

# AE1 - Revisão de Sinais de Espectro

Jessica de Souza

Engenharia de Telecomunicações, Instituto Federal de Santa Catarina

[<jessica.souzajds@gmail.com>](mailto:jessica.souzajds@gmail.com)

25 de junho de 2018

## 1 Introdução

O objetivo deste laboratório é de revisar conceitos aprendidos em disciplinas como Sinais e Sistemas 2 e Processos Estocásticos, de forma a fortalecer a base de estudos para a disciplina de Sistemas de Comunicação 1. Tais conceitos são: representação de sinais no domínio do tempo e da frequência, potência, densidade espectral, criação e uso de filtros passa-baixas, passa-altas e passa-faixa, além de geração de ruído branco e autocorrelação de sinal.

Foram realizados três experimentos para aplicar os conceitos citados anteriormente. O primeiro experimento consiste em criar três sinais senoidais com diferentes frequências e amplitudes, obter a soma destes e demonstrá-los no domínio do tempo e da frequência. Além disso, também foi calculada a potência média do sinal e a sua densidade espectral de potência.

O segundo experimento também consiste em criar três sinais senoidais, porém com diferentes parâmetros. Além disso, destes sinais deve se obter a sua soma e demonstrá-los no domínio do tempo e da frequência, gerar três tipos de filtro para passar o sinal e verificar o sinal obtido após a filtragem.

O terceiro experimento baseia-se em gerar um sinal aleatório gaussiano, obtê-lo no domínio do tempo e da frequência, gerar a função de autocorrelação deste, realizar a sua filtragem e plotar o sinal filtrado no domínio do tempo e da frequência. Este relatório se subdivide em conceitos abordados, resultados e discussão e conclusão.

## 2 Conceitos Abordados

### 2.1 Transformada de Fourier

A transformada de Fourier faz com que um sinal no tempo seja decomposto em suas componentes no domínio da frequência. Ela utiliza a representação de sinais através de exponenciais complexas que facilitam a representação de um sinal no domínio da frequência.

### 2.2 Potência Média de um Sinal

A potência pode ser utilizadas para descrever a taxa de entrega da energia de um sinal. É utilizada para descrever sinais periódicos e deve ser finita. Sinais periódicos e aleatórios são ditos sinais de potência.

### 2.3 Densidade Espectral de Potência

A densidade espectral de potência de um sinal é a distribuição da potência de um sinal no domínio da frequência. Ela é utilizada para avaliar o sinal e o ruído na saída de um filtro por exemplo.

### 2.4 Filtros Ideais

Os filtros ideais têm como principal característica a não distorção do sinal filtrado, resposta nula às frequências atenuadas e transição com decaimento instantâneo das bandas passantes para as bandas atenuadas. Para este relatório foram utilizados filtros ideais e não ideais.

## 2.5 Ruído Branco

O ruído branco é um sinal aleatório com comportamento gaussiano o qual a sua densidade espectral de potência é a mesma para todas as frequências. Uma outra característica importante do ruído branco é que ele possui média zero e variância infinita.

## 2.6 Autocorrelação

A Autocorrelação é o ato de corresponder um sinal com a sua versão deslocada no tempo. A autocorrelação serve para verificar o quão próximo um sinal é de sua versão deslocada em unidades de tempo.

## 3 Resultados e Discussão

Os experimentos foram executados na ordem descrita na introdução. A seguir, o detalhamento de como foi realizado cada experimento. Foi utilizado o software Matlab para a realização dos experimentos.

### 3.1 Experimento 1

Para realizar o primeiro experimento, foram criados três sinais de seno:  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ , com amplitudes de 6V, 2V e 4V e frequências de 1, 3 e 5 KHz, respectivamente. Estes três sinais foram somados em um sinal  $s$ , onde os quatro sinais ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $s$ ) foram transformados para o domínio da frequência através da transformada rápida de Fourier, obtendo-se  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  e  $S$ . A Figura 1 mostra os sinais no domínio do tempo e da frequência.

