

# **MANUAL DE INTRODUÇÃO AO MATLAB/SIMULINK**

Elementos adaptados por:

Prof. Luis Filipe Baptista

# **MANUAL DE INTRODUÇÃO AO MATLAB/SIMULINK**

## **1. OBJECTIVOS DO MANUAL**

Este manual tem como objectivo familiarizar o aluno com o Matlab/Simulink, de modo a que possa ser utilizado nos trabalhos seguintes sobre controladores contínuos e digitais, nomeadamente:

- Utilizar as ferramentas informáticas na análise dinâmica de sistemas de controlo (**Control Systems Toolbox** entre outras).
- Utilizar as ferramentas de aplicação em tempo real (**Real-time Workshop** e **Real-time Windows Target**), de modo a poder efectuar a aquisição e controlo de sistemas didácticos existentes no laboratório.

## **2. INTRODUÇÃO AO SIMULINK<sup>1</sup>**

O **Simulink** é um pacote de um software para modelar, simular, e analisar sistemas dinâmicos. Suporta sistemas lineares e não-lineares modelados em tempo contínuo, tempo discreto ou com uma mistura dos dois. Os sistemas também podem ter partes diferentes que são amostradas ou actualizadas com taxas diferentes.

Para modelar, o Simulink possui uma interface gráfica com utilizador (**GUI – Graphical User Interface**) para construir modelos como diagramas de blocos, usando as operações de clicar-e-arrastar do rato. Com esta interface, o aluno pode construir os modelos da mesma forma que se constroem numa folha de papel (ou como a maioria dos livros de controlo os descreve). Esta abordagem constitui um enorme avanço relativamente às soluções tradicionais que utilizam métodos numéricos. O Simulink inclui uma biblioteca de blocos pré-definidos, podendo o aluno também personalizar e criar os seus próprios blocos.

Depois de definir um modelo, é possível simulá-lo. Alguns blocos permitem que se vejam os resultados enquanto a simulação estiver ainda a ser executada. Além disso, o aluno pode modificar os parâmetros e observar imediatamente os resultados obtidos. Os resultados da simulação podem ser enviados para o **workspace** do MATLAB para visualização e utilização posterior.

Muitas outras ferramentas do MATLAB podem ser usadas no Simulink, sendo por esse facto que o MATLAB e o Simulink estão integrados. É possível simular, analisar, e rever os modelos em qualquer ambiente a qualquer ponto.

O Simulink permite-nos criar o modelo de qualquer tipo de artefacto, dispositivo ou aparelho que não existe fisicamente e vê-los funcionando antes que venham a ser realmente construídos.

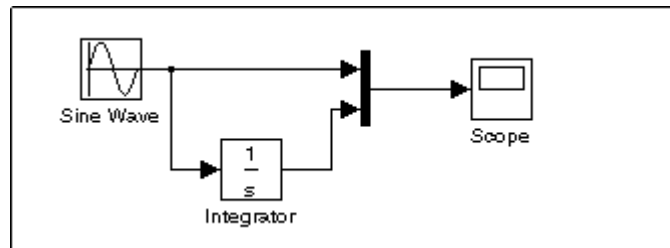
---

<sup>1</sup> - Estes apontamentos foram adaptados de um manual de introdução ao Simulink da autoria de Grupo PET – Engenharia Eléctrica – UFMS, Brasil.

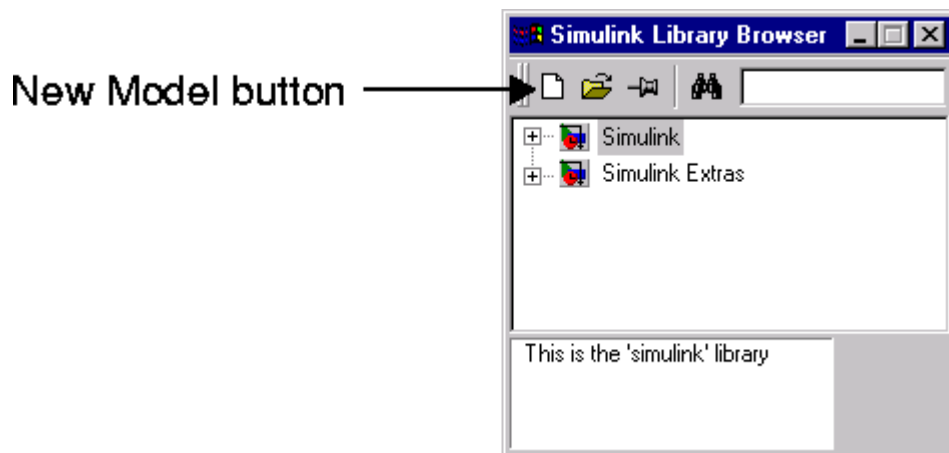
## Construção de um Modelo Simples

Este exemplo mostra como construir um modelo utilizando muitos comandos de construção de modelos e acções que o aluno poderá utilizar para construir os seus próprios modelos.

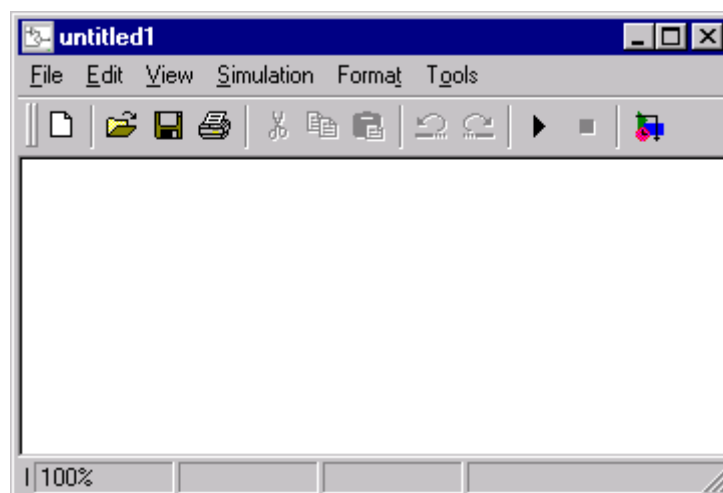
O modelo é composto por um integrador e um gerador de sinais sinusoidal. A onda sinusoidal é integrada e o osciloscópio (scope) apresenta os resultados. O diagrama de blocos do modelo está representado na figura seguinte:



Para criar o modelo, primeiro digite **Simulink** no command window do MATLAB. No windows, o **Simulink Library Browser** aparecerá com o seguinte aspecto:



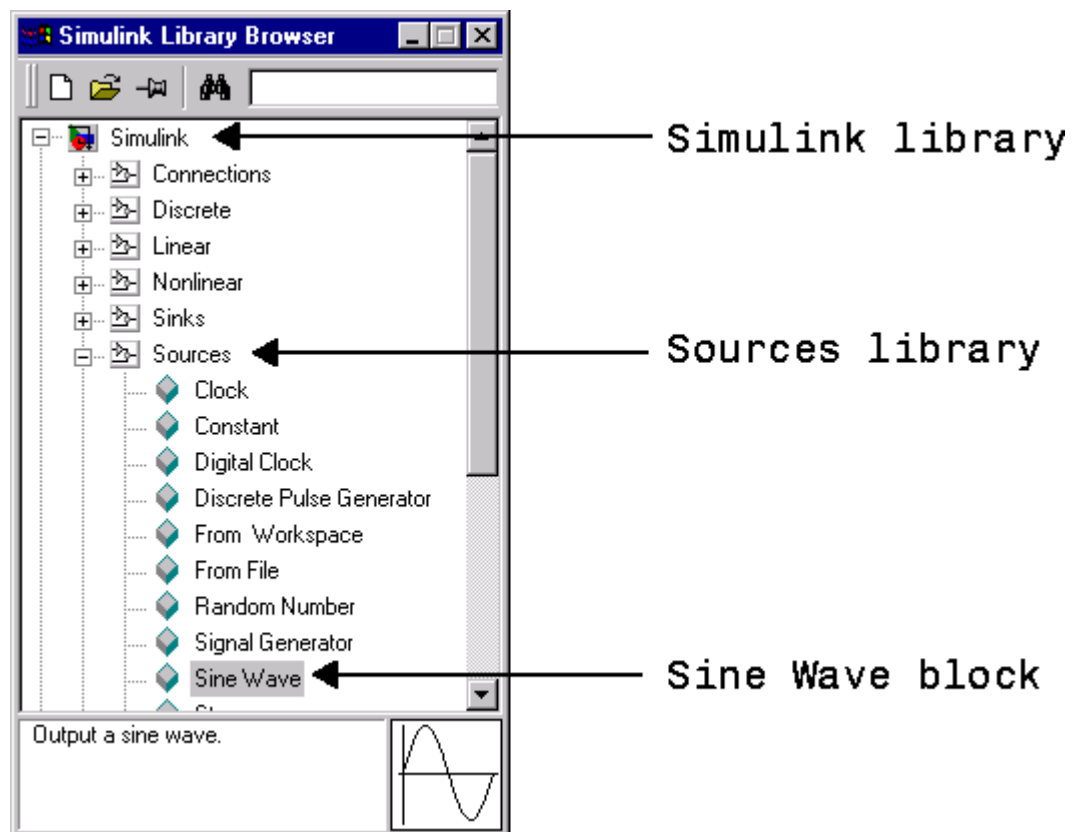
Selecione o botão **New Model** na barra de ferramentas do **Library Browser** conforme indicado acima. O Simulink abrirá uma nova janela para a criação de modelos.



