

# 1 Atividade 5

## 1.1 Descrição do Modelo e Simulação

Nesta atividade, simulamos um sistema de controle que envolve um sistema massa-mola-amortecedor com um controlador proporcional. O sistema é descrito pela seguinte equação diferencial:

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + c \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = f(t),$$

onde  $m = 10$ ,  $c = 7$ , e  $k = 5$ .

## 1.2 Construção do Diagrama de Blocos

O diagrama de blocos para o sistema é apresentado a seguir, ilustrando como os componentes do sistema — controlador, planta e sensor — estão interligados.

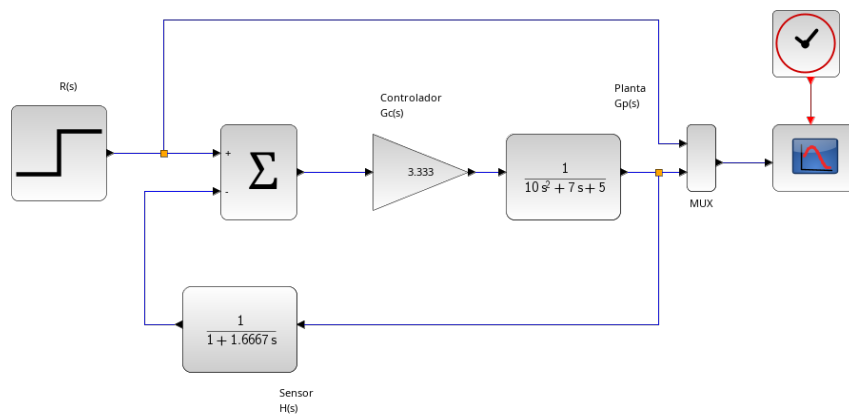


Figure 1: Diagrama de blocos do sistema de controle para Atividade 5

## 1.3 Simulação do Sistema

Para a simulação, utilizamos um sinal de degrau com amplitude  $A = \frac{m}{4} = 2.5$ . O tempo de simulação foi definido em 50 segundos para permitir a observação completa da resposta do sistema.

### 1.3.1 Configuração da Simulação

O sinal de degrau foi configurado para iniciar em 0 e atingir 2.5 no instante  $t = 1$  segundo. O tempo de simulação total foi estabelecido para 50 segundos para assegurar que a resposta do sistema fosse completamente observada.

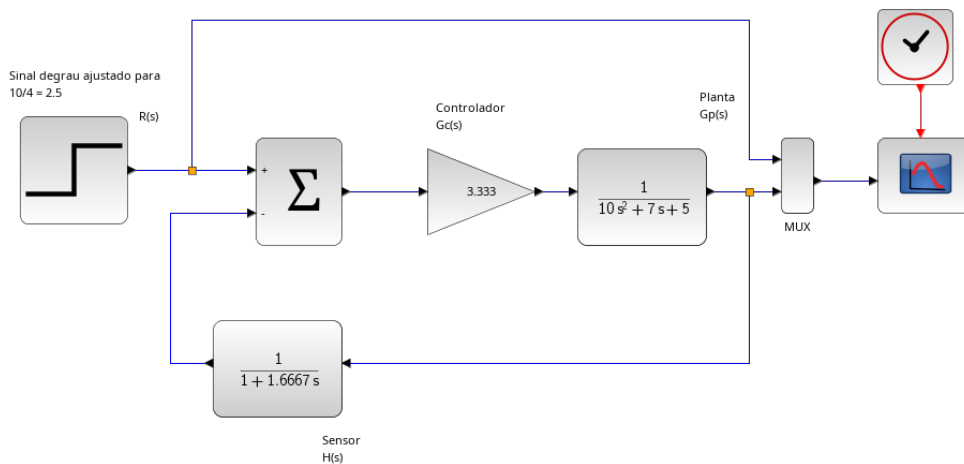


Figure 2: Diagrama de blocos utilizado para a simulação

### 1.3.2 Resultados da Simulação

A resposta do sistema ao degrau é apresentada na figura abaixo, onde são destacados o tempo de subida, tempo de pico, tempo de estabilização e a zona estacionária, utilizando a ferramenta DataTip para marcar esses pontos significativos.

