INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAMILLA BARRETO DE SOUSA

SISTEMA DE COMUNICAÇÃO I
RELATÓRIO I

São José - SC

dezembro/2020

SUMÁRIO

1 DESCRIÇÃO 2

2 CONCEITOS TEÓRICOS 3

2.1 Sinais no tempo e na frequência 3

2.2 Energia e potência 3

2.3 Densidade espectral e Autocorrelação 4

2.4 Filtros 4

3 RESULTADOS 5

3.1 Simulação 1 5

3.2 Simulação 2 6

3.3 Simulação 3 8

A *SCRIPTS* 12

1 DESCRIÇÃO

Em sistemas de comunicação os sinais que contem informação passam por blocos com funções específicas que preparam o sinal original para a transmissão. No sistema de recepção existem blocos com a função de reverter as operações feitas na transmissão, assim recuperando o sinal original. Na transmissão um desses blocos é responsável por modular o sinal em uma frequência portadora, portanto na recepção um bloco específico é responsável por demodular o sinal. Em ambas as pontas de um sistema de comunicação são usados filtros para selecionar bandas de frequência específicas do sinal e impedir a passagem de outras.

Este relatório apresenta resultados de simulações feitas no software GNU Octave de operações feitas por blocos de filtragem, modulação e demodulação. No Capítulo 2 são apresentados conceitos teóricos que amparam as funcionalidades dos blocos e no Capítulo 3 são apresentados os resultados das simulações. Por último no Apêndice A estão os códigos usados nas simulações.

2 CONCEITOS TEÓRICOS

Nesse capítulo foram reunidos alguns conceitos teóricos de sinais e sistemas importantes para a realização das simulações.

2.1 Sinais no tempo e na frequência

Um sinal x qualquer pode ser representado como $x(t)$ no domínio do tempo e como $X(f)$ no domínio da frequência, sendo que $x(t)$ e $X(f)$ formam um par de transformada de Fourier.

$$x(t) \Longleftrightarrow X(f) \tag{2.1}$$

Todos os sinais podem ser expressos como a soma de cossenos, portanto podemos analisar algumas propriedades de um sinal $s(t) = \cos wt$ para entender o comportamento de outros sinais mais complexos. Um cosseno pode ser expresso no domínio do tempo como a soma de exponenciais complexas.

$$cos(wt) = \frac{e^{jwt} + e^{-jwt}}{2} \tag{2.2}$$

Isso indica que no domínio da frequência esse sinal será composto por um par de componentes simétricas ao centro ($f = 0$), uma componente no lado positivo e outra no lado negativo do eixo. Em sinais compostos pela soma de cossenos com diferentes valores de wt existirão mais pares de componentes de frequência, mas a propriedade de simetria com eixo se mantem.

2.2 Energia e potência

Os sinais são classificados como sinais de energia E_x ou de potencia P_x dependendo da existência de periodicidade. Quando o sinal é periódico o definimos como um sinal de potência, quando não possui periodicidade o definimos como um sinal de energia. Essas grandezas são expressas como:

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)\, dt \tag{2.3}$$

$$P_x = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t)\, dt \tag{2.4}$$

Podendo também serem calculadas no domínio da frequência como:

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2\, df \tag{2.5}$$

$$P_x = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \tag{2.6}$$

2.3 Densidade espectral e Autocorrelação

A densidade espectral define como a potência ou a energia de um sinal está distribuída no domínio da frequência. Com isso é possível analisar quais frequências compõem a maior parte do sinal.

A autocorrelação $R_x(\tau)$ é uma grandeza que indica o quanto um sinal $x(t)$ está correlacionado com $x(t+\tau)$. Portanto, $R_x(\tau)$ não é uma função do tempo, mas uma função de diferença temporal entre um sinal qualquer e sua cópia deslocada no tempo.

