

2.2 Geração e Processamento de Sinais com o Simulink

Prof. Dr. Sidney Bruce Shiki

E-mail: bruce@ufscar.br

Prof. Dr. Vitor Ramos Franco

e-mail: vrfranco@ufscar.br



UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

DEMec – Departamento de Engenharia Mecânica

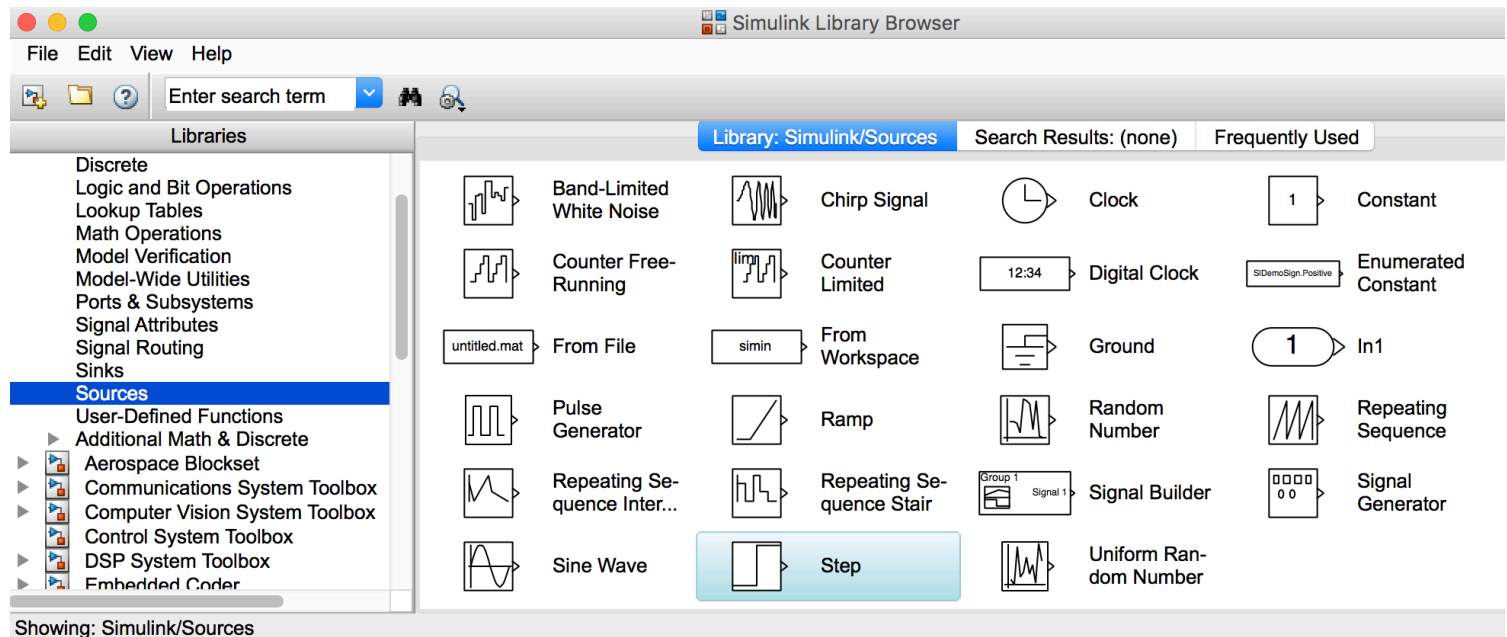
- Introdução
- Geração de sinais
- Processamento/tratamento de sinais
- Visualização de sinais
- Exercícios

- (2) Simulink é uma plataforma do software MATLAB para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos
- Na maioria dos casos, para que o sistema entre em movimento é necessário aplicar uma entrada
 - Excitação
 - Condição inicial

- Esses sinais de entrada, no simulink, podem ser gerados facilmente
 - Uma visualização confirma se está correta;
- Se o sistema entra em movimento e uma resposta é obtida, o sinal de resposta pode ser visualizado para viabilização da análise;
- Entretanto, caso o sinal de entrada e/ou de saída se não se apresentem visualmente adequados, estes podem ser processados/
tratados para que uma melhor compreensão.

- Aqui, o aluno aprenderá:
 - Gerar alguns dos sinais comumente utilizados ;
 - Visualizar os sinais (entrada e/ou saída) ;
 - Aplicar alguns métodos de processamento/tratamento de sinais;
 - Vincular o sinal (entrada e/ou saída) com o *workspace*.

- Um mesmo sinal pode ser gerados de diversas formas;
 - Em todos os casos, eles são encontrados no *toolbox Sources*, ou seja, são considerados entradas (fontes) de outros blocos.

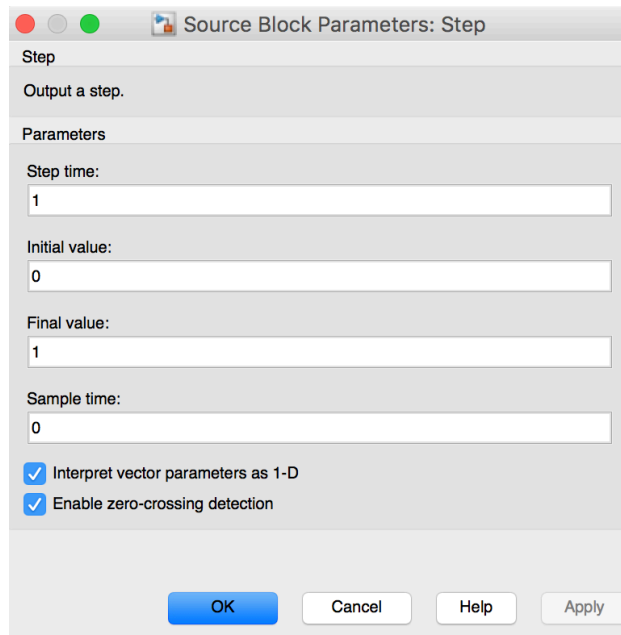


- A seguir são apresentados alguns blocos de geração de sinais mais comumente utilizados



Step

- Esse bloco gera uma entrada do tipo degrau e é amplamente utilizada em sistemas dinâmicos, controle, etc.



Source Block Parameters: Step

Step

Output a step.

Parameters

Step time:
1

Initial value:
0

Final value:
1

Sample time:
0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

← Tempo em que ocorre o degrau

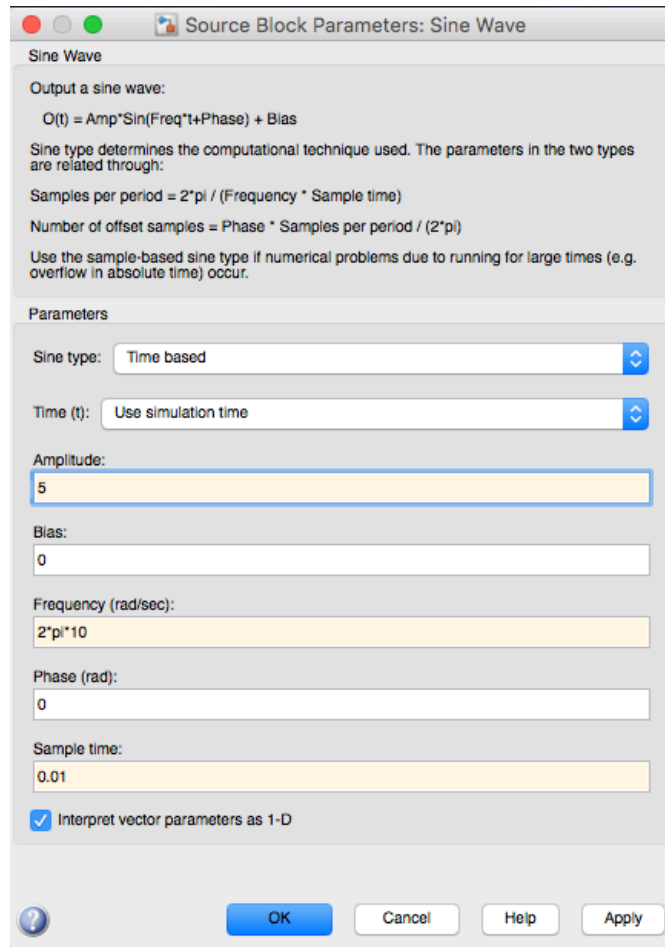
← Valor inicial do degrau

← Valor final do degrau

← Tempo de amostragem

Sine Wave

Esse bloco gera uma onda senoidal.



Source Block Parameters: Sine Wave

Sine Wave

Output a sine wave:

$$O(t) = \text{Amp} \cdot \sin(\text{Freq} \cdot t + \text{Phase}) + \text{Bias}$$

Sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:

$$\text{Samples per period} = 2 \cdot \pi / (\text{Frequency} \cdot \text{Sample time})$$
$$\text{Number of offset samples} = \text{Phase} \cdot \text{Samples per period} / (2 \cdot \pi)$$

Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.