Para criar este modelo, é preciso arrastar os blocos das bibliotecas (do **library browser**) para o interior do modelo. Procure no **library browser** e arraste os seguintes blocos:

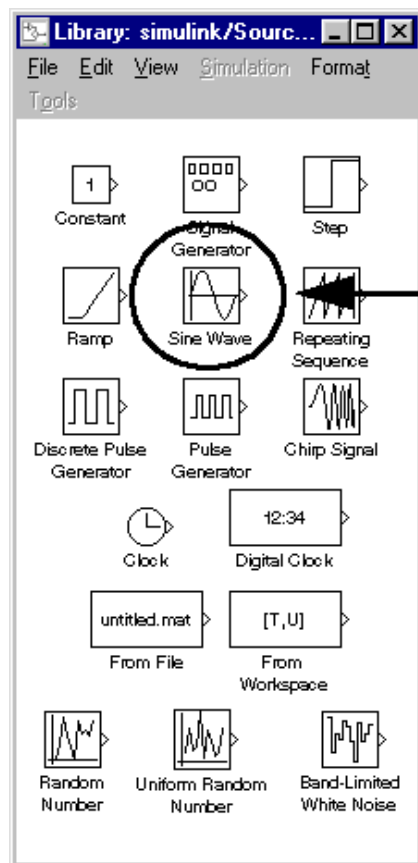
- Sources library (o bloco Sine Wave)
- Sinks library (o bloco Scope)
- Continuous library (o bloco Integrator)
- Signals & Systems library (o bloco Mux)

Para copiar o bloco **Sine Wave** do Library Browser, primeiro expanda a árvore do Library Browser para mostrar os blocos no Sources library. Faça isto clicando primeiro no sinal + do Simulink library para mostrar as outras bibliotecas, então clique no sinal + do **Sources library** para mostrar os seus blocos. Finalmente clique no bloco Sine Wave. Então o Library browser irá aparecer conforme representado na figura seguinte.



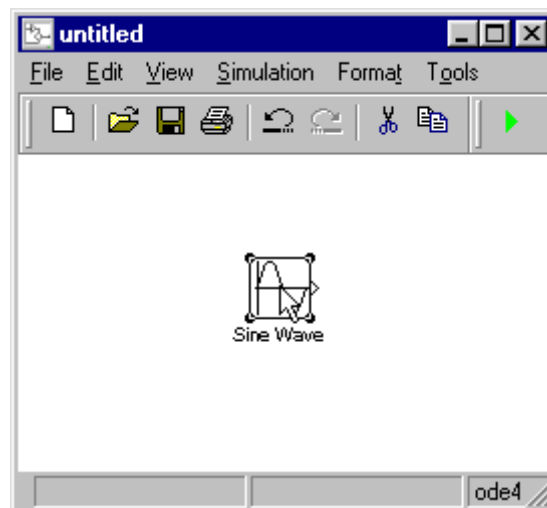
Seguidamente, arraste o bloco Sine Wave do Library browser até a janela do modelo. O Simulink cria uma cópia no ponto em que o colocar.

Outra maneira de fazer esta operação, consiste em accionar um clique com o botão direito do rato em **Sources** e seleccionar a opção de abrir. Irá aparecer a janela abaixo representada.



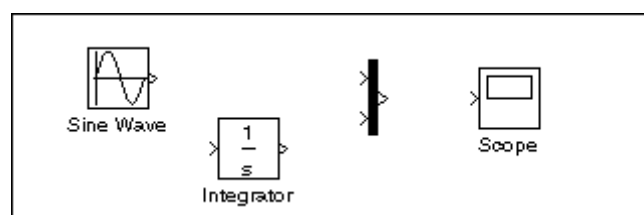
The Sine Wave block

Arraste o bloco **Sine Wave** da janela até o modelo.

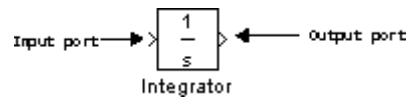


Copie os restantes blocos e arrume-os. Para mover cada bloco, clique e arraste com o rato ou clique e mova com as setas do teclado para menores distâncias.

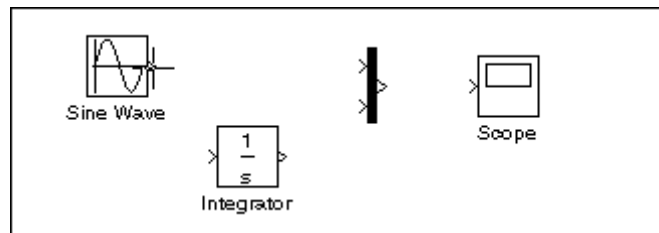
Com todos os blocos copiados para o interior do modelo, ele deverá ter o seguinte aspecto:



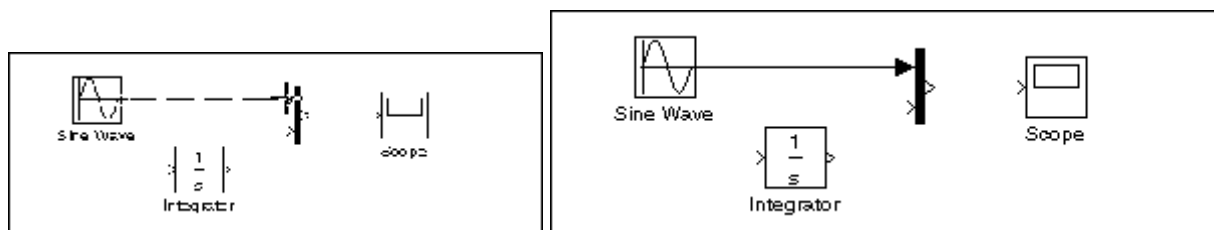
Vai perceber que os blocos possuem o símbolo  $\triangleright$ . Se o símbolo aponta para fora ele indica a saída do bloco; se aponta para dentro indica uma entrada.



Para conectar o bloco **Sine Wave** a entrada superior do bloco **Mux** posicionamos o rato sobre a saída do bloco **Sine Wave** até que a forma do ponteiro mude para **cross hairs**.

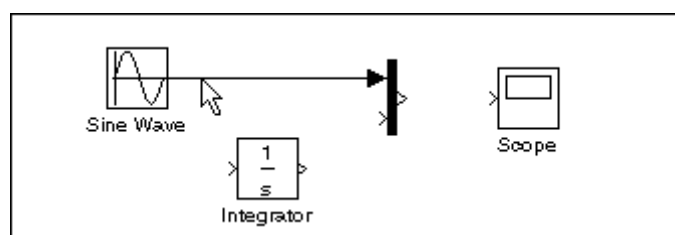


Clique e mantenha pressionado o botão do rato até à entrada superior do Mux. Irá aparecer uma linha a tracejado. Quando o cursor ficar com o formato **cross hairs** de linha dupla, solte o rato de modo a concluir a ligação.

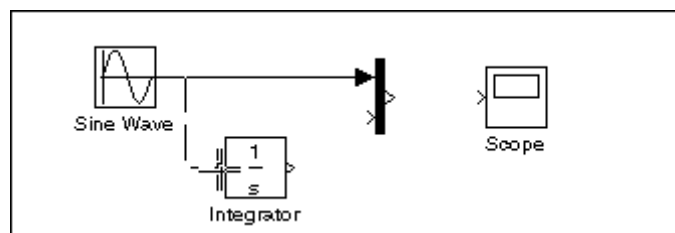


O Sine Wave também está ligado ao **Integrator**. Para o fazer, siga a sequência:

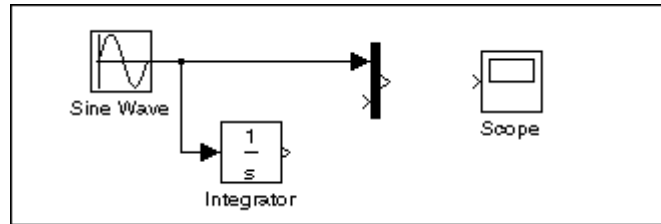
1. Primeiro, posicione o rato em cima da linha entre o Sine Wave e Mux.



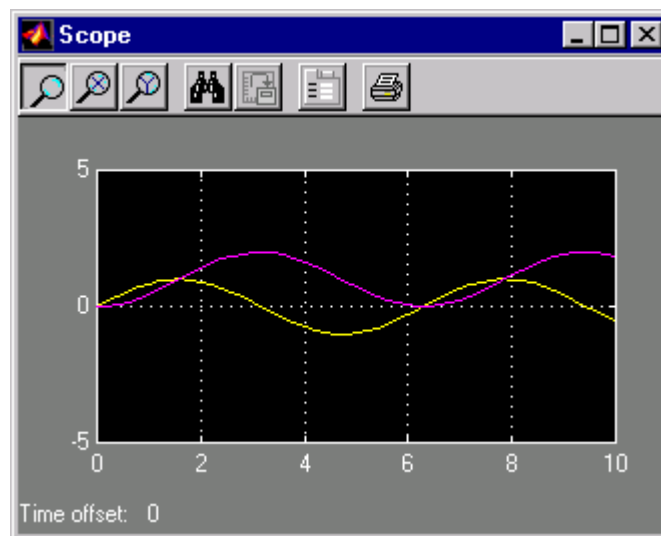
2. Pressione a tecla **Ctrl**, clique e arraste o rato até à entrada do bloco Integrator.