Para sinais de energia, a densidade espectral $\Psi_x(f)$ e a autocorrelação $R_x(\tau)$ são definidas como:

$$\Psi_x(f) = |X^2(f)| \tag{2.7}$$

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)d\tau \tag{2.8}$$

Para sinais de potência, a densidade espectral $G_x(f)$ e a autocorrelação $R_x(\tau)$ são definidas como:

$$G_x(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2 \delta(f - nf_0) \tag{2.9}$$

$$R_x(\tau) = \frac{T}{2} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t+\tau)d\tau \tag{2.10}$$

Essas duas grandezas formam um par de transformada de Fourier.

$$R_x(\tau) \Longleftrightarrow \Psi_x(f) \tag{2.11}$$

$$R_x(\tau) \Longleftrightarrow G_x(f) \tag{2.12}$$

2.4 Filtros

Em sistemas lineares definimos $x(t)$ como a entrada, $y(t)$ como saída e $h(t)$ como a resposta ao impulso do sistema. Essas partes do sistema possuem suas representações no domínio da frequência e formam a função de transferência do sistema.

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \tag{2.13}$$

Em um sistema que pretende filtrar um sinal de entrada, o $H(f)$ deve se comportar como uma função no domínio da frequência que anula as frequências indesejadas e permite a passagem das frequências desejadas.

$$Y(f) = X(f)H(f) \tag{2.14}$$

3 RESULTADOS

Para demonstrar os conhecimentos de sinais e sistemas, abordados no Capítulo 2, foram elaborados três *scripts* no software GNU Octave simulando sinais e blocos de funcionalidades de um sistema de comunicação. Os *scripts* estão reunidos no Apêndice A.

3.1 Simulação 1

A primeiro simulação consistiu em criar um sinal composto pela somatória de 3 cossenos e plotar no domínio do tempo e da frequência. O sinal foi definido como $s(t) = 6\cos(\theta) + 2\cos(3\theta) + 4\cos(5\theta)$, sendo $\theta = 2\pi f t$ e $f = 1kHz3$.

A, sendo eles um frequência de amostragem escolhida um para a construção do sinal tinha a taxa N = 100 vezes a frequência mais alta das componentes do sinal, portanto $f_s = N \times 5kHz$, respeitando o teorema de Nyquist.

A Figura 1 mostra no domínio do tempo e da frequência cada um dos cossenos que o compoem o sinal $s(t) = s1(t) + s2(t) + s3(t)$ além do próprio sinal resultante. No domínio da frequência o sinal $S(f)$ possui pares de componentes em $\pm 1kHz$, $\pm 3kHz$ e $\pm 5kHz$, que são as componentes dos cossenos puros que o formam.