Parameters

Sine type: Time based

Time (t): Use simulation time

Amplitude: 5

Bias: 0

Frequency (rad/sec): $2 \cdot \pi \cdot 10$

Phase (rad): 0

Sample time: 0.01

☒ Interpret vector parameters as 1-D

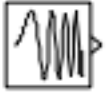
OK Cancel Help Apply

← Amplitude

← Frequência (rad/s)

← Fase (rad)

← Tempo de amostragem



Chirp Signal -

Esse bloco gera uma onda senoidal com frequência variando linearmente. É muito utilizado em vibrações mecânicas (obter curvas de resposta em frequência)

Source Block Parameters: Chirp Signal

chirp (mask) (link)

Output a linear chirp signal (sine wave whose frequency varies linearly with time).

Parameters

Initial frequency (Hz):
0.1

Target time (secs):
100

Frequency at target time (Hz):
1

☒ Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

← Frequência inicial

← Duração da excitação

← Frequência final



Band-Limited
White Noise

- Esse bloco gera um sinal randômico com banda limitada. Também é muito utilizado para levantamento de curvas de resposta em frequência, uma vez que excita o sistema em toda a banda.

Source Block Parameters: Band-Limited White...

Band-Limited White Noise. (mask) (link)

The Band-Limited White Noise block generates normally distributed random numbers that are suitable for use in continuous or hybrid systems.

Parameters

Noise power:
[0.1]

Sample time:
0.1

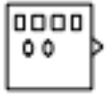
Seed:
[23341]

☒ Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

← Potência do ruído (intensidade)

← Tempo de amostragem



Signal
Generator

- Esse bloco gera alguns tipos de onda pré definidos.

Source Block Parameters: Signal Generator

Signal Generator

Output various wave forms:
 $Y(t) = \text{Amp} * \text{Waveform}(\text{Freq}, t)$

Parameters

Wave form: ▼
 ▼ sine
 square
 sawtooth
 random
 ▼

Time (t): Unit: 1.000000 time

Amplitude:
 1

Frequency:
 1

Units: rad/sec ▼

☒ Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

← Seleção da onda
(senoidal, quadrada, dente
de serra ou randômica)

← Amplitude

← Frequência

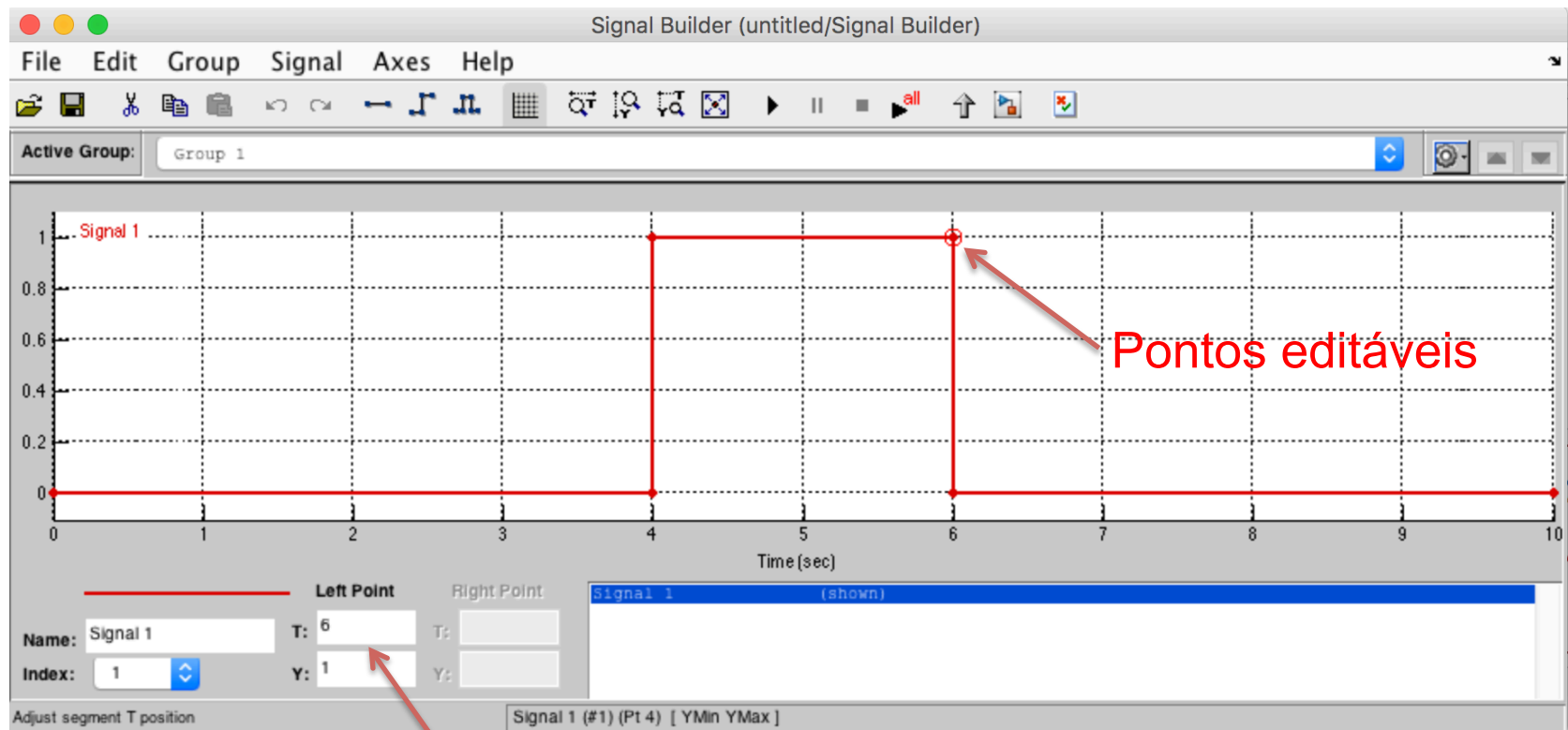
← Unidade (rad/s ou Hz)

Geração de sinais



Signal Builder -

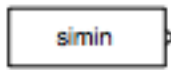
Esse bloco permite construir (manualmente) alguns tipos de sinal mediante a manipulação de pontos.



Pontos editáveis

Coordenada de cada ponto (pode ser alterada)

- Pontos podem ser adicionados com shift+clique



From
Workspace

- Esse bloco permite utilizar um sinal gerado na linha de comandos e “contido” no *workspace*.

Source Block Parameters: From Workspace

From Workspace

Read data values specified in timeseries, matrix, or structure format from the MATLAB workspace, model workspace, or mask workspace.

MATLAB timeseries format may be used for any data type, complexity, or fixed dimensions. To load data for a bus signal, use a MATLAB structure that matches the bus hierarchy and specify timeseries for each leaf signal.

For matrix formats, each row of the matrix has a time stamp in the first column and a vector containing the corresponding data sample in the subsequent column(s).

For structure format, use the following kind of structure:
var.time=[TimeValues]
var.signals.values=[DataValues]
var.signals.dimensions=[DimValues]

Parameters

Data:

Output data type: >>

Sample time (-1 for inherited):

☒ Interpolate data
☒ Enable zero-crossing detection

Form output after final data value by:

OK Cancel Help Apply

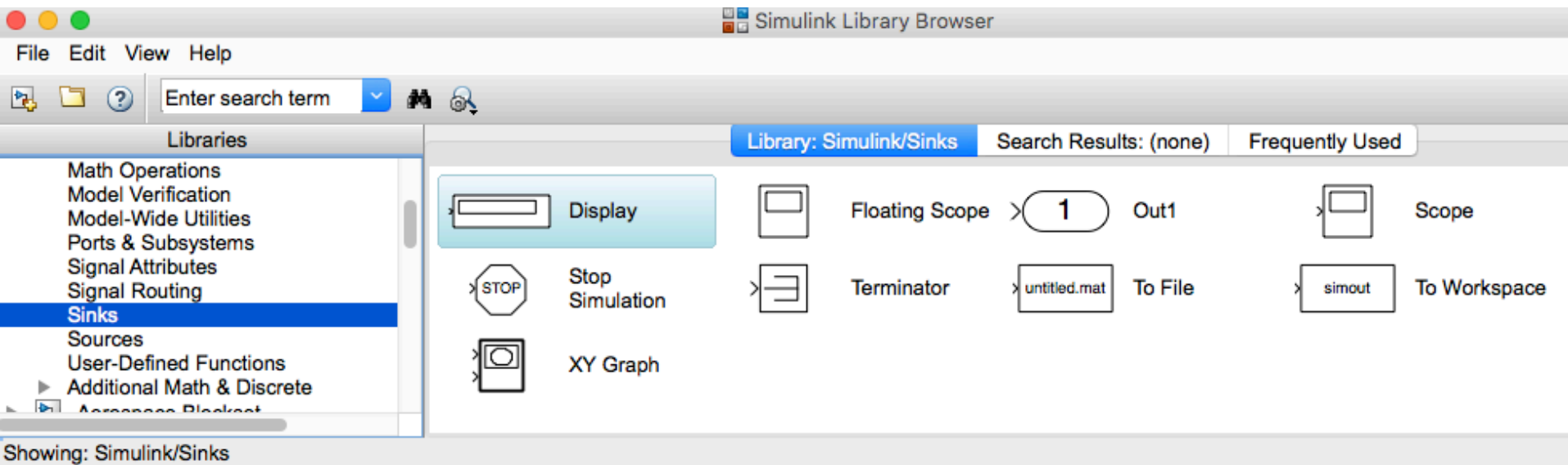
← Configuração do sinal caso seja matriz (tempo e amplitude devem ser colocados)

← “Nome” do sinal

← Tempo de amostragem

Visualização de sinais

- Para visualizar um sinal (gerado ou de resposta de um sistema), é necessário “plota-lo”;
 - Blocos de plotagem são encontrados no *toolbox Sinks*, ou “visualizadores”.

