

... **Coleção UAB–UFSCar**

..... **Tecnologia Sucrialcooleira**

· **Wu Hong Kwong**

· **Introdução ao Scilab/Scicos**

Introdução ao Scilab/Scicos

**Reitor**

Targino de Araújo Filho

Vice-Reitor

Adilson J. A. de Oliveira

Pró-Reitora de Graduação

Claudia Raimundo Reyes

**Secretária de Educação a Distância - SEaD**

Aline M. de M. R. Reali

Coordenação SEaD-UFSCar

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

Glauber Lúcio Alves Santiago

Joice Otsuka

Marcia Rozenfeld G. de Oliveira

Sandra Abib

Vânia Paula de Almeida Neris

Coordenação UAB-UFSCar

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

**Coordenador do Curso de
Tecnologia Sucrialcooleira**

Gilberto Miller Devós Ganga

UAB-UFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8420

www.uab.ufscar.br

uab@ufscar.br



EdUFSCar

Conselho Editorial

José Eduardo dos Santos

José Renato Coury

Nivaldo Nale

Paulo Reali Nunes

Oswaldo Mário Serra Truzzi (Presidente)

Secretária Executiva

Fernanda do Nascimento

Diretor da EdUFSCar

Oswaldo Mário Serra Truzzi

EdUFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8137

www.editora.ufscar.br

edufscar@ufscar.br

Wu Hong Kwong

Introdução ao Scilab/Scicos

São Carlos



EdUFSCar

2013

© 2013, Wu Hong Kwong

Concepção Pedagógica

Daniel Mill

Supervisão

Douglas Henrique Perez Pino

Equipe de Revisão Linguística

Clarissa Galvão Bengtson

Daniel William Ferreira de Camargo

Gabriela Aniceto

Letícia Moreira Clares

Sara Naime Vidal Vital

Equipe de Editoração Eletrônica

Izis Cavalcanti

Equipe de Ilustração

Maria Julia Barbieri Mantoanelli

Capa e Projeto Gráfico

Luís Gustavo Sousa Sguissardi

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária da UFSCar

W959i	Wu, Hong Kwong. Introdução ao Scilab/Scicos / Wu Hong Kwong. -- São Carlos : EdUFSCar, 2010. 63 p. -- (Coleção UAB-UFSCar). ISBN – 978-85-7600-216-1 1. Modelagem computacional e simulação. 2. Simulação por computador. 3. Software. 4. Dinâmica de processos. 5. Controle de processos. I. Título. CDD – 003.3 (20 ^a) CDU – 681.3
-------	--

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida por qualquer forma e/ou quaisquer meios (eletrônicos ou mecânicos, incluindo fotocópia e gravação) ou arquivada em qualquer sistema de banco de dados sem permissão escrita do titular do direito autoral.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
1 Primeiras palavras	9
2 Problematizando o tema	9
3 Mãos à obra	10
4 Criar um modelo no qual um osciloscópio exibirá um sinal senoidal ...	20
5 Parâmetros de blocos	24
6 Descrição dos principais blocos usados	25
7 <i>Bungee jumping</i>	37
8 Superblocos	45
9 Sistema de nível líquido	45
10 Reator descontínuo com cinética de 1 ^a ordem	52
11 Reator bioquímico	56
12 Considerações finais	59
13 Estudos complementares	60
REFERÊNCIAS	61

APRESENTAÇÃO

O objetivo deste texto é apresentar o utilitário Scicos (*Scilab Connected Object Simulator*), do pacote de aplicativos científicos numéricos Scilab (*Scientific Laboratory*), na análise e simulação de sistemas dinâmicos, com ênfase especial na simulação de sistemas de controle, pois permite uma rápida construção e simulação de diagramas de blocos. O Scilab é um *software* livre projetado para uso científico e possui também excelente capacidade lógica, portanto, é bastante adequado para ser usado em simulações numéricas. O Scicos permite simular facilmente sistemas de equações diferenciais ordinárias lineares e não lineares, pois usa uma interface gráfica de blocos arrastáveis para a construção do modelo matemático em diagrama de blocos de um processo ou de um sistema de controle. Os blocos representam possíveis entradas do sistema, partes dele ou saídas desse sistema.

Espera-se que o leitor tenha uma boa aprendizagem e, ao final deste livro, seja capaz de construir e simular representações em diagrama de blocos de sistemas dinâmicos.

1 Primeiras palavras

A utilização de aplicativos computacionais para a realização de simulações é uma tendência que pode ser observada nos currículos de engenharia para dar ênfase a um ensino mais prático.

O Scilab foi desenvolvido desde 1990 pelo instituto de pesquisa francês INRIA (*Institut National de Recherche en Informatique*), com colaboração posterior da escola de engenharia ENPC (*École Nationale des Ponts et Chaussées*). Desde 2003 é mantido pelo Scilab Consortium.

A utilização do Scilab se dá internacionalmente nos ambientes acadêmicos e industriais, sendo, portanto, uma plataforma em constante atualização e aperfeiçoamento.¹

2 Problematizando o tema

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos de um processo simples, composto por uma entrada e uma saída.



Figura 1 Diagrama de blocos de um processo simples.

A simulação desse processo consiste em determinar a saída, uma vez conhecidos o processo e a entrada.

O Scicos usa uma interface gráfica para fazer as simulações de processos, simplesmente conectando os blocos necessários para construir o diagrama. Scicos permite ao usuário simular com facilidade sistemas de equações diferenciais ordinárias lineares e não lineares. Os blocos estão organizados em grupos (palletes) específicos, como os grupos Sources, Sinks, Linear, Nonlinear, Events, entre outros. O Scicos possibilita ainda simular modelos em que os componentes em tempo contínuo, tempo discreto e os orientados por eventos sejam interconectados. Inicia-se um novo período: tais modelos são denominados sistemas híbridos.

¹ O Scilab está disponível para *download* no endereço: <<http://www.scilab.org>>. Informações adicionais estão disponíveis em: <<http://www-rocq.inria.fr/scicos/>>.

3 Mãos à obra

A forma mais simples de aprender a usar o Scicos é implementar cada etapa do tutorial em vez de o ler. Assim, é recomendável que se faça a leitura desse tutorial com o Scicos aberto e em execução, para que o leitor possa ir lendo e praticando ao mesmo tempo. Para acionar o Scicos, abra o Scilab e digite o comando `scicos` (conforme a Figura 2).

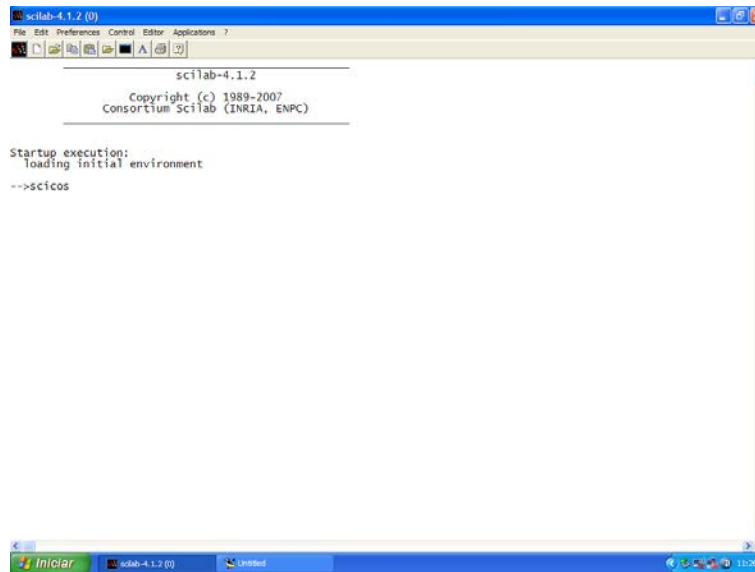


Figura 2 Abrindo o Scicos.

Pressione a tecla Enter. O aplicativo Scicos será iniciado. A Figura 3 mostra a janela principal do editor Scicos, ou janela do modelo.

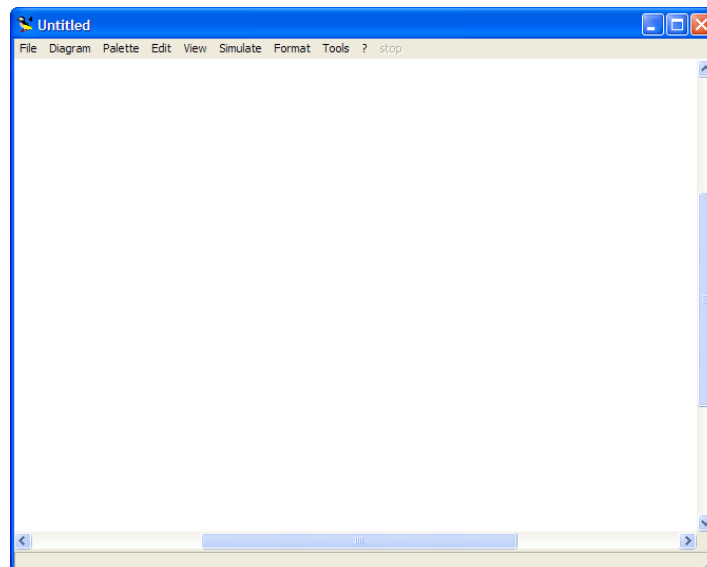


Figura 3 Janela principal do Scicos.

Para efetuar a construção do diagrama, é necessário exibir a paleta dos blocos. Para isso, acesse o menu Palette. Essa operação abre uma caixa de diálogo que inclui a lista de paletas disponíveis (Figura 4).

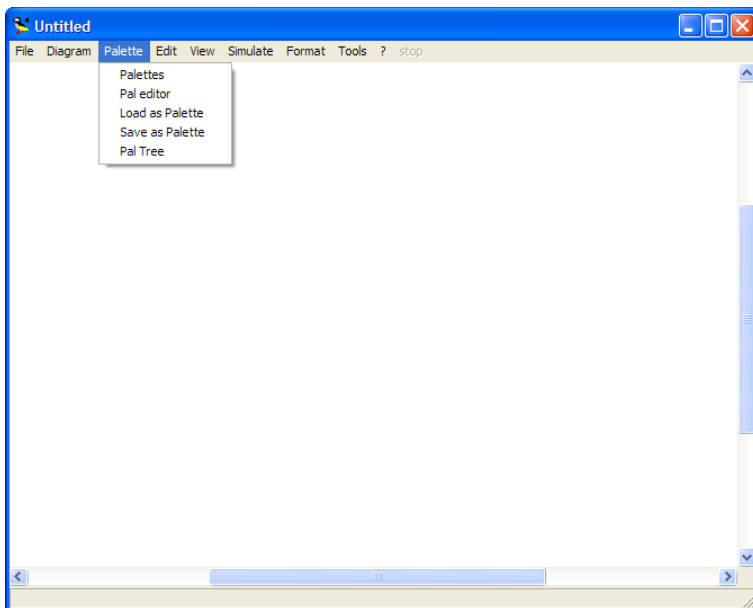


Figura 4 Caixa de diálogo do menu Palette.

Selecionando Pal Tree nessa lista, uma nova janela Scicos será aberta mostrando a árvore de paletas, conforme a Figura 5.

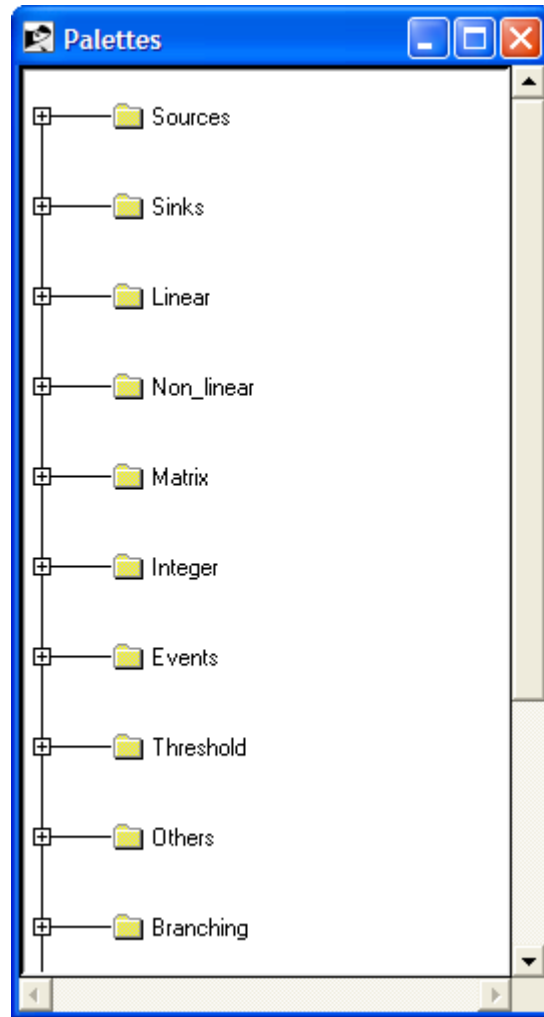


Figura 5 Janela de paletas.

Para acessar os blocos de uma paleta, clique no símbolo [+], correspondente à paleta, e ela será expandida. Por exemplo, clicando no símbolo [+], correspondente à paleta Sources (geradores de sinais), ela será expandida mostrando os blocos disponíveis nessa paleta (Figura 6).

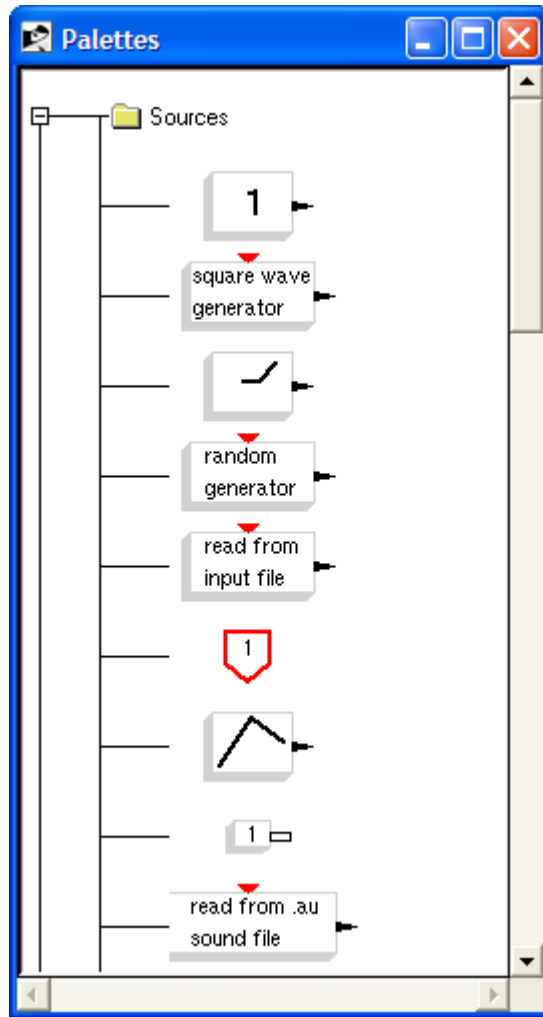


Figura 6 Paleta expandida.

Os blocos dessa paleta podem ser copiados para a janela principal do Scicos clicando sobre o bloco desejado e, então, clique no local onde o bloco será copiado dentro dela, ou arraste-o para dentro da janela principal. Outra maneira de acessar os blocos de uma paleta é selecionar a paleta na lista, e uma nova janela Scicos será aberta. Por exemplo, clicando na paleta Sources, uma nova janela aparecerá (Figura 7), mostrando os blocos disponíveis nesta paleta. A paleta Sources agrupa os blocos que geram sinais/dados.

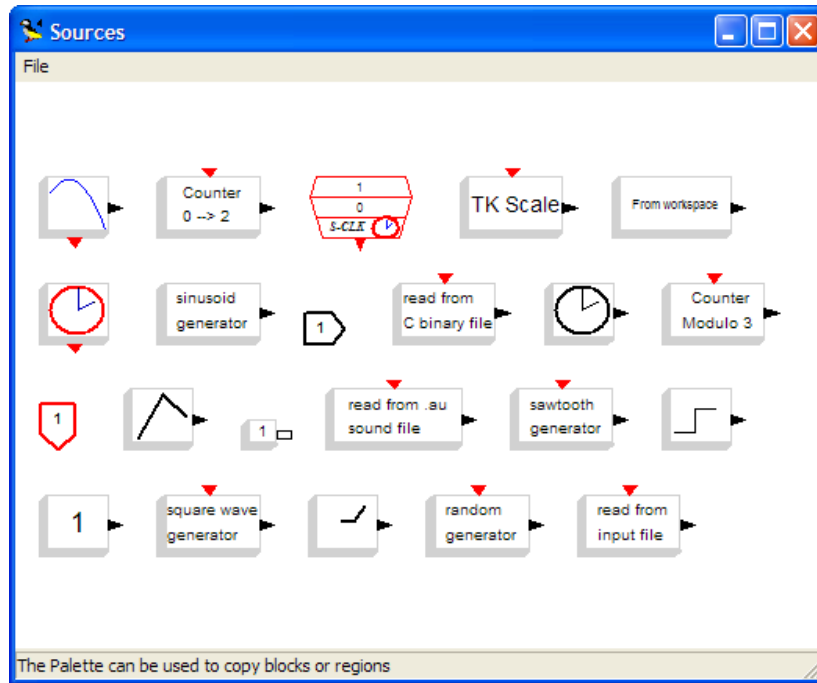


Figura 7 Blocos na paleta Sources.