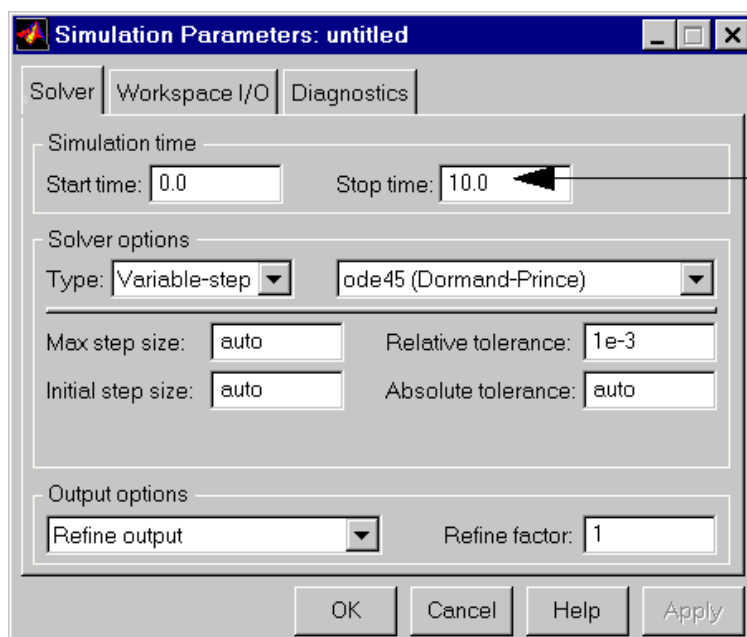
3. Ao soltar o botão do rato, a linha irá aparecer desenhada.



Termine as ligações e abra o bloco Scope com um duplo clique para ver a simulação. Entre no menu **Simulation** e escolha a opção **Start** para iniciar a simulação. Observe as curvas que vão sendo desenhadas no Scope.



Entre no menu **Simulation** e escolha **Parameters** para ajustar os parâmetros de simulação. Abra o bloco Scope para ver a evolução da simulação. Mantendo a janela do Scope aberta, ajuste o Simulink para executar a simulação em 10 segundos. Primeiro, ajuste os parâmetros da simulação, seleccionando **Parameters** no menu **Simulation**. Na caixa de diálogo que irá aparecer, nota-se que o tempo de simulação é fixado em 10.0 segundos (valor definido por defeito).



Stop time parameter

Feche a caixa de diálogo **Simulation Parameters** clicando no botão **Ok**. O Simulink aplica os parâmetros e fecha a caixa de diálogo.

Escolha **Start** no menu **Simulation** e observe as curvas no bloco **Scope**.

A simulação pára quando for atingido o tempo de simulação especificado em **Simulation Parameters** ou quando for accionado o botão de **Stop** no menu **Simulation**.

Para gravar o modelo, escolha **Save** no menu **File** e escreva um nome na directoria desejada. Este arquivo contém a descrição do modelo.

Este exercício, mostra como executar algumas das tarefas de construção de modelos, geralmente utilizados no Simulink.

### Zoom no Diagrama de Blocos

O Simulink permite que se aumente ou diminua a visão do diagrama de blocos. Para ajustar o zoom:

- Selecione **Zoom In** do menu **View** (ou digite r) para aumentar.
- Selecione **Zoom Out** do menu **View** (ou digite v) para diminuir.
- Selecione **Fit System to View** do menu **View** (ou aperte a barra de espaço) para ajustar o zoom de acordo com o diagrama.
- Selecione **Normal** do menu **View** para ajustar ao zoom 100%.

Por definição, o Simulink ajusta o **zoom** de acordo com o diagrama de blocos quando abre o diagrama.

### Seleccionar Mais de Um Objecto

Pode seleccionar mais de que um objecto. Pode seleccioná-los da seguinte forma:

- um de cada vez
- seleccione os objectos com o rato ou com a caixa de selecção
- Seleccione o modelo inteiro.

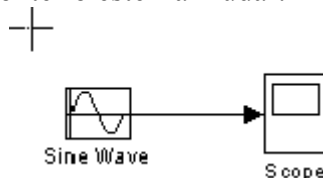
### Seleccionar Múltiplos Objectos Um de Cada Vez

Para seleccionar mais de um objecto, seleccione cada um dos objectos, segure a tecla **Shift** e clique nos objectos. Para desmarcar, clique nos objectos de novo mantendo ainda o **Shift** pressionado.

### Seleccionar Múltiplos Objectos com a Caixa de Selecção

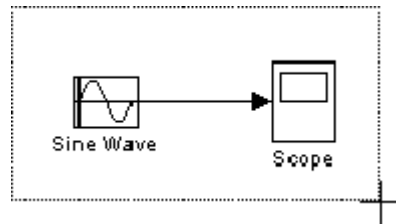
Uma maneira fácil de seleccionar mais do que um objecto numa mesma área, desenhe uma caixa de selecção em redor dos objectos.

- 1 Defina o canto para começar uma caixa de selecção posicionando o ponteiro do rato. Assim, quando apertar o ponteiro este irá mudar.

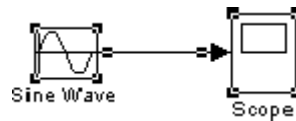




- 2 Arraste o ponteiro ao canto oposto da caixa. Um rectângulo pontilhado inclui os blocos e as linhas seleccionadas.



- 3 Solte o botão do rato. Todos os blocos e linhas que estiverem pelo menos parcialmente incluídos dentro caixa de selecção serão seleccionados.



## Copiar e Mover os Blocos de Uma Janela para a Outra

Quando se constrói um modelo, frequentemente é necessário copiar blocos das bibliotecas de blocos do Simulink, ou de outras bibliotecas, ou de outros modelos. Para fazer isto, siga estes passos:

- 1 Abra a biblioteca apropriada ou o modelo.
- 2 Arraste o bloco que quer copiar para a janela do modelo. Para arrastar um bloco, posicione o cursor em cima do ícone do bloco, e pressione o botão do rato. Passe o cursor à janela designada e solte o botão do rato.
- 3 Pode também arrastar os blocos das Bibliotecas para uma janela.

## Nota

O Simulink oculta os nomes dos blocos **Sum**, **Mux**, **Demux**, and **Bus Selector** quando são copiados para o modelo. Isto é feito para evitar que sobrecarregue o modelo desnecessariamente. (As formas destes blocos indicam claramente as suas respectivas funções.)

Pode também copiar os blocos usando os comandos **Copiar** and **Colar** do menu **Edit**.

O Simulink escolhe um nome para cada bloco copiado.

Quando se copia um bloco, o bloco novo herda todos os parâmetros do bloco original.

O Simulink usa uma grade invisível de cinco pixels para simplificar o alinhamento de blocos. Todos os blocos são “presos” a uma linha na grade. Pode mover um bloco ligeiramente abaixo, à esquerda ou à direita seleccionando o bloco e apertando as teclas de seta.

Pode exibir a grade na janela do modelo, digitando o seguinte comando na janela de MATLAB:

```
set_param('<model name>', 'showgrid', 'on')
```

Para mudar o espaçamento da grade, digite:

```
set_param('<model name>', 'gridspacing', <number of  
pixels>)
```

Por exemplo, para mudar para 20 pixels, digite:

```
set_param('<model name>', 'gridspacing', 20)
```

Para todos os comandos acima indicados, pode também seleccionar o modelo, e digitar **gcs** ao invés de <model name>.

Mover os blocos de uma janela para a outra é o mesmo que copiar os blocos, excepto se manter pressionada a tecla **Shift**, enquanto se selecciona o bloco.

Pode usar o comando **Undo** do menu **Edit** para remover um bloco que tenha adicionado.

## Duplicar Blocos num Modelo

Pode duplicar blocos num modelo apertando a tecla Ctrl e seleccionando o bloco com o botão esquerdo do rato. Seguidamente, arraste para um novo local. Pode também fazer isto, arrastando o bloco com o botão direito do rato. Os blocos duplicados têm o mesmo parâmetro dos blocos originais. São acrescentados números de sucessão aos nomes dos novos blocos.

## Apagar Blocos

Para apagar um ou mais blocos, seleccione os blocos a serem apagados e aperte a tecla **Delete** ou **Backspace**. Também pode escolher **Clear** ou **Cut** do menu **Edit**. O comando **Cut** recorta os blocos para o clipboard. Usando o **Delete**, o **Backspace** ou o comando **Clear** não será possível colar novamente o bloco.