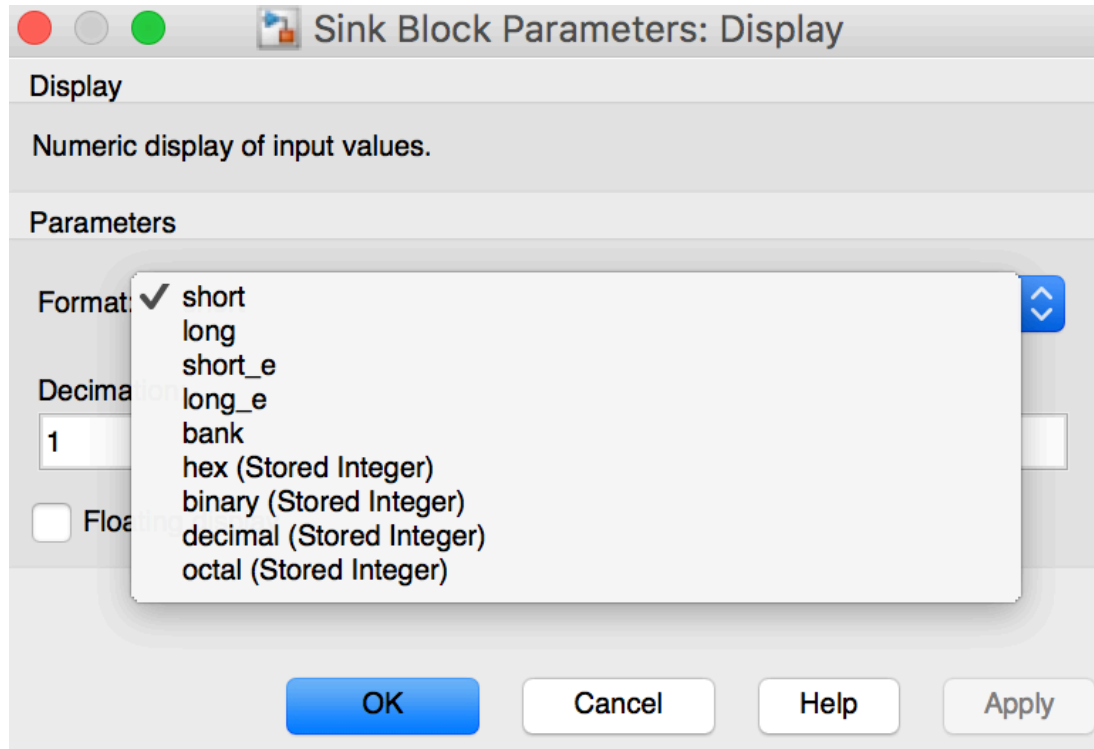


- A seguir são apresentados alguns blocos de plotagem/visualização de sinais



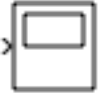
Display -

Esse bloco simplesmente mostra um valor numérico



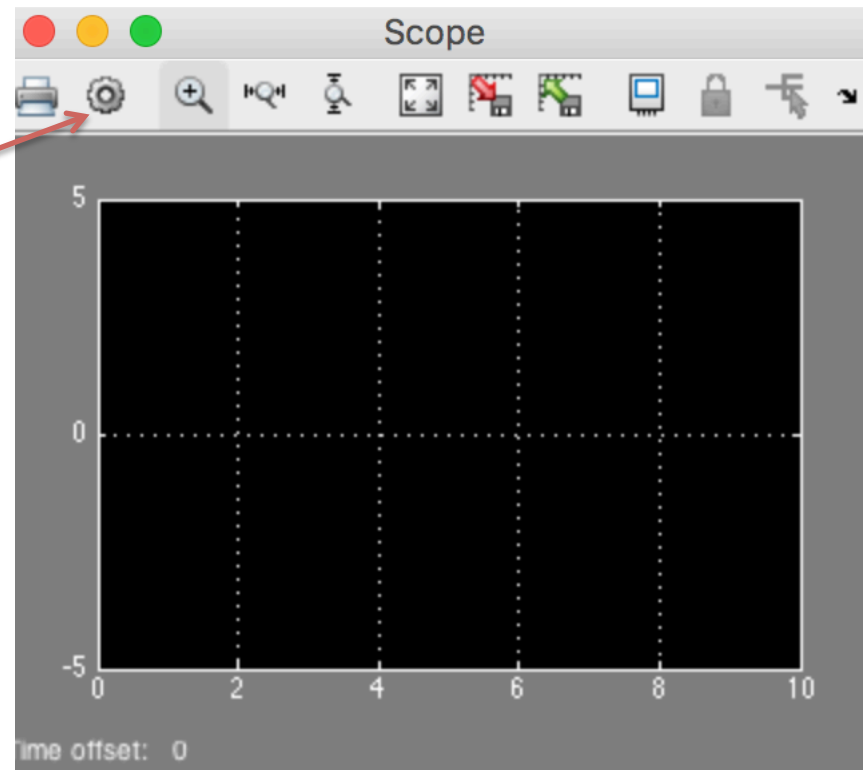
É permitido selecionar o formato do número

Visualização de sinais




Scope - Esse bloco faz o papel de um osciloscópio, ou seja, plota o sinal no domínio do tempo (simulação)

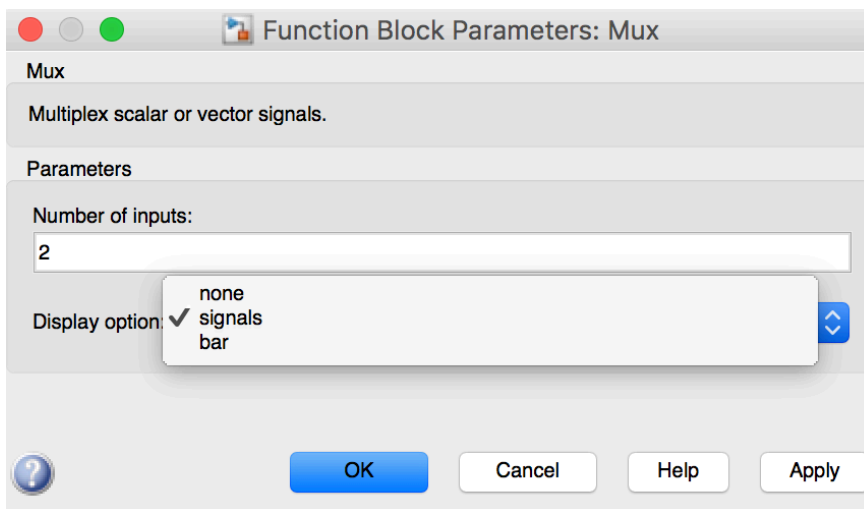
Alguns parâmetros podem ser configurados, como por exemplo alterar o estilo da linha da curva e “salvar” o sinal para o workspace



- Em alguns casos, clicar com botão direito => autoscale

- Quando se deseja visualizar mais de um sinal no mesmo gráfico, por exemplo para fins de comparação, utiliza-se o seguinte bloco:

 Mux - O bloco multiplexador mantém vários sinais ao mesmo tempo



← Número de entradas (sinais)

← Como o sinal é mostrado

- O mux cria uma espécie de matriz de sinais em que cada coluna (ou linha) representa um sinal diferente.



XY Graph - Esse bloco plota X por Y.

Sink Block Parameters: XY Graph

XY scope. (mask) (link)

Plots second input (Y) against first input (X) at each time step to create an X-Y plot. Ignores data outside the ranges specified by x-min, x-max, y-min, y-max.

