

# CONTROLE E SERVOMECANISMO

## TUTORIAL NR.2

### Modelagem e obtenção de resposta de um veículo. <sup>12</sup>

---

## 1 Instruções Gerais

- Grupo de até no máximo 2 alunos e
- Ler atentamente todo o procedimento desse tutorial antes de realizá-lo.

## 2 Objetivos do Tutorial

- Modelagem do controle de cruzeiro de um veículo e
- Obtenção da resposta do sistema por diferentes métodos.

## 3 Pré-tutorial

1. Qual é a 2ª lei de Newton?
2. Considerando a variável dinâmica  $v$  e a entrada  $u$  e utilizando a 2ª lei de Newton, demonstre a obtenção da equação de Entrada/Saída (E/S) (1).
3. Como funciona a função `ode` do Scilab.
4. Demonstre a obtenção da função de transferência (5).
5. Como funciona as funções `poly`, `syslin` e `csim` do Scilab.

## 4 Tutorial

O controle de cruzeiro automático é um excelente exemplo de sistema de controle com realimentação encontrado em muitos veículos modernos. O objetivo do sistema de controle de cruzeiro é manter uma velocidade constante do veículo, apesar das perturbações externas, como mudanças no vento ou na inclinação da estrada. Isso é feito medindo a velocidade do veículo, comparando-a com a velocidade desejada ou de referência e ajustando automaticamente o acelerador de acordo com uma lei de controle.

---

<sup>1</sup>Documento adaptado de Control Tutorials for MATLAB & Simulink [1]

<sup>2</sup>Revisão 11/05/2023: Prof. Roberto Santos Inoue e Prof. Artino Quintino

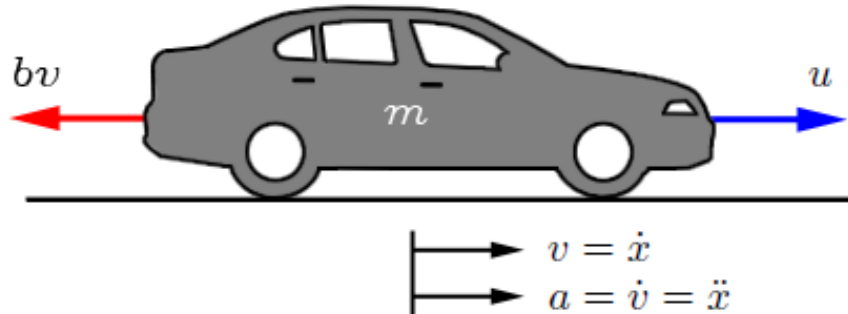


Figura 1: Dinâmica do veículo.

Consideramos aqui um modelo simples da dinâmica do veículo, mostrado no diagrama de corpo livre (DCL) da Figura 1. O veículo, de massa  $m$ , é acionado por uma força de controle,  $u$ . A força  $u$  representa a força gerada na interface estrada/pneu. Para este modelo simplificado, assumiremos que podemos controlar essa força diretamente e negligenciaremos a dinâmica do trem de força, pneus, etc., que geram a força. As forças resistivas,  $bv$ , devidas à resistência ao rolamento e ao arrasto do vento, variam linearmente com a velocidade do veículo,  $v$ , e atuam na direção oposta ao movimento do veículo.

#### 4.1 Sistemas de Equações

Com essas suposições, ficamos com um sistema de massa-amortecedor de primeira ordem. Somando as forças na direção  $x$  e aplicando a 2ª lei de Newton, chegamos à seguinte equação do sistema:

$$m\dot{v} + bv = u. \quad (1)$$

#### 4.2 Resposta do sistema - solução numérica

Para este exemplo, vamos assumir que os parâmetros do sistema são:

$$m = 1000 \text{ [kg]}, \quad (2)$$

$$b = 50 \text{ [N.s/m]}. \quad (3)$$

Desse modo, pede-se:

- Utilizando a função `ode` do Scilab, obtenha a resposta do sistema (1) para uma entrada  $u = 500 \text{ [N]}$ . O código Scilab para obtenção da resposta do sistema é dado pelo Código 1. Salve o gráfico da resposta para compor o relatório.
- Altere a velocidade inicial da simulação, tente diferentes valores de  $v_0$ . O que acontece?

---

**Código 1** Resposta do veículo utilizando a função ode.

---

```
1 clear
2 close
3 clc
4 // Parametros do veiculo
5 m = 1000; // [kg]
6 b = 50; // [N.s/m]
7 u = 500; // [N]
8
9 //EDO
10 function dv = f(t,v)
11     dv = 1/m*(u-b*v);
12 endfunction
13 //Condicoes Iniciais
14 v0 = 0;
15 t0 = 0;
16 // Horizonte de tempo da simulacao
17 t = 0:0.1:200;
18 // Solucao da EDO
19 v = ode(v0,t0,t,f)
20 //Graficos
21 plot(t,v)
22 xlabel('Tempo [s]')
23 ylabel('Velocidade [m/s]')
```

### 4.3 Resposta do sistema - através de blocos integradores

Pode-se reescrever a Equação (1) como:

$$\dot{v} = \frac{1}{m}(u - bv). \quad (4)$$

E a partir da Equação (4) pode-se representar o sistema a partir de blocos integradores em um diagrama de blocos.