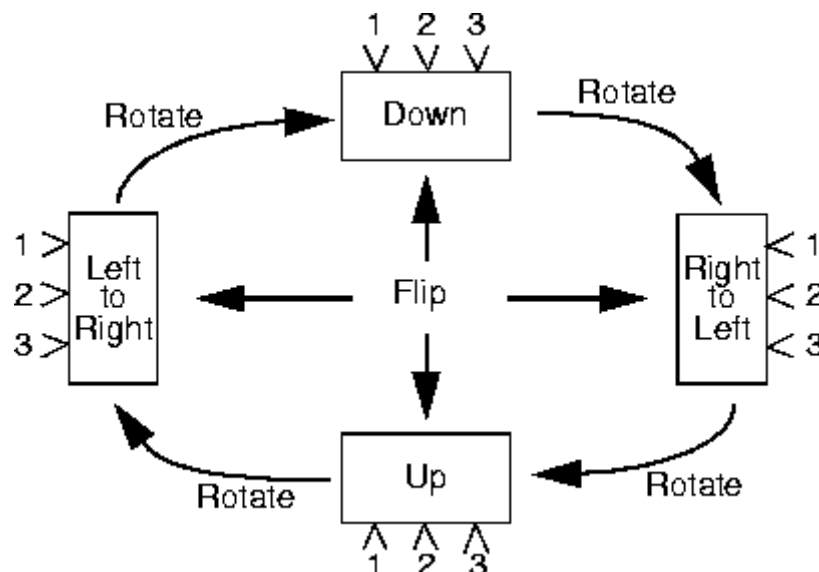
Pode usar o comando **Undo** do menu **Edit** para restituir um bloco que tenha apagado.

## Mudando a Orientação de Blocos

Normalmente os sinais fluem da esquerda para a direita. As portas de entrada estão à esquerda e as portas de saída estão à direita. Pode mudar a orientação dos blocos escolhendo um destes comandos do menu **Format**:

- O comando **Flip Block** roda o bloco de 180°.
- O comando **Rotate Block** roda o bloco de 90° no sentido horário.

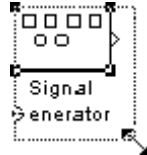
A figura abaixo mostra como o Simulink organiza as portas depois de mudar a orientação de um bloco usando os comandos **Rotate Block** e **Flip Block**. O texto nos blocos mostra a sua orientação.



## Redimensionar os Blocos

Para mudar o tamanho de um bloco, selecione e arraste quaisquer uma das suas marcas de selecção. Enquanto segura o botão do rato, um rectângulo pontilhado mostra o novo tamanho do bloco. Quando soltar o botão do rato, o bloco fica redimensionado.

Por exemplo, a figura abaixo mostra um bloco **Gerador de Sinais** a ser redimensionado. A marca do lado inferior direito foi seleccionada e arrastada até à posição do cursor. Quando o botão do rato é solto, o bloco assume o novo tamanho.



## Manipular os Nomes dos Blocos

Qualquer nome de um bloco de um modelo deve ser único e tem que conter pelo menos um caractere. Geralmente, os nomes aparecem debaixo dos blocos quando as portas estão na horizontal e à esquerda dos blocos quando as portas estão na vertical, conforme representado na figura.



## Mudar os Nomes dos Blocos

Pode editar o nome de um bloco clicando no nome do bloco. Clique duas vezes ou arraste o cursor para seleccionar o nome inteiro. Então, escreva o novo nome.

Quando clica nalgum outro lugar no modelo ou entra com alguma outra em acção, o nome será aceite ou rejeitado. Se tentar mudar o nome de um bloco por um nome que já existe ou por um nome sem caractere, o Simulink exibe uma mensagem de erro.

Pode modificar a fonte usada no nome de um bloco seleccionando o bloco, escolhendo a opção **Font** do menu **Format**. Selecciona uma fonte da caixa de diálogo. Este procedimento também muda a fonte de texto no ícone do bloco.

Pode cancelar a edição do nome de um bloco escolhendo **Undo** do menu **Edit**.

## Nota

Se mudar o nome de um bloco na biblioteca, todas as ligações para aquele bloco passarão a estar erradas.

## Mudar a Localização do Nome de um Bloco

Pode mudar a localização do nome de um bloco de duas formas:

- Arraste o nome do bloco para o lado oposto do bloco.
- Escolha o comando **Flip Name** do menu **Format**. Este comando muda a localização do nome do bloco para o lado oposto do bloco.

## **Escolher se o Nome do Bloco é Mostrado**

Para escolher se o nome do bloco é mostrado ou não, abra o menu **Format** e escolha:

- O menu **Hide Name** mantém o nome do bloco visível. Quando selecciona **Hide Name**, ele muda o **Show Name** quando o bloco é seleccionado.
- O menu **Show Name** mostra o nome oculto do bloco.

## Blocos





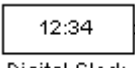

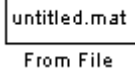
### Bibliotecas de Blocos do Simulink

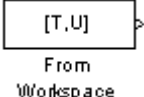


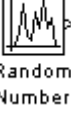

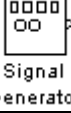


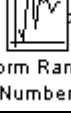
O Simulink organiza seus blocos em bibliotecas de blocos de acordo com a aplicação. A janela do Simulink exibe os ícones e os nomes da biblioteca:

- A biblioteca **Sources** contém blocos que geram sinais.
- A biblioteca **Sinks** contém blocos que exibem ou escrevem os sinais.
- A biblioteca **Discrete** contém blocos que descrevem componentes discretos no tempo.
- A biblioteca **Continuous** contém blocos que descrevem funções lineares.
- A biblioteca **Nonlinear** contém blocos que descrevem funções não-lineares.
- A biblioteca **Math** contém blocos que descrevem funções matemáticas.
- A biblioteca **Functions & Tables** contém blocos que descrevem funções gerais e operações de tabelas.
- A biblioteca **Signal & Systems** contém blocos que permitem multiplexar e demultiplexar, entrada/saída de sinais externos, passar dados a outras partes do modelo, criar subsistemas e executar outras funções.
- As bibliotecas **Blocksets and Toolboxes** contém as bibliotecas de Blocos Suplementares Especializados.
- A biblioteca **Demos** do MATLAB contém demonstrações muito úteis do Simulink.




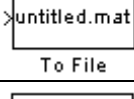
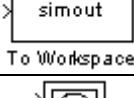

A seguir serão feitos breves comentários a respeito de cada bloco.

### Biblioteca Sources

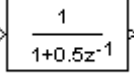
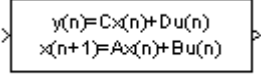

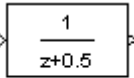
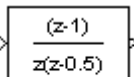



Nome do Bloco	Aplicação
 Band-Limited White Noise	Introduz ruído num sistema contínuo.
 Chirp Signal	Gera uma onda sinusoidal com frequência crescente.
 Clock	Fornece o tempo de simulação.
 Constant	Gera um valor constante.
 Digital Clock	Gera tempo de simulação ao especificar intervalo.
 Discrete Pulse Generator	Gera pulsos em intervalos regulares.
 From File	Lê dados provenientes de um arquivo (Ficheiro)

 From Workspace	Dados provenientes de uma matriz definida no workspace.
 Pulse Generator	Gera pulsos em intervalos regulares.
 Ramp	Gera um sinal constantemente crescente ou decrescente.
 Random Number	Gera números aleatórios normalmente distribuídos.
 Repeating Sequence	Gera um sinal repetitivo arbitrário.
 Signal Generator	Gera várias formas de onda.
 Sine Wave	Gera uma onda sinusoidal.
 Step	Gera uma função degrau.
 Uniform Random Number	Gera números aleatórios uniformemente distribuídos.




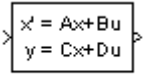
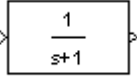
## Biblioteca Sinks



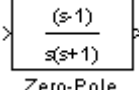
Nome do Bloco	Aplicação
 Display	Mostra o valor do sinal.
 Scope	Exibe sinais gerados durante uma simulação.
 Stop Simulation	Pára a simulação quando o sinal for diferente de zero.
 To File	Escreve os dados da simulação num arquivo (ficheiro).
 To Workspace	Escreve os dados numa matriz no workspace.
 XY Graph	Exibe um gráfico X-Y, que utiliza uma janela de figura do MATLAB.

## Biblioteca Discrete


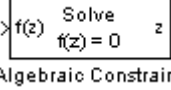





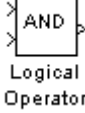



Nome do Bloco	Aplicação
 Discrete Filter	Implementa funções de transferência discretas e filtros.
 Discrete State-Space	Implementa um sistema em espaço de estados discreto.
 Discrete-Time Integrator	Executa uma integração discreta no tempo de um sinal.
 Discrete Transfer Fcn	Implementa uma função de transferência discreta.
 Discrete Zero-Pole	Implementa uma função de transferência discreta especificada em termos de pólos e zeros.
 First-Order Hold	Implementa uma amostragem com aproximação de primeira ordem.
 Unit Delay	Atraso de um período de amostragem da amostra.
 Zero-Order Hold	Aproximação de ordem zero da entrada num período de amostragem da amostra.