Parameters

x-min:
-1

x-max:
1

y-min:
-1

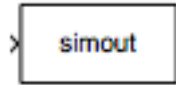
y-max:
1

Sample time:
-1

OK Cancel Help Apply

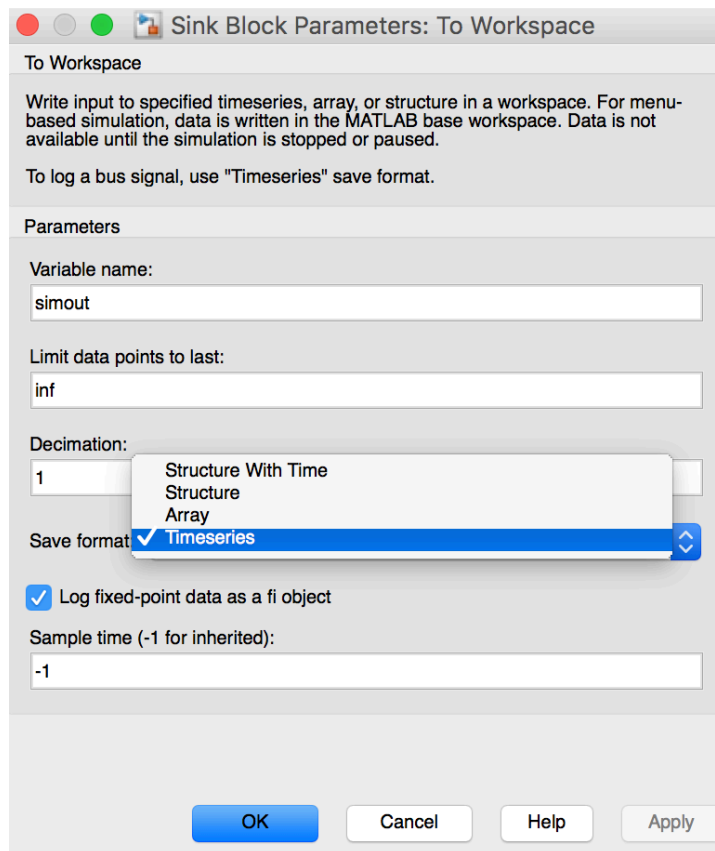
Ajusta a escala dos eixos

Tempo de amostragem



To Workspace -

Esse bloco permite enviar o sinal para o *workspace* a fim de ser manipulado na linha de comandos.



Sink Block Parameters: To Workspace

To Workspace

Write input to specified timeseries, array, or structure in a workspace. For menu-based simulation, data is written in the MATLAB base workspace. Data is not available until the simulation is stopped or paused.

To log a bus signal, use "Timeseries" save format.

Parameters

Variable name:
simout

Limit data points to last:
inf

Decimation:
1

Save format:
☒ Timeseries
☐ Array
☐ Structure
☐ Structure With Time

☒ Log fixed-point data as a fi object

Sample time (-1 for inherited):
-1

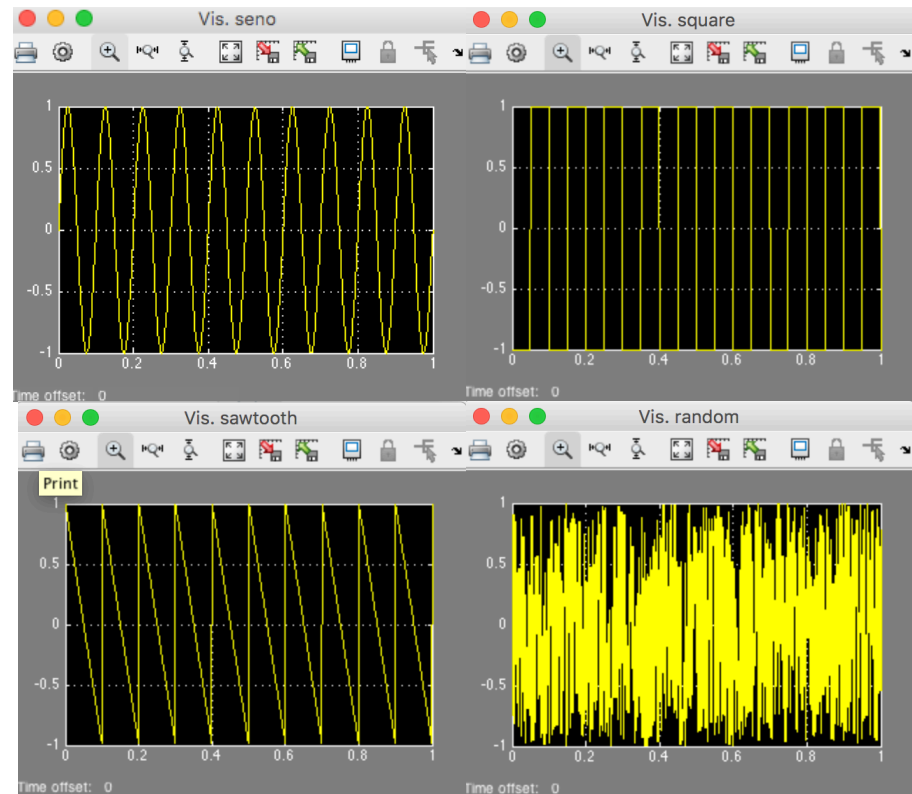
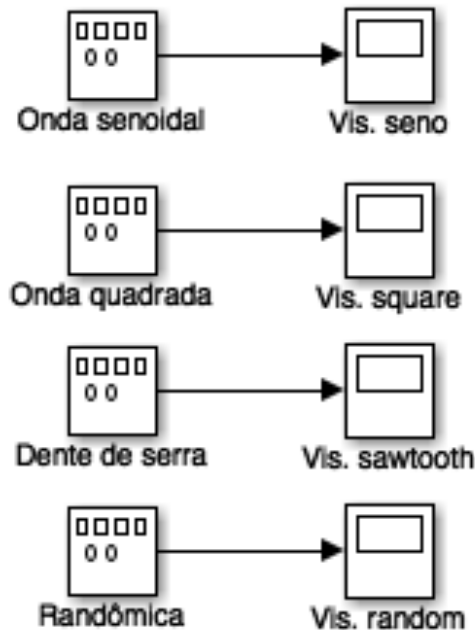
OK Cancel Help Apply

“Nome” do sinal

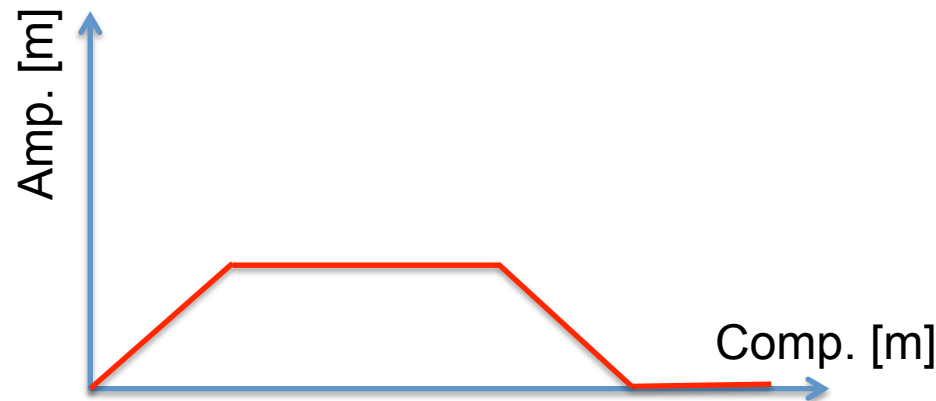
Permite salvar o sinal em diferentes formatos (Array e Structure with time são os mais comuns)