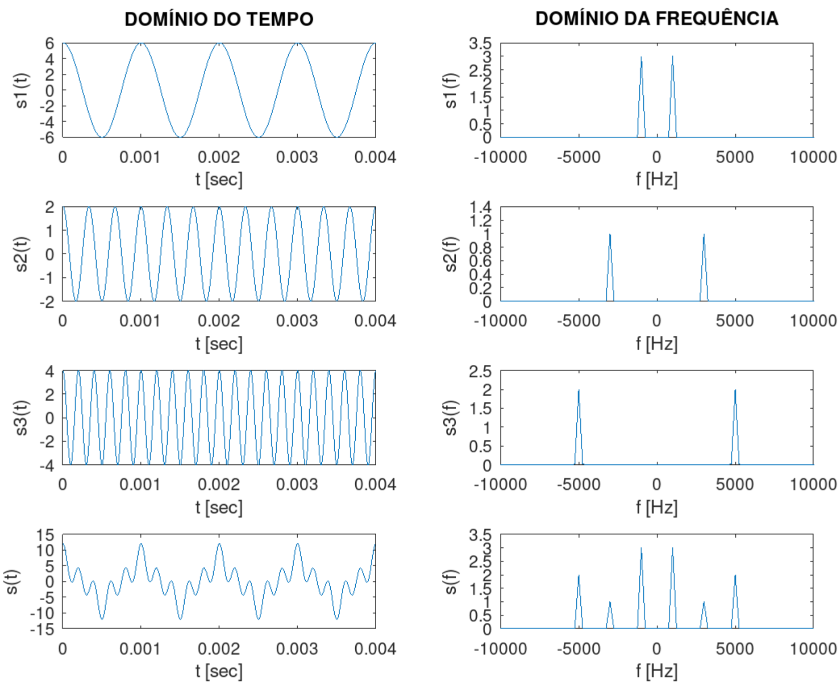

Figura 1 – Sinais $s1$, $s2$, $s3$ e s representados nos domínios do tempo e frequência

O sinal $s(t)$ é um sinal periódico, portanto classificado como um sinal de potência. O valor de potência encontrada foi Px = 28.058 e a densidade espectral é mostrada na Figura 2.

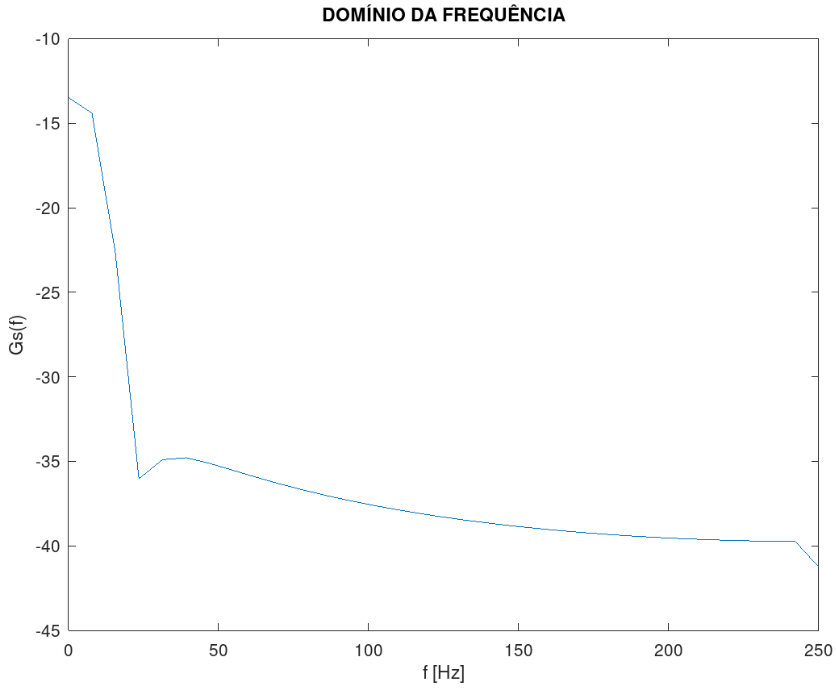

Figura 2 – Densidade espectral de potência

3.2 Simulação 2

Na segunda simulação também foi criado um sinal de entrada composto pela somatória de 3 cossenos. Foram implementados 3 tipos de filtro onde cada um tinha como objetivo recuperar um par de componentes de frequência do sinal de entrada, resultando em um cosseno puro. O sinal foi definido como $s(t) = 5\cos(\theta) + \frac{5}{3}\cos(3\theta) + \cos(5\theta)$, sendo $\theta = 2\pi ft$ e $f = 1kHz$.