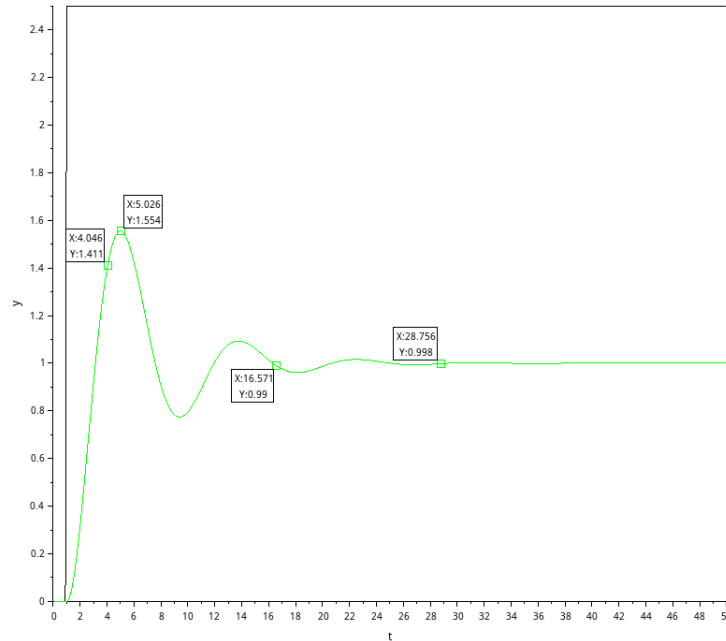


Figure 3: Resposta do sistema ao degrau com configuração de amplitude  $A = 2.5$

### 1.4 Análise Detalhada dos Resultados da Simulação

A resposta do sistema ao degrau é apresentada na Figura 3, demonstrando as dinâmicas chave do sistema controlado. Analisamos detalhadamente cada parte da resposta:

- **Tempo de Subida:** O tempo de subida refere-se ao intervalo necessário para que a resposta do sistema suba do estado inicial até o primeiro pico significativo. No gráfico, o sistema leva aproximadamente 5 segundos para atingir o primeiro pico de 1.55. Este comportamento inicial mostra como o sistema responde rapidamente ao degrau, com a energia inicialmente absorvida e depois liberada pela combinação de massa, mola e amortecedor.
- **Tempo de Pico:** O pico ocorre no momento em que a saída atinge seu valor máximo em resposta ao degrau. O primeiro pico de 1.55 é atingido em torno de 5 segundos após a aplicação do degrau, ilustrando a máxima extensão da resposta do sistema antes de começar a amortecer devido às forças de fricção e à força restauradora da mola.
- **Tempo de Estabilização:** Após o pico inicial, o sistema começa a se estabilizar, reduzindo as oscilações até alcançar um estado quase constante. Este período é crucial, pois mostra a eficácia do amortecimento em dissipar a energia inicialmente induzida. No gráfico, o sistema mostra sinais de estabilização em torno de 28 segundos, indicando que o amortecimento e a rigidez da mola estão bem dimensionados para controlar as oscilações.
- **Zona Estacionária:** O sistema é considerado em estado estacionário quando as oscilações em torno do valor de equilíbrio se tornam negligíveis. No gráfico, isso é observado após aproximadamente 28 segundos, onde

a saída mantém-se constante em cerca de 0.998. Esta fase é fundamental para avaliar se o sistema atingiu o equilíbrio desejado após a perturbação inicial.

**Conclusões da Análise:** A resposta ao degrau revela que o sistema massa-mola-amortecedor, equipado com um controlador proporcional, consegue retornar a um estado de equilíbrio após uma perturbação inicial. A análise destaca a importância de um ajuste apropriado do amortecimento e da rigidez da mola para assegurar que o sistema não apenas retorne ao equilíbrio, mas que o faça de maneira eficiente e sem oscilações excessivas. Este comportamento é indicativo de um sistema bem projetado, capaz de manter a estabilidade mesmo sob condições iniciais desafiadoras.

## 1.5 Simulação com Diferentes Configurações de Ganho e Amplitude

Nesta seção, expandimos a simulação para avaliar o impacto de diferentes configurações de ganho do controlador e amplitude do sinal de entrada. Três casos distintos foram simulados:

1. **Caso Base (Amplitude A=1, Ganho=3.333):** Mostrado pela linha verde no gráfico.
2. **Caso com A=2.5 e Ganho=3.333:** Mostrado pela linha amarela no gráfico.
3. **Caso com A=2.5 e Ganho=6.666:** Mostrado pela linha azul no gráfico.