## Biblioteca Continuous










Nome do Bloco	Aplicação
 Derivative	Deriva um sinal.
 Integrator	Integra um sinal.
 Memory	Produz o sinal de um tempo anterior.
 State-Space	Implementa um sistema em espaço de estados linear.
 Transfer Fcn	Implementa uma função de transferência linear.

 Transport Delay	Atrasa o sinal por uma determinada quantia de tempo.
 Variable Transport Delay	Atrasa o sinal por uma quantia variável de tempo.
 Zero-Pole	Implementa uma função de transferência especificada em termos de pólos e zeros.

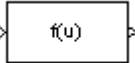
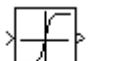

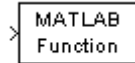
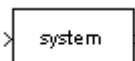
## Biblioteca Math

Nome do Bloco	Aplicação
 Abs	Produz o valor absoluto do sinal.
 Algebraic Constraint	Determina as raízes do sinal.
 Combinatorial Logic	Implementa uma tabela da verdade.
 Complex to Magnitude-Angle	Calcula a fase e a amplitude de um sinal complexo.
 Complex to Real-Imag	Calcula a parte real e imaginária de um sinal complexo.
 Dot Product	Gera o produto escalar.
 Gain	Multiplica o sinal por um determinado valor (ganho).
 Logical Operator	Executa a operação lógica especificada.
 Magnitude-Angle to Complex	Calcula um sinal complexo a partir da amplitude e fase.
 Math Function	Executa uma função matemática.
 Matrix Gain	Multiplica o sinal por uma matriz.












 MinMax	Produz o mínimo ou o máximo do sinal.
 Product	Gera o produto ou quociente de sinais.
 Real-Imag to Complex	Calcula um sinal complexo a partir da parte real e imaginária.
 Relational Operator	Executa a operação especificada.
 Rounding Function	Executa uma função de arredondamento.
 Sign	Indica se o sinal é positivo ou negativo.
 Slider Gain	Ganho variável.
 (Soma)	Efectua a soma de sinais.
 Trigonometric Function	Executa uma função trigonométrica.




## Biblioteca Functions & Tables



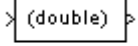



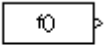






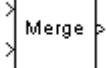
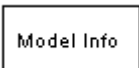


Nome do Bloco	Aplicação
 Fcn	Aplica uma expressão especificada à entrada.
 Look-Up Table	Executa uma interpolação linear da entrada.
 Look-Up Table (2-D)	Executa uma interpolação linear de duas entradas.
 MATLAB Fcn	Aplica uma função do MATLAB ou expressão à entrada.
 S-Function	Permite o acesso a uma S-function.

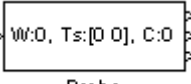




## Biblioteca Nonlinear

Nome do Bloco	Aplicação
 Backlash	Modela o comportamento de um sistema com o decorrer da simulação.
 Coulomb & Viscous Friction	Modelo descontínuo em zero e com ganho linear para os demais valores.
 Dead Zone	Fornece uma zona de saída a zero.
 Manual Switch	Troca a saída entre duas entrada, manualmente.
 Multiport Switch	Escolhe entre as entradas.
 Quantizer	Discretiza um sinal num intervalo especificado.
 Rate Limiter	Limita a taxa de variação de um sinal.
 Relay	Varia a saída entre dois níveis (relé).
 Saturation	Limita a amplitude de um sinal (saturação).
 Switch	Troca entre duas entradas.

## Biblioteca Signals & Systems

Nome do Bloco	Aplicação
 Selector	Seleciona os sinais da entrada.
 Configurable Subsystem	Representa um dado bloco seleccionado de uma biblioteca especificada.
 Data Store Memory	Define um armazenamento de dados partilhado.

 Data Store Read	Dados originados de um Data Store Memory.
 Data Store Write	Escreve dados num Data Store Memory.
 Data Type Conversion	Converte um sinal num outro tipo de dados.
 (Demux)	Separa um sinal vectorial em sinais escalares.
 Enable	Acrescenta uma porta de habilitação a um subsistema.
 From	Recebe a entrada de um bloco de Goto.
 Function-Call Generator	Executa a função de chamada de um subsistema a uma determinada taxa.
 Goto	Passa a entrada para o bloco From.
 Goto Tag Visibility	Define o alcance de um bloco de Goto.
 Ground	Saída nula.
 Hit Crossing	Descobre o ponto de cruzamento.
 IC	Fixa o valor inicial de um sinal.
 In1	Cria uma porta de entrada para um subsistema ou uma entrada externa.
 Merge	Combina várias linhas de entrada numa linha de escalar.
	Exibe informações de um modelo.
 (Mux)	Combina várias linhas de entrada numa linha de vector.
 Out1	Cria uma porta de saída para um subsistema ou uma saída externa.

 Probe	Produz a largura de um sinal de entrada, o tempo de amostra, e/ou o tipo notável.
 SubSystem	Representa um sistema dentro de outro sistema (sub-sistema).
 Terminator	Termina um sinal que não esteja conectado.
 Trigger	Acrescenta uma porta de gatilho a um subsistema.
 Width	Produz a largura do vector de entrada.

## Blocos Virtuais

Ao criar modelos, é preciso estar atento ao facto de os blocos do Simulink serem de duas categorias básicas: **os blocos virtuais e os não-virtuais**. Os blocos não-virtuais têm um papel activo na simulação de um sistema. Se adicionar ou remover um bloco não-virtual, muda o comportamento do modelo. Os blocos virtuais, por outro lado, não têm nenhum papel activo na simulação. Simplesmente, ajudam a organizar um modelo graficamente. Alguns blocos do Simulink podem ser virtuais nalgumas circunstâncias e não-virtuais noutras. Tais blocos são chamados de blocos condicionalmente virtuais. A tabela seguinte lista os blocos virtuais e condicionalmente virtuais do Simulink.

Blocos Virtuais	
Nome do Bloco	Condição na qual o bloco será virtual
Bus Selector	Sempre virtual.
Data Store Memory	Sempre virtual.
Demux	Sempre virtual.
Enable Port	Sempre virtual.
From	Sempre virtual.
Goto	Sempre virtual.
Goto Tag Visibility	Sempre virtual.
Ground	Sempre virtual.
Inport	Sempre virtual <i>a menos que</i> o bloco esteja num subsistema condicionalmente executado <i>e</i> tenha uma conexão directa com um bloco <b>outport</b> .
Mux	Sempre virtual.
Outport	Virtual se o bloco reside dentro de algum subsistema (condicional ou não), e não reside na raiz (nível mais alto).

Selector	Sempre virtual.
Subsystem	Virtual se o bloco for condicionalmente executado.
Terminator	Sempre virtual.
Test Point	Sempre virtual.
Trigger Port	Virtual se o bloco output não está presente.

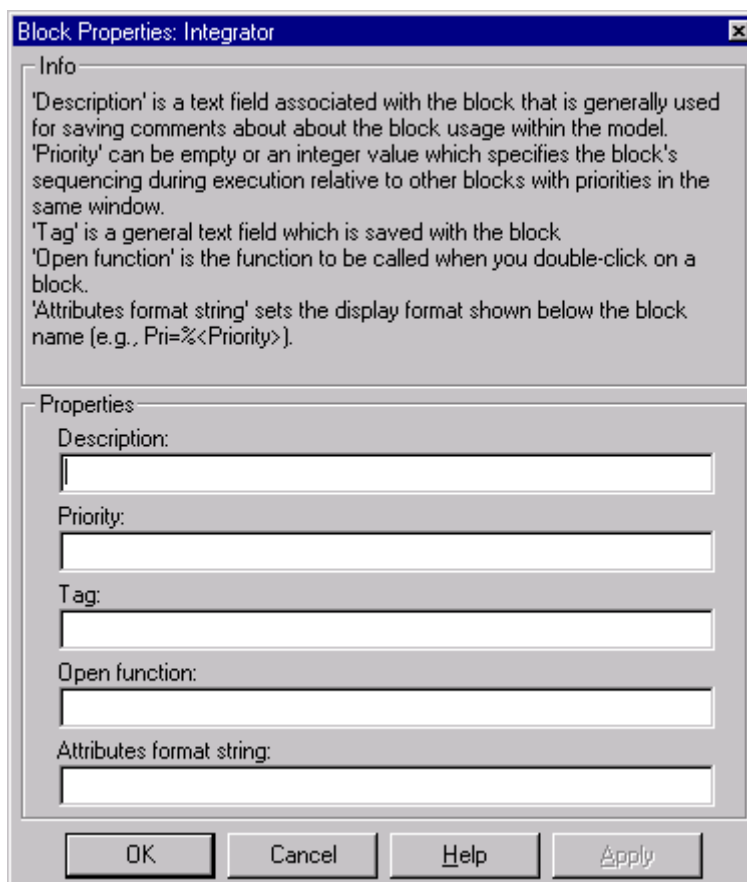
## Especificar os Parâmetros dos Blocos

A interface do Simulink permite nomear os valores dos parâmetros dos blocos. Alguns parâmetros são comuns a todos os blocos. Use a caixa de diálogo **Block Properties** para fixar estes parâmetros. Para exibir a caixa de diálogo, selecione o bloco cujas propriedades quer fixar. Seguidamente, selecione a opção **Properties** do menu **Edit** do Simulink.

