

Controle discreto de um motor DC

Leonardo Cardoso Botelho

Rafael Lima

03 de Dezembro de 2020

Universidade de Brasília

Introdução

Objetivos

Construção do Sistema

Implementação em Hardware

Caracterização do Sistema

Projeto do Controlador

Controle Proporcional

Projeto em Frequência

Conclusão

Introdução

Objetivo

Desenvolver um sistema de controle de posição em tempo discreto a partir de hardware de baixo custo.

Desempenho de um Sistema de Controle

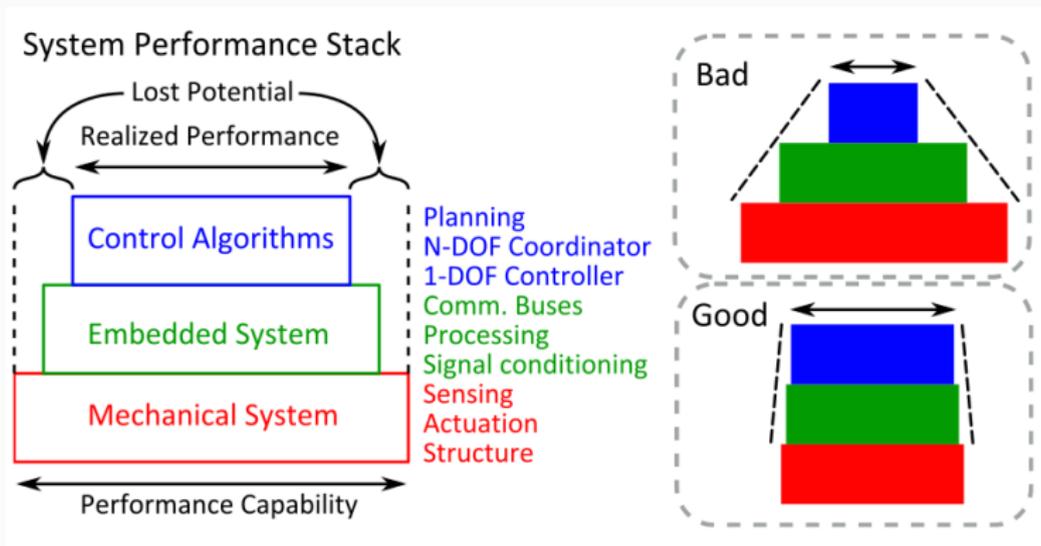


Figura 1: Representação da Capacidade de Desempenho [2]