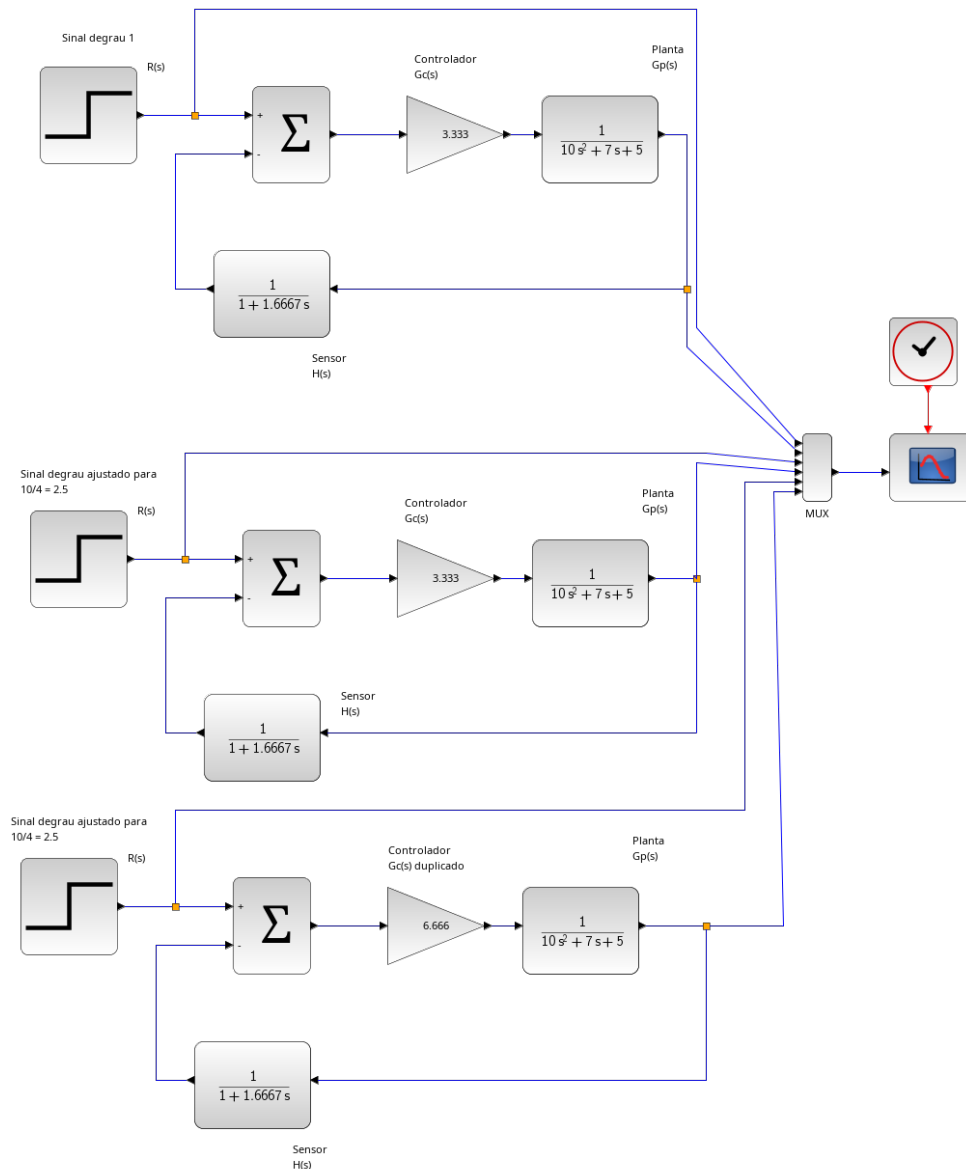


Figure 4: Diagrama de blocos utilizado para a simulação dos três casos

### 1.5.1 Análise dos Resultados

Os resultados das simulações são visualizados no gráfico seguinte, onde diferentes cores representam os diferentes casos testados.