Desse modo, pede-se:

1. Realize a simulação do sistema da Equação (4) por blocos integradores conforme diagrama feito no XCOS apresentado na Figura 2. Para isto, utilize os seguintes blocos:
  - (a) Fontes  $\rightarrow$  STEP\_FUNCTION,
  - (b) Operações matemáticas  $\rightarrow$  BIGSOM\_f,
  - (c) Operações matemáticas  $\rightarrow$  GAINBLK,
  - (d) Sistemas de tempo contínuo  $\rightarrow$  INTEGRAL\_f,
  - (e) Receptores  $\rightarrow$  CMSCOPE e
  - (f) Receptores  $\rightarrow$  CLOCK\_c.

No relatório, descrever o função de cada um dos blocos utilizados.

2. Faça as configurações necessárias em Simulação → Configurações e no bloco CMS-COPE para que o gráfico de velocidade fique adequado.
3. Altere a condição inicial do bloco INTEGRAL através de um duplo clique no bloco. Tente valores diversos. O resultado é o mesmo da Seção 4.2?
4. Envie os dados de saída da simulação do XCOS para o workspace do Scilab. Para isto utilize o bloco “To Workspace” que está na paleta “Receptores”. Agora utilize o plot para fazer o gráfico da saída de velocidade. Compare o resultado com o resultado da Seção 4.2.

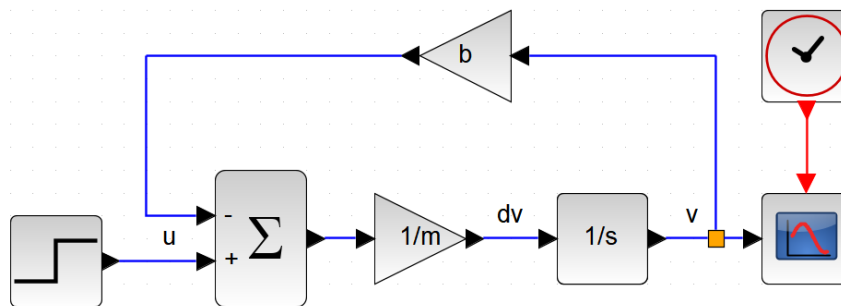


Figura 2: Diagrama de blocos do sistema do veículo por blocos integradores.

#### 4.4 Resposta do sistema - através da função de transferência

A função de transferência  $G(s)$  do sistema de cruzeiro do veículo (1), é dado por:

$$G(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b}. \quad (5)$$

Pede-se:

1. Obtenha a resposta do sistema para uma entrada  $u = 500$  [N]. O código Scilab para para obtenção da resposta do sistema é dado pelo Código 2. **DICA:** Considere a entrada como uma entrada ao degrau.
2. É possível alterar a condição inicial da velocidade na simulação?
3. Compare o resultado da simulação com as simulações anteriores.

---

**Código 2** Resposta do veículo utilizando a função ode.

---

```

1 clear
2 close
3 clc
4 // Parametros do veiculo
5 m = 1000; // [kg]
6 b = 50; // [N.s/m]
7 u = 500; // [N]
8 //Funcao de transferencia
9 s = poly(0,'s')
10 G = syslin('c',u/(m*s+b))
11 // Horizonte de tempo da simulacao
12 t = 0:0.1:200;
13 //Resposta step
14 v = csim('step',t,G)
15 //Graficos
16 plot(t,v)
17 xlabel('Tempo [s]')
18 ylabel('Velocidade [m/s]')
```

---

## 4.5 Resposta do sistema - através de bloco de função de transferência

Também é possível realizar a simulação do sistema utilizando blocos de função de transferência.

Desse modo, pede-se:

1. Realize a simulação da função de transferência 5 utilizando o digrama feito no XCOS apresentado na Figura 3. Para isto, utilize o bloco
  - (a) Sistemas de tempo contínuo → CLR.
  - (b) Compare o resultado da simulação com as simulações anteriores.

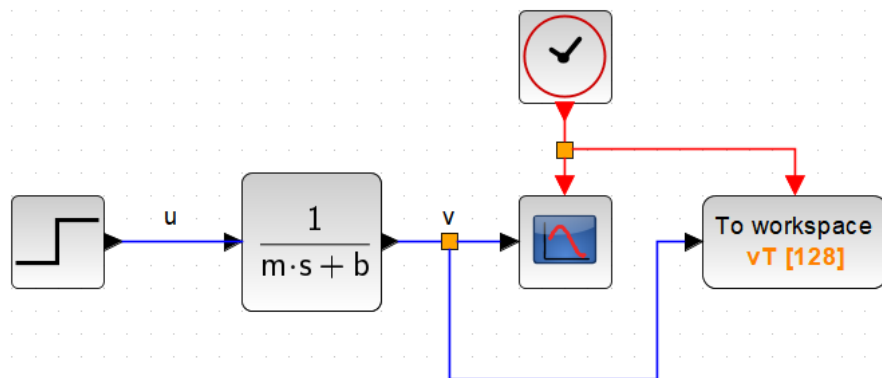


Figura 3: Diagrama de blocos do sistema do veículo por blocos de função de transferência.

# Referências Bibliográficas

- [1] Dawn Tilbury, Bill Messner, Rick Hill, JD Taylor, and Shuvra Das. Control tutorials for MATLAB & Simulink. Technical report, 2021.