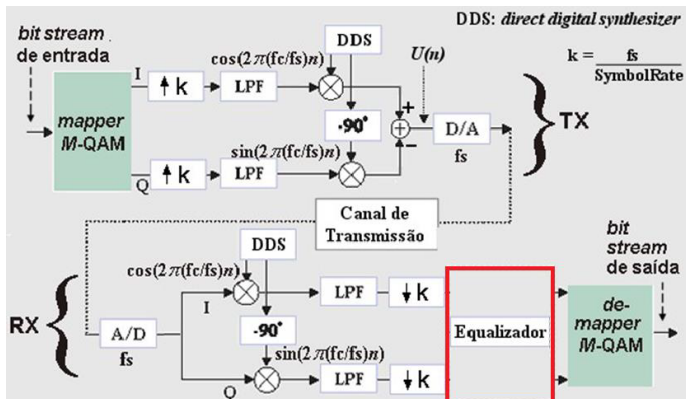


Figura: Sistema simplificado





Depois disso, os I e Q são separados passam pelo upsampler, que aumenta a taxa de amostragem pelo fator  $k$ , que por sua vez é definido por  $k = f_s/s_r$ . Os símbolos I e Q então ficam na forma de impulsos unitários, ou seja, mudam abruptamente e para suavizar essas mudanças abruptas é usado um filtro FIR passa-baixas gaussiano, conhecido como shaping filter nessa etapa do sistema. Passamos então para a heterodinação, processa que faz um sinal que estava em banda base (frequência central é zero) passar para banda passante (frequência central é a frequência da portadora). Depois disso os Is e Qs separados são combinados, convertidos para um sinal analógico, amplificados e transmitidos.

# Bloco de transmissão

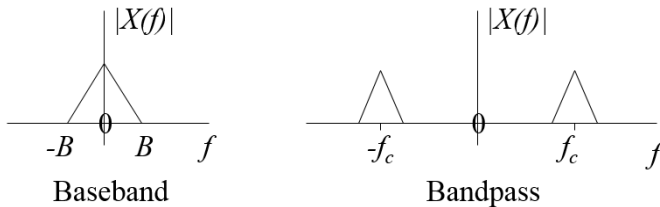


Figura: Heterodinação

# Bloco de recepção

Na recepção, o sinal analógico é novamente convertido para digital, separado em Is e Qs e logo transladado de banda passante para banda base novamente. As réplicas indesejadas são então eliminadas por um filtro de mesmas característica daquele do bloco de transmissão.

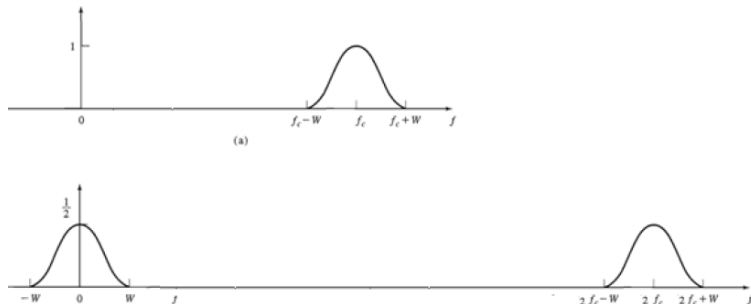


Figura: Downconversão



# Bloco de recepção

Assim, tem-se novamente uma bitstream. Essa bitstream vai ser comparada com a bitstream original e essa comparação permitirá verificar quantos bits estão diferentes entre as duas, ou seja, quantos erros ocorreram.

# Características de um canal de comunicação sem fio

Os efeitos do canal sobre o sinal transmitido são: atenuação e distorção de fase. A atenuação, pelo fato de onda eletromagnética perder potência de acordo com a distância percorrida e a distorção de fase causada pelos multipercursos.

Esses multipercursos são um problema para os sistemas sem fio, já que múltiplos sinais serão recebidos em instantes de tempo diferentes e com amplitude diferentes, gerando eco na recepção.

# Características de um canal de comunicação sem fio

Essas informações de amplitude e atraso do sinal são dadas pelo delay profile. Se conhecermos o symbol rate (taxa de símbolos enviados pelo transmissor multiplicado pelo número de amostras por símbolo), é possível encontrar a resposta ao impulso do sinal com a informação de duração da amostra, dada pelo inverso do symbol rate, para então converter o atraso de cada sinal em amostras.