Nos blocos, as entradas e saídas de sinais são indicadas por [>].

Dois blocos dessa paleta que serão muito usados na análise de sistemas de controle são:



Figura 8 Bloco Step function (degrau).



Figura 9 Bloco Const (constante).

As paletas mais usadas para a simulação de sistemas de controle, além da paleta Sources, são: Sinks, Linear, Nonlinear, Events e Branching, apresentadas nas Figuras 10, 12, 18, 20 e 22.

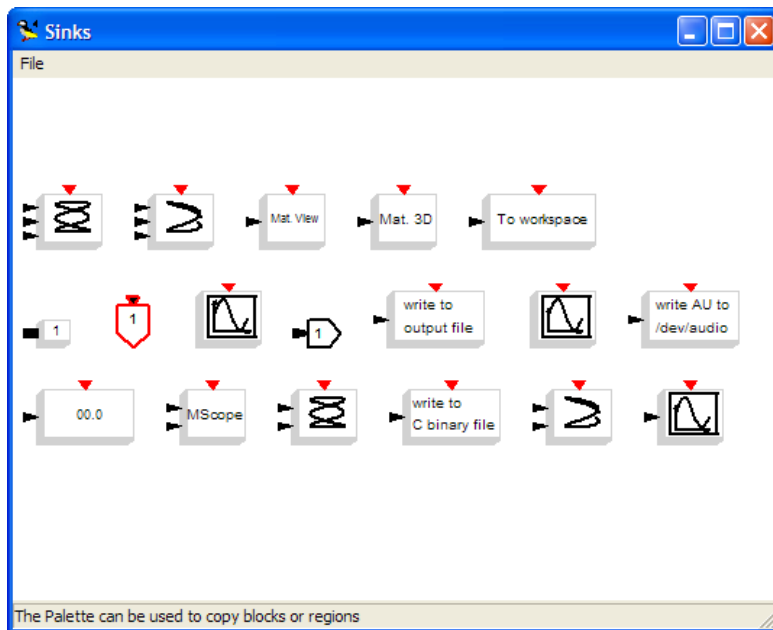


Figura 10 Blocos na paleta Sinks.

A paleta Sinks agrupa os blocos que recebem sinais/dados. Entre os blocos, um muito usado será o da Figura 11.

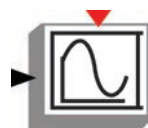


Figura 11 Bloco Scope (osciloscópio).

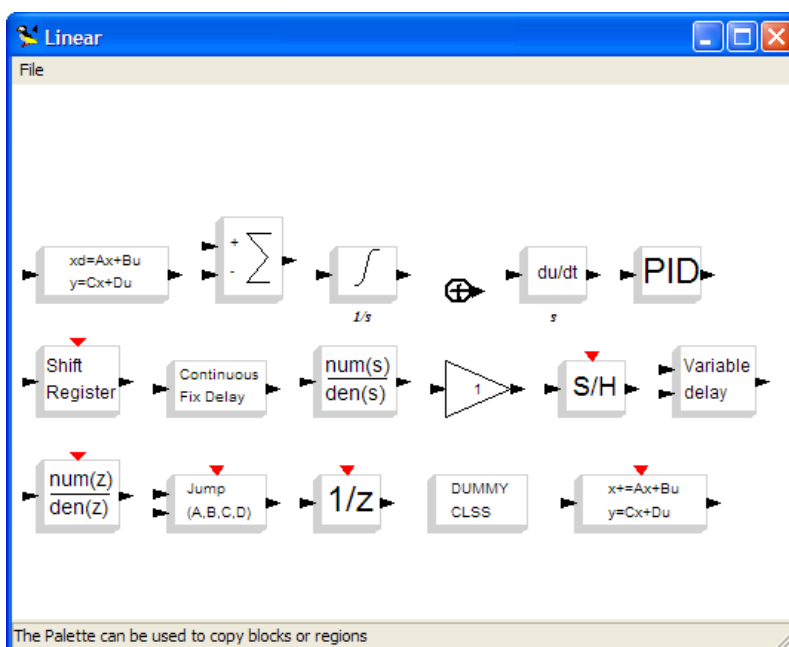


Figura 12 Blocos na paleta Linear.

A paleta Linear agrupa blocos usados em simulações de sistemas lineares.

Para simulações de sistemas contínuos com modelos na forma de função de transferência, representação usada em controle de sistemas, os blocos mais usados são:

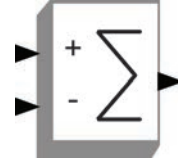


Figura 13 Bloco Summation (somatório).



Figura 14 Bloco PID (controlador PID).



Figura 15 Bloco Time delay ("tempo morto").

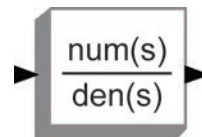


Figura 16 Bloco CLR (função de transferência).

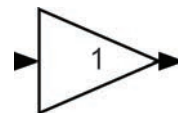


Figura 17 Bloco Gainblk (ganho).

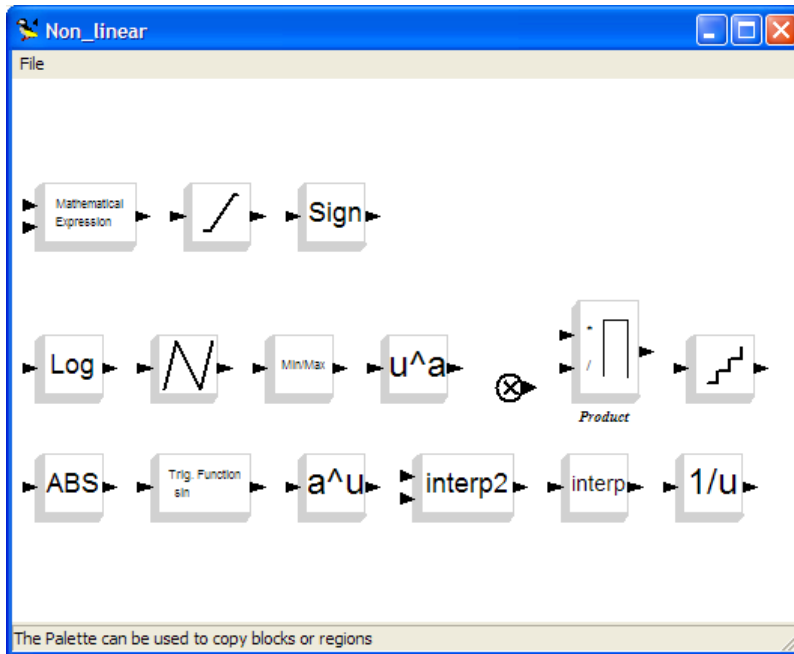


Figura 18 Blocos na paleta Nonlinear.

A paleta não linear agrupa blocos usados em simulações de sistemas não lineares, entre eles, um dos mais usados está representado na Figura 19.



Figura 19 Bloco Saturation (saturação).

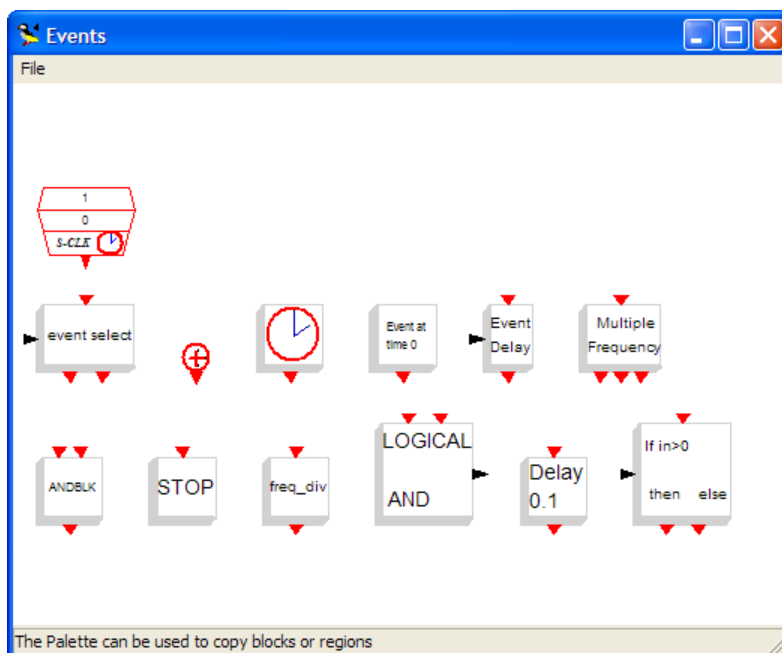


Figura 20 Blocos na paleta Events.

Nessa paleta, o bloco seguinte será muito útil:



Figura 21 Bloco Clock (relógio).

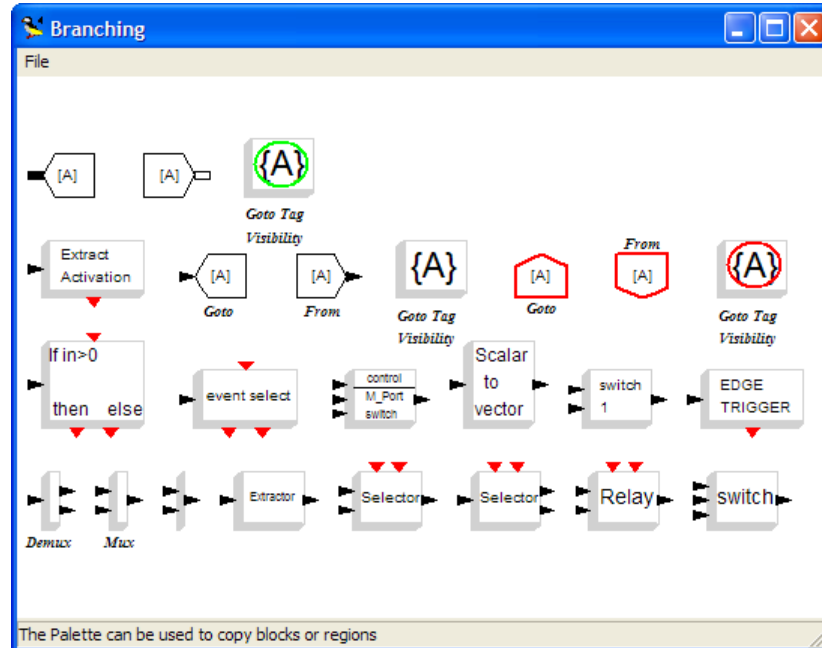


Figura 22 Blocos na paleta Branching.

Nessa paleta, o bloco representado na Figura 23 será muito útil.



Figura 23 Bloco Mux (multiplexador).

O Scicos possui textos de ajuda dos blocos. Para exibir o Help do bloco, posicione o ponteiro sobre o bloco e clique no botão direito do mouse. Por exemplo, para o bloco “função de transferência”, tem-se o seguinte:

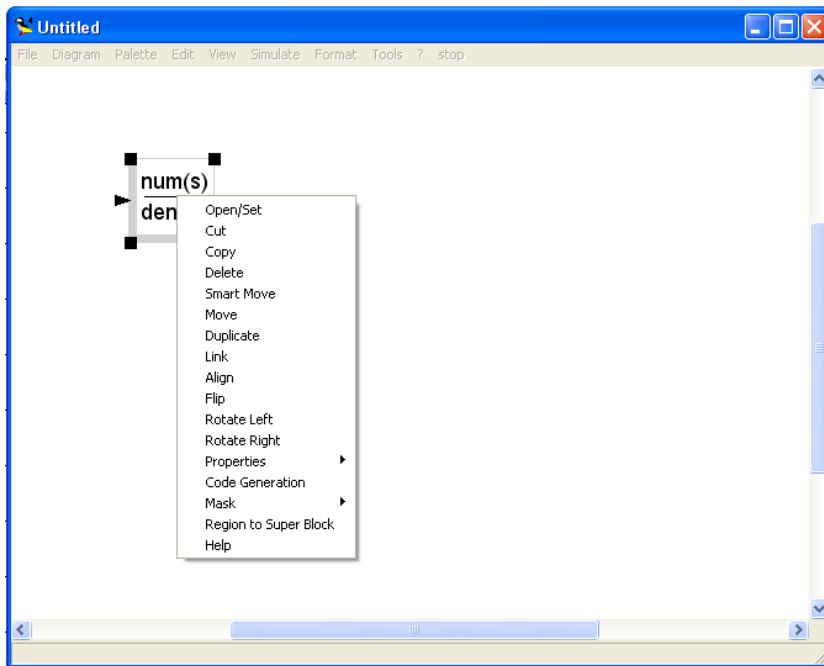


Figura 24 Barra de ferramentas do bloco CLR.

Em seguida, escolha a opção help e a janela de ajuda será exibida, trazendo uma explicação sobre o bloco.

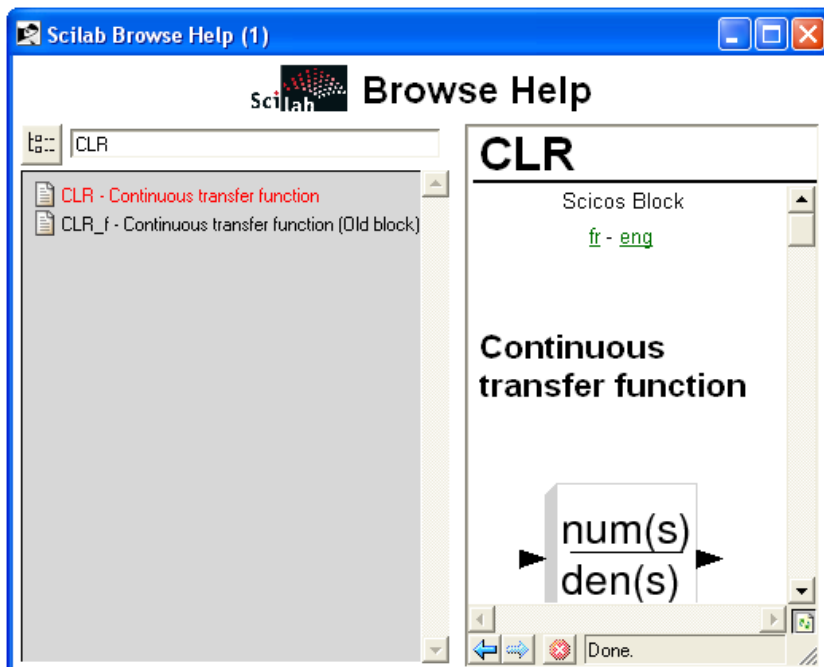


Figura 25 Janela de ajuda do bloco CLR.

4 Criar um modelo no qual um osciloscópio exibirá um sinal senoidal

Agora o leitor irá aprender passo a passo como criar e simular um modelo no qual é gerado um sinal senoidal e mostrado em um osciloscópio.

- **Passo 1:** Iniciar um modelo.

Abra uma janela vazia para um novo modelo, acionando a opção New do menu File. Expanda a biblioteca do Scicos.

- **Passo 2:** Inserir bloco do osciloscópio no modelo.

Localize o item Sinks. Na lista de blocos, localize o bloco Scope que representa um osciloscópio, ou seja, que recebe um sinal e exibe o gráfico correspondente na tela. Clique e arraste o bloco para dentro da janela do modelo (Figura 26).