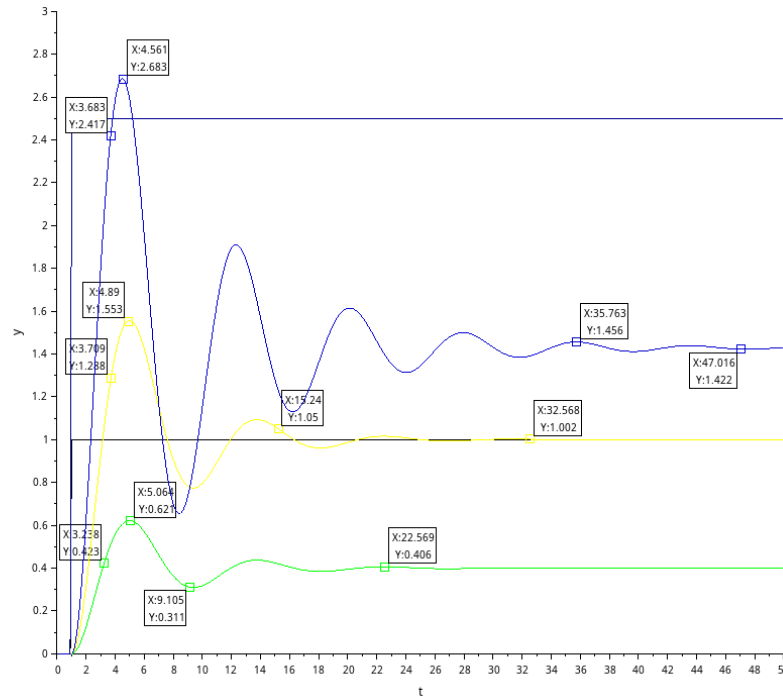


Figure 5: Resposta do sistema para diferentes configurações de ganho e amplitude

- **Verde (Caso Base):** A resposta é bastante atenuada, com um pico máximo de aproximadamente 0.311 e estabilização rápida. Este caso mostra a capacidade do sistema de controlar eficazmente pequena perturbações.
- **Amarelo ( $A=2.5$ ,  $Ganho=3.333$ ):** Com o aumento da amplitude, o sistema apresenta um overshoot maior, atingindo aproximadamente 1.554, com oscilações mais pronunciadas antes de estabilizar perto de 1.002. Isso indica que a resposta é mais vigorosa devido à maior entrada, mas ainda gerenciável.
- **Azul ( $A=2.5$ ,  $Ganho=6.666$ ):** O aumento do ganho resulta em um overshoot significativamente maior, cerca de 2.683, com oscilações prolongadas que se estendem ao longo de todo o período de simulação. A resposta é mais agressiva e menos estável, demonstrando que um ganho mais alto pode introduzir instabilidade no sistema.

### 1.6 Comparação e Comentários sobre as Respostas

A comparação entre os três casos ilustra claramente a influência da amplitude do sinal de entrada e do ganho do controlador sobre a dinâmica do sistema. As principais observações são:

- **Impacto do Aumento da Amplitude:** O aumento da amplitude do degrau de 1 para 2.5 resulta em um maior overshoot e tempo de estabilização mais longo, o que é esperado em sistemas de controle devido à maior energia introduzida no sistema.
- **Efeitos do Aumento do Ganho do Controlador:** Ao dobrar o ganho do controlador de 3.333 para 6.666, enquanto mantendo a amplitude elevada, observa-se uma resposta muito mais volátil e um pico de overshoot

quase dobrado. Isso sugere que embora um ganho mais alto possa ser benéfico para uma resposta mais rápida, também pode comprometer a estabilidade geral do sistema.

- **Conclusões:** Os resultados indicam que um ajuste cuidadoso do ganho é crucial, especialmente em sistemas onde a estabilidade é uma preocupação. Para aplicações que requerem respostas rápidas e podem tolerar algum overshoot, um ganho mais alto pode ser apropriado. No entanto, para a maioria das aplicações industriais e comerciais, um ganho mais moderado e uma abordagem balanceada são recomendados para evitar oscilações excessivas e garantir a estabilidade do sistema.

Conclusivamente, esta análise demonstra a importância de um design de controlador bem ponderado, ressaltando a necessidade de equilibrar resposta rápida e estabilidade, dependendo dos requisitos específicos da aplicação.