Construção do Sistema

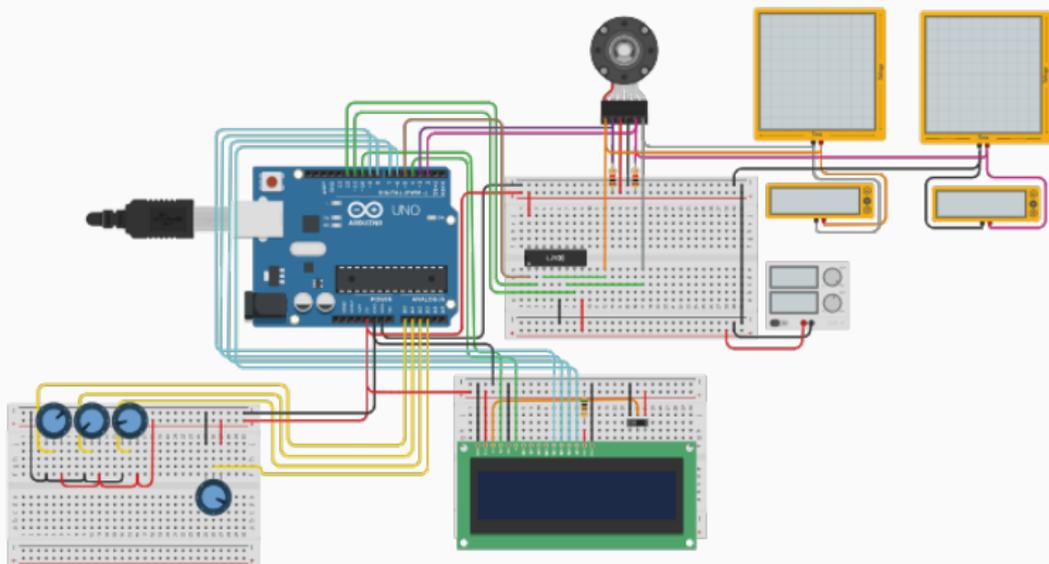


Figura 2: Planta no Tinkercad

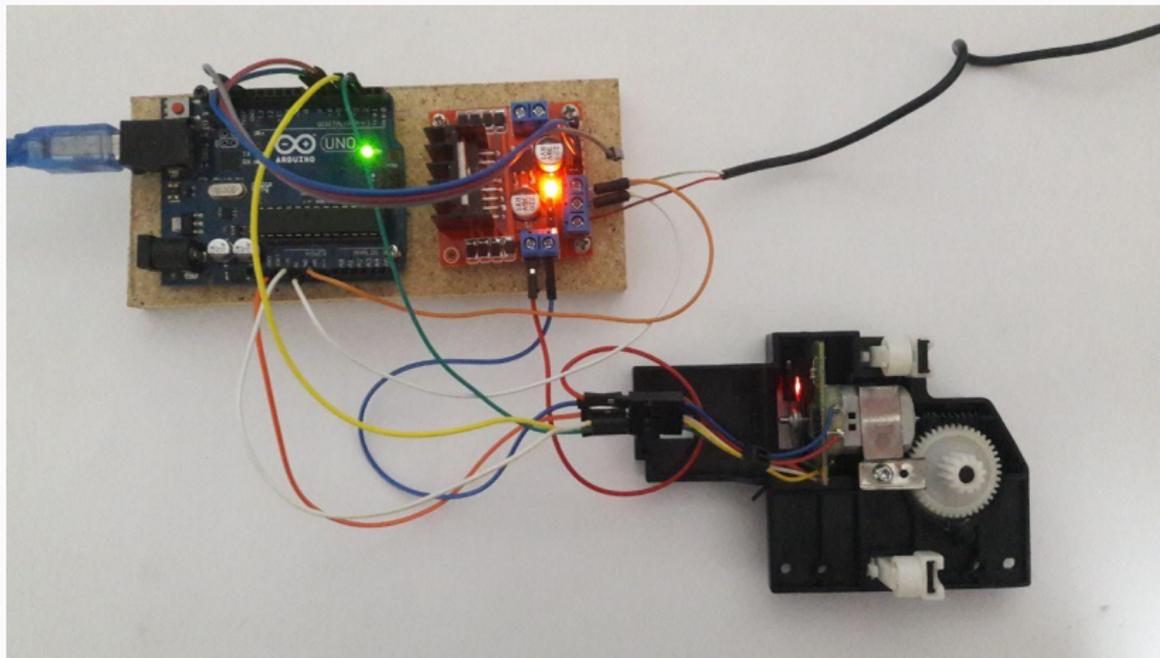


Figura 3: Sistema Real

Identificação de Zona Morta

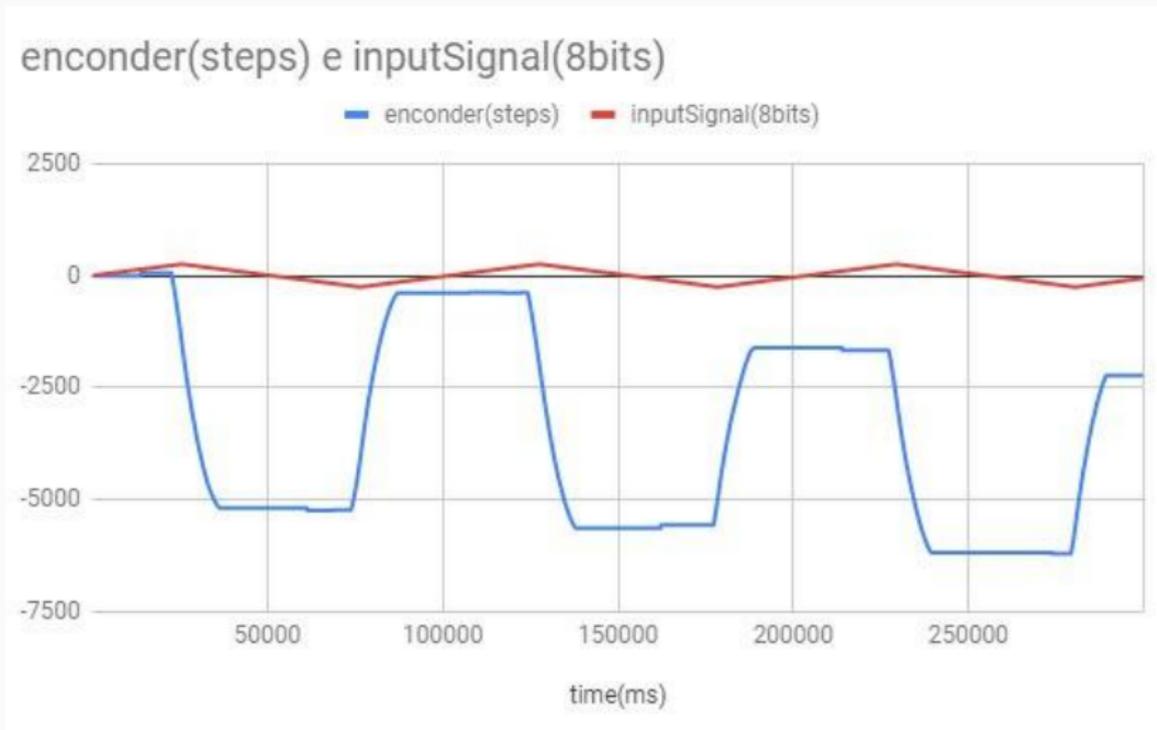


Figura 4: Resposta do sistema para onda triangular

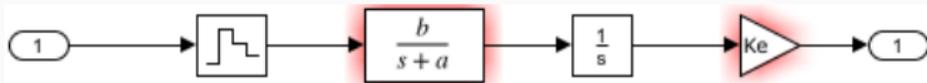


Figura 5: Modelo em Malha Aberta

Transformada Z

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \beta K_e \alpha \frac{\left(e^{-\frac{T}{\alpha} + \frac{T^2}{\alpha}} \right) z + \left(e^{-\frac{T}{\alpha}} + e^{-\frac{T}{\alpha}} \frac{T^2}{\alpha} + 1 \right)}{(z-1) \left(z - e^{-\frac{T}{\alpha}} \right)} \quad (1)$$