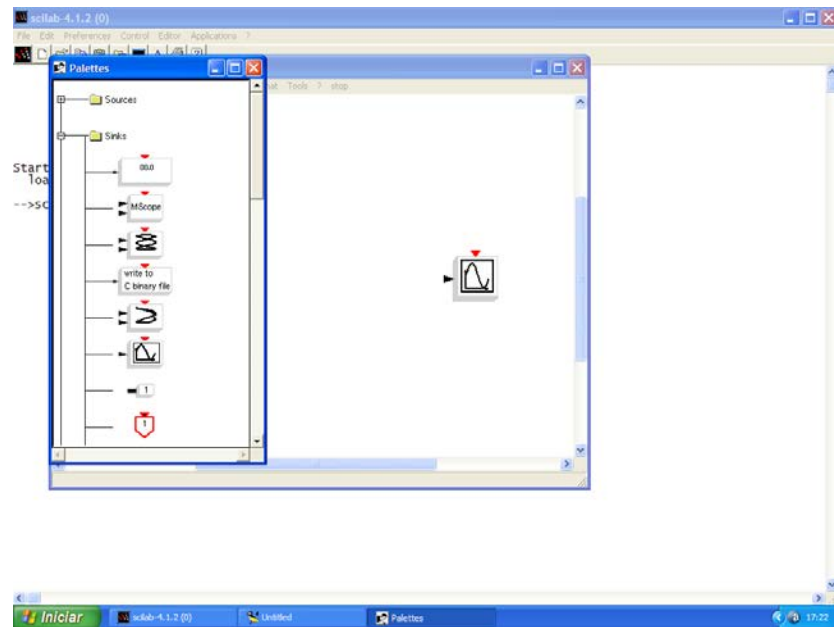


Figura 26 Janela do modelo com o bloco osciloscópio.

- **Passo 3:** Inserir o bloco de gerador de sinal senoidal.

Localize o item Sources. Na lista de blocos, localize o bloco Sinusoid generator, que representa um gerador de sinal senoidal. Arraste o bloco para dentro da janela do modelo (Figura 27).

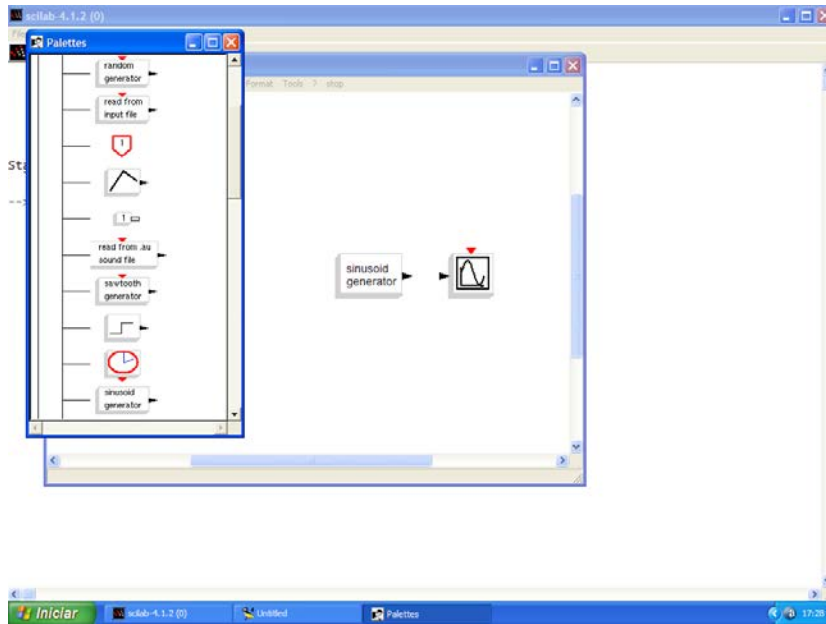


Figura 27 Janela do modelo com os blocos osciloscópio e gerador de sinal senoidal.

- **Passo 4:** Inserir o bloco de relógio de eventos.

Localize o item Events. Na lista de blocos, localize o bloco Clock, que representa um relógio. Arraste o bloco para dentro da janela do modelo (Figura 28).

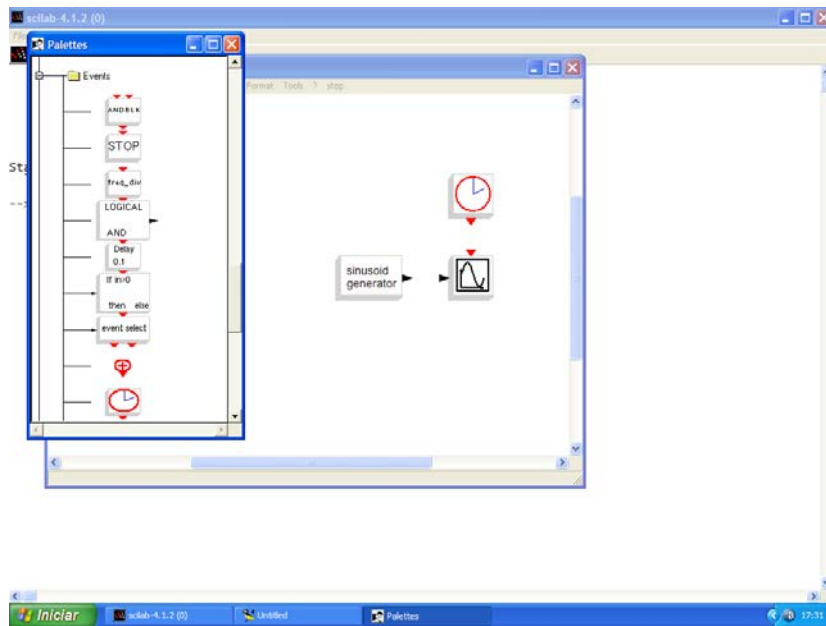


Figura 28 Janela do modelo com os blocos osciloscópio, gerador de sinal senoidal e relógio de eventos.

- **Passo 5:** Conectar os blocos.

O procedimento mais comum de conexão de blocos é clicar com o botão esquerdo do mouse no ponto de saída de sinal do bloco e arrastar até o ponto

de entrada de sinal do outro bloco. Outra maneira é indicar o bloco origem com o botão esquerdo do mouse e o bloco destino com a tecla <CTRL> + botão esquerdo do mouse (Figura 29).

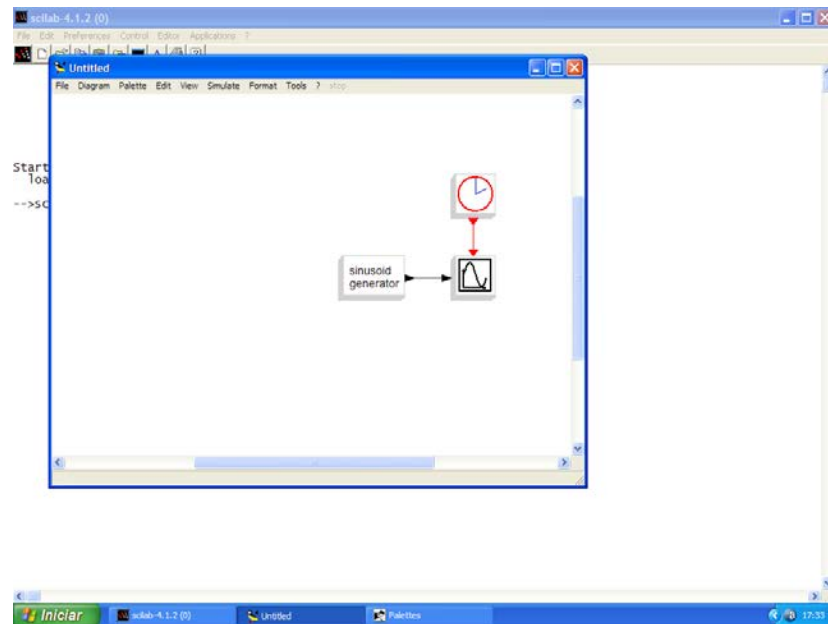


Figura 29 Janela do modelo.

- **Passo 6:** Salvar modelo.

Para salvar o modelo, selecione a opção *Save* ou *Save as* do menu *File*. Salve o modelo com o nome *senoide* (Arquivos do Scicos possuem extensão *cos*).

- **Passo 7:** Simular o modelo.

Clique na opção *Run* do menu *Simulate* para iniciar a simulação. Assim que é iniciada a simulação, uma janela de gráficos será aberta mostrando o resultado da simulação. Como o valor *default* do tempo final da simulação é muito grande, a simulação pode ser interrompida utilizando o botão *stop* na janela do modelo. O usuário tem a opção de continuar, encerrar ou recomeçar a simulação.

- **Passo 8:** Configurar parâmetros de simulação.

A opção *Setup* do menu *Simulate* abre a janela de configuração de parâmetros do Scicos (Figura 30).

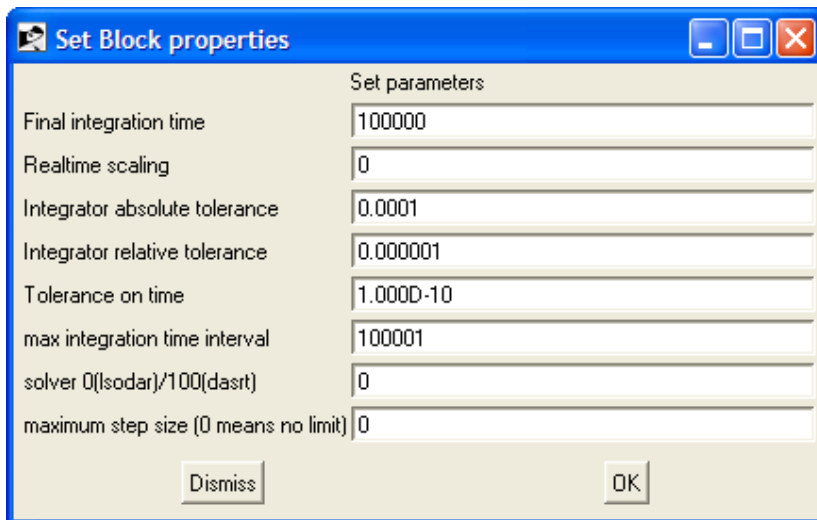


Figura 30 Janela de configuração.

Note que o valor *default* é 100.000. Mude o parâmetro *Final integration time* (tempo de integração final) para 30 e clique OK (Figura 31).

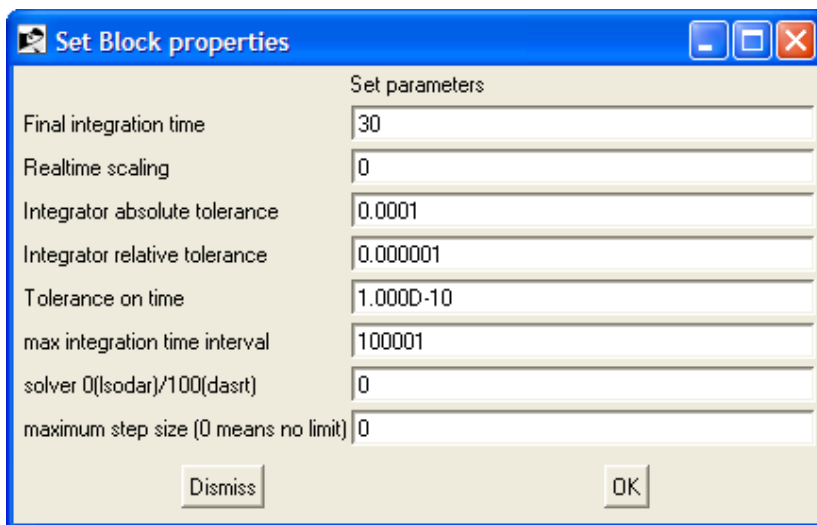


Figura 31 Janela de configuração.

Simule o modelo. Com essa nova configuração, o modelo mostra uma curva no osciloscópio: um sinal senoidal com amplitude igual a 1 e frequência igual a 1 (Figura 32).

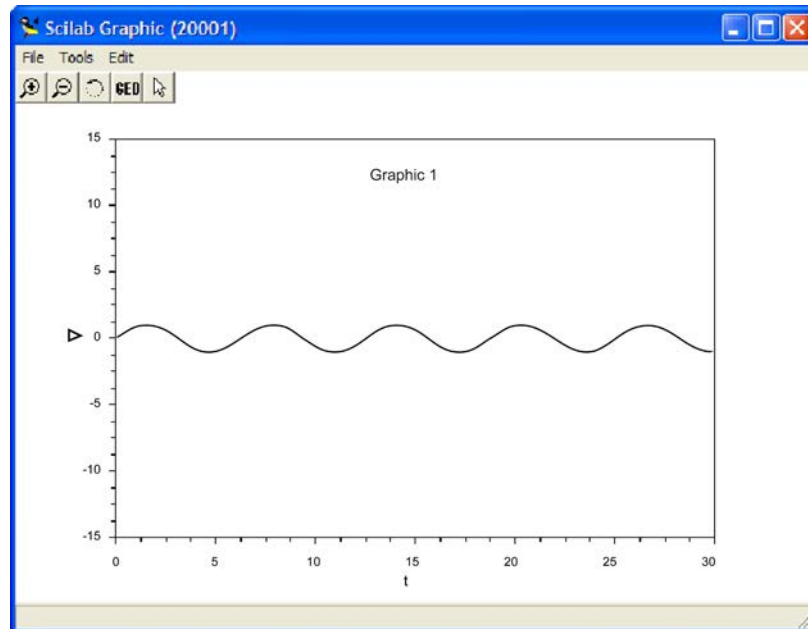


Figura 32 Janela do osciloscópio.

5 Parâmetros de blocos

O bloco gerador de sinal senoidal tem amplitude igual a 1 e frequência igual a 1. Essas características podem ser modificadas. Dê um duplo clique nesse bloco para abrir a janela de parâmetros (Figura 33).

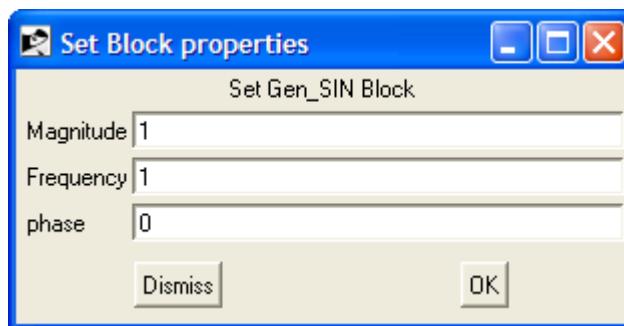


Figura 33 Janela de parâmetros do bloco gerador de sinal senoidal.

Configure o parâmetro Magnitude (amplitude) com valor 5 e o parâmetro Frequency (frequência) com valor 2 (Figura 34).

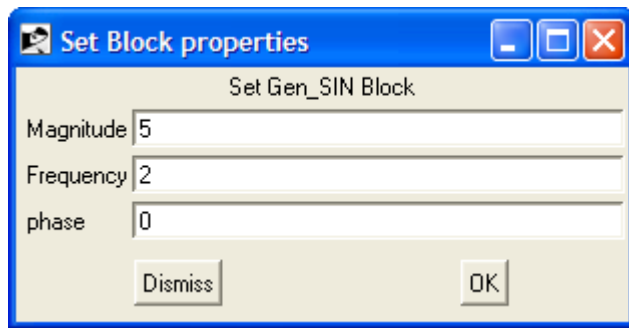


Figura 34 Janela de parâmetros do bloco gerador de sinal senoidal.

Simule o modelo com tempo de integração final 30. O resultado da simulação desse novo diagrama é mostrado na Figura 35: um sinal senoidal com amplitude 5 e frequência 2.

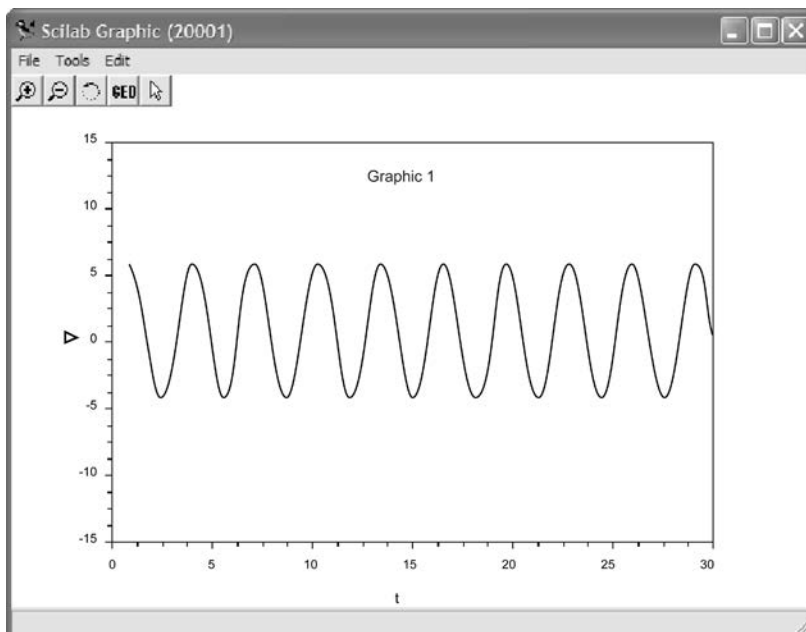


Figura 35 Janela do osciloscópio.