Alguns parâmetros são específicos de blocos particulares. Use a caixa de diálogo **Specific-Block Parameter** de um bloco para fixar estes parâmetros. Clique duas vezes no bloco para abrir a sua caixa de diálogo. Pode aceitar os valores exibidos ou então pode mudá-los. Também pode usar o comando **set\_param** para mudar os parâmetros dos blocos.

## Caixa de Diálogo de Block Properties

A caixa de diálogo **Block Properties** permite que selecione alguns dos parâmetros comuns.



A caixa de diálogo contém os seguintes campos:

### ***Description***

Breve descrição da finalidade do bloco.

### ***Priority***

Prioridade de execução deste bloco em relação aos outros blocos do modelo.

### ***Tag***

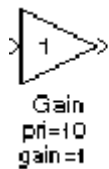
Um campo de texto geral que é gravado com o bloco.

### ***Open function***

MATLAB (m-) function a ser chamada quando o utilizador abrir este bloco.

### ***Attributes format string***

Valor actual do parâmetro **AttributesFormatString** do bloco. Este parâmetro especifica quais os parâmetros a mostrar próximo do ícone do bloco. Os **attributes format string** podem ser algum **string** com nome de parâmetros embutidos. Um nome de parâmetro embutido é o nome de um parâmetro precedido por %< e seguido por >, por exemplo, %<priority>. O Simulink mostra os attributes format string próximo do ícone do bloco, substituindo cada nome de parâmetros pelos correspondentes valores dos parâmetros. Pode usar os caracteres de linhas (\n) para mostrar cada parâmetro em linhas separadas. Por exemplo, especificando os attributes format string `pri=%<priority>\ngain=%<Gain>` para o bloco Gain, este irá mostrar:



Se o valor de um parâmetro não for um string ou um inteiro, o Simulink exibe **N/S (not supported)** para o valor desse parâmetro.

## Exemplos

### Exemplo 1: Sistema Mecânico Massa-Mola

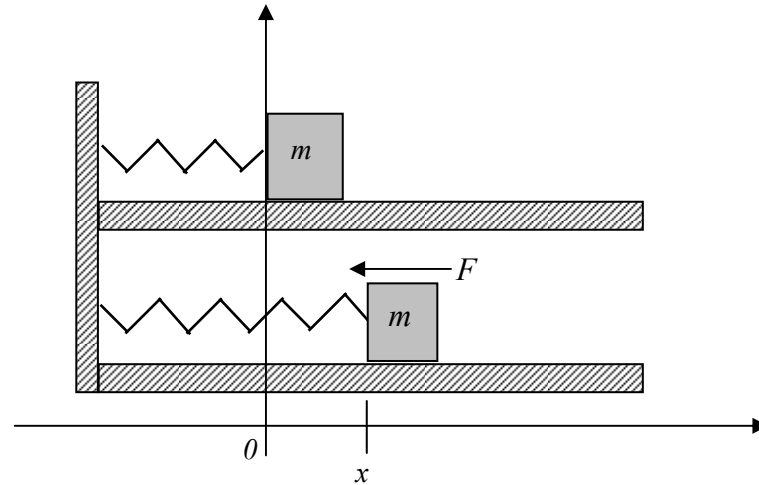


Fig.1: Representação do Sistema mecânico Massa-Mola

Equações básicas da Física:

$$\text{Aceleração: } a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (10.4)$$

$$\text{Velocidade: } v = \frac{dx}{dt} = \int a dt \quad (10.5)$$

$$\text{Deslocamento: } x = \int v dt \quad (10.6)$$

Equações básicas do sistema massa-mola:

$$\text{Força: } F = -kx = ma \quad \therefore \quad kx = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad \therefore \quad a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x \quad (10.7)$$

$$\text{Energia potencial: } E_p = \frac{1}{2}kx^2 \quad (10.8)$$

$$\text{Energia cinética: } E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (10.9)$$

Verifica-se da análise às equações acima indicadas, que no sistema massa-mola, a aceleração é directamente proporcional ao deslocamento 'x'. O factor de proporcionalidade é a constante '-k/m'. Esta é a informação inicial para começar a construir o modelo dado pela equação (10.7).

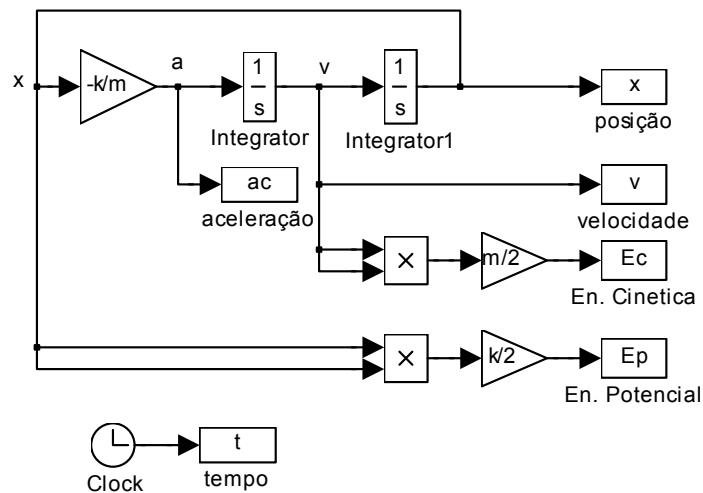


Fig. 2: Modelo do Simulink para o Sistema Massa-Mola

Para efectuar a simulação do sistema, é necessário fornecer um valor inicial para um dos dois blocos de integração. Essa informação será, neste caso, o limite para a variável de saída. Por exemplo, desejando-se limitar o deslocamento 'x' entre os valores -20 cm (-0.2 m) e 20 cm, fixa-se em **0.2** o valor inicial do segunda integral. Uma outra informação fundamental é o valor da constante de proporcionalidade 'k' e o valor da massa 'm'. Esses valores podem ser introduzidos directamente na 'prompt' (área de trabalho do MATLAB), conforme mostrado a seguir:

```
» k = 700;    %unidades: N/m
» m = 0.5;    %unidades: Kg
```

As figuras seguintes foram obtidas através da simulação do modelo dado pela equação (10.7).