Identificação do Sistema

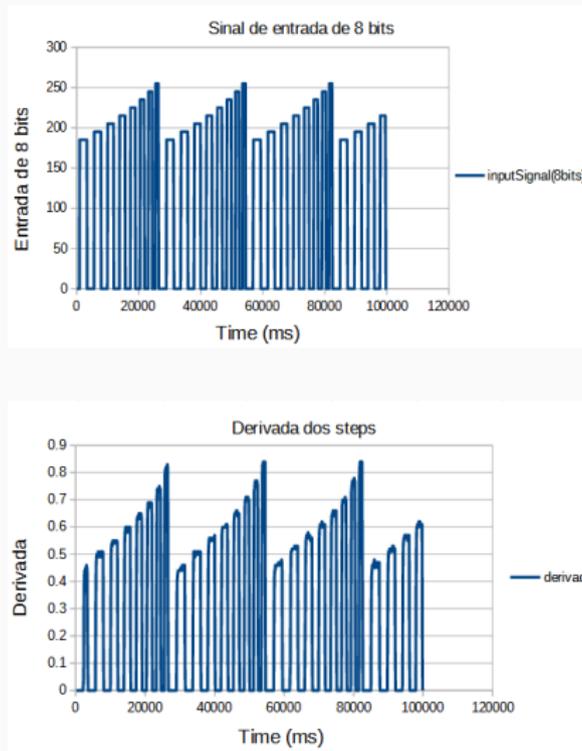


Figura 6: Comparativo entre sinal de entrada e velocidade do motor

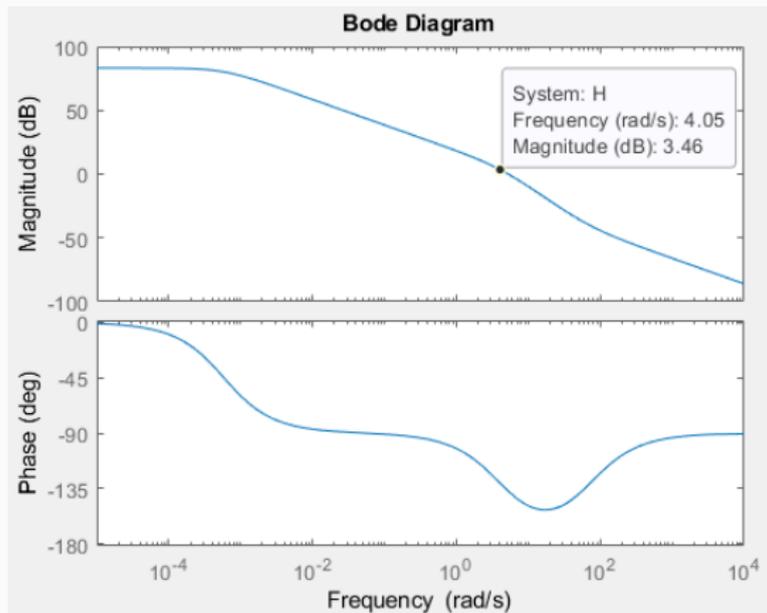
Forma Geral a partir do modelo

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{\beta_1 z + \beta_2}{z^2 + \alpha_1 z + \alpha_2} \quad (2)$$

Resultado Experimental

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0.19422 z - 0.092392}{z^2 - 1.6576 z + 0.65762} \quad (3)$$

Análise da resposta em frequência



- Largura de banda bastante limitada

Figura 7: Diagrama de Bode do sistema

Projeto do Controlador

LGR da planta no plano Z

```
sys = tf([0.19422 0.092392],[1 -1.6576 0.65762], 0.1);  
Ts = 0.1;  
figure()  
rlocus(sys)  
  
zgrid()  
axis equal
```