Tempo de amostragem

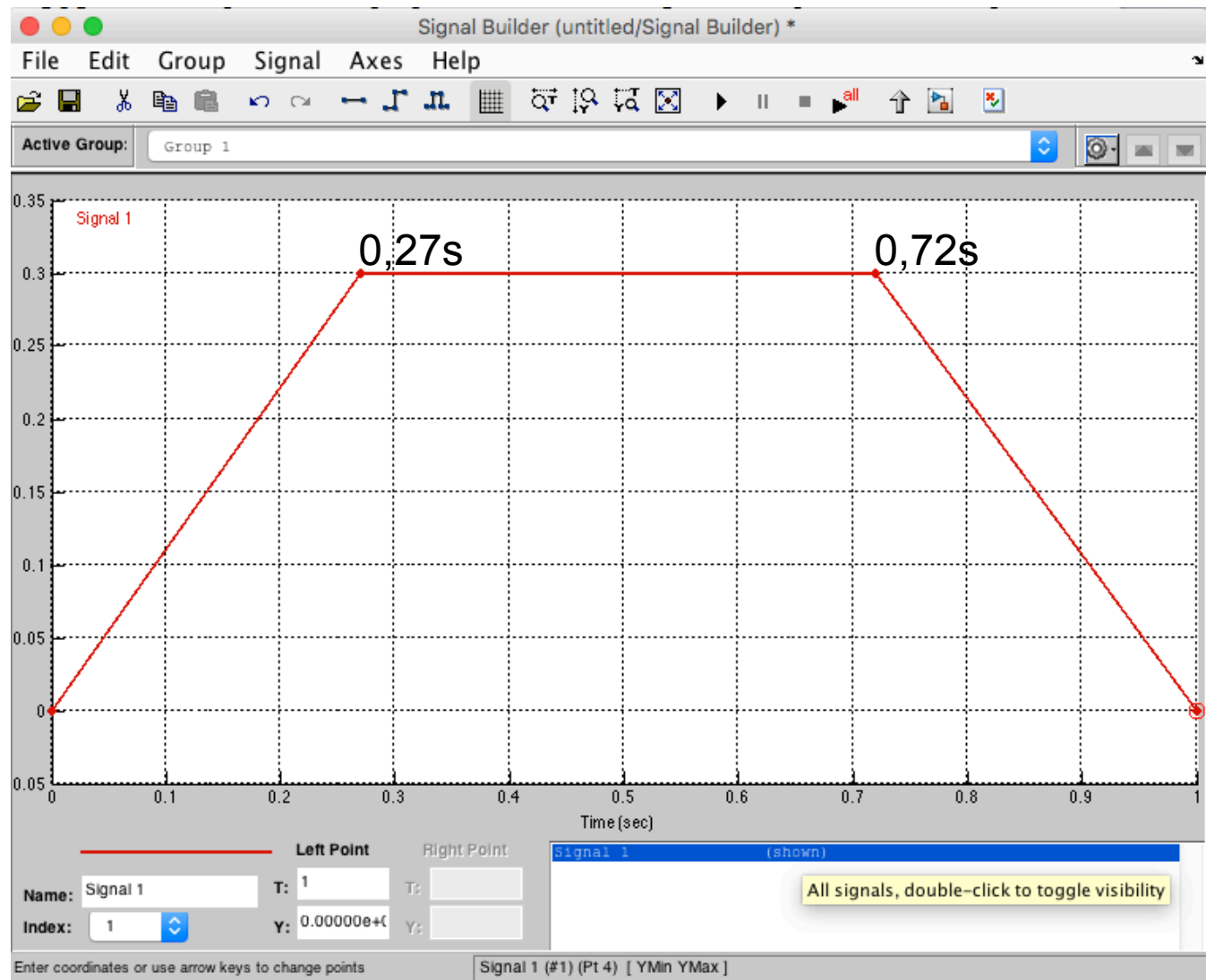
- Exercício 1: Utilizando o bloco *Signal Generator*, gere todas as possíveis ondas permitidas (com $A=1$ e $f=10\text{Hz}$) e visualize-as (separadamente) em um intervalo de tempo de 1s.



- Exercício 2: Utilizando o bloco mais adequado, construa uma entrada similar a uma passarela elevada de 30 cm de altura, sobre a qual um carro passa a uma velocidade de 20km/h, sabendo que:
 - A parte inclinada tem 1,5m e
 - A parte reta de cima tem 2,5 m.



- Exercício 2: Resposta.



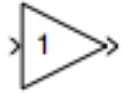
- O processamento/tratamento de sinais geralmente é empregado quando, na configuração atual, o sinal não pode ser adequadamente utilizado
 - Ou porque não se pode visualizar nada
 - amplitude muito baixa
 - presença de ruído
 - Ou porque está em outro domínio
 - Ou porque está defasado no tempo
 - Etc.

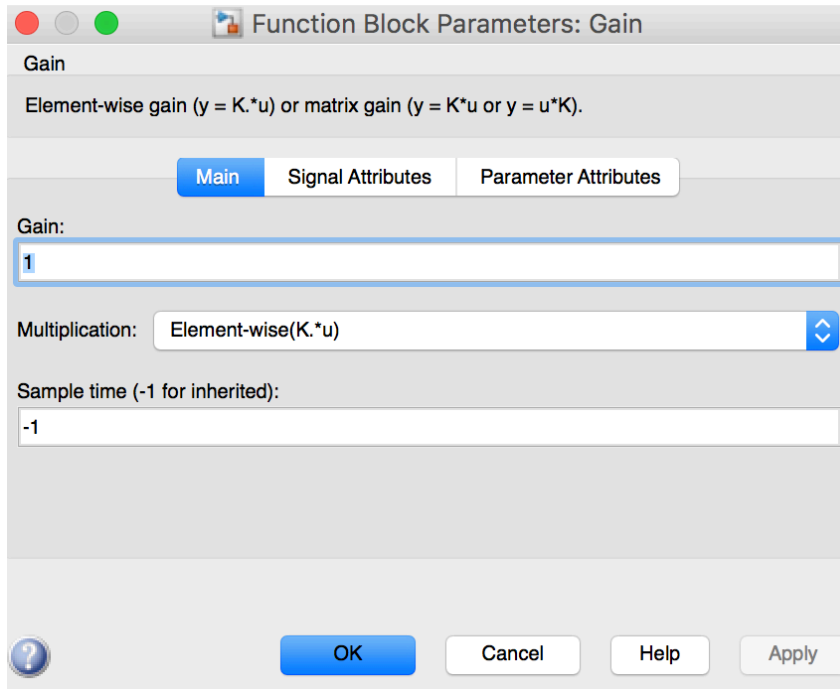
- A seguir, serão apresentados alguns procedimentos comumente utilizados no tratamento de sinais.

Amplificação

- A amplificação é realizada simplesmente dando um ganho no sinal.
 - Mesmo se o ganho for menor que 1, o nome se mantém, mesmo sendo uma “redução” da amplitude do sinal.

Amplificação


Gain - Esse bloco dá um ganho na amplitude do sinal (pode ser menor que 1)



Function Block Parameters: Gain

Gain

Element-wise gain ($y = K.*u$) or matrix gain ($y = K*u$ or $y = u*K$).

Main Signal Attributes Parameter Attributes

Gain:

1

Multiplication: Element-wise($K.*u$)

Sample time (-1 for inherited):

-1

OK Cancel Help Apply

← Valor do ganho

← Tempo de amostragem

Filtragem

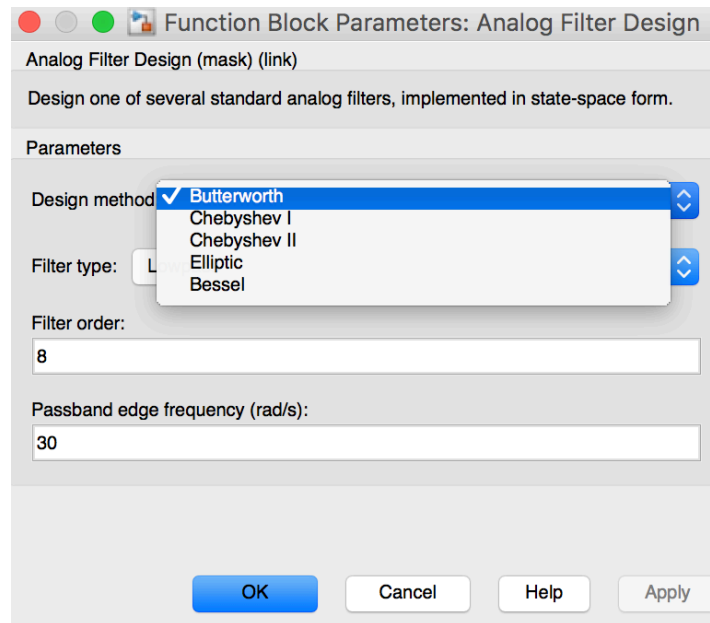
- Filtragem é o processo no qual sinal é alterado de acordo com a necessidade, retirando aquilo que não interessa
- Aqui, serão utilizados os filtros seletivos em frequência.
 - selecionar determinadas faixas de frequência
 - Passa baixa, passa alta, passa banda e pára banda.

Filtragem



Analog Filter Design

- Esse bloco permite criar facilmente filtros analógicos seletivos em frequência

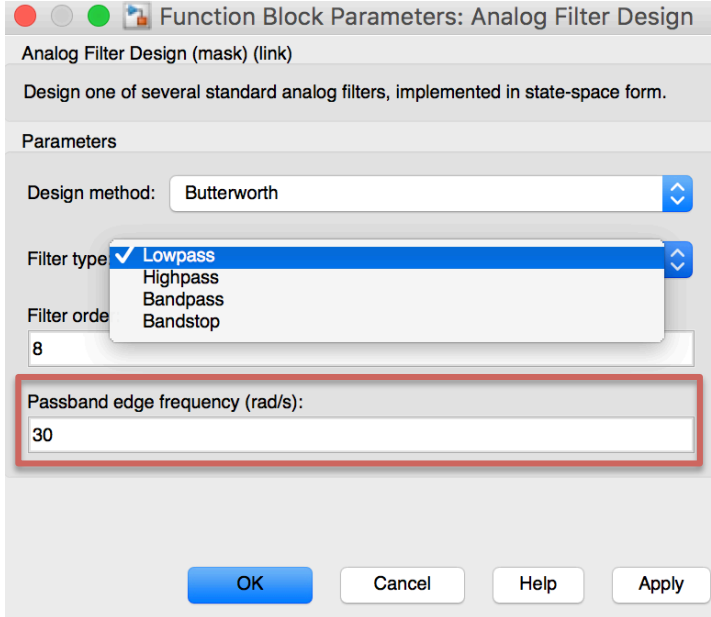


← Método de construção do filtro

← Ordem do filtro

- *Butterworth* é o mais comumente utilizado.