6 Descrição dos principais blocos usados

Nesta seção, descreveremos os blocos mais usados em análise e simulação de sistemas de controle. Um bloco representa um elemento do sistema dinâmico, cujo comportamento é simulado pelo Scicos.

Step function (degrau)



Figura 36 Bloco Step function (degrau).

Esse bloco da paleta Sources gera um degrau em um tempo específico. Dê um clique duplo para abrir a janela de parâmetros.

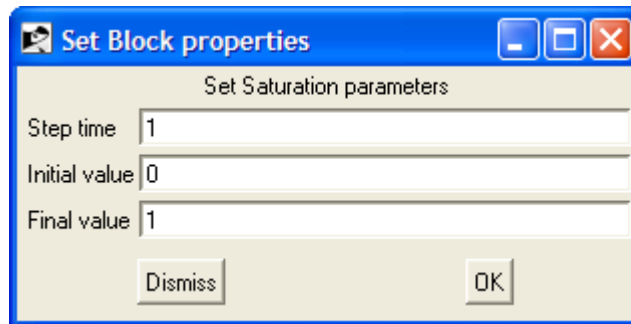


Figura 37 Janela de parâmetros.

- Step time: tempo no qual o degrau será gerado.
- Initial value: valor antes do degrau ser aplicado.
- Final value: valor após a aplicação do degrau.

Const (constante)



Figura 38 Bloco Const (constante).

O bloco Const da paleta Sources emite um sinal constante.

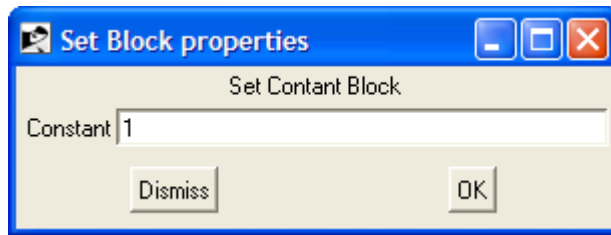


Figura 39 Janela de parâmetros.

- Constante: define o valor da constante.

Scope (osciloscópio)

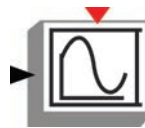


Figura 40 Bloco Scope (osciloscópio).

O bloco Scope da paleta Sinks, que representa um osciloscópio, recebe um sinal e exibe o gráfico correspondente na tela.

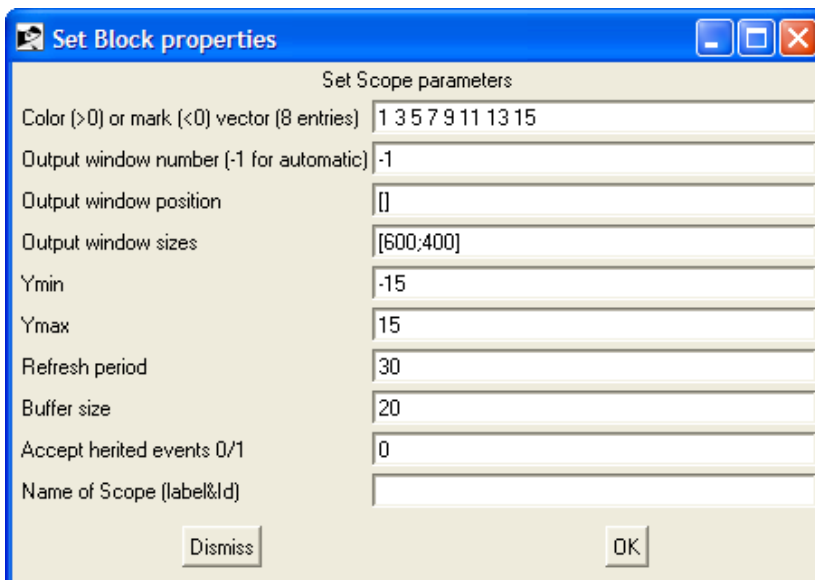


Figura 41 Janela de parâmetros.

- Color or mark vector: define a cor ou o símbolo utilizado para desenhar as curvas do gráfico.
- Output window number: o número da janela do gráfico.
- Output window position: define a posição da janela do gráfico gerado.
- Output window sizes: dimensões da janela de gráfico.
- Ymin: valor mínimo da entrada. Define o valor mínimo do eixo das ordenadas.
- Ymax: valor máximo da entrada. Define o valor máximo do eixo das ordenadas.
- Refresh period: valor máximo do eixo das abscissas (tempo). Caso o tempo total de simulação seja maior do que esse valor, o gráfico será atualizado toda vez que o tempo de simulação atinja um valor múltiplo do valor especificado.

Bloco Gainblk (ganho)

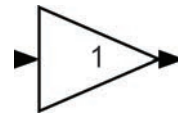


Figura 42 Bloco Gainblk (ganho).

O bloco ganho multiplica o valor de entrada pelo fator de ganho.

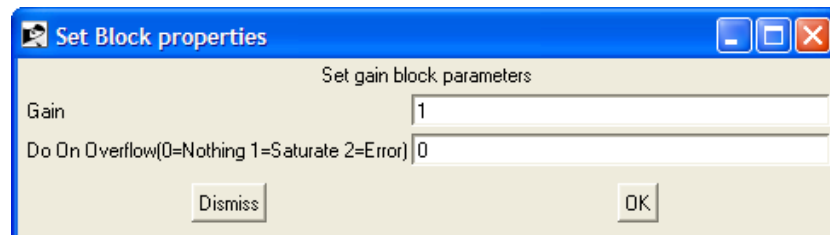


Figura 43 Janela de parâmetros.

- Gain: define o ganho.

Bloco Summation (somatório)

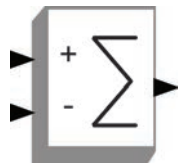


Figura 44 Bloco Summation (somatório).

Como o próprio nome diz, o bloco somatório da paleta Linear realiza soma/subtração dos dados de entrada.

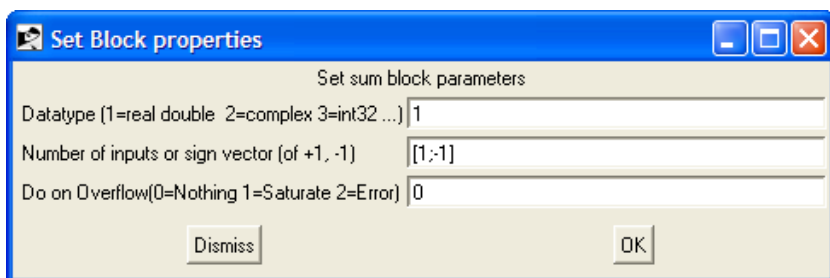


Figura 45 Janela de parâmetros.

- Datatype: define o tipo de dados de entrada do bloco (real, complexo, inteiro, etc.).
- Number of inputs or sign vector: define a quantidade de entradas ou o sinal a ser atribuído às entradas de cima para baixo.

Bloco Product

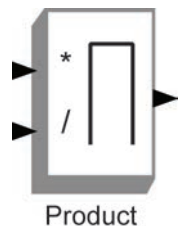


Figura 46 Bloco Product.

O bloco Product realiza o produto dos dados de entrada.

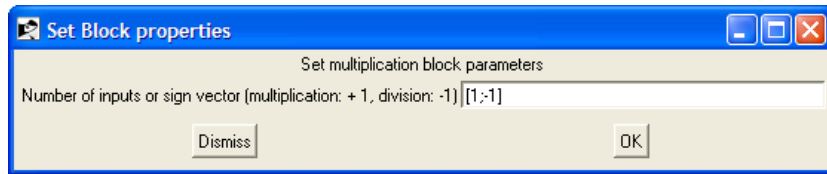


Figura 47 Janela de parâmetros.

- Number of inputs or sign vector: define a quantidade de entradas e a operação matemática.

Bloco Powblk



Figura 48 Bloco Powblk.

Esse bloco calcula u^a .

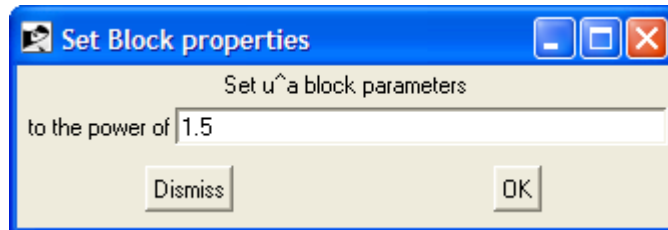


Figura 49 Janela de parâmetros.

Bloco Integral (integrador)

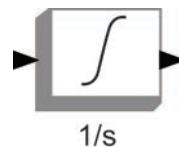


Figura 50 Bloco Integral (integrador).

Em geral, um integrador segue a expressão:

$$x = \int \dot{x} dt$$

O bloco Integral da paleta Linear gera integração de um sinal.

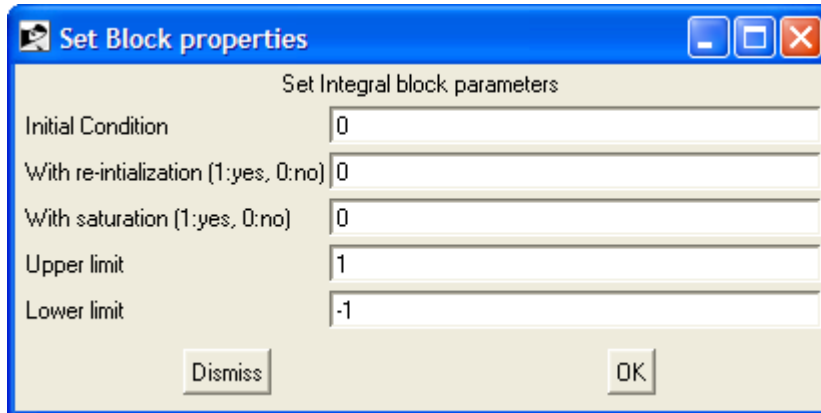


Figura 51 Janela de parâmetros.

- Initial condition: define a condição inicial.

Bloco Clock



Figura 52 Bloco Clock.

O bloco Clock da paleta Events é usado para ativar o osciloscópio periodicamente com a frequência desejada. Toda vez que o osciloscópio é ativado, ele lê o valor do sinal no seu ponto de entrada. Esse valor então é usado para construir a curva mostrada na janela do osciloscópio.

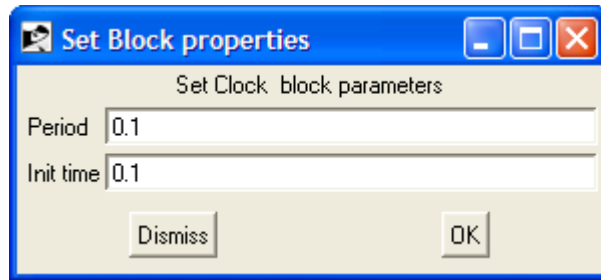


Figura 53 Janela de parâmetros.

- Period: define o “passo do tempo”.
- Init time: tempo inicial.

Em simulações de sistemas contínuos com modelos na forma de função de transferência, os blocos mais usados são:

Bloco PID (controlador PID)



Figura 54 Bloco PID (controlador PID).

O bloco PID da paleta Linear implementa um controlador do tipo PID (proporcional-integral-derivativo), com a seguinte função de transferência:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

que envolve os parâmetros K_p , K_i e K_d . De acordo com a função de transferência, zerar qualquer um dos parâmetros equivale a anular a ação de controle correspondente a ele. Note que essa função de transferência não corresponde à forma padrão encontrada nos livros de controle de processos que é:

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

Assim, os valores numéricos dos parâmetros do controlador PID do Scicos devem ser entrados como a seguir:

$$K_p = K_c$$

$$K_i = \frac{K_c}{\tau_i}$$

$$K_d = K_c \tau_D$$

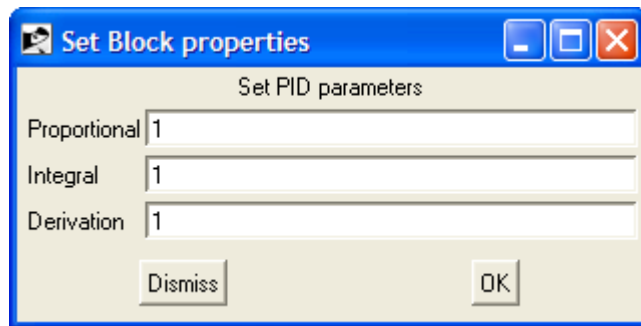


Figura 55 Janela de parâmetros.

- Proportional: define o valor de K_p .
- Integral: define o valor de K_i .
- Derivation: define o valor de K_d .

Bloco Time delay (tempo morto)

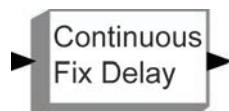


Figura 56 Bloco Time delay (tempo morto).

O bloco Time delay da paleta Linear gera um atraso fixo no transporte de sinal. Em controle de processos, corresponde ao tempo morto do processo.

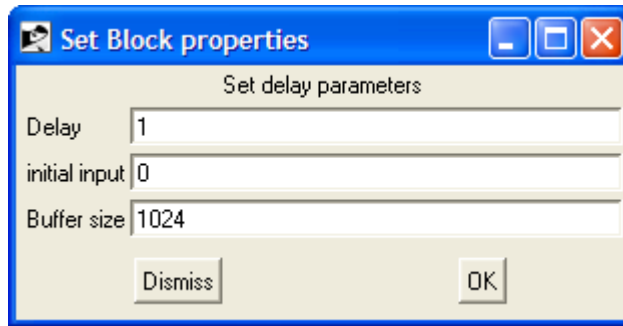


Figura 57 Janela de parâmetros.

- Delay: corresponde ao tempo morto.
- Initial input: é o valor de saída no início da simulação até atingir o valor do tempo especificado no Delay.

Bloco CLR (função de transferência)

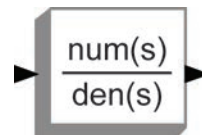


Figura 58 Bloco CLR (função e transferência).

As funções de transferências podem ser escritas genericamente como:

$$G(s) = \frac{num(s)}{den(s)}$$

Por exemplo,

$$G(s) = \frac{1}{s+1}$$

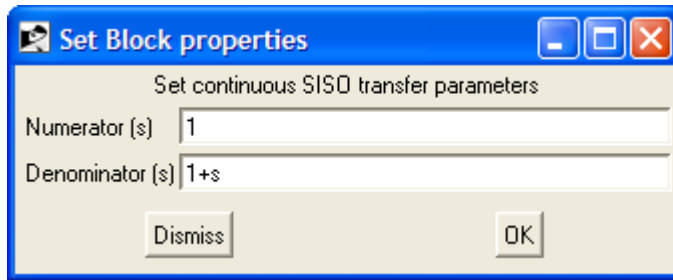


Figura 59 Janela de parâmetros.

Esse bloco implementa uma função de transferência por meio das expressões escritas nos campos Numerator(s) e Denominator(s). Em geral, essas expressões são polinômios em s .

Bloco Saturation (saturação)



Figura 60 Bloco Saturation (saturação).

O bloco Saturation da paleta Nonlinear limita o valor de saída entre os limites inferior e superior.

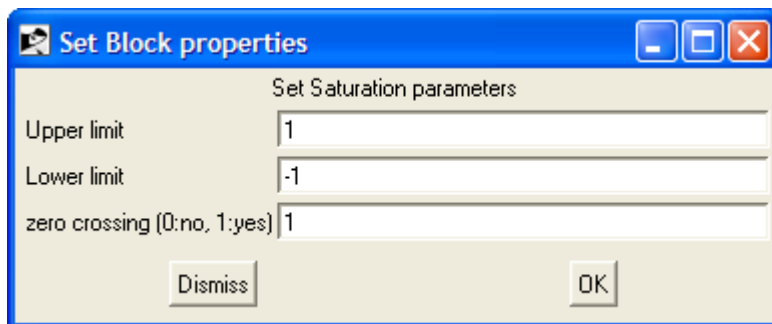


Figura 61 Janela de parâmetros.

- Upper limit: define o limite superior.
- Lower limit: define o limite inferior.

Bloco Mux (multiplexador)

O bloco Mux da paleta Branching combina várias entradas e produz uma única saída.



Figura 62 Bloco Mux (multiplexador).