Figura 8: Comandos no Matlab

LGR da Planta no Plano Z

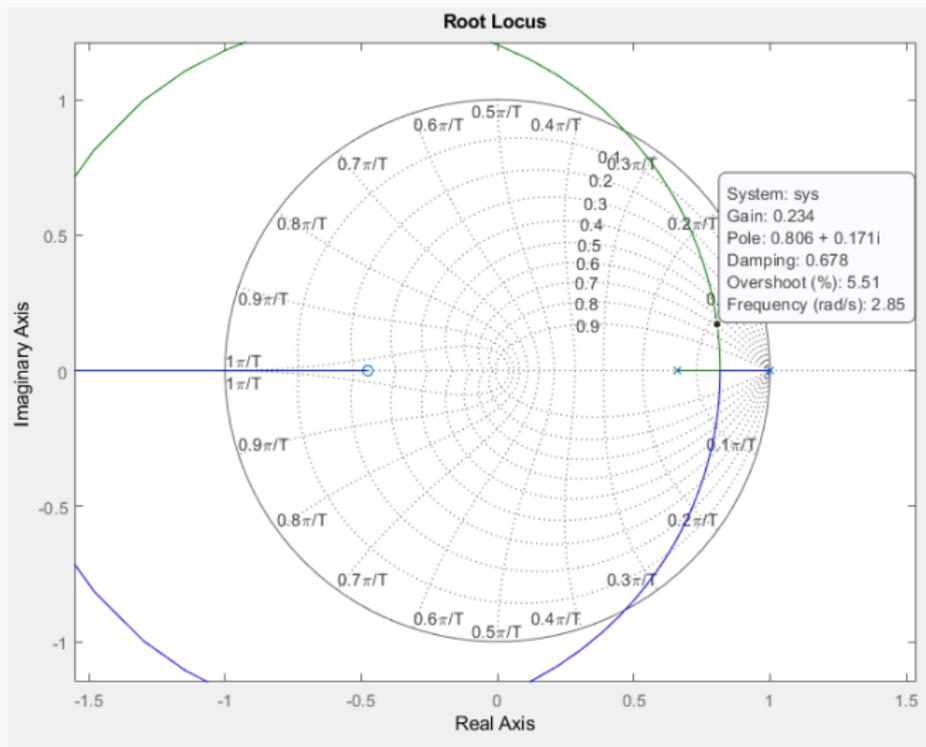


Figura 9: Gráfico do lugar das raízes

Controle Proporcional

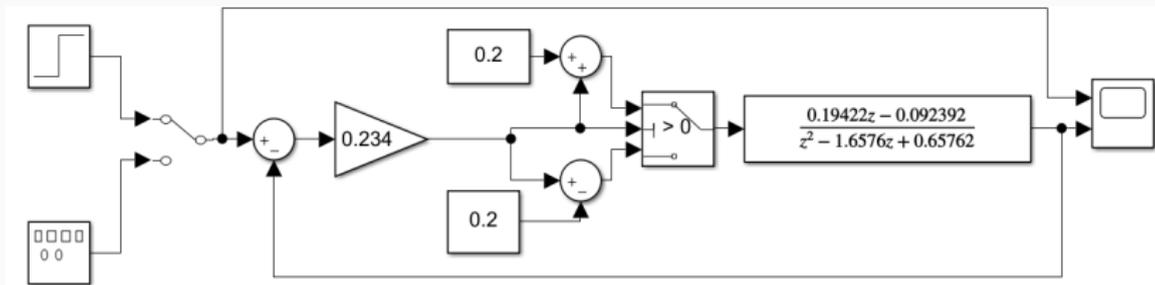


Figura 10: Diagrama de blocos do controlador proporcional

Resultados do Controle Proporcional

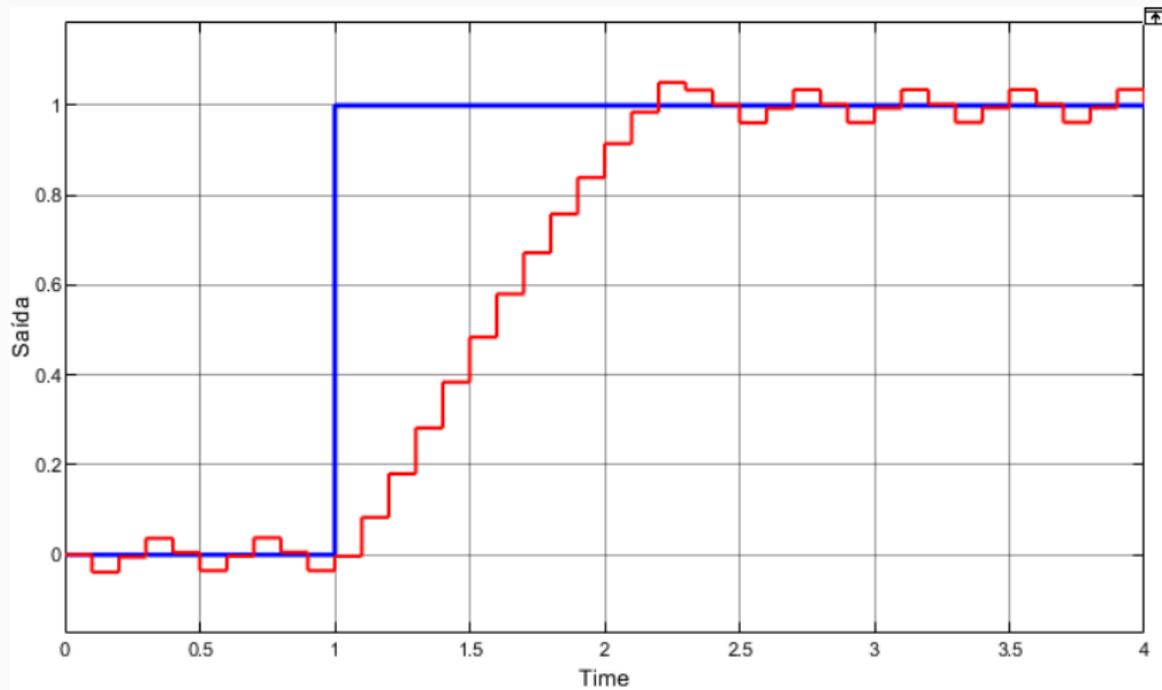


Figura 11: Resposta ao degrau na simulação

Segunda Proposta de Controlador

Função de transferência da planta no domínio s :

$$G(s) = \frac{0.5011(s + 70.0259)}{(s + 0.00058419)(s + 4.19042)} \quad (4)$$