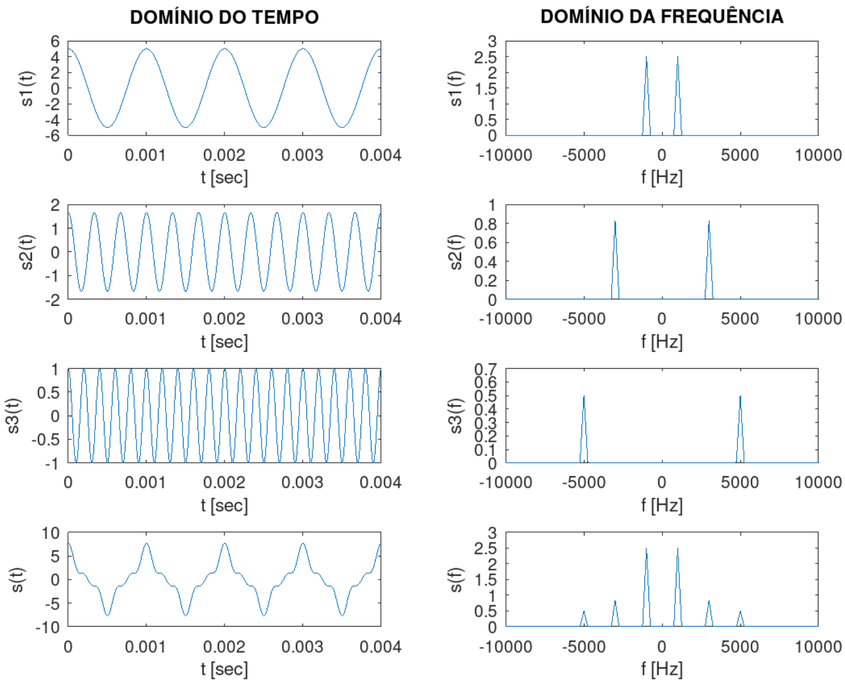

Figura 3 – Sinais $s1$, $s2$, $s3$ e s representados nos domínios do tempo e frequência

A frequência de amostragem escolhida para a construção do sinal tinha a taxa N = 100 vezes a frequência mais alta das componentes do sinal, portanto $f_s = N \times 5kHz$, respeitando o teorema de Nyquist.

A Figura 3 mostra no domínio do tempo e da frequência cada um dos cossenos que o compoem o sinal $s(t) = s1(t) + s2(t) + s3(t)$ além do próprio sinal resultante. No domínio da frequência o sinal $S(f)$ possui pares de componentes em $\pm 1kHz$, $\pm 3kHz$ e $\pm 5kHz$, que são as componentes dos cossenos puros que o formam.

Foram projetados 3 filtros ideais, sendo eles um passa baixa ($fc = 2kHz$), um passa faixa ($fc_1 = 2kHz$ e $fc_2 = 4kHz$) e um passa alta ($fc = 4kHz$). Na Figura 4 são mostrados as suas respectivas respostas em frequência.