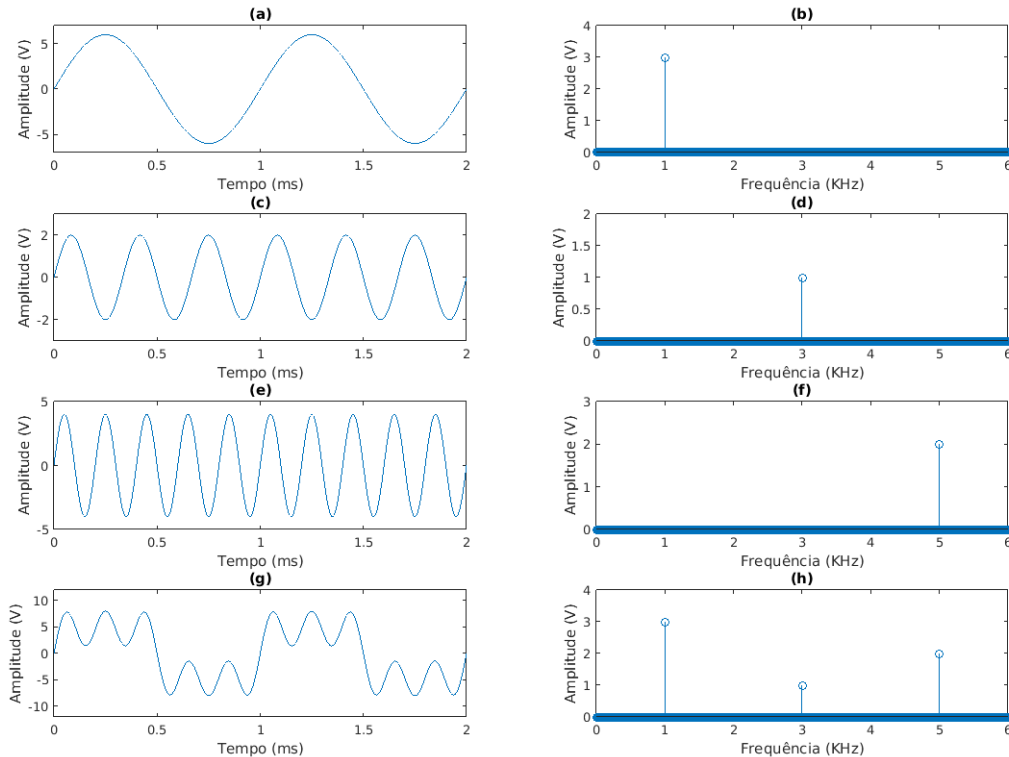


Figura 1 – Sinais no domínio do tempo (a)  $x_1(t)$ , (c)  $x_2(t)$ , (e)  $x_3(t)$  e (g)  $s(t)$ . E da frequência (b)  $X_1(f)$ , (d)  $X_2(f)$ , (f)  $X_3(f)$  e (h)  $S(f)$ .

Após obter os sinais no domínio do tempo e da frequência, foi realizado o cálculo da potência média do sinal utilizando a função do Matlab `norm()`. A função `norm()` calcula o módulo de um vetor, para que possamos encontrar a potência média do sinal  $s(t)$ , o resultado da função `norm()` deve ser elevado ao quadrado e dividido pelo tamanho do vetor. A potência média obtida para o sinal  $s(t)$  foi de **28 Watts**.

Por fim, foi encontrada a densidade espectral de potência do sinal  $s(t)$  através da função do Matlab `pwelch()`, que faz uma estimativa da densidade espectral de potência de um sinal, considerando sua frequência de amostragem e outros fatores. A Figura 2 mostra a densidade espectral de potência do sinal  $s(t)$ , onde podemos observar que as frequências dos sinais somados estão mais evidentes e as demais atenuadas.