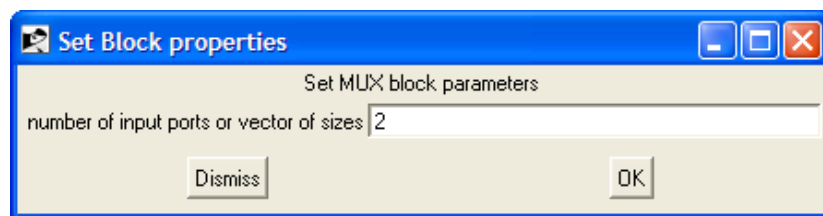


Figura 63 Janela de parâmetros.

- Number of inputs: define o número de entradas.

Bloco Demux (demultiplexador)

O bloco Demux da paleta Branching executa a operação inversa do bloco Mux, ou seja, separa os canais de um sinal.

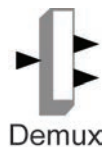


Figura 64 Bloco Demux (demultiplexador).

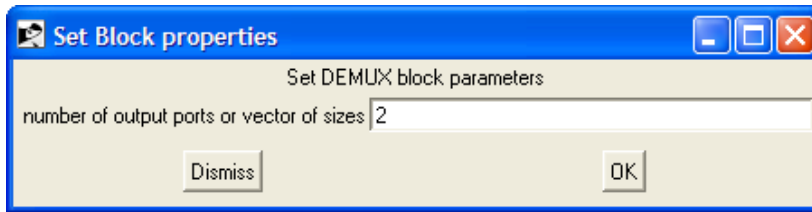


Figura 65 Janela de parâmetros.

- Number of outputs: define o número de saídas.

7 Bungee jumping

Agora que o leitor já tem informações suficientes para construir e fazer simulações de modelos Scicos, vamos modelar a queda de um corpo preso a uma corda, ou seja, um *bungee jumping*. De forma simplificada, podemos considerar que as forças que agem em um corpo em queda, preso por uma corda (veja o esquema na Figura 66), podem ser modeladas por esta equação diferencial:

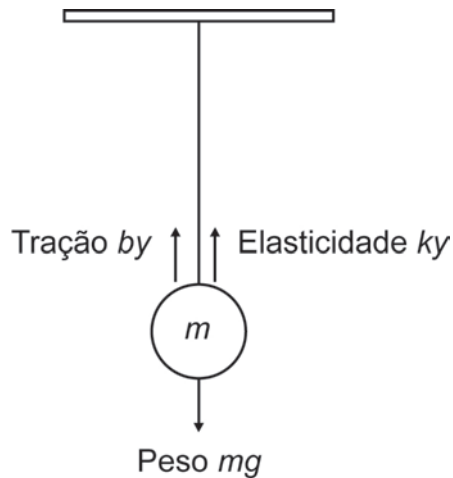


Figura 66 Bungee jumping.

$$\frac{d^2y}{dt^2} = g - \frac{k}{m}y - \frac{b}{m} \frac{dy}{dt}$$

ou

$$\ddot{y} = g - \frac{k}{m}y - \frac{b}{m}\dot{y}$$

em que:

y = deslocamento em relação à base de fixação da corda;

m = massa do corpo;

g = aceleração da gravidade;

k = coeficiente de elasticidade dependente do deslocamento;

b = coeficiente de tração dependente da velocidade.

Vamos executar a simulação com os seguintes parâmetros:

$m = 60 \text{ kg}$;

$k = 10$;

$b = 5$.

O sinal \ddot{y} é a soma de três sinais: g , $-ky/m$ e $-b\dot{y}/m$, e sua integral é \dot{y} .

$$\dot{y} = \int \ddot{y} dt$$

A integral de \dot{y} é o deslocamento y .

$$y = \int \dot{y} dt$$

Inicie um novo modelo e insira os seguintes blocos: Const, Summation, 02 Integral, 02 Gainblk, Mux, Scope e Clock, e organize-os conforme a Figura 67.

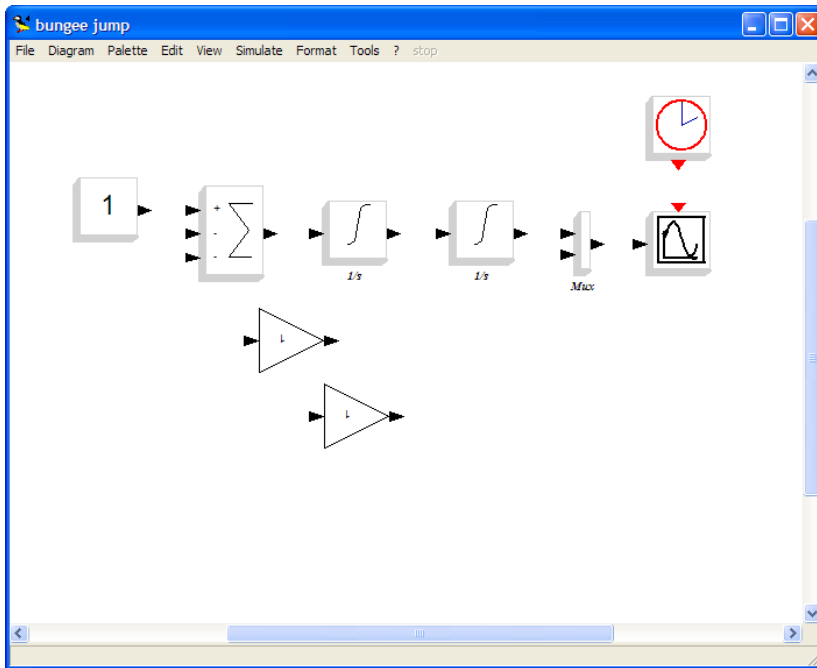


Figura 67 Janela do modelo.

Conecte os blocos conforme a Figura 68.

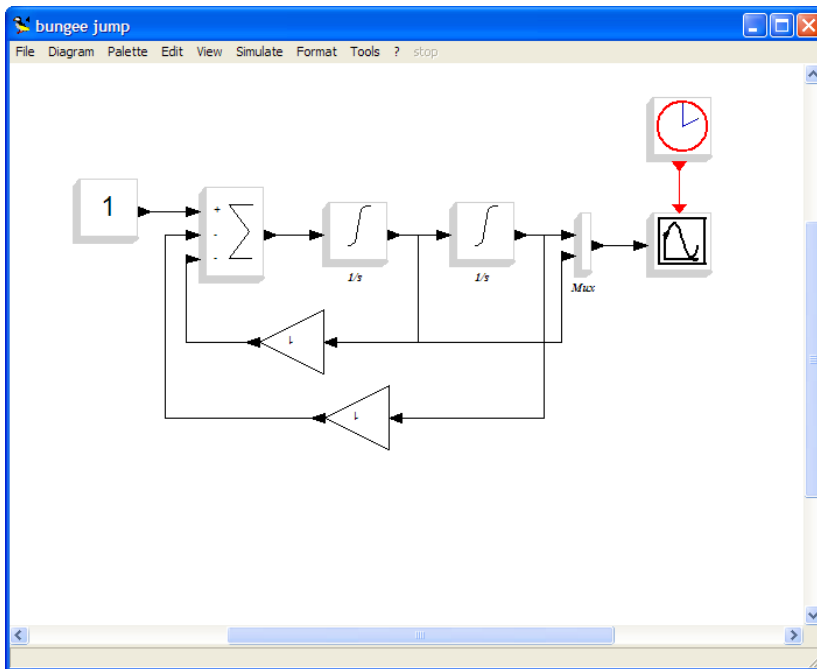


Figura 68 Janela do modelo.

Salve-o como *bungee jump*.

Dê um clique duplo no bloco Constant para configurar o valor da constante.

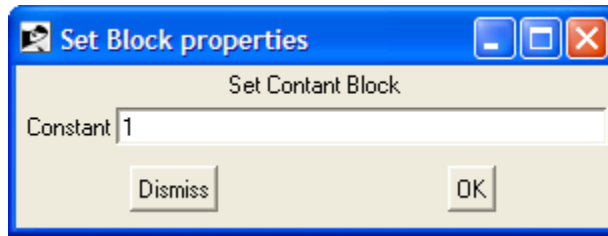


Figura 69 Janela de parâmetros.

Utilizaremos o seguinte valor para a constante:

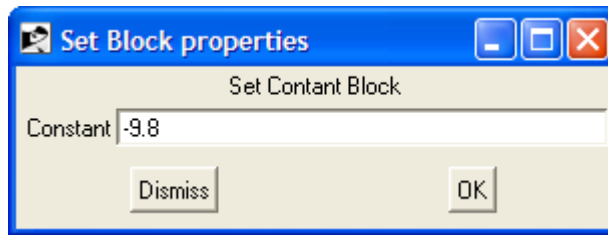


Figura 70 Janela de parâmetros.

Clique OK.

Dê um duplo clique em cada bloco Gainblk para configurar o respectivo parâmetro ganho.

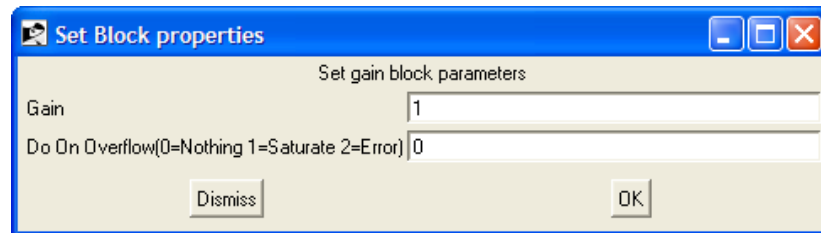


Figura 71 Janela de parâmetros.

Utilizaremos as seguintes configurações para os dois blocos Gainblk:

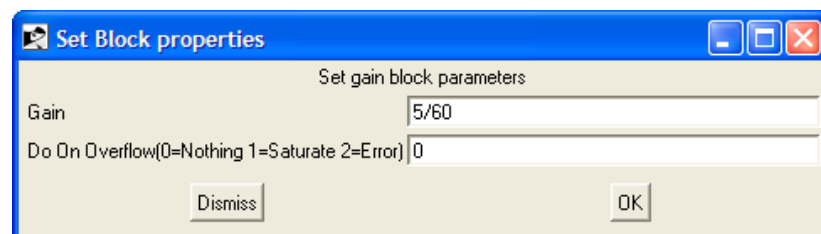


Figura 72 Janela de parâmetros.

Clique OK.

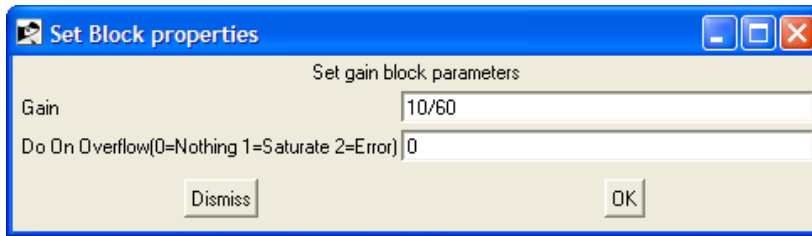


Figura 73 Janela de parâmetros.

Clique OK.

A condição inicial dos dois blocos integradores é zero, assim não há necessidade de alterar os valores *default* desses blocos.

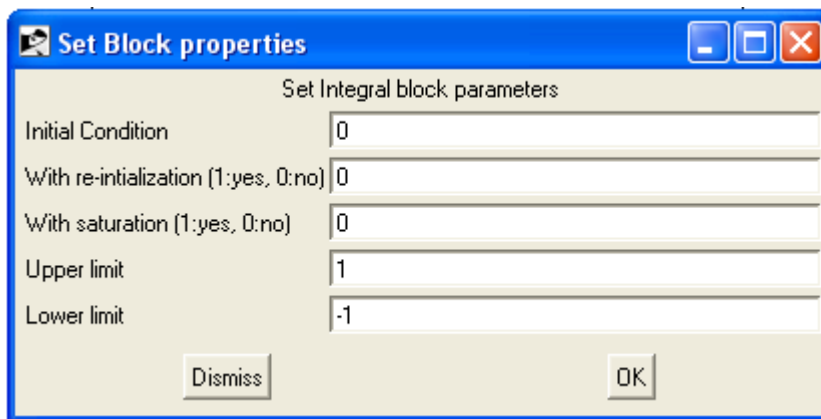


Figura 74 Janela de parâmetros.

Dê um duplo clique em cada bloco Scope.

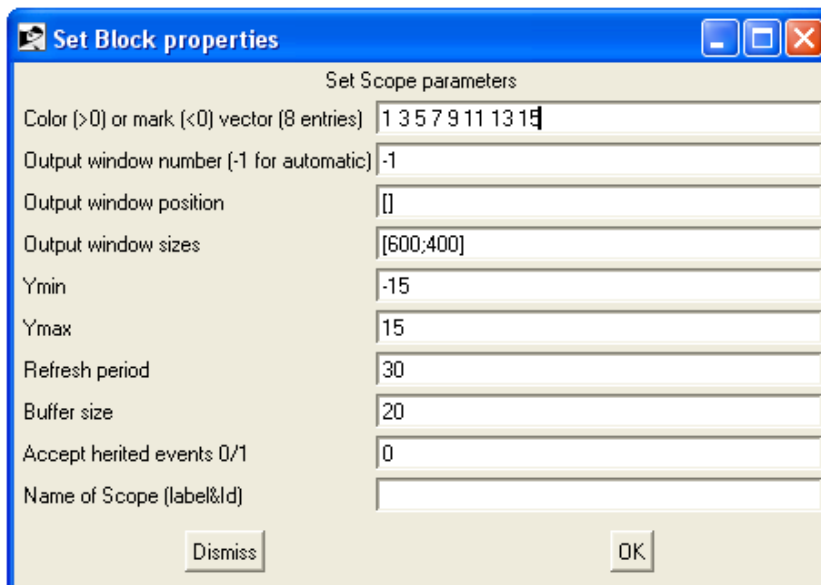


Figura 75 Janela de parâmetros.

Configure os parâmetros do osciloscópio com os valores a seguir e clique OK.

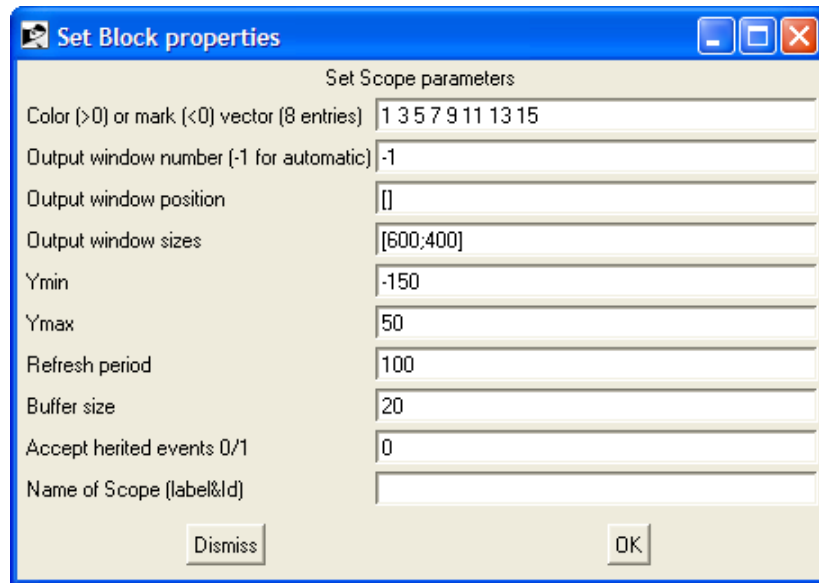


Figura 76 Janela de parâmetros.

Dê um clique duplo no bloco Clock.

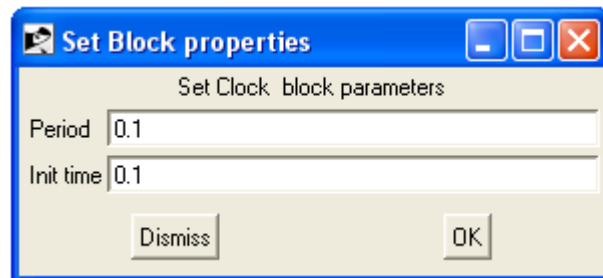


Figura 77 Janela de parâmetros.

Configure os parâmetros do relógio com os valores a seguir e clique OK.