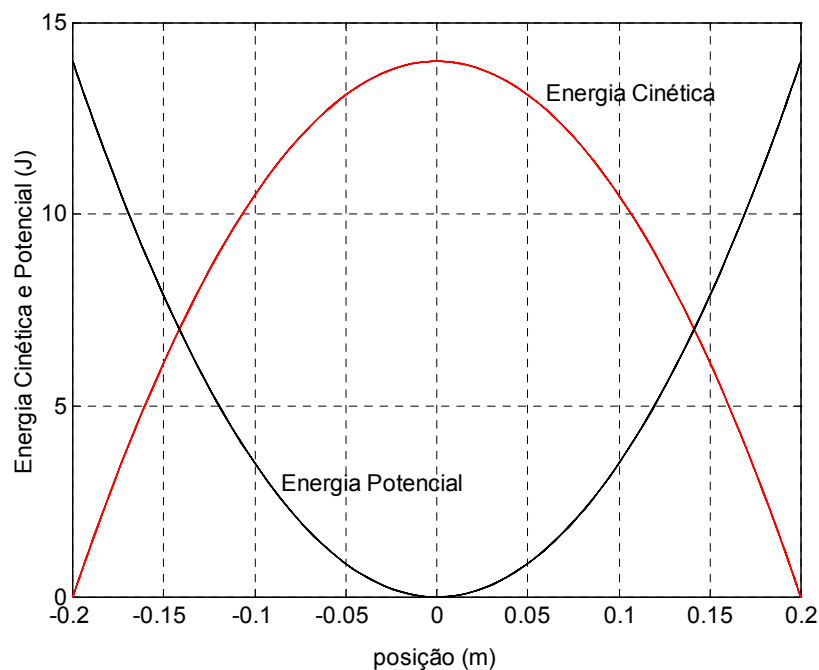


Fig.3: Energia Cinética e Potencial *versus* Deslocamento



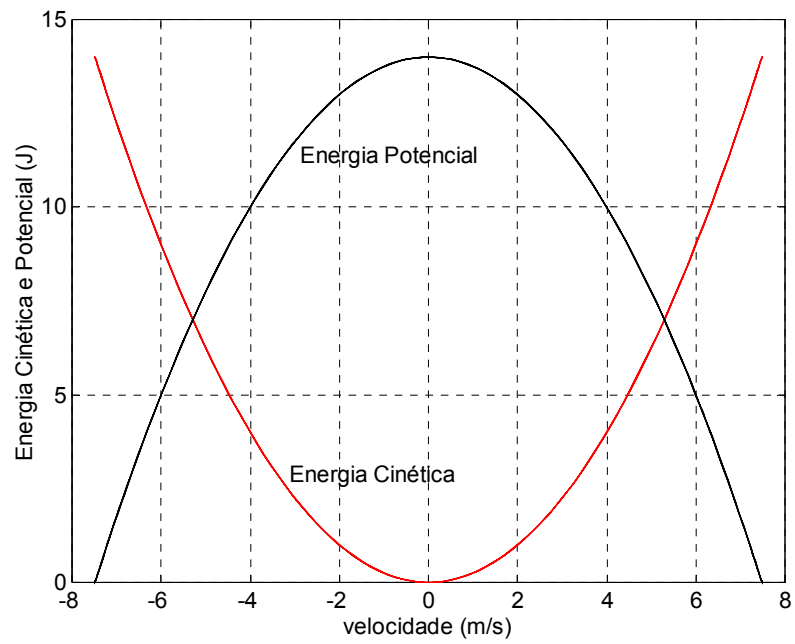


Fig.4: Energia Cinética e Potencial *versus* Velocidade

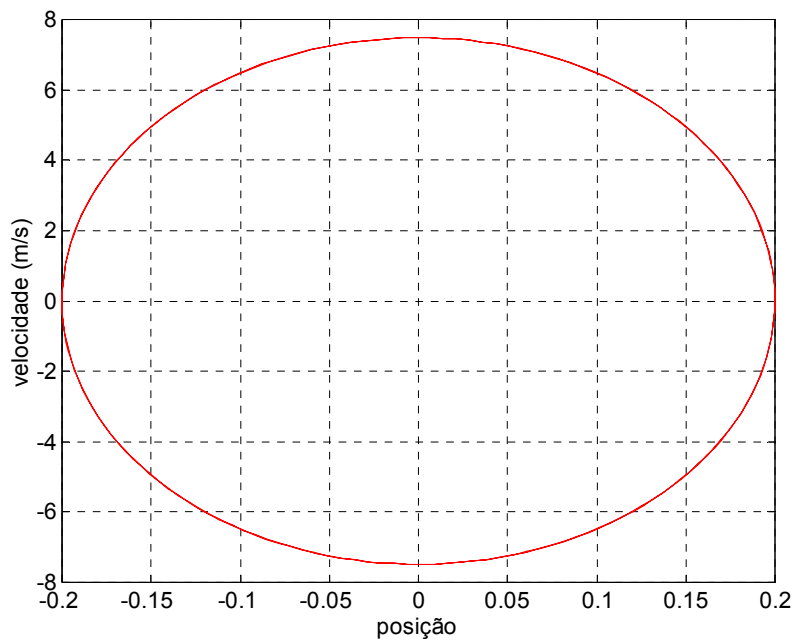


Fig.5: Velocidade *versus* Deslocamento

## Exemplo 2: Circuito RC Série

Considere o circuito elétrico da Fig. 10.11, que possui um resistência  $R$  e um condensador  $C$  em série, alimentados por uma fonte constante ( $E$ ). O condensador possui uma tensão inicial  $v(0) = 10\text{ V}$  e deseja-se obter a resposta  $v(t) \times t$  para  $t \geq 0$ .

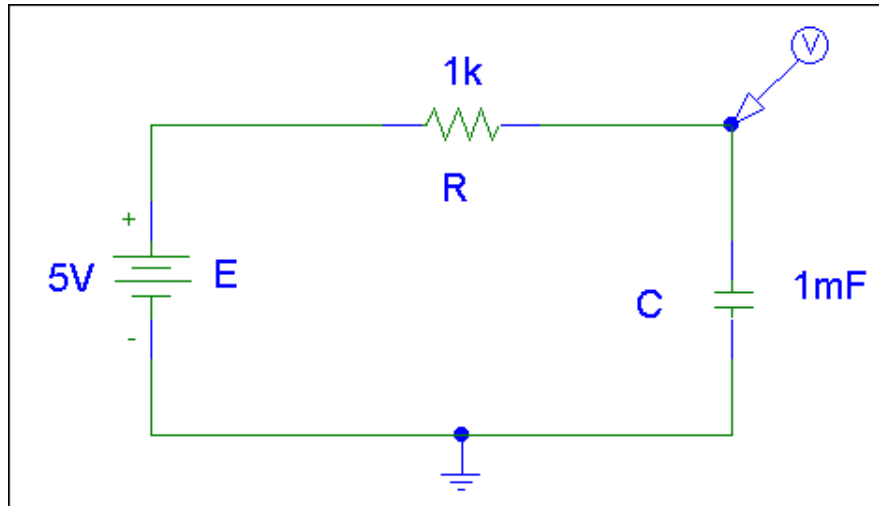


Fig.6: Circuito elétrico RC série com uma fonte de tensão contínua.

## Modelo Matemático do Circuito

A modelação matemática do circuito é obtida por aplicação da 2ª Lei de Kirchhoff ao percurso fechado, e usando a forma genérica  $e$ , para expressar a tensão:

$$e - v_R - v = 0$$

Por outro lado, sabemos relacionar a tensão na resistência e a tensão no condensador com a corrente que os atravessam,  $i(t)$ :

$$v_R = Ri(t) \\ i(t) = C \frac{dv}{dt} \quad \therefore \quad e - Ri(t) - v = 0 \quad \text{ou} \quad e - RC \frac{dv}{dt} - v = 0$$

Assim, a equação diferencial geral fica:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{RC}v = \frac{1}{RC}e$$

Substituindo os valores de  $R = 1\text{k}\Omega$  e  $C = 1\text{mF}$  e  $e = E = 5\text{V}$  na equação acima, resulta na seguinte equação:

$$\frac{dv}{dt} + v = 5$$

$$\text{onde : } v(0) = 10$$

## Solução do Circuito Utilizando o Simulink

Para utilizar o **Simulink** devemos expressar a equação diferencial da seguinte forma:

$$v = \frac{1}{RC} \int (e - v) dt \quad (10.11)$$

A expressão acima é conseguida facilmente isolando apenas o termo  $dv/dt$  e aplicando depois a integração (que é a operação inversa da derivação). Essa forma é ideal para a simulação usando o **Simulink**. Constrói-se então o modelo representado na Figura 7.

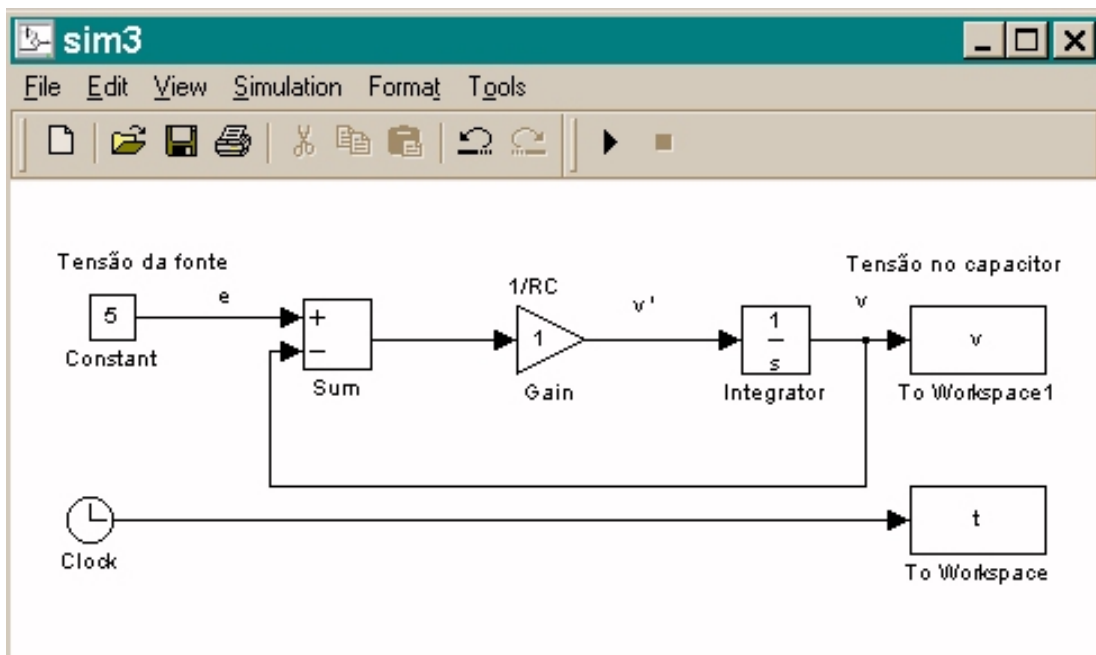


Fig.7: Diagrama de blocos do Simulink para o Circuito eléctrico da eq.10.11.