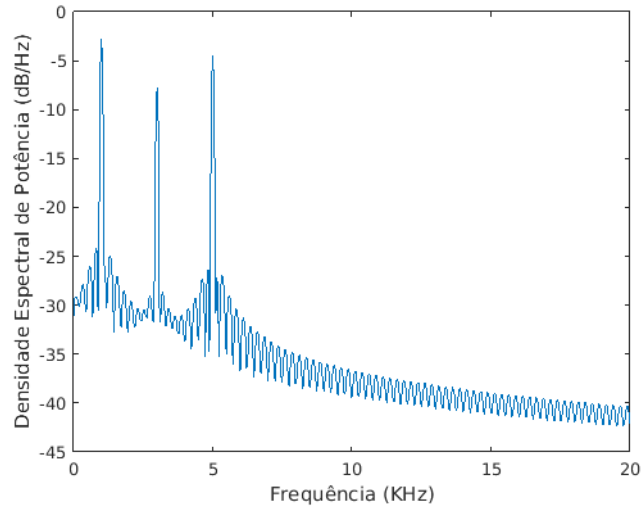


Figura 2 – Densidade espectral de potência de  $s(t)$ .

### 3.2 Experimento 2

Para realizar o segundo experimento, também foram criados três sinais de seno:  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ , com amplitudes de 5V, 1.66V e 1V e frequências de 1, 3 e 5 KHz, respectivamente. Estes três sinais foram somados em um sinal  $s$ , onde os quatro sinais ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $s$ ) foram transformados para o domínio da frequência através da transformada rápida de Fourier, obtendo-se  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  e  $S$ . A Figura 3 mostra os sinais no domínio do tempo e da frequência.

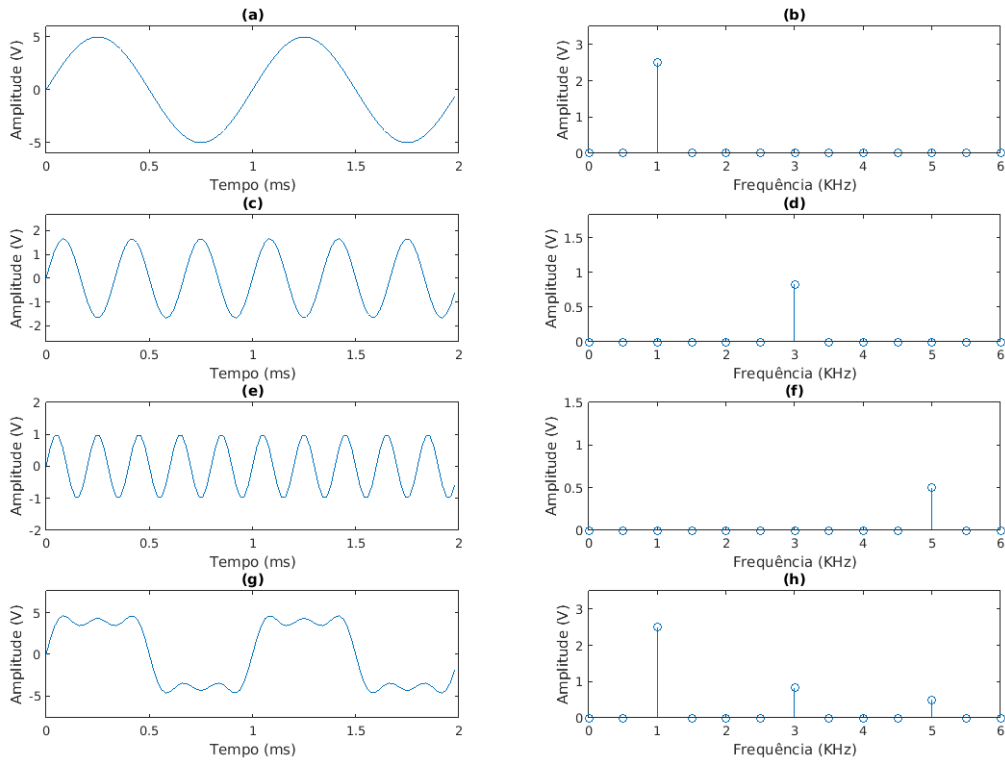


Figura 3 – Sinais no domínio do tempo (a)  $x_1(t)$ , (c)  $x_2(t)$ , (e)  $x_3(t)$  e (g)  $s(t)$ . E da frequência (b)  $X_1(f)$ , (d)  $X_2(f)$ , (f)  $X_3(f)$  e (h)  $S(f)$ .