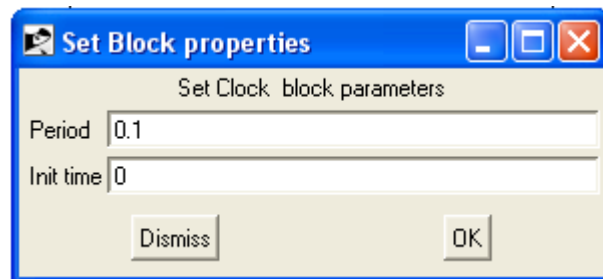


Figura 78 Janela de parâmetros.

Escolha a opção Setup do menu Simulate para abrir a janela de configuração de execução.

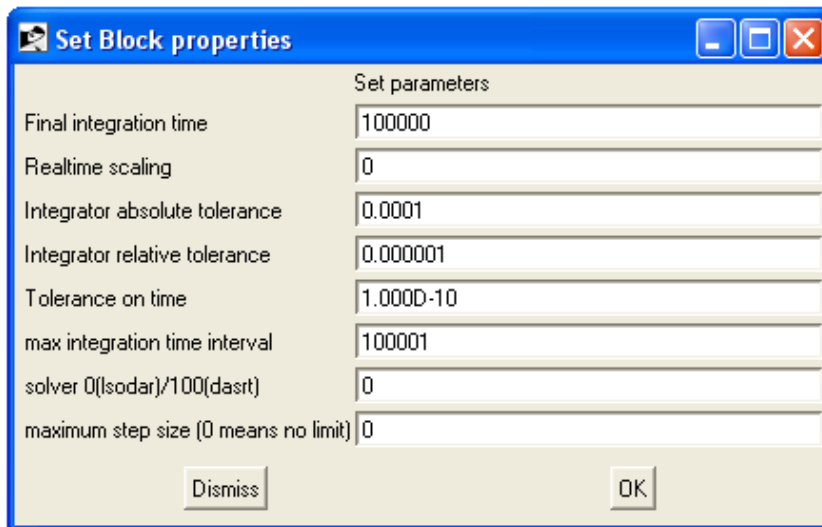


Figura 79 Janela de configuração de execução.

Configure os parâmetros de execução com os valores a seguir e clique OK.

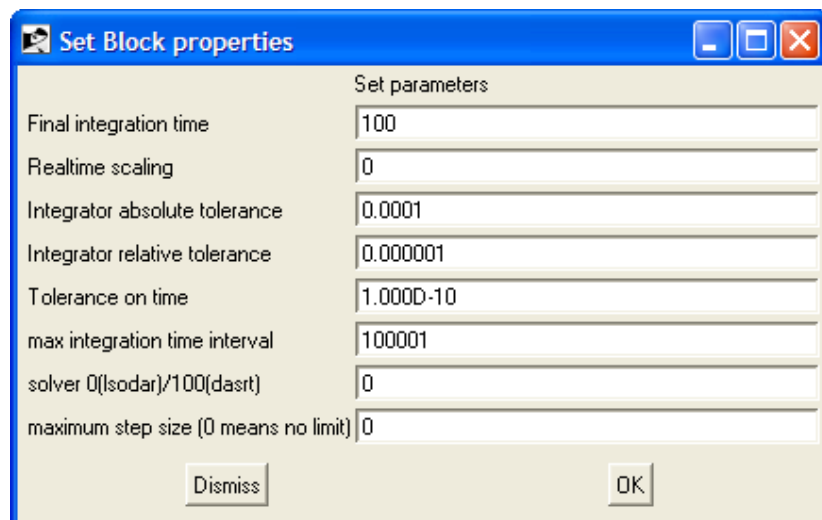


Figura 80 Janela de configuração de execução.

Após as modificações, o diagrama deve ter ficado como mostra a Figura 81:

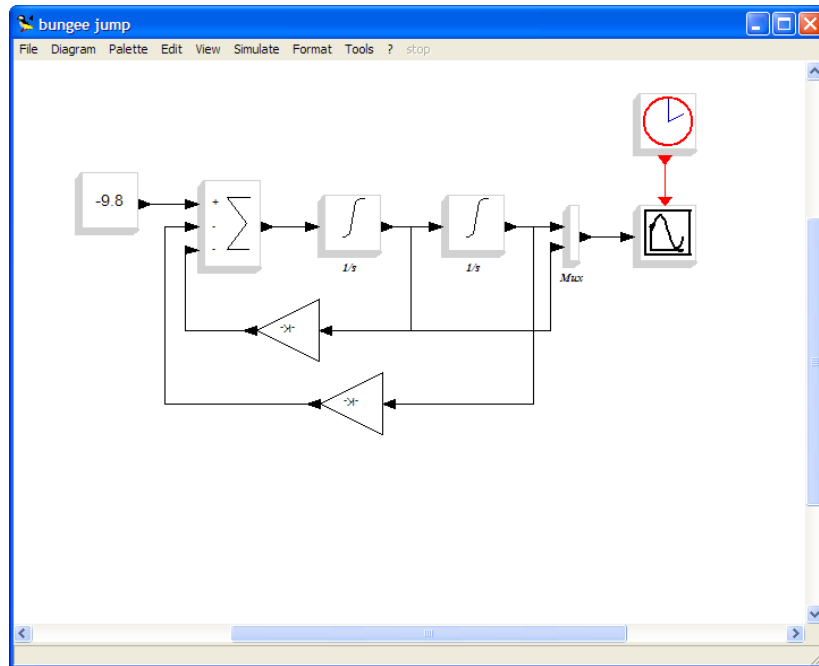


Figura 81 Janela do modelo.

Agora é só executar a simulação escolhendo a opção Run do menu Simulate. O gráfico exibirá duas curvas com linhas diferentes, a linha contínua para o deslocamento e a linha tracejada para a velocidade (Figura 82).

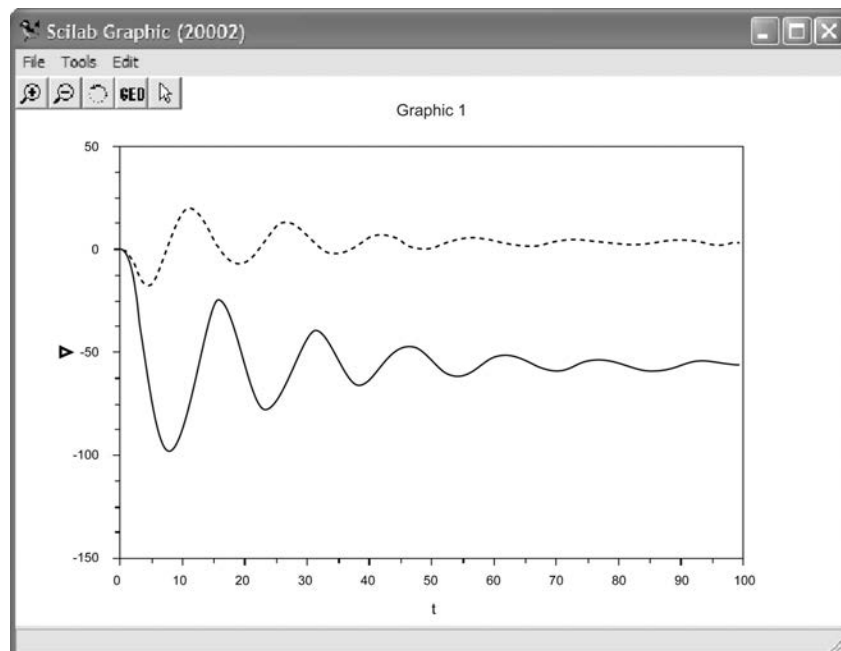


Figura 82 Resposta dinâmica da posição e da velocidade do corpo.

8 Superblocos

Nesta seção descrevemos os conceitos básicos sobre como trabalhar com superblocos no Scicos. O Scicos permite que um conjunto de blocos seja agrupado, gerando um único bloco denominado superbloco.

Isso pode ser útil para:

- reduzir o número de blocos exibidos na janela do modelo e simplificar sua visualização;
- agrupar um conjunto de blocos relacionados por funcionalidade;
- criar uma hierarquia de diagrama de bloco para modelos mais complexos.

Tudo isso simplifica e facilita a visualização e compreensão do funcionamento dos modelos.

Há duas maneiras de criar um superbloco num diagrama Scicos:

- **Region-to-Super-block**

Se o submodelo que o usuário quer colocar em um superbloco já existe no modelo, então a operação Region-to-Super-block do menu Diagram pode ser usada para colocá-lo em um superbloco. Isso é feito especificando a região do diagrama que contém o submodelo em questão. Essa região é substituída automaticamente por um superbloco com os números apropriados de portas de entrada e de saída.

- **Super-block na paleta**

Um superbloco também pode ser colocado num diagrama copiando o Super-block da paleta Others. O submodelo desejado então pode ser criado dentro do superbloco.

Editando um superbloco

Para editar o conteúdo de um superbloco, é só clicar sobre ele que será aberta outra janela exibindo o conteúdo do superbloco.

9 Sistema de nível líquido

Agora que o leitor já tem informações suficientes para criar um superbloco, vamos modelar o sistema de nível líquido de dois tanques associados em série, sem interação, mostrado na Figura 83.

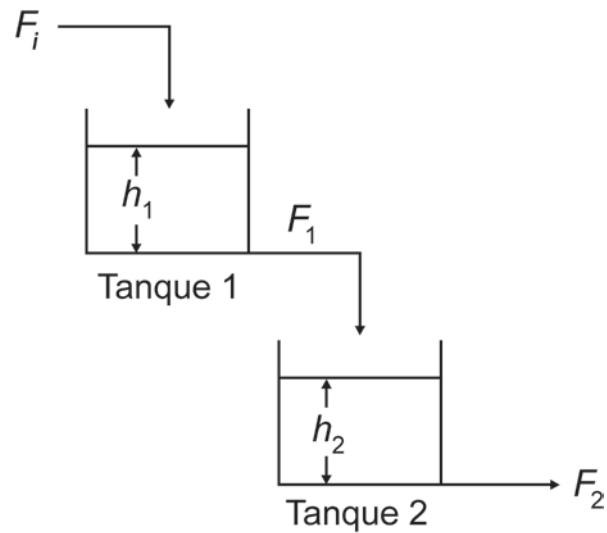


Figura 83 Sistema de nível líquido.

O fluido na saída do primeiro tanque escoa diretamente para a atmosfera antes de entrar no segundo tanque, e a vazão volumétrica F através da resistência R se relaciona com a altura de líquido h pela relação linear:

$$F = \frac{h}{R}$$

Um balanço de massa no tanque 1 de seção reta uniforme de área A_1 fornece:

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{A_1} (F_i - F_1)$$

ou

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{1}{A_1} \left(F_i - \frac{h_1}{R_1} \right)$$

Um balanço de massa no tanque 2 de seção reta uniforme de área A_2 fornece:

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{A_2} (F_1 - F_2)$$

ou

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1}{A_2} \left(F_1 - \frac{h_2}{R_2} \right)$$

As condições iniciais são:

$$h_1(0) = 2 \text{ m}$$

$$h_2(0) = 7 \text{ m}$$

Os dados são:

$$F_i = 20 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$A_1 = A_2 = 10 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 0,1 \text{ m/m}^3 \text{ min}^{-1}$$

$$R_2 = 0,35 \text{ m/m}^3 \text{ min}^{-1}$$

Vamos simular as respostas dos níveis do líquido em cada tanque quando a vazão de entrada para o primeiro tanque varia de 20 para 30 m³/min.

A Figura 84 mostra a janela do modelo com todos os blocos do sistema de nível de líquido. Vamos criar dois superblocos, agrupando os blocos relativos de cada tanque em um superbloco.

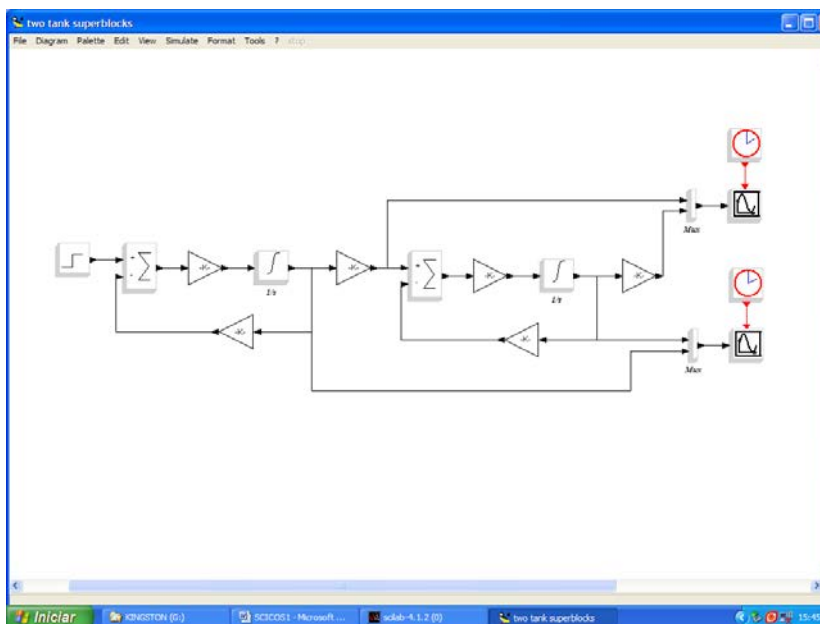


Figura 84 Janela do modelo com todos os blocos.

Para criar o superbloco do tanque 1, vamos especificar a região do diagrama que contém o submodelo do tanque 1, clicando em um ponto na janela e arrastando o mouse até sua diagonal para indicar a área, e selecionando os blocos, que serão

exibidos em destaque após a seleção. Em seguida, selecionamos Region-to-Super-block do menu Diagram como mostra a Figura 85.

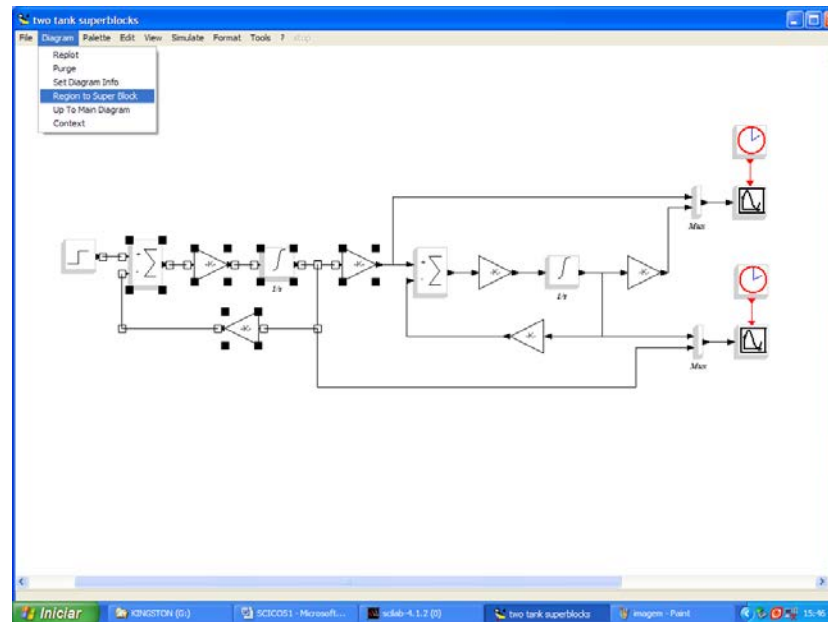


Figura 85 Janela do modelo mostrando todos os blocos relativos ao tanque 1.

A Figura 86 mostra a janela do modelo com o superbloco criado. Para visualizar o conteúdo desse superbloco, basta clicar sobre ele para que outra janela seja aberta exibindo o conteúdo do superbloco (Figura 87).

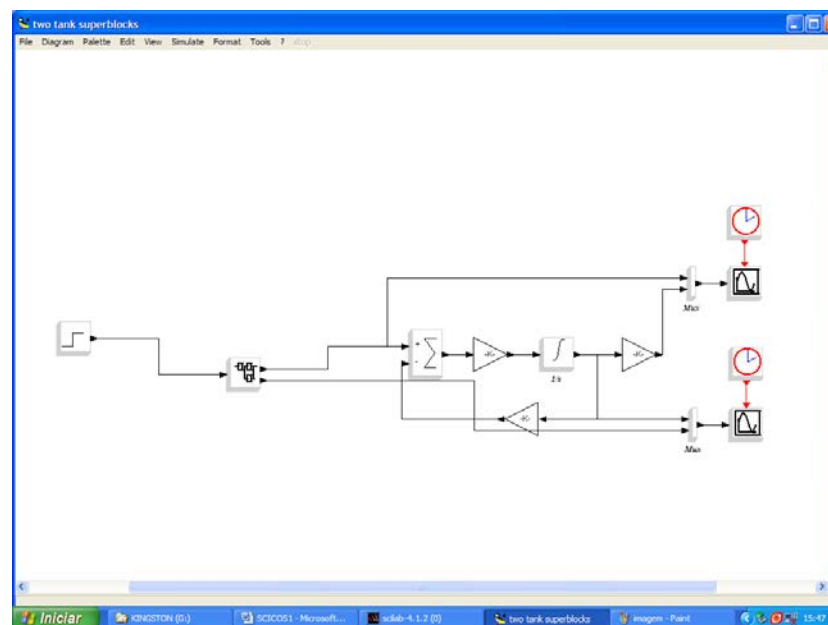


Figura 86 Janela do modelo mostrando o superbloco do tanque 1.