Filtragem



Function Block Parameters: Analog Filter Design

Analog Filter Design (mask) (link)

Design one of several standard analog filters, implemented in state-space form.

Parameters

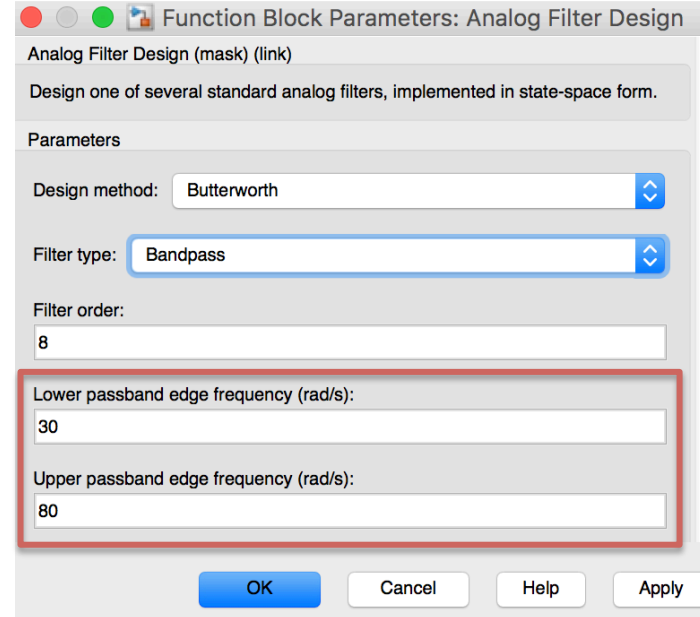
Design method: Butterworth

Filter type: **Lowpass** (selected), Highpass, Bandpass, Bandstop

Filter order: 8

Passband edge frequency (rad/s): 30

OK Cancel Help Apply



Function Block Parameters: Analog Filter Design

Analog Filter Design (mask) (link)

Design one of several standard analog filters, implemented in state-space form.

Parameters

Design method: Butterworth

Filter type: Bandpass

Filter order: 8

Lower passband edge frequency (rad/s): 30

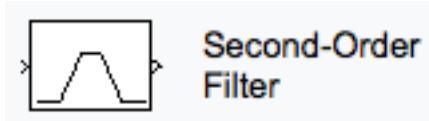
Upper passband edge frequency (rad/s): 80

OK Cancel Help Apply

← Tipo do filtro

- Note que, para cada tipo de filtro, a seleção das frequências de corte se alteram

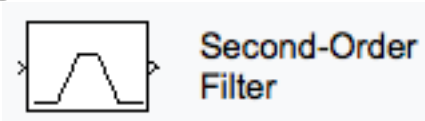
Filtragem



- Esse bloco permite criar filtros de segunda ordem, ou seja, como se fossem a resposta de sistemas de segunda ordem no domínio da frequência

- Passa baixa: decaem 40 dB por década a partir da frequência de corte (natural não amortecida);
- Passa alta: sobem 40 dB por década a partir da frequência de corte (natural não amortecida);
- Passa banda: composição de um passa alta com um passa baixa.

Filtragem



Function Block Parameters: Second-Order Filter

Second-Order Filter (mask) (link)

Implement a lowpass, highpass, bandpass, or bandstop second-order filter.

Parameter:

Filter type: ☒ Bandpass ☐ Bandstop (Notch) ☐ Highpass ☐ Lowpass

Natural frequency fn (Hz):

Damping ratio Zeta ($Q = 1 / (2 * Zeta)$):

Sample time:

☒ Initialize filter states

AC initial input: [Mag, Phase (degrees), Freq (Hz)]:

DC initial input:

☐ Plot filter response

OK Cancel Help Apply

← Tipo do filtro

← Frequência de corte

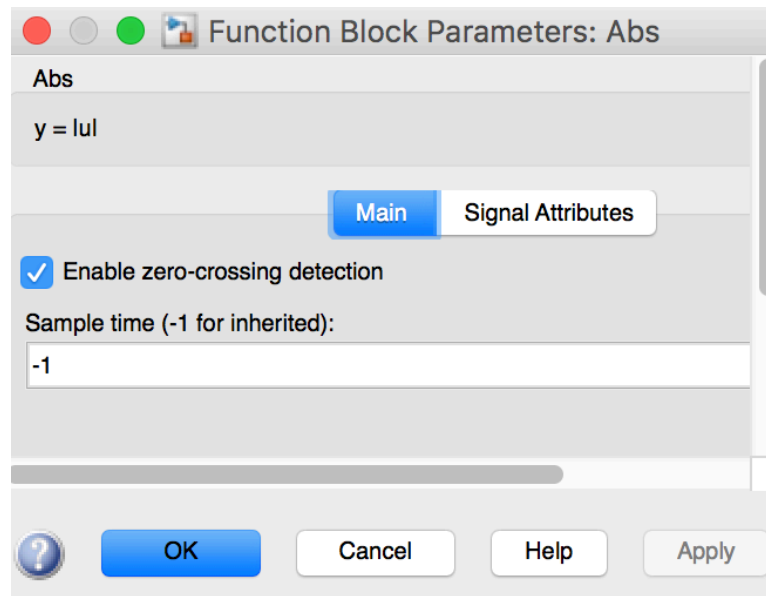
← Fator de amortecimento

← Tempo de amostragem

- O fator de amortecimento indica características da transição entre região passante e região de corte

Cálculo de módulo

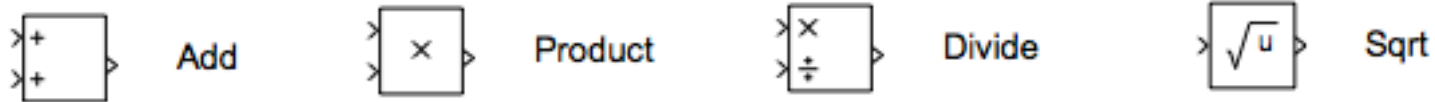
- O cálculo do módulo (absoluto) de um sinal é utilizado com certa frequência
 - e.g. quando se tem sinais complexos (imaginários, com parte Re e Imag)



← Tempo de amostragem

Operações básicas

- Operações básicas entre sinais também podem, de certa forma, ser consideradas como processamento de sinais.



- Os blocos de operações matemáticas básicas podem ser encontrados no *toolbox Math Operations*

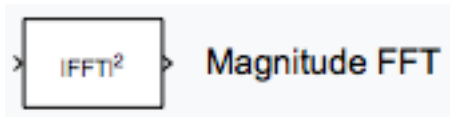
FFT – Fast Fourier Transform

- Essa operação é muito utilizada na área de sistemas dinâmicos.
- Consta de uma operação de transformação de domínio, ou seja, transforma o sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência, a fim de se verificar o espectro em frequência do sinal (entrada e/ou saída) ou simplesmente espectro do sinal.
- O sinal resultante é um sinal imaginário (pode ser calculado o módulo e a fase)