Após isso, foram criados três filtros ideais utilizando vetores de zeros e uns: um passa-baixa (filt1) com frequência de corte em 2 KHz, um passa-alta (filt2) com frequência de corte em 4 KHz e um passa-faixa (filt3) com banda de passagem entre 2 e 4 KHz. A Figura 4 mostra como ficou a resposta em frequência dos três filtros no espectro.

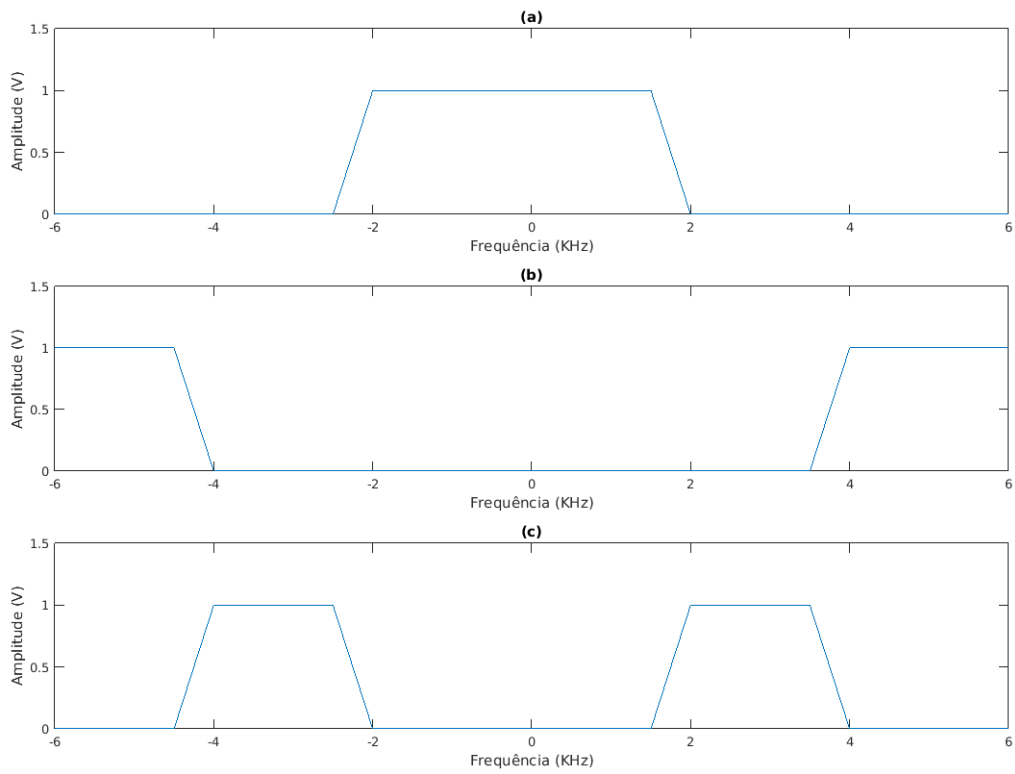


Figura 4 – Resposta em frequência dos filtros ideais, (a) filtro passa-baixas, (b) passa-altas e (c) passa-faixa.

Por fim, o sinal  $S(f)$  foi passado pelos três filtros criados separadamente, através sua multiplicação por cada filtro  $\text{filt1}$ ,  $\text{filt2}$  e  $\text{filt3}$ , de forma a obter-se a frequência original dos sinais  $X1$ ,  $X2$  e  $X3$ . A Figura 5 mostra estes sinais recuperados no domínio do tempo e da frequência.