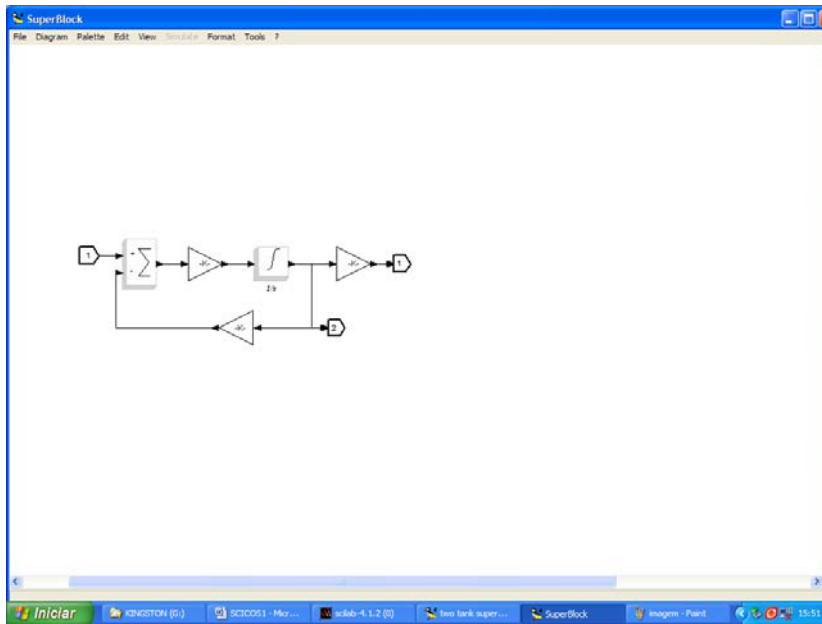


Figura 87 Conteúdo do superbloco do tanque 1.

Para criar o superbloco do tanque 2, especificamos a região do diagrama que contém o submodelo do tanque 2, como mostra a Figura 88. Em seguida, selecionamos Region-to-Super-block do menu Diagram, como mostra a Figura 88.

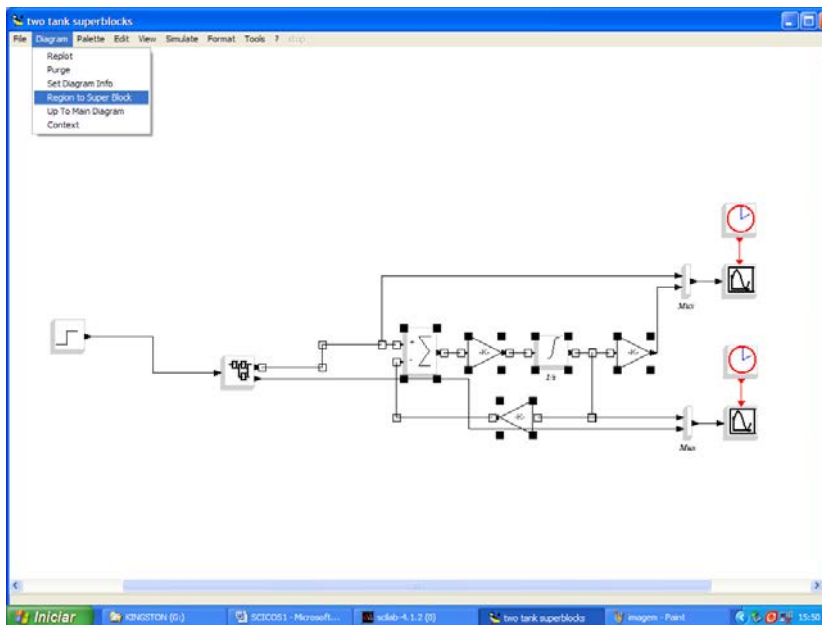


Figura 88 Janela do modelo mostrando todos os blocos relativos ao tanque 2.

A Figura 89 mostra a janela do modelo com o novo superbloco criado. Para visualizar o conteúdo desse superbloco, basta clicar sobre ele para que outra janela seja aberta exibindo o conteúdo do superbloco (Figura 90).

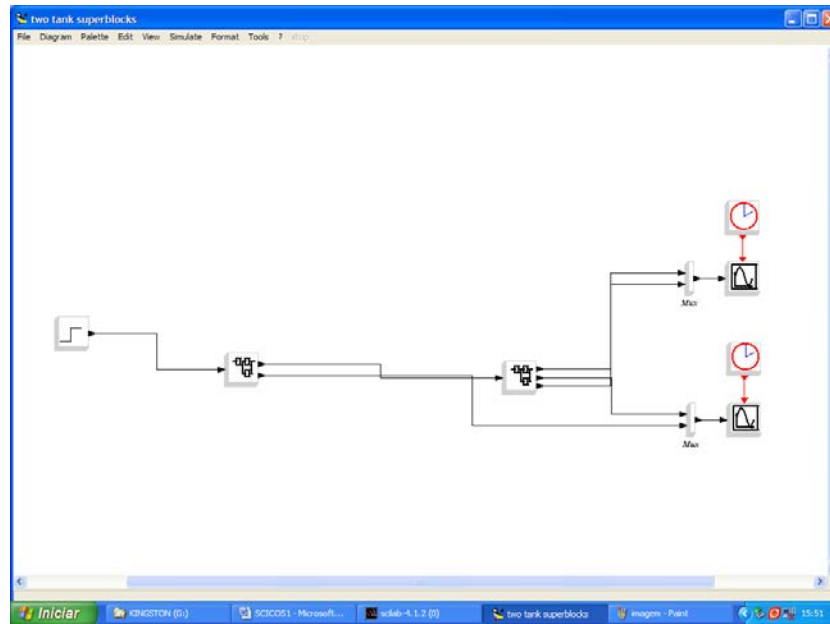


Figura 89 Janela do modelo com os dois superblocos.

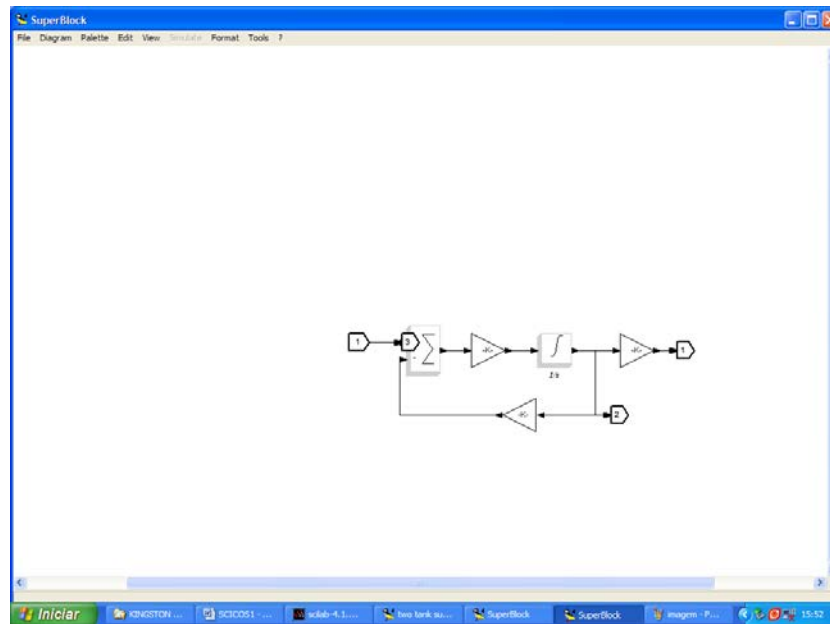


Figura 90 Conteúdo do superbloco do tanque 2.

Agora é só executar a simulação. O gráfico da Figura 91 mostra o comportamento dinâmico dos níveis de líquido com linhas diferentes, a linha tracejada para o nível de líquido no tanque 1 e a linha contínua para o nível de líquido no tanque 2.

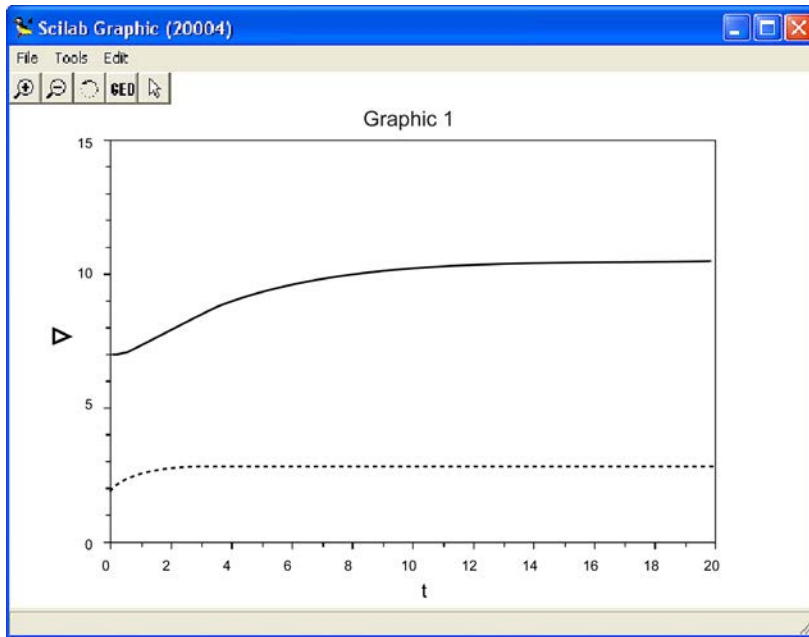


Figura 91 Comportamento dinâmico dos níveis de líquido.

O comportamento dinâmico das vazões de saída dos dois tanques pode ser visualizado na Figura 92. A curva contínua corresponde à vazão de saída do tanque 1, F_1 , e a curva tracejada corresponde à vazão de saída do tanque 2, F_2 .

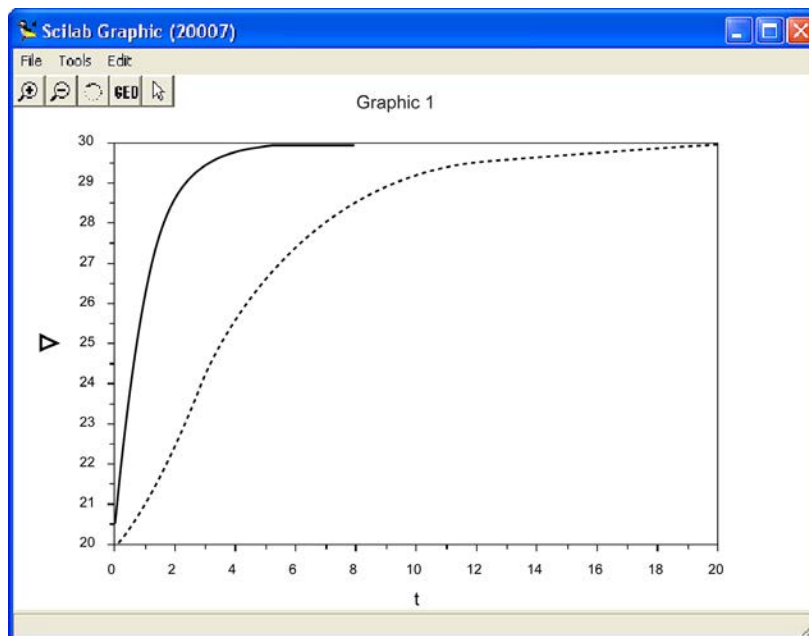


Figura 92 Comportamento dinâmico das vazões volumétricas.

10 Reator descontínuo com cinética de 1ª ordem

Esse exemplo do reator descontínuo foi extraído do livro de Moura (2007):

Em um tanque (Figura 93) existe uma mistura contendo um componente A com concentração inicial de 2 mol/L. Nesse tanque, ocorre uma reação de degradação de primeira ordem com constante cinética $k = 0,05 \text{ s}^{-1}$. Qual o tempo necessário para que a concentração seja reduzida pela metade? (MOURA, 2007, p. 115).

O balanço material do componente A se reduz à seguinte equação diferencial:

$$r_A = \frac{dc_A}{dt} = -kc_A, \text{ com } c_A = c_{A0} \text{ para } t = 0$$

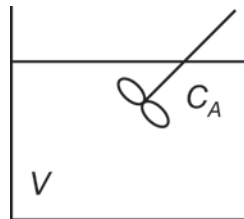


Figura 93 Reator descontínuo.

A seguir, a janela do modelo é apresentada (Figura 94):

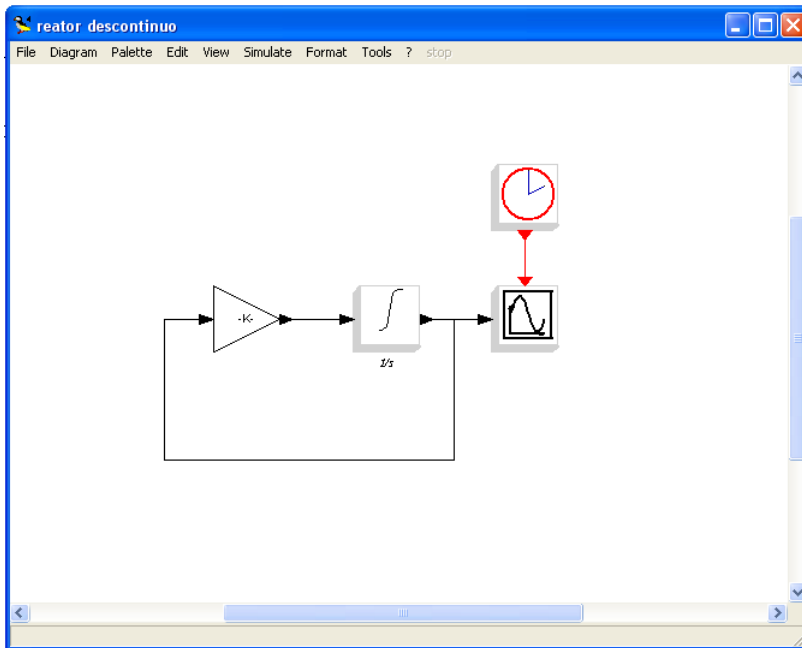


Figura 94 Janela do modelo do reator descontinuo.

As configurações dos blocos são mostradas a seguir:

- Bloco ganho

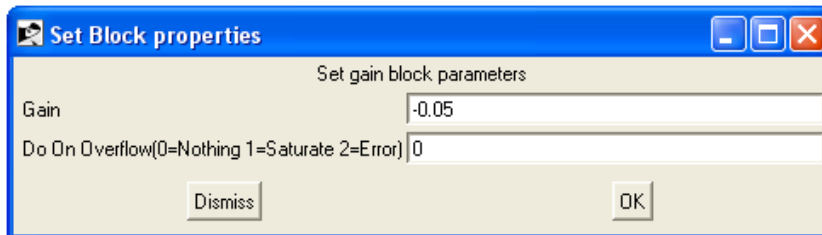


Figura 95 Janela de parâmetros.

- Bloco integrador

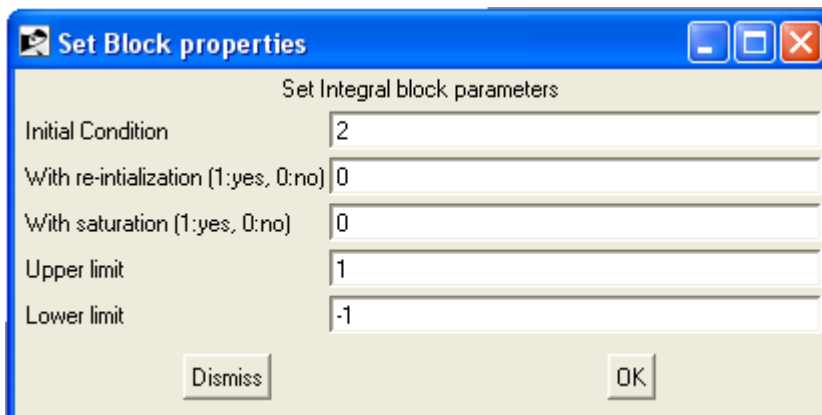


Figura 96 Janela de parâmetros.