# Filtragem adaptativa

A filtragem adaptativa é uma técnica que usa um algoritmo recursivo para tentar entender um ambiente (um áudio, um sinal com eco, um canal de comunicações). Esse algoritmo vai definir certas condições iniciais e vai usar um conjunto de informações conhecidas para atualizar os coeficientes desse filtro considerando um erro informação obtida e informação desejada.

$$rk(2 : L) = rk(1 : L - 1) \quad (1)$$

$$rk(1) = \text{simbolol}Q(n) \quad (2)$$

$$y(n) = rk \cdot w^T \quad (3)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (4)$$

$$w = w + \mu \cdot e(n) \cdot \text{conj}(rk) \quad (5)$$

$$w_{\text{norm}} = w + \mu \cdot e(n) \cdot \frac{\text{conj}(rk)}{\| \text{conj}(rk) \|^2} \quad (6)$$

$$mse(n) = \text{sum}(\text{abs}(e))^2 / n \quad (7)$$



# Filtragem adaptativa

Considere um loop de  $n$  até o número de dados de treinamento (nesse caso, bits) e a ordem do filtro  $L=10$ . A variável  $\text{simbolo}Q$  é o símbolo recebido pelo receptor.

$$\begin{aligned}w &= [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0] \\rk &= [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0] \rightarrow rk = [IQ1, 0, \dots, 0] \\y(1) &= rk(1 \times 10) \cdot w^T(10 \times 1) \rightarrow 1 \times 1 \\e(1) &= d(1) - y(1) \\w &= w + \mu e(1) \text{conj}(rk) \\w &= [0.1, 0.5, 0.2, 0.7, 0.3, 0.21, 0.32, 0.4, 0.9, 0.43] \\rk &= [IQ1, 0, \dots, 0] \rightarrow [IQ2, IQ1, 0, \dots, 0] \\y(2) &= rk(1 \times 10) \cdot w^T(10 \times 1) \rightarrow 1 \times 1 \\e(2) &= d(2) - y(2) \\w &= w + \mu e(2) \text{conj}(rk)\end{aligned} \tag{8}$$

# Parâmetros de Simulação - Transmissão

- Bitstream:  $1e5$  bits
- SymbolRate: 16MHz
- Frequência da Portadora: 32MHz
- Frequência de Amostragem: 256MHz
- SNR: -10 a 20dB
- Ruído: ruído gaussiano branco aditivo

# Parâmetros de Simulação - Delay Profile

<b>Brazil A</b>	$\ell$	0	2	36	49	94	95
	$h_\ell$	1.00	0.20	0.15	0.18	0.21	0.15
<b>Brazil B</b>	$\ell$	0	5	56	70	152	203
	$h_\ell$	1.00	0.25	0.63	0.45	0.18	0.08
<b>Brazil C</b>	$\ell$	0	1	7	24	37	45
	$h_\ell$	0.72	1.00	0.65	0.99	0.75	0.86
<b>Brazil D</b>	$\ell$	2	10	36	49	94	95
	$h_\ell$	0.99	0.65	0.74	0.86	1.00	0.72
<b>Brazil E</b>	$\ell$	0	16	32	-	-	-
	$h_\ell$	1.00	1.00	1.00	-	-	-