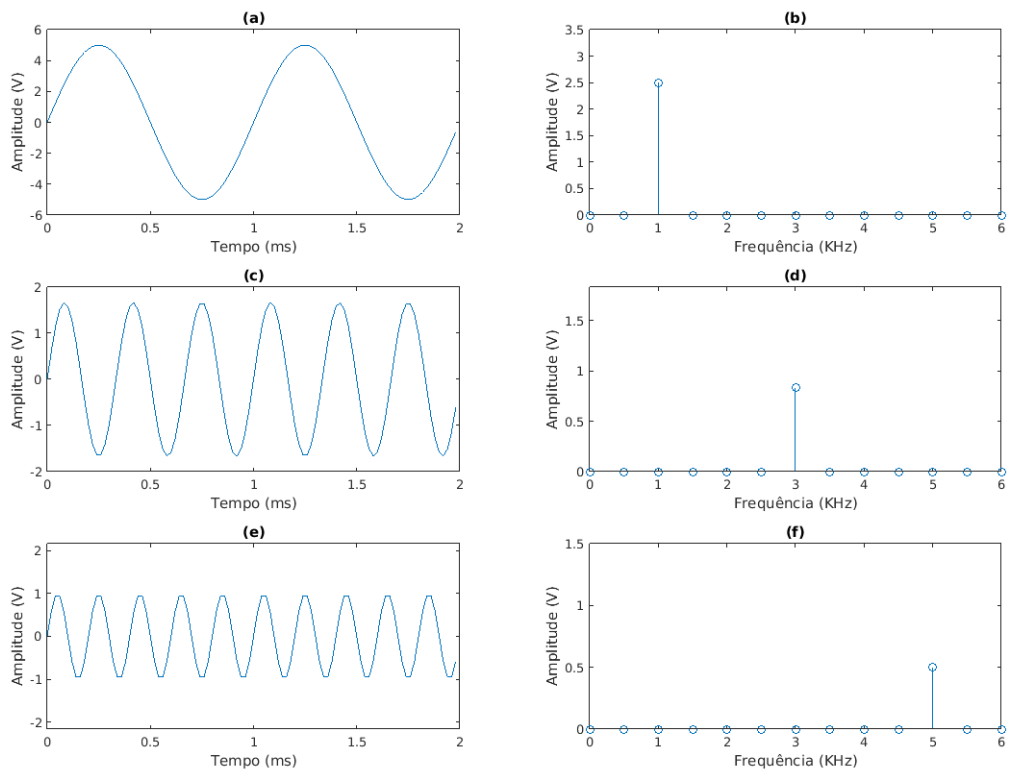


Figura 5 – Sinais recuperados após o filtro, no tempo em (a), (c) e (e), e na frequência em (b), (d) e (f).

### 3.3 Experimento 3

Para a realização do terceiro experimento, foi gerado um segundo de um vetor gaussiano, representando um ruído branco, utilizando a função `randn()` e considerando um tempo de amostragem de 0,1 ms. A Figura 6 mostra o histograma do vetor criado, assim podemos observar que o sinal é de fato gaussiano.

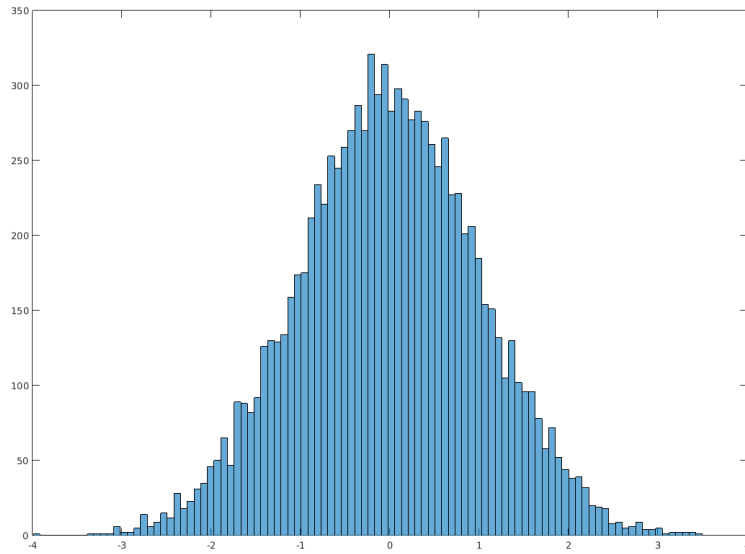


Figura 6 – Histograma do ruído branco.