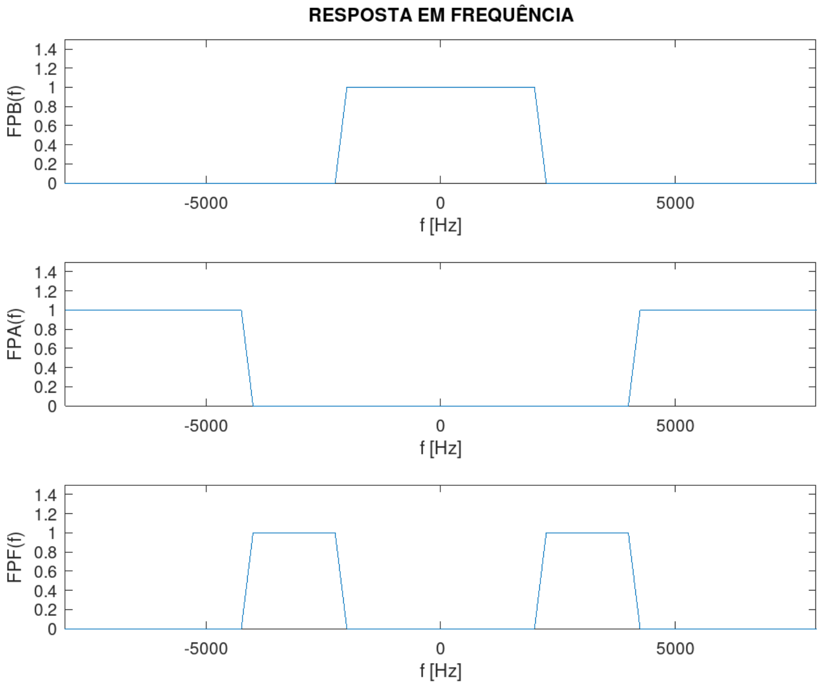

Figura 4 – legenda

O sinal de entrada foi multiplicado por cada um dos filtros individualmente, o que resultou na separação dos cossenos que compunham o sinal original em três sinais diferentes. Os sinais de saída de cada um dos filtros é apresentada na Figura 5.

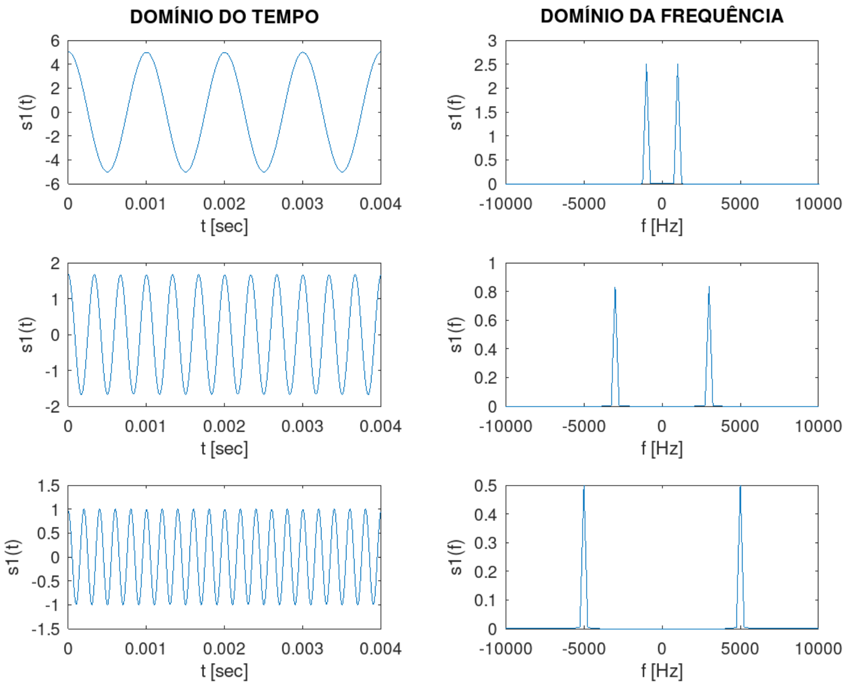

Figura 5 – Sinais de saída dos filtros passa baixa, passa faixa e passa alta, respectivamente.

3.3 Simulação 3

A última simulação tinha o intuito de gerar um sinal ruído de 1 segundo com distribuição normal com taxa de amostragem de $10kHz$ e apresentar sua autocorrelação. Por fim construir um filtro passa baixa não ideal para eliminar as altas frequências do ruído.