Estratégia: Anular o polo mais distante da planta e adicionar outro, utilizando a equação de tempo de assentamento de um sistema de segunda ordem:

$$\zeta\omega_n = \frac{4}{T_s} \quad (5)$$

$$G_c(s) = \frac{s + 4.19042}{s + 8} \quad (6)$$

Segunda Proposta de Controlador

```
>> H = tf([0.5011 35.08997849], [1 4.191 0.002448]);  
>> bode(H)
```

Figura 12: Comandos no Matlab

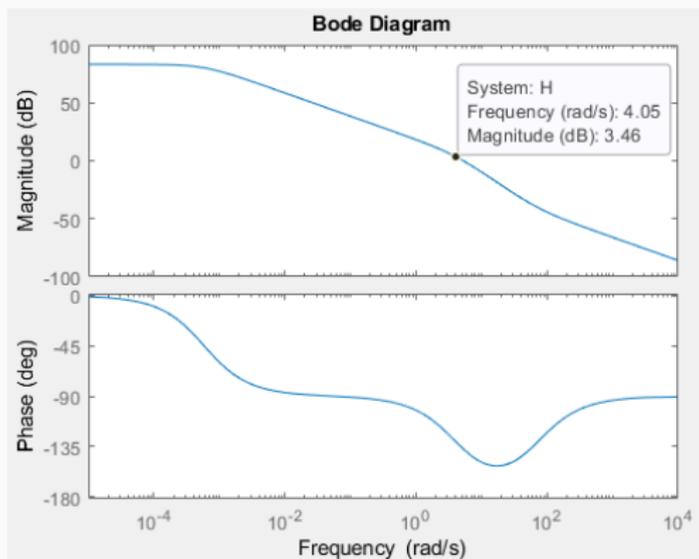


Figura 13: Diagrama de Bode

Segunda Proposta de Controlador

Equação final do controlador:

$$G_c(z) = 3.46 \frac{z - 0.7116}{z - 0.4493} \quad (7)$$

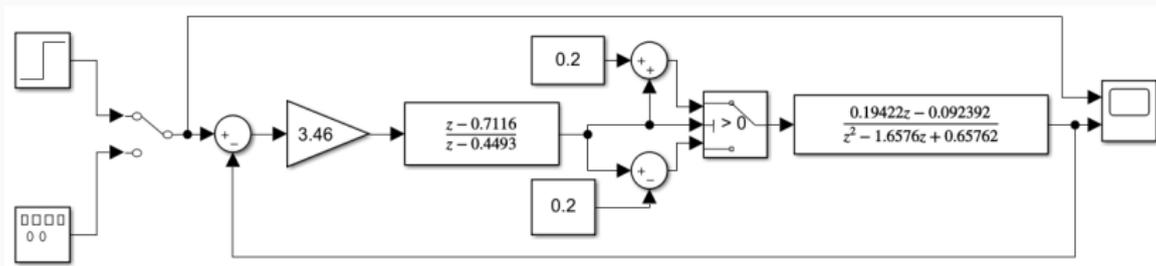


Figura 14: Diagrama de blocos do controlador 2

Resultados da Segunda Proposta de Controlador

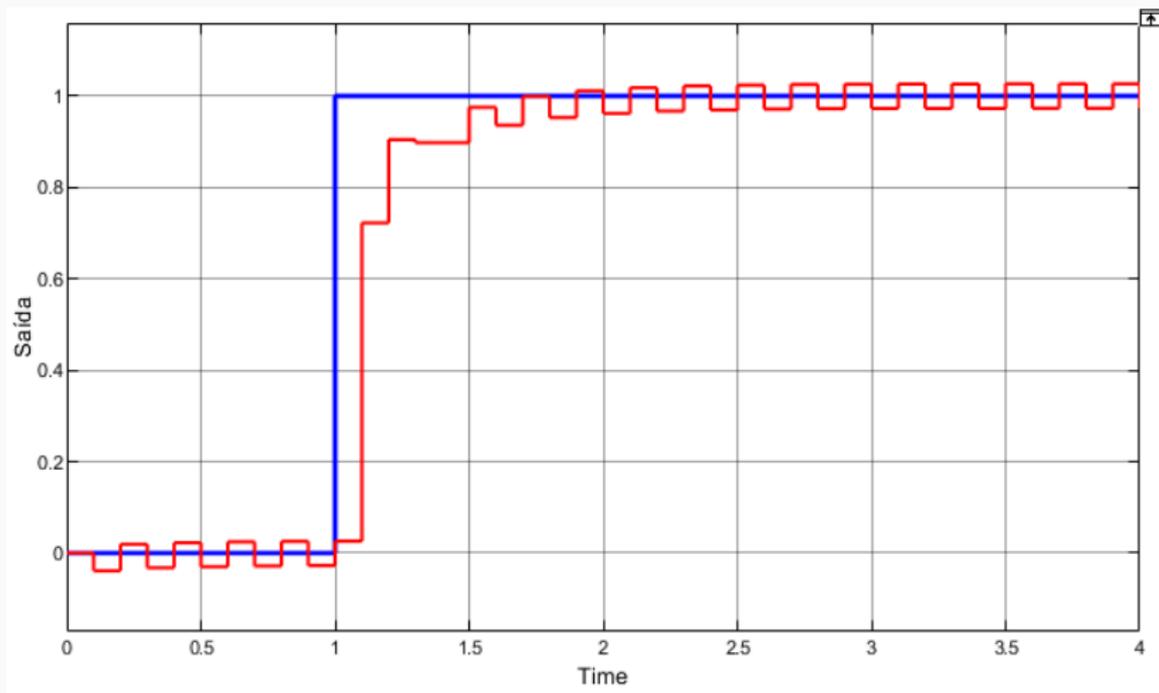


Figura 15: Resposta ao degrau - controlador 2

Resultados da Segunda Proposta de Controlador

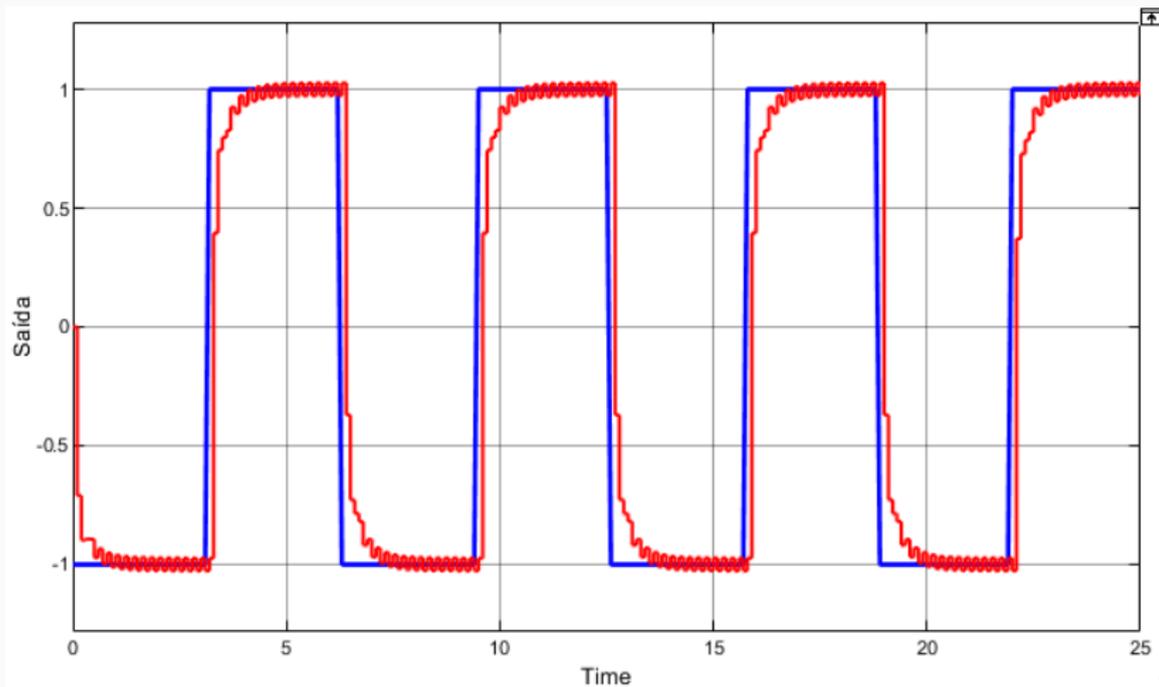


Figura 16: Resposta à onda quadrada

Resposta em Hardware do Primeiro Controlador

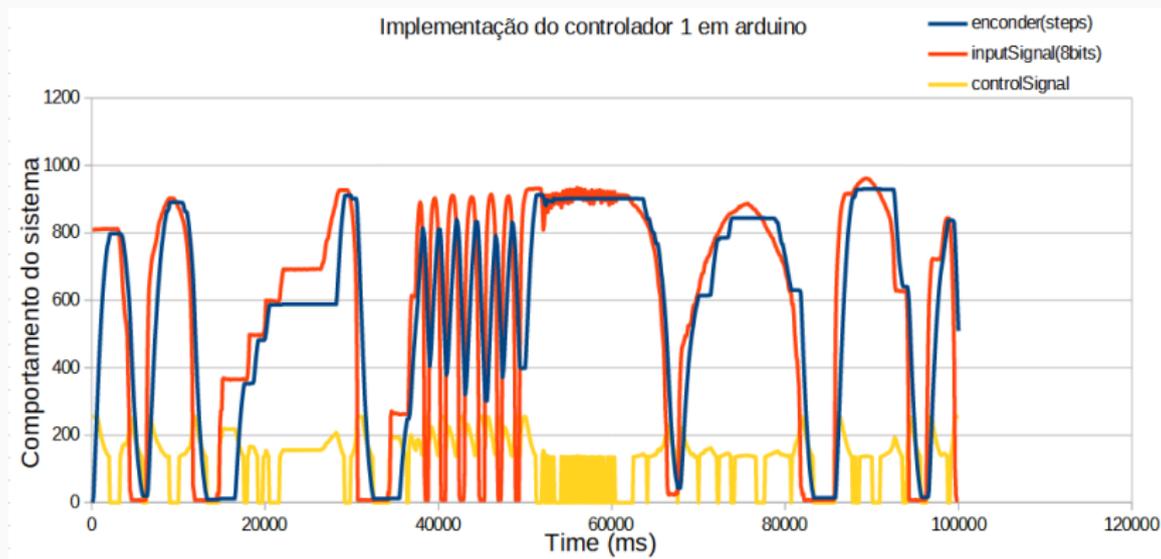


Figura 17: Resposta planta - $K_p = 0.25$

Conclusão

- Sistema final lento;
- Para variações lentas, foi obtido erro estacionário baixo;
- Erro cumulativo da leitura de posição;
- Comprometimento da precisão devido à representação numérica em binário.

- Implementação de filtros para o encoder;
- Projeto de controladores no espaço de estados;
- Projeto de PID completo;
- Medir tempos usando hardware externo como forma de remover a necessidade da comunicação serial;
- Calibrar as medidas do encoder com base em sistema externo.

Obrigado!



N. NISE.

Engenharia de Sistemas de Controle.

Gen | LTC, 2012.



N. A. Paine.

High-performance series elastic actuation.

PhD thesis, 2014.