A Figura 7 mostra o ruído no domínio do tempo e da frequência, por ser um sinal aleatório suas frequências ocorrem em todo o espectro. Além disso podemos ver a função de autocorrelação do sinal, que é representada por um impulso em zero. De acordo com [1], um sinal de potência tem energia infinita. Além disso, a função de autocorrelação de um sinal medida na origem, ou seja,  $R(0)$  é igual a energia do sinal. Utilizando essas duas informações obtidas do livro, podemos confirmar que a função de autocorrelação do sinal é um impulso em zero com amplitude infinita, já que a energia do sinal é infinita.

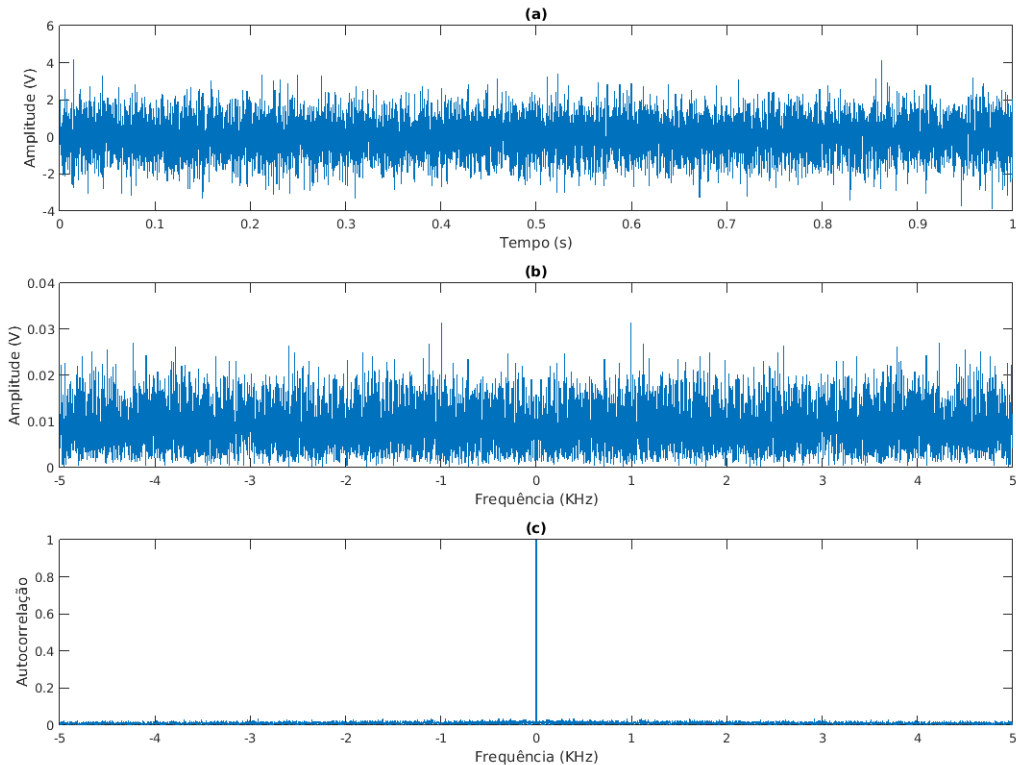


Figura 7 – (a) Sinal no domínio do tempo, (b) no domínio da frequência e (c) função de autocorrelação.

Após isso, foi criado um filtro fir, conforme descrito a seguir: `'filtro=fir1(50,(1000*2)/fs)'`. Este filtro tem o objetivo de realizar a filtragem passa-baixa do ruído. A Figura 8 mostra um comparativo entre o sinal antes e após a filtragem.