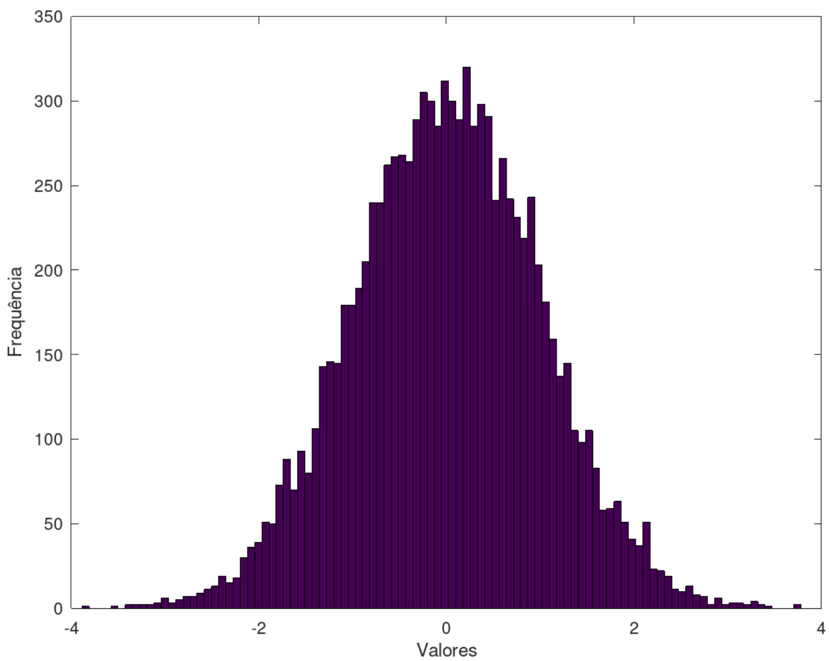

Figura 6 – Histograma do sinal ruído

Na Figura 6 é apresentado o histograma do sinal ruído gerado com média zero e variância um. Na Figura 4 temos sua representação no domínio do tempo e da frequência.

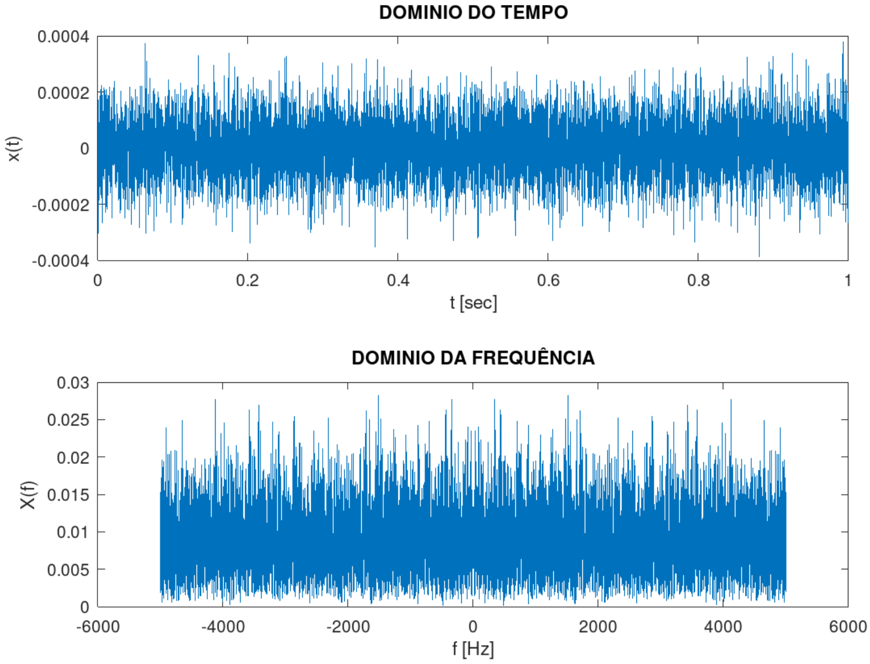

Figura 7 – Ruído no domínio do tempo e da frequência

Na figura Figura 8 é apresentado a autocorrelação do ruído como um impulso em zero, o que era o esperado por ser um sinal aleatório.