FFT – Fast Fourier Transform



- Esse bloco calcula o espectro em frequência do sinal



- Esse bloco calcula a magnitude do espectro em frequência do sinal

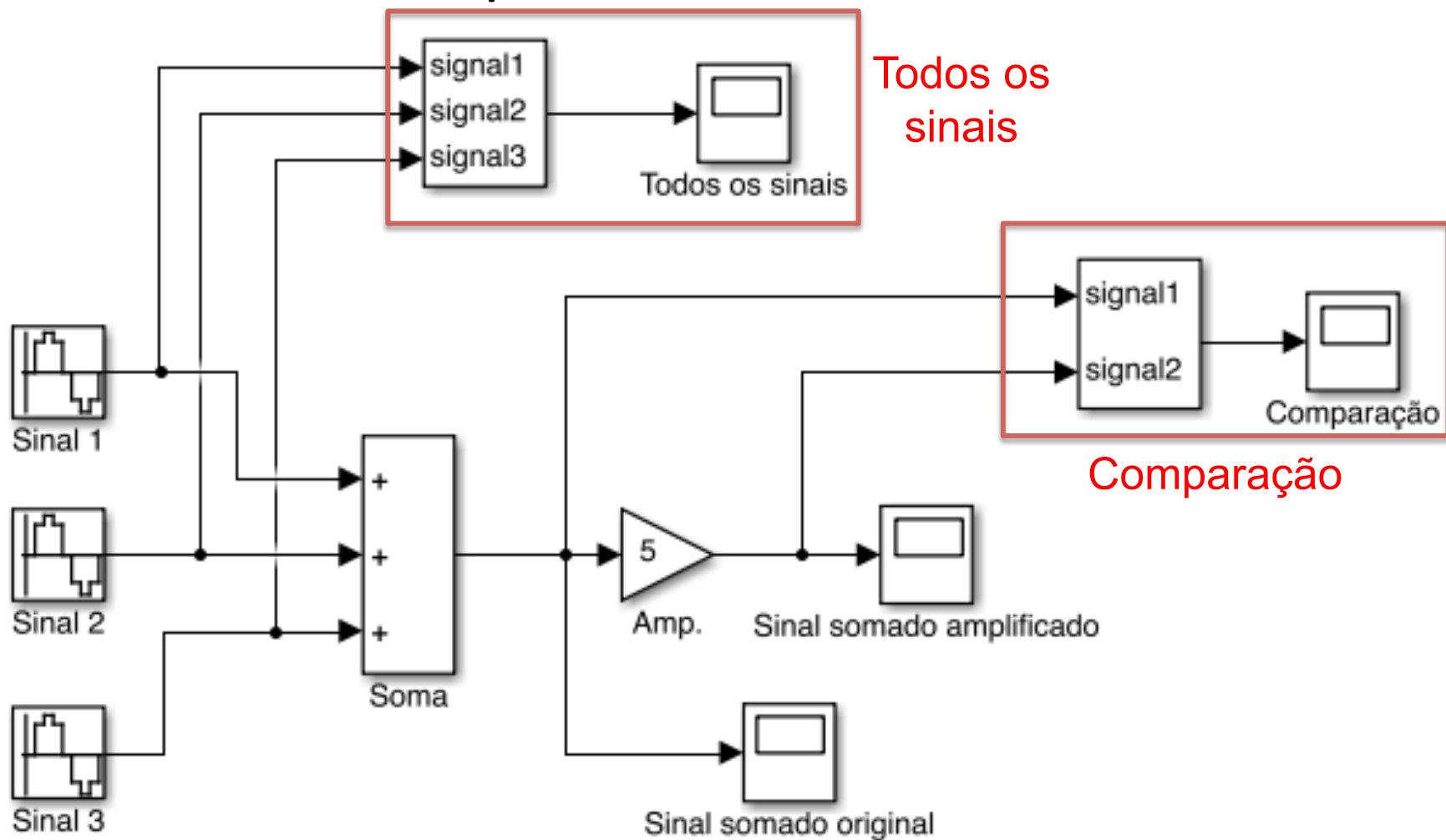
- A aplicação dessa transformação não é tão simples de ser realizada no simulink, sendo mais fácil ser realizada na linha de comandos.

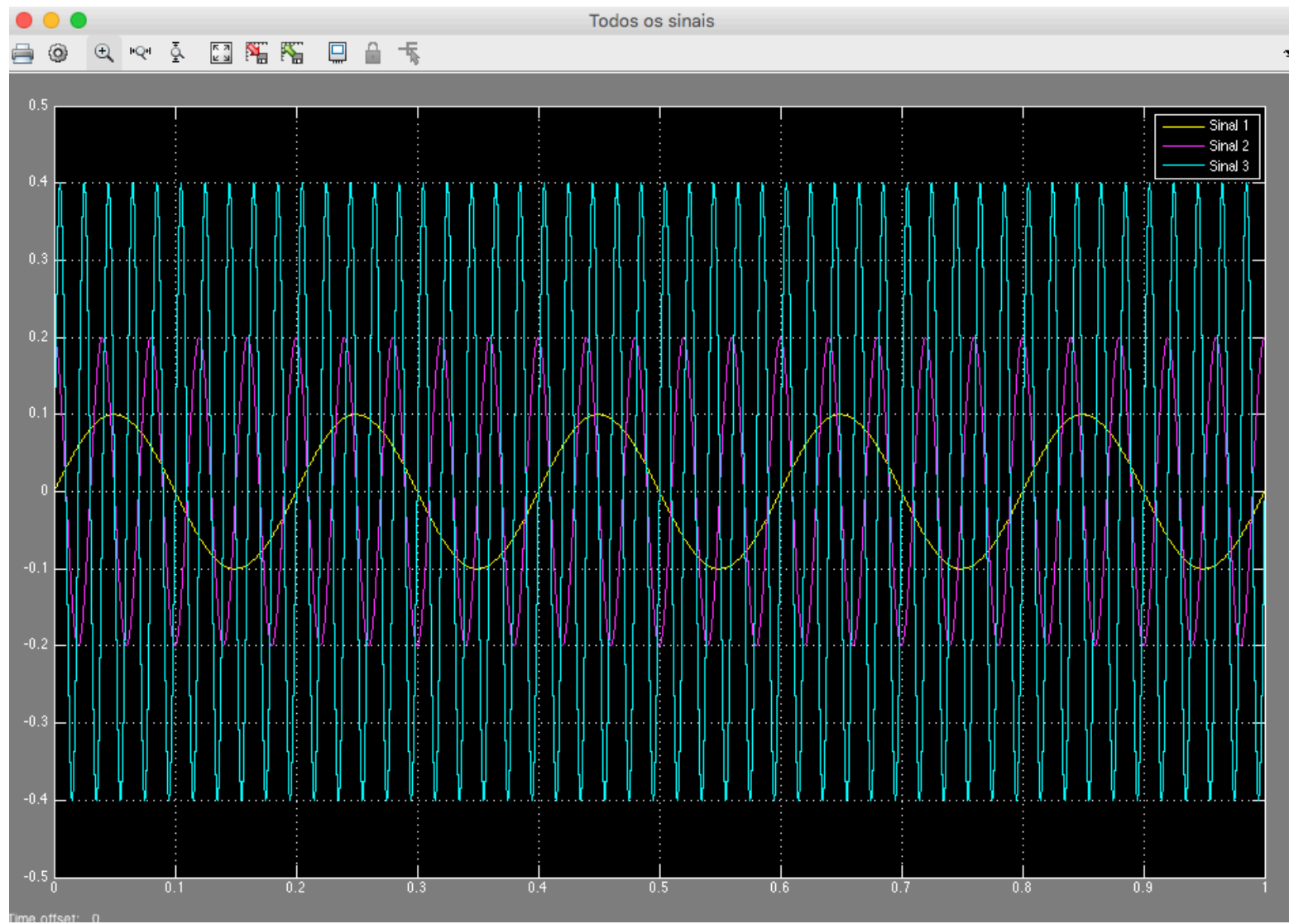
- Exercício 3: criar os seguintes sinais

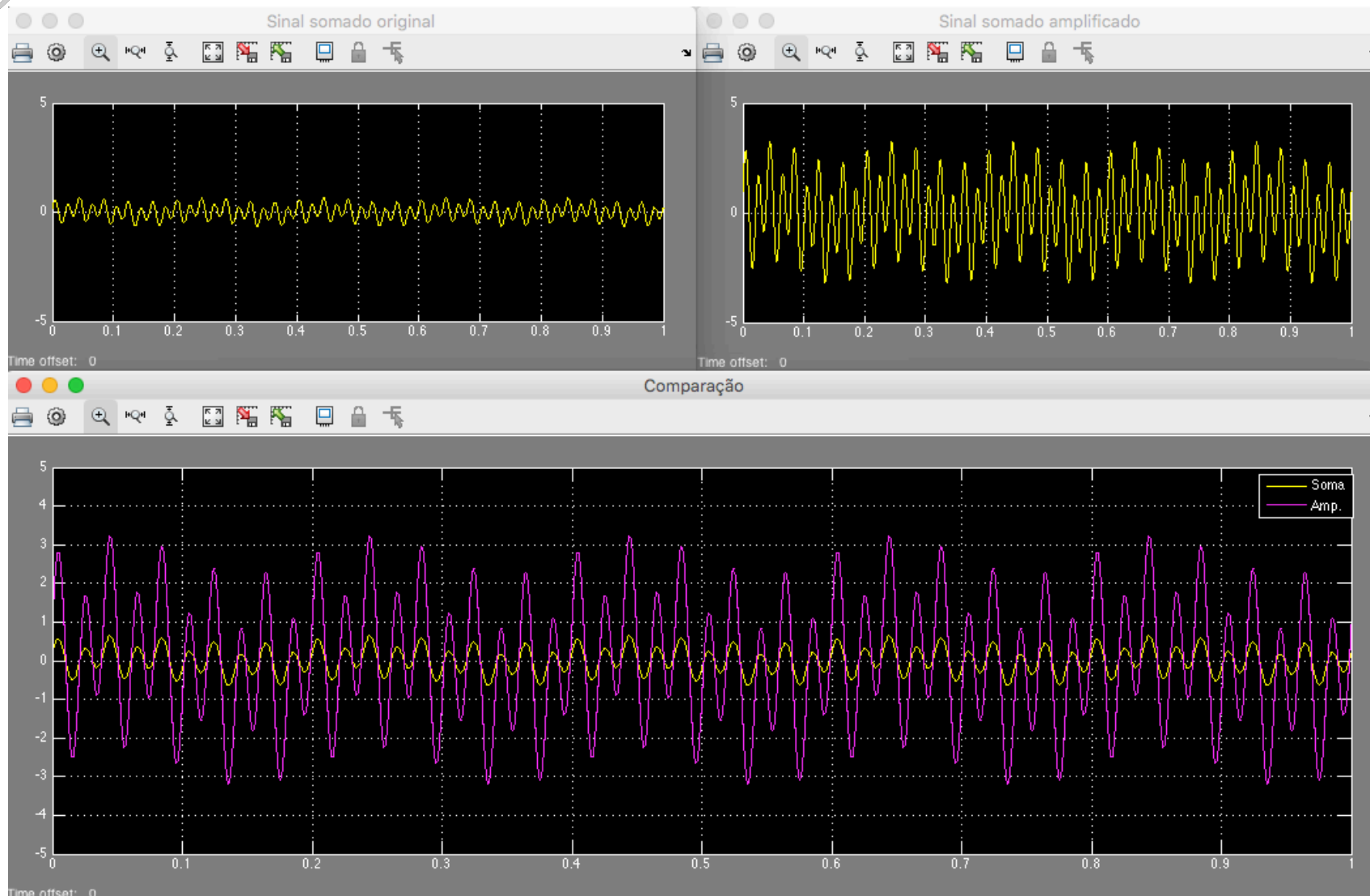
Sinal nº	Tipo	Amplitude	Frequência [Hz]
1	Senoidal	0,1	5
2	Cossenoidal	0,2	25
3	Senoidal	0,4	50