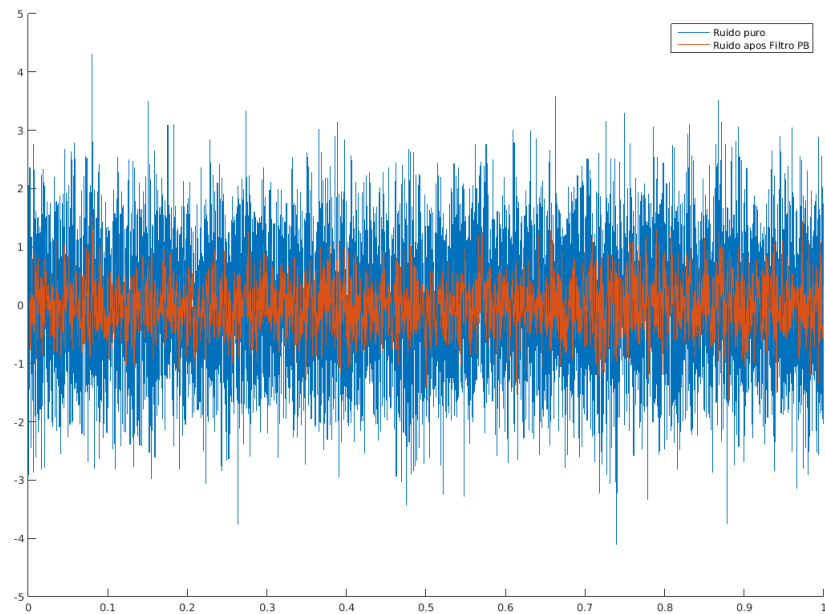


Figura 8 – Sinal no domínio do tempo antes e após a filtragem.

A Figura 9 mostra a resposta em frequência do filtro fir1.

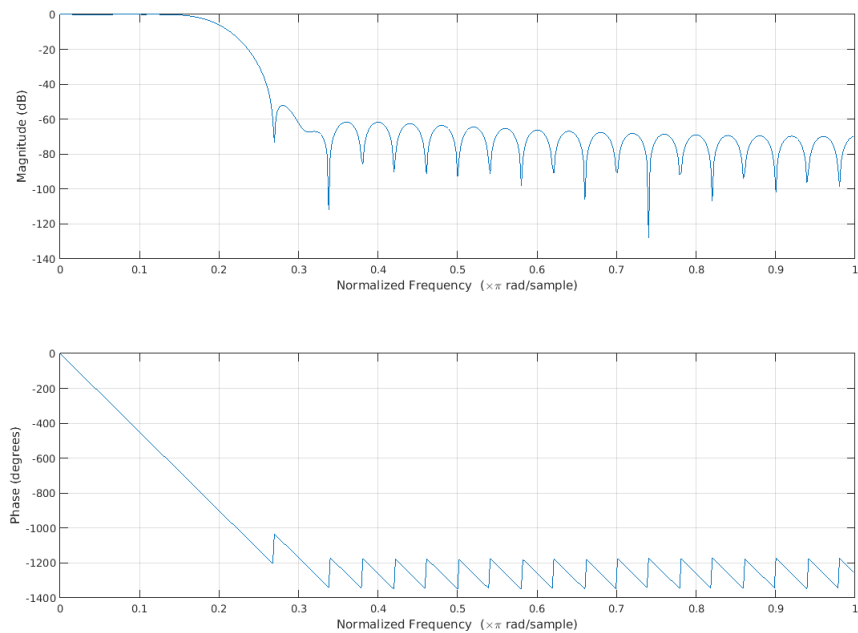


Figura 9 – Resposta em frequência do filtro passa baixas.

Ao passar o sinal pelo filtro gerado, podemos observar a atenuação das altas frequências do sinal gaussiano, conforme mostra a Figura 10. A Figura 11 mostra o histograma do sinal filtrado.

