

Sistemas Embarcados

PROF. JOSENALDE OLIVEIRA

TADS UFRN

josenalde@eaj.ufrn.br

<https://github.com/josenalde/embeddedsystems>

Sistemas de Segunda Ordem - oscilação

- $F_{EL} = -K_s x$ (Mola ideal) - Lei de Hooke
- $F_{AM} = -B \dot{