- Bloco osciloscópio

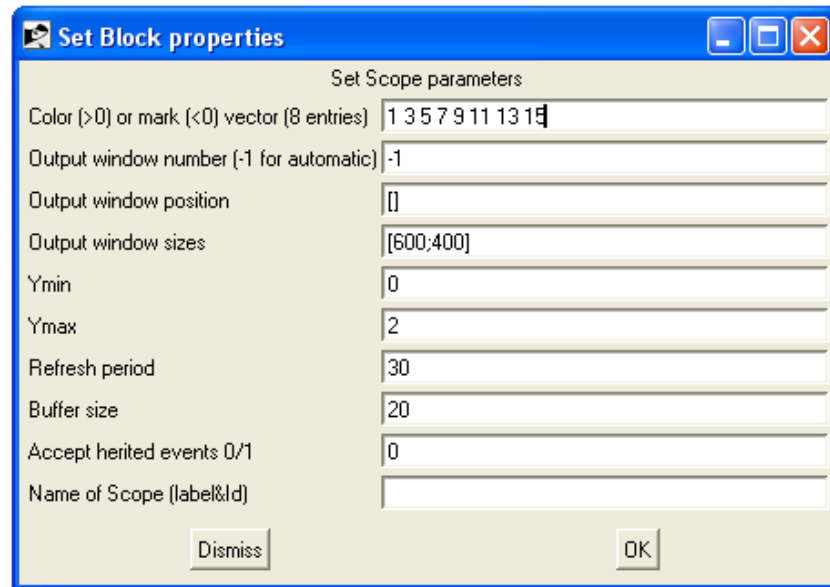


Figura 97 Janela de parâmetros.

- Bloco relógio

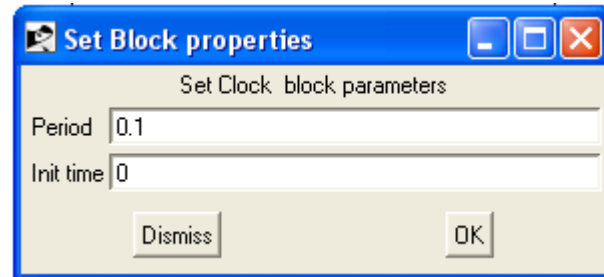


Figura 98 Bloco relógio.

Configure os parâmetros de execução com os valores a seguir e clique OK.

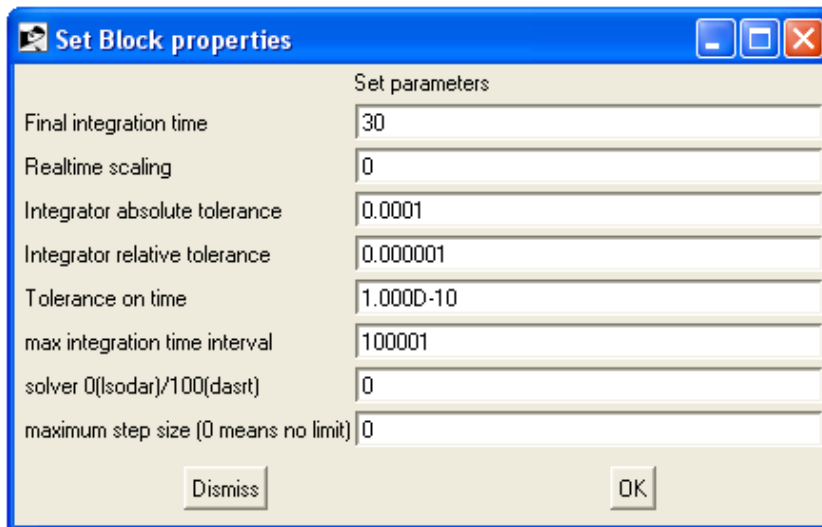


Figura 99 Janela de configuração de execução.

O resultado da simulação é mostrado na Figura 100, em cujo gráfico pode-se observar que o tempo necessário para que a concentração seja reduzida pela metade (1 mol/L) é de 14,0 s. Esse valor é próximo de 13,9 s (valor encontrado por Moura (2007)).

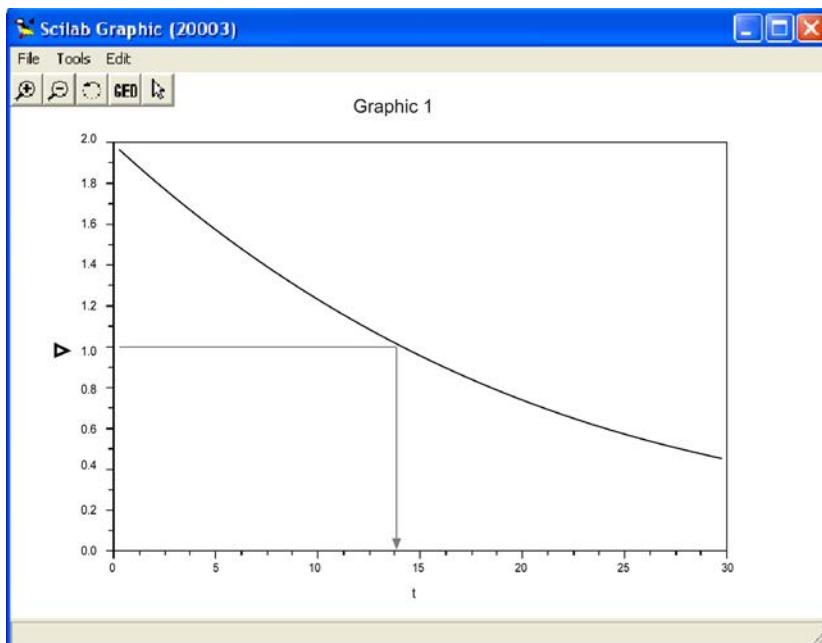


Figura 100 Variação da concentração com o tempo.

11 Reator bioquímico

Esse exemplo do reator bioquímico foi extraído do livro de Bequette (1998). Os reatores bioquímicos são usados para produzir inúmeros produtos intermediários e produtos finais, incluindo fármacos, alimentos e bebidas. O modelo de reator bioquímico mais simples leva em consideração dois componentes: biomassa e substrato. Um exemplo é o sistema de tratamento de águas residuais, em que a biomassa é usada para degradar resíduos químicos (substrato). Outro exemplo é a fermentação, em que as células consomem açúcar e produzem álcool. Um esquema de reator bioquímico é mostrado na Figura 101. Assume-se que o reator seja perfeitamente agitado e o volume constante.

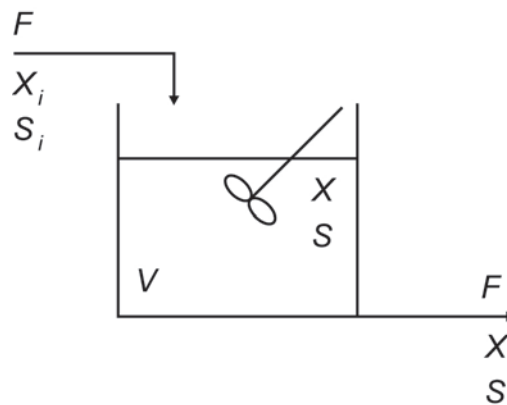


Figura 101 Reator bioquímico.

A seguinte notação é usada:

D = taxa de diluição definida como F/V ;

F = vazão volumétrica;

K_S = constante de Monod;

S = concentração de substrato;

S_i = concentração de substrato na alimentação;

X = concentração de biomassa;

$Y_{X/S}$ = fator de conversão de substrato em massa celular;

μ = taxa de crescimento específico;

μ_m = máxima taxa de crescimento específico.

Os balanços materiais de biomassa e de substrato são dados respectivamente por:

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - D)X$$

$$\frac{dS}{dt} = D(S_i - S) - \frac{\mu X}{Y_{X/S}}$$

em que μ segue a forma proposta por Monod:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S}$$

Os valores dos parâmetros são:

$$D = 0,3h^{-1};$$

$$K_s = 0,12 \text{ g/L};$$

$$S_i = 4 \text{ g/L};$$

$$Y_{X/S} = 0,4;$$

$$\mu_m = 0,53h^{-1}.$$

As condições iniciais são:

$$X(0) = 1$$

$$S(0) = 1$$

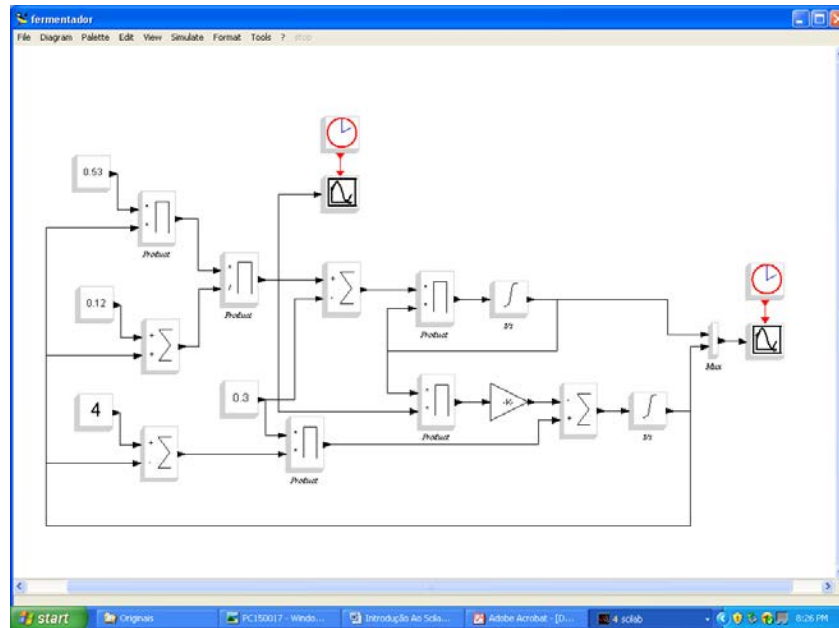


Figura 102 Janela do modelo do fermentador.

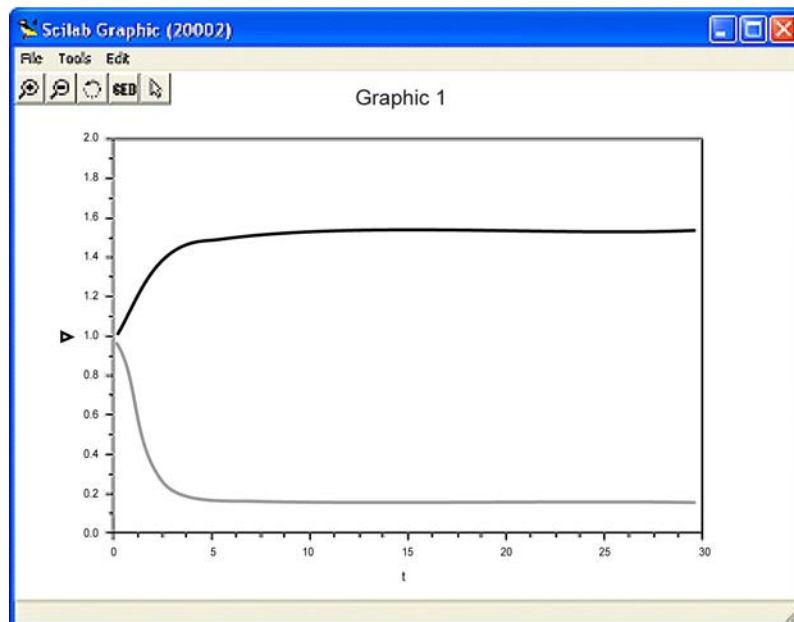


Figura 103 Comportamento dinâmico das concentrações de biomassa e substrato.

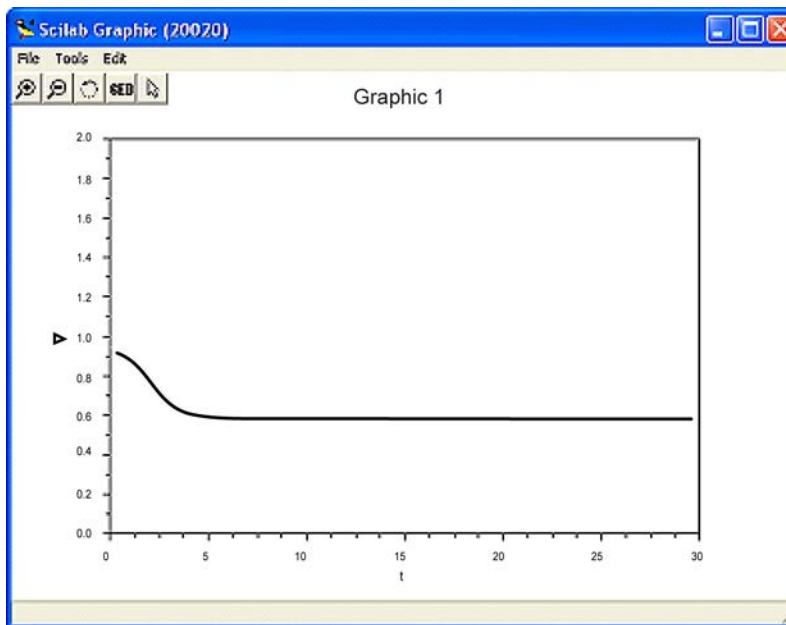


Figura 104 Variação do coeficiente da velocidade de crescimento específico.

Fica como exercício para o leitor, simular o reator, operando com condições iniciais diferentes:

$$X(0) = 0,75$$

$$S(0) = 2$$

e também com taxas de diluição diferentes:

$$D = 0,15h^{-1} \text{ taxa de diluição baixa;}$$

$$D = 0,45h^{-1} \text{ taxa de diluição alta;}$$

$$D = 0,60h^{-1} \text{ lavagem (washout).}$$

12 Considerações finais

O escopo deste texto é o ambiente Scilab/Scicos, ou seja, não tem a pretensão de ensinar teorias e conceitos básicos de matemática ou engenharia. Na verdade, esses conhecimentos são pré-requisitos fundamentais para um melhor aproveitamento das informações contidas no texto, que é apenas uma introdução ao Scicos. Sendo assim, está longe de ser exaustivo com relação aos temas, dessa forma, muitos destes não são tratados aqui.

13 Estudos complementares

O leitor pode complementar seus estudos sobre Scilab e Scicos consultando as seguintes referências:

CAMPBELL, S. L.; CHANCELIER, J. P.; NIKOUKHAH, R. *Modeling and simulation in Scilab/Scicos*. New York: Springer, 2006.

O tutorial encontrado no site a seguir consiste de uma série de seções em que o leitor aprenderá a utilizar outros recursos disponíveis no Scicos que não foram abordados no presente texto. É altamente recomendado ao leitor que deseja aprofundar seus conhecimentos sobre o Scicos e aproveitar melhor todo o potencial que o software oferece para simulações dinâmicas.

<<http://www-rocq.inria.fr/scicos/TUTORIAL/tutorial.html>>

REFERÊNCIAS

BEQUETTE, B. W. *Process dynamics: Modeling, analysis, and simulation*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1998. 621 p.

MOURA, L. F. *Excel para engenharia*. São Carlos: EdUFSCar, 2007. 152 p.

SOBRE O AUTOR

Wu Hong Kwong

Formou-se em Engenharia Química em 1978 pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Em 1979, ingressou no corpo docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (DEQ/UFSCar). Simultaneamente, iniciou o seu mestrado na EPUSP e o concluiu em 1985. No primeiro semestre de 1987, ministrou a disciplina *Análise de Processos Químicos*, do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Nesse ano, iniciou o seu doutorado também na EPUSP e o concluiu em 1992. A partir de 1992, passou a integrar o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFSCar, ministrando disciplinas na área de simulação e controle de processos químicos. Em 2007, passou a integrar o corpo docente do curso de Tecnologia Sucrialcooleira da UAB-UFSCar. Foi vice-chefe do DEQ/UFSCar em 2005 e chefe no triênio 2006-2008. Em 2009, iniciou as suas atividades como tutor do Programa de Educação Tutorial do Curso de Engenharia Química da UFSCar. Ao lado dessas realizações, escreveu alguns apontamentos em controle de processos: *Introdução ao Controle de Processos Químicos com MATLAB* (volumes 1 e 2, 2002), *Controle Digital de Processos Químicos com MATLAB e SIMULINK* (2007) e *Controle Preditivo com MATLAB* (2005), publicados pela EdUFSCar.