Figura: Brazil Channels

# Mapeamento dos bits originais

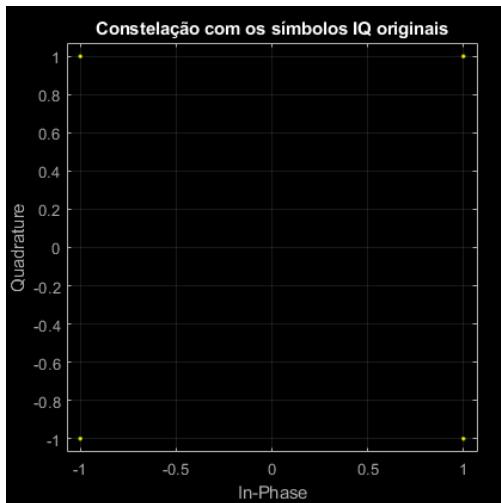


Figura: Mapeamento QPSK

# Desmapeamento dos símbolos recebidos

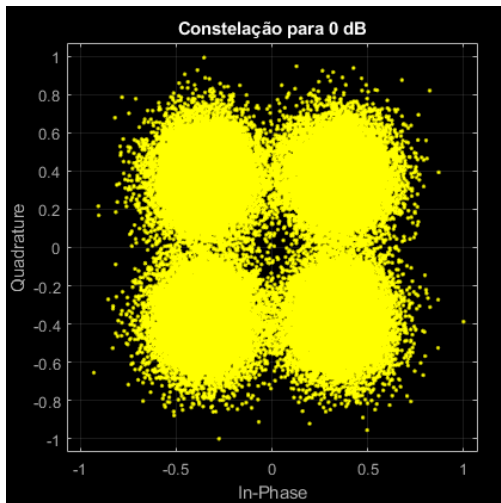


Figura: Demodulação QPSK, SNR = 0dB

# Desmapeamento dos símbolos recebidos

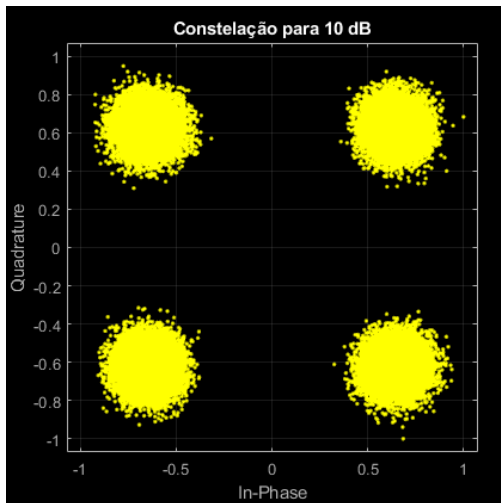


Figura: Demodulação QPSK,  $\text{SNR} = 10\text{dB}$

# Desmapeamento dos símbolos recebidos

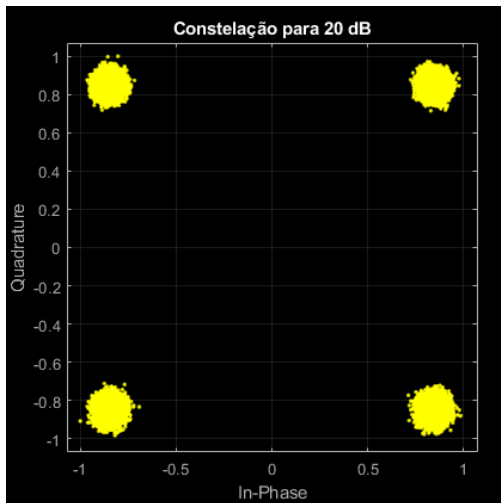


Figura: Demodulação QPSK,  $\text{SNR} = 20\text{dB}$

# Análise de performance - Canal Ideal

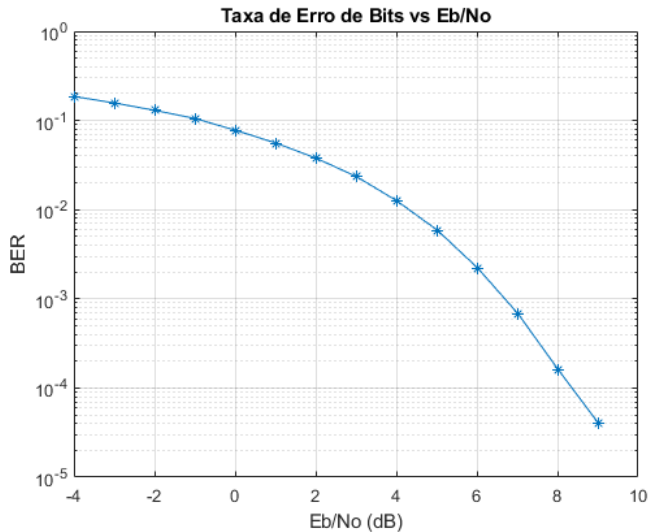


Figura: BER x EbNo