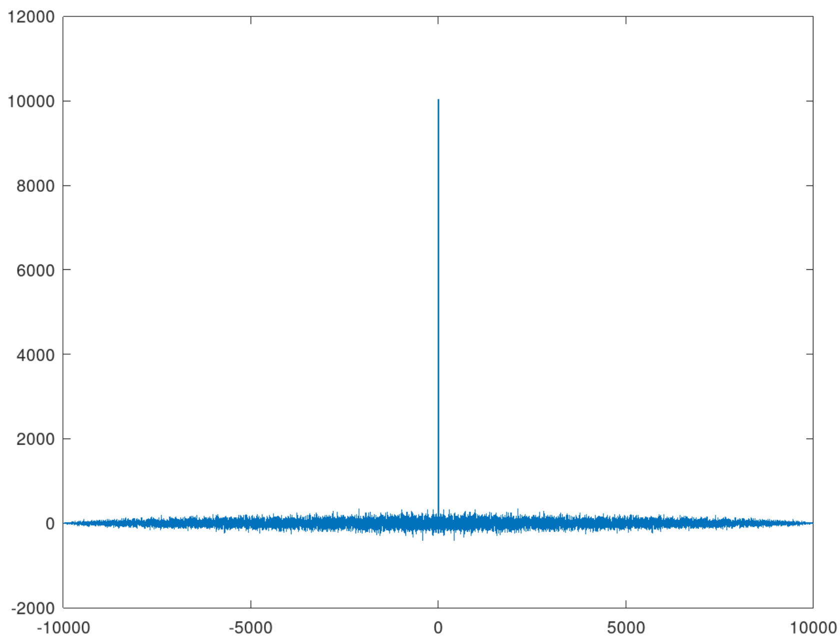

Figura 8 – Autocorrelação do ruído

O sinal ruído passou por um filtro passa baixa não ideal que apresenta a resposta em frequência mostrada na Figura 9.

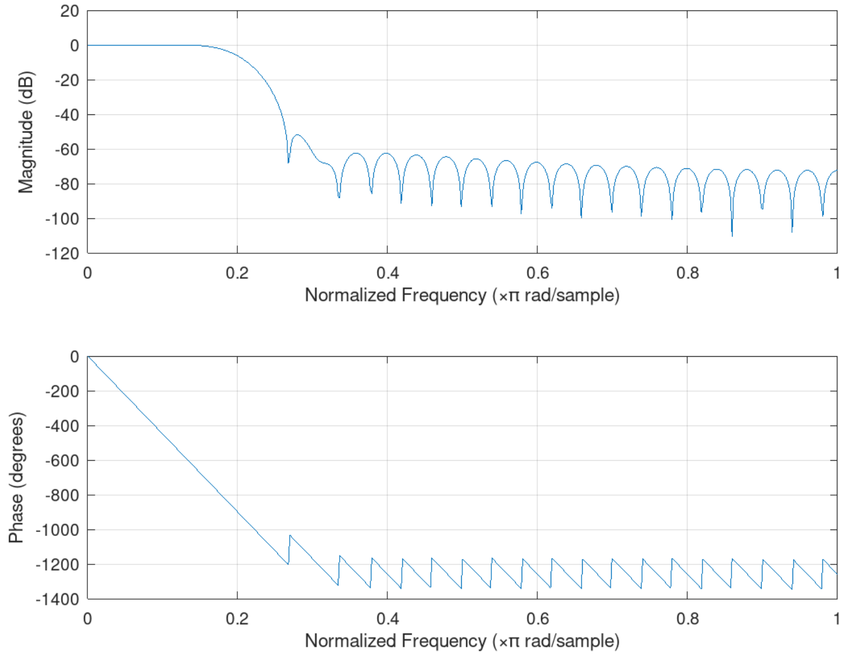

Figura 9 – Resposta em frequência do filtro passa baixa não ideal

Após o processo de filtragem o sinal de saída apresentou frequências mais baixas como mostra a Figura 10.