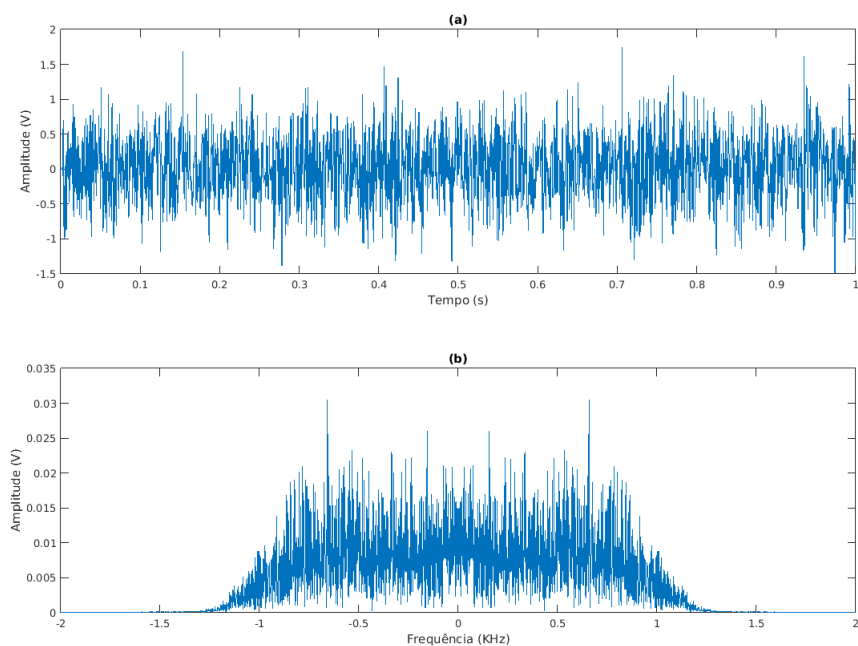


Figura 10 – Sinal filtrado no domínio do tempo e da frequência.

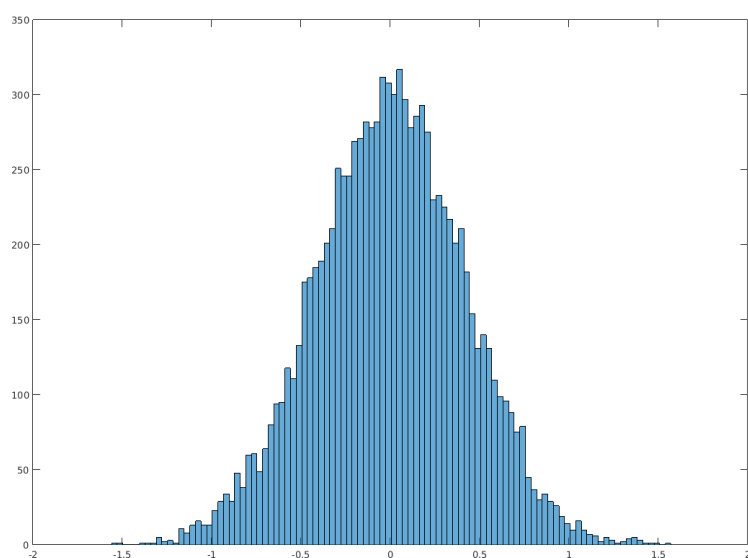


Figura 11 – Histograma do sinal filtrado.

## 4 Conclusão

Os experimentos realizados neste relatório tiveram como objetivo fortalecer conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Sinais e Sistemas 2 e Processos Estocásticos. Os experimentos funcionaram conforme o esperado, de acordo com o embasamento teórico citado anteriormente. Além disso, também fica destacado que o uso do MATLAB para essas atividades, foi importante para melhor conhecimento desta ferramenta que é de extrema importância para a área de telecomunicações.

## Referências

1. SKLAR, B. Digital Communications: Fundamentals and Applications. 2. edition. Prentice Hall. 1029 p. ISBN 0-13-084788-7.