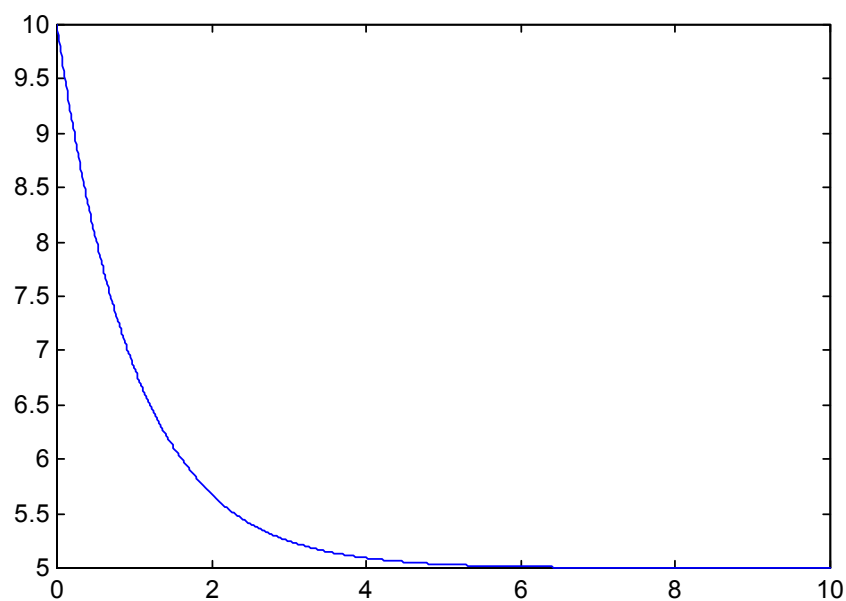


Fig.8: Saída gráfica  $v(t) \times t$  para  $t \geq 0$  para o Circuito eléctrico RC.

### Exemplo 3: Sistema de controlo contínuo em anel fechado

Considere o seguinte diagrama de blocos no **Simulink** de um sistema de controlo em anel fechado (nível de água). Neste caso, é utilizado um controlador proporcional ( $K_p$ ), o ganho do actuador (válvula) e a função de transferência do sistema fluídico (tanque):

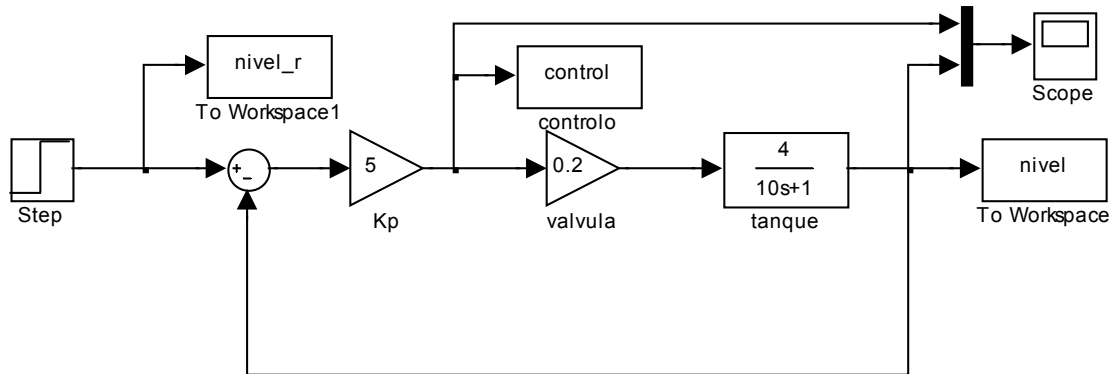


Fig.9

Os gráficos obtidos através do Matlab/Simulink, para  $K_p=5$  (azul),  $K_p=7.5$  (vermelho) e  $K_p=10$  (verde), estão representados na Fig.10. Verifica-se que o erro em regime estacionário vai diminuindo à medida que o  $K_p$  vai aumentando, como seria de esperar. No entanto, irá existir sempre um erro residual, que só poderá ser removido através da introdução de acção integral (NOTA: Para mais detalhes, ver apontamentos dos Capítulo 9 das folhas da disciplina).

#### Notas:

O tempo de simulação utilizado foi de 20 segundos.

Para fornecer o sinal de entrada ao sistema foi utilizado o bloco **Step**, que gera uma entrada degrau (neste caso unitário).

Para obter os dados de simulação, foi utilizado um Scope e a opção de escrever os dados numa matriz do workspace (Bloco **To Workspace**).

Exemplo de comandos do Matlab para gerar os gráficos de simulação:

```
plot(tout,nivel_r,tout,nivel,'g'),grid,xlabel('tempo[s]'),ylabel('h[m]')
```

Gráficos da saída controlada (nível do tanque) para  $K_p=5$  (azul), 7.5 (vermelho) e 10 (verde).

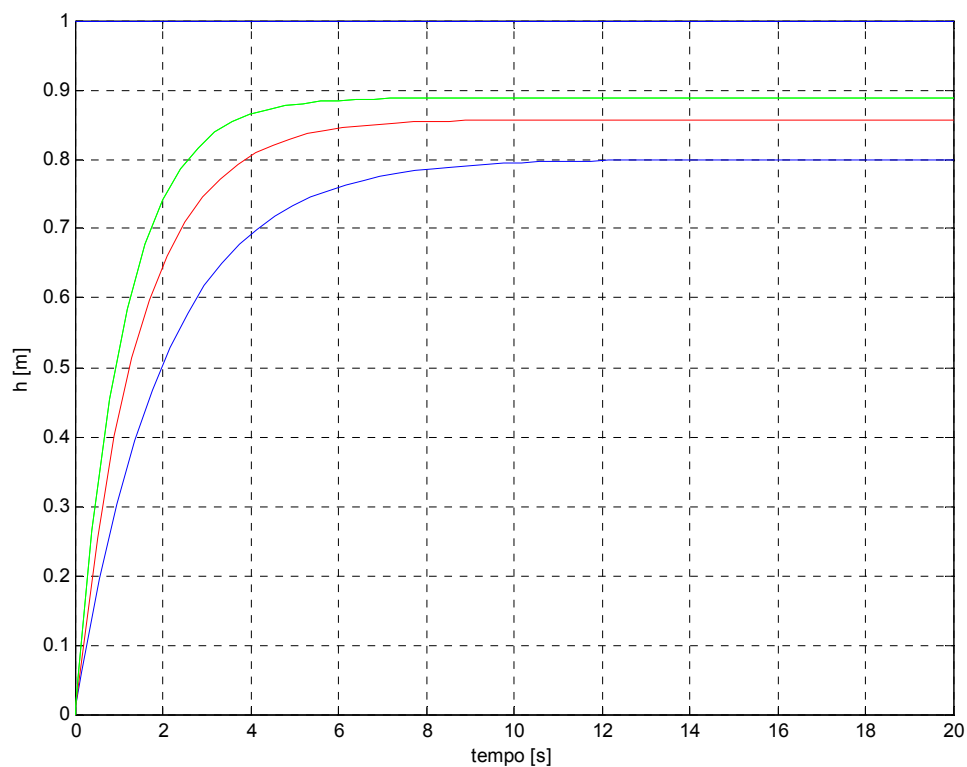


Fig.10

Gráficos da acção de controlo para  $K_p=5$  (azul), 7.5 (vermelho) e 10 (verde).

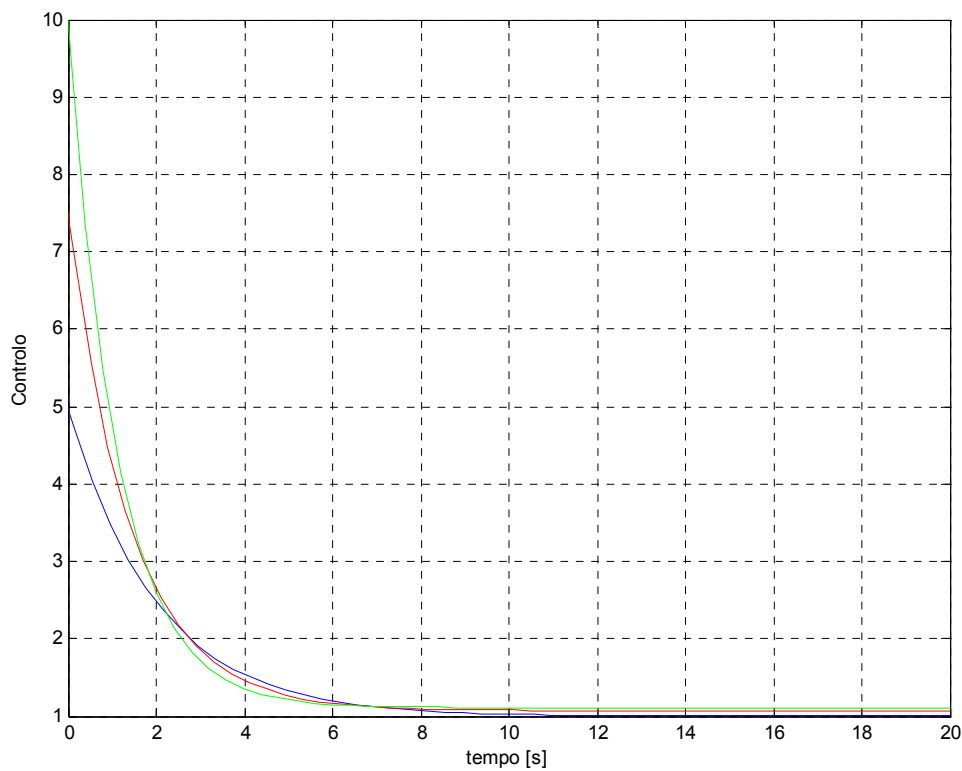


Fig.11