# Desmapeamento dos símbolos recebidos com eco

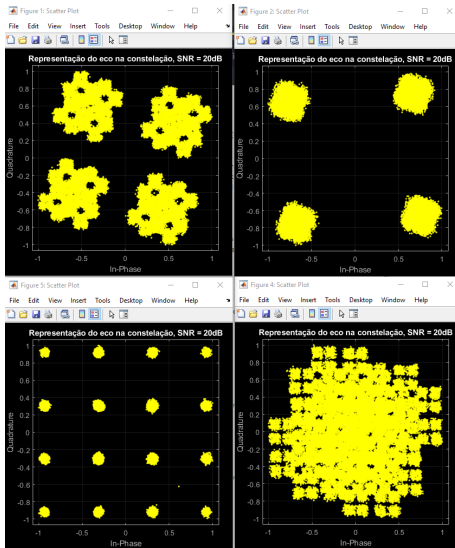


Figura: O eco na demodulação dos símbolos

# Análise de performance - Canal com multipercurso

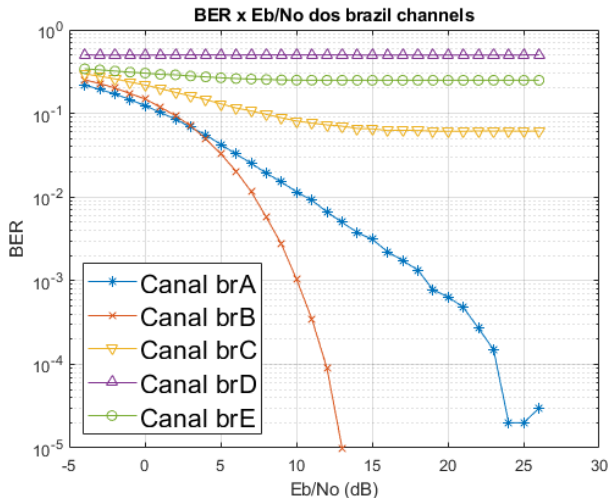


Figura: BER x EbNo no canal com multipercurso

# Parâmetros para a equalização LMS e NLMS

Partindo para o processo de equalização dos canais com multipercurso, a mudança dos parâmetros de ordem do filtro e porcentagem de símbolos para o treinamento supervisionado será analisada. A mudança no passo de aprendizagem não rendeu resultados com mudanças relevantes e nesse caso foi usado um passo adaptativo que inicia em 0.1 e é multiplicado por 0.1 a cada 30% do total de símbolos.

# Análise para $L=10$ , 5% dos símbolos

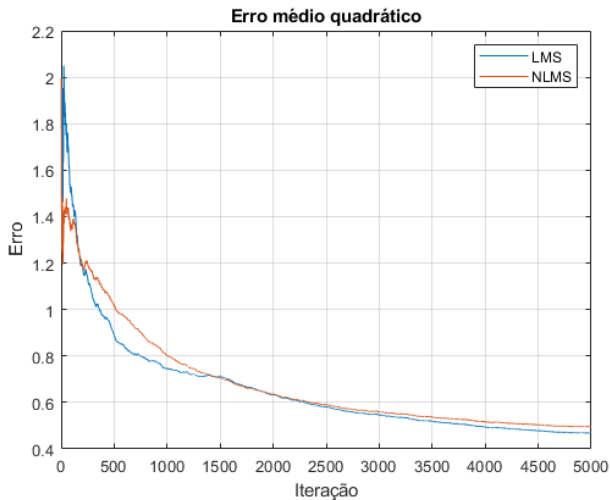


Figura: Curva MSE para  $L=10$ , 5% dos símbolos

# Análise para $L=10$ , 5% dos símbolos

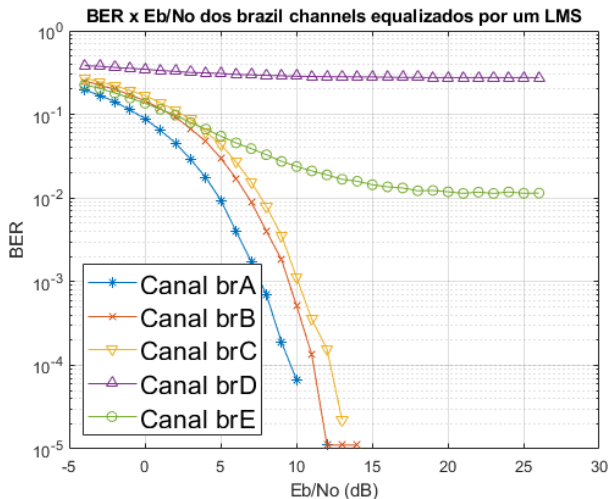


Figura: BER x  $E_b/N_0$  LMS para  $L=10$ , 5% dos símbolos

# Análise para $L=10$ , 5% dos símbolos

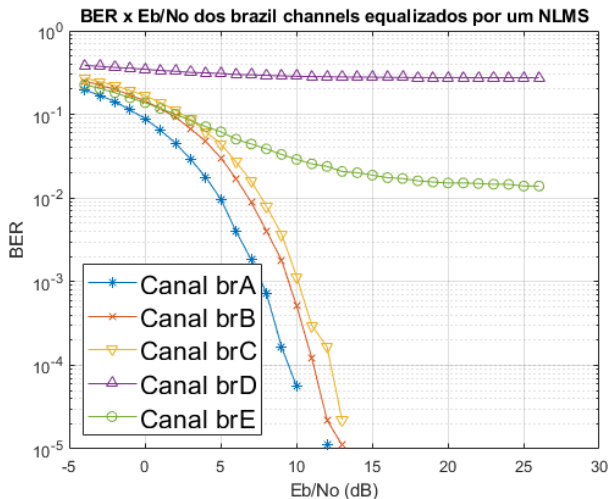


Figura: BER x EbNo NLMS para  $L=10$ , 5% dos símbolos

# Análise para $L=10$ , 10% dos símbolos

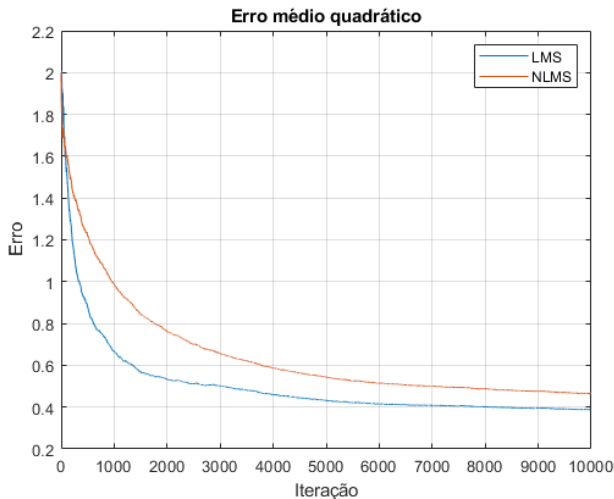


Figura: Curva MSE para  $L=10$ , 10% dos símbolos

# Análise para $L=10$ , 10% dos símbolos

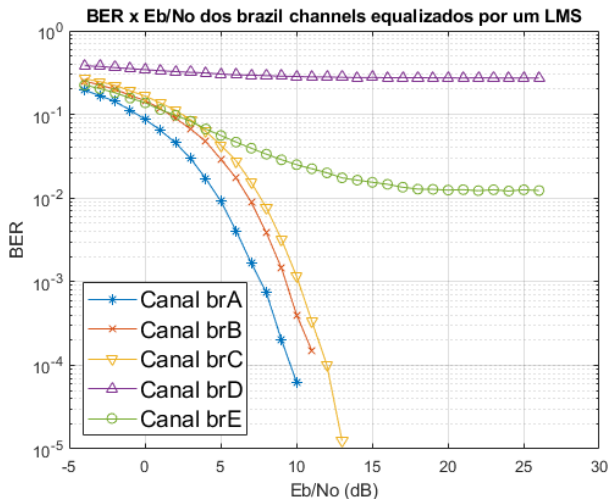


Figura: BER x EbNo LMS para  $L=10$ , 10% dos símbolos



# Análise para $L=10$ , 10% dos símbolos

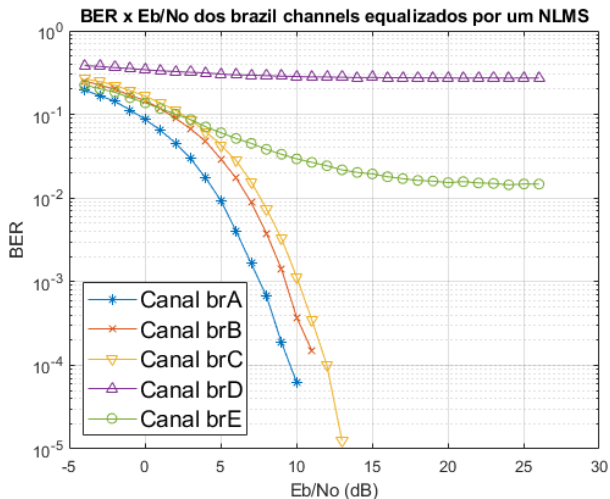


Figura: BER x EbNo NLMS para  $L=10$ , 10% dos símbolos

# Análise para $L=20$ , 10% dos símbolos

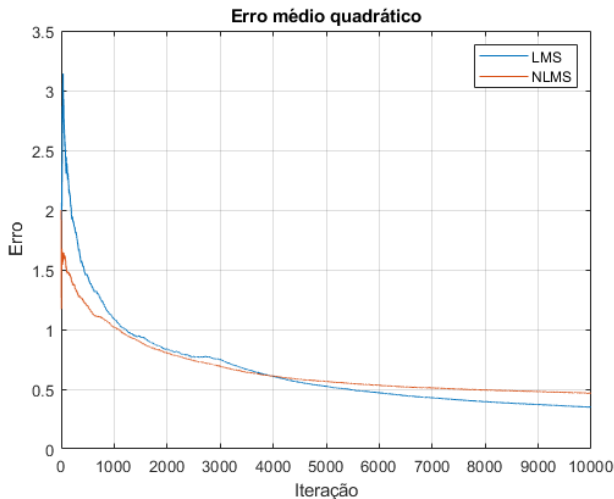


Figura: Curva MSE para  $L=20$ , 10% dos símbolos

# Análise para $L=20$ , 10% dos símbolos

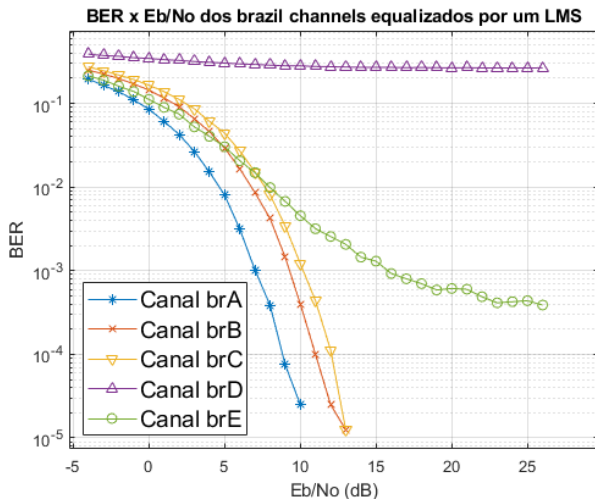


Figura: BER x  $E_b/N_0$  LMS para  $L=20$ , 10% dos símbolos

# Análise para $L=20$ , 10% dos símbolos

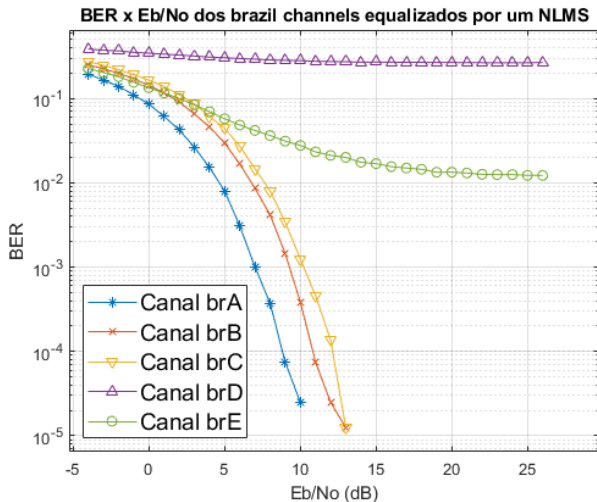


Figura: BER x  $E_b/N_0$  NLMS para  $L=20$ , 10% dos símbolos

# Conclusão

Os resultados mostraram que o filtro LMS não foi capaz de equalizar os canais mais complexos e que a mudança dos parâmetros teve efeitos mas que não foram tão significativos.

O projeto se mostrou muito interessante pela necessidade de rever conceitos essenciais da comunicação digital e aprender uma pequena parte dessa área complexa que é a filtragem adaptativa.

Como ideias que poderiam ter sido aplicadas e não foram, entra a possibilidade de usar outros filtros adaptativos para tentar superar a barreira que o LMS e o NLMS não puderam