- Em seguida, some os sinais;
- Depois, dê um ganho de 5 no sinal resultante;
- Visualize, durante um intervalo de tempo de 1s, os três sinais na mesma figura;
- Visualize, também, o sinal amplificado;
- Compare o sinal amplificado com o original.

Exercício 3: Resposta



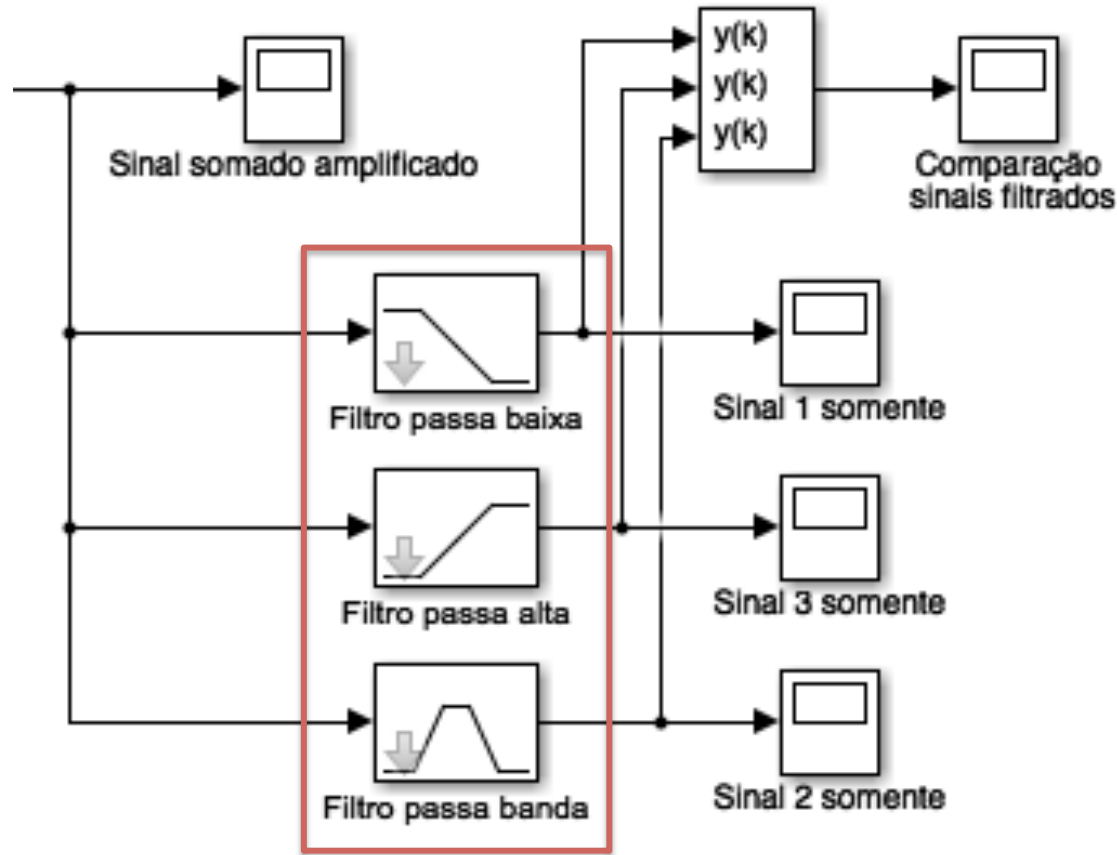




- Em seguida, crie os seguintes filtros e aplique-os no sinal somado amplificado.

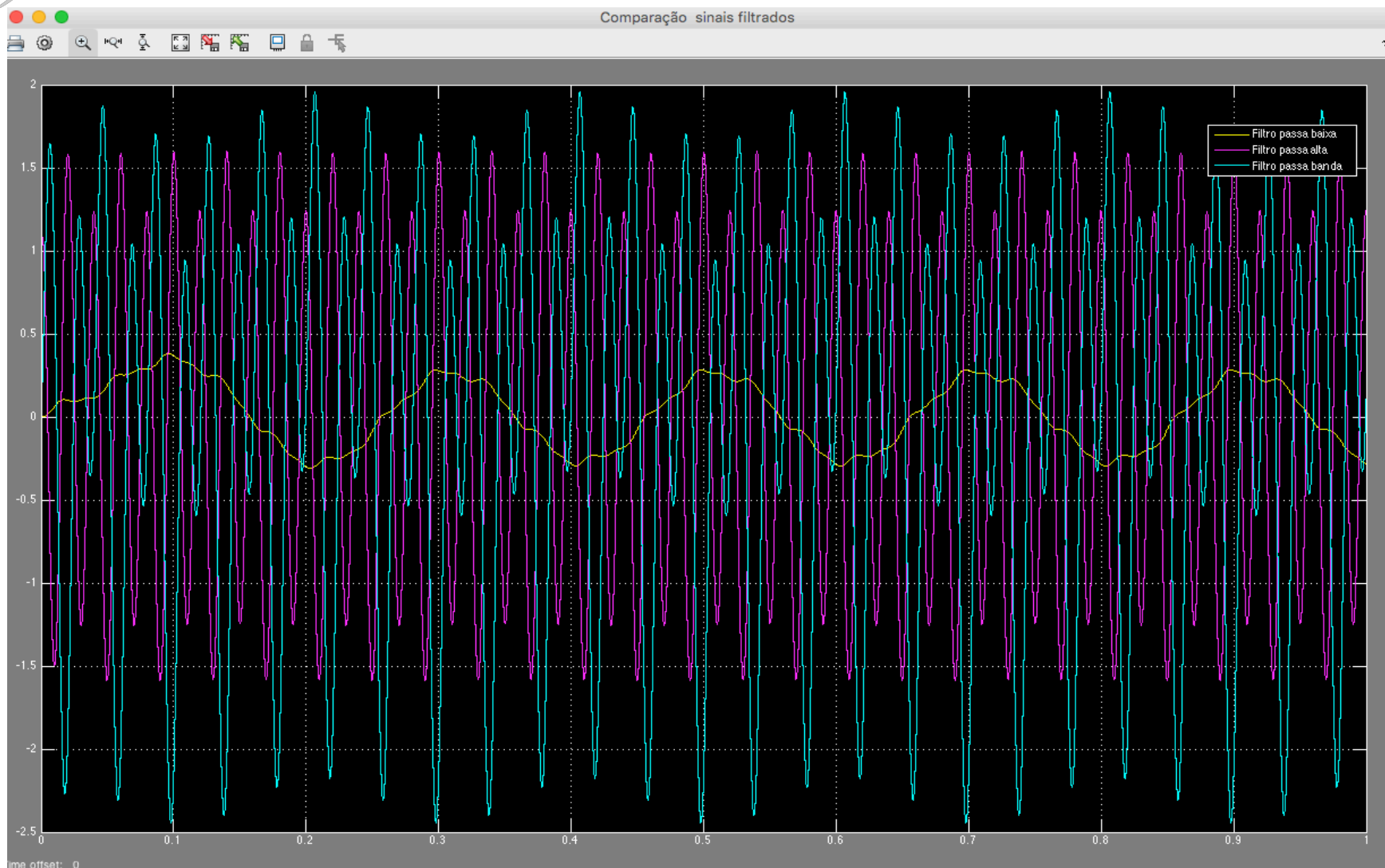
Filtro nº	Método	Finalidade
1	Second order	Selecionar a menor frequência
2	Second order	Selecionar a maior frequência
3	Second order	Selecionar a frequência intermediária

- Visualize os sinais filtrados na mesma figura e analise se os filtros funcionaram.



Filtragem

- Repare nas figuras internas aos blocos – Resposta em frequência (Magnitude) de sistemas de 2ª ordem.



Perguntas ?