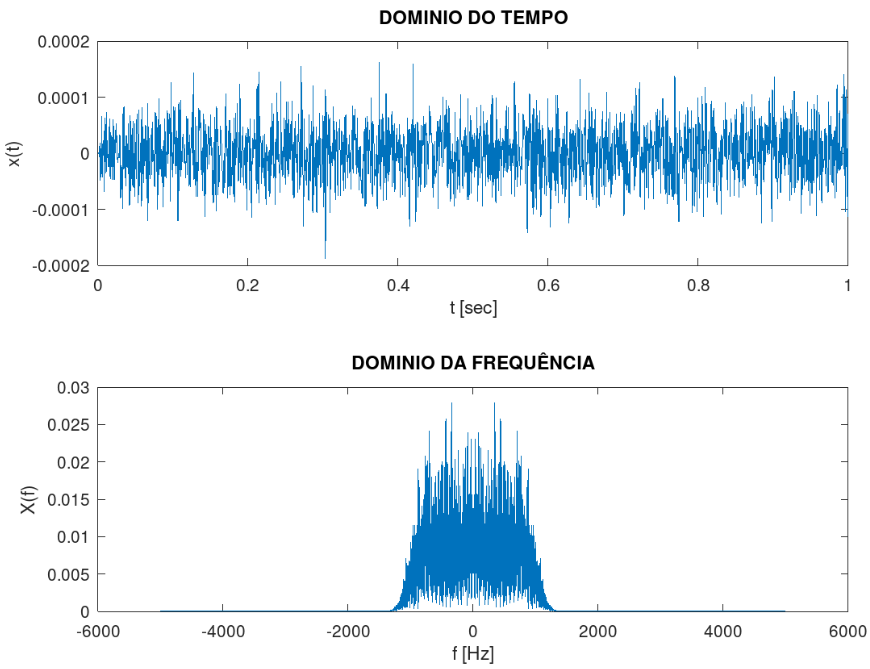

Figura 10 – Sinal ruído após o processo de filtragem

Também é possível observar os efeitos da filtragem no histograma do sinal apresentado na Figura 11, onde a maior parte dos valores se concentram entre -1 e 1.

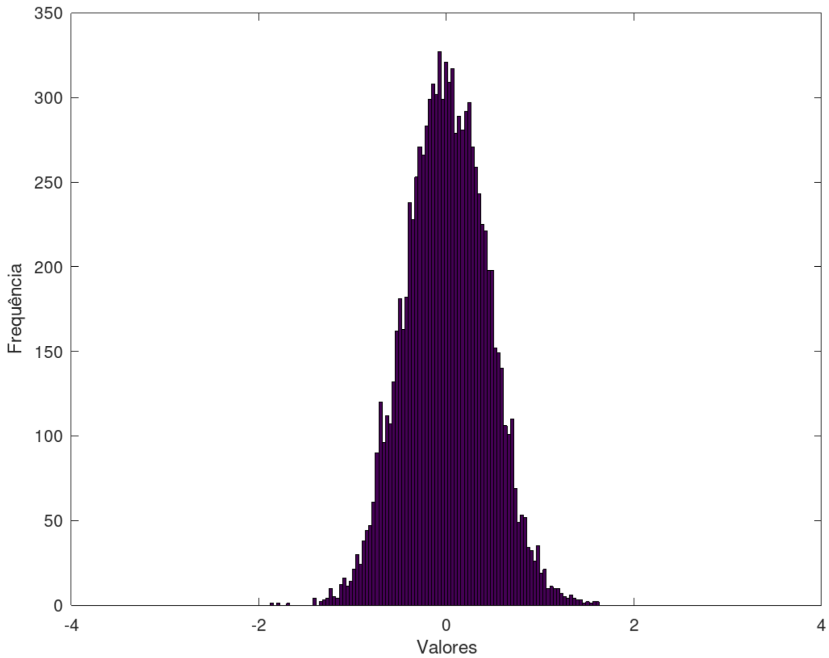

Figura 11 – Histograma do sinal ruído após o processo de filtragem

A *SCRIPTS*

Códigos das simulações citadas neste relatório:

- Simulação 1

- Simulação 2

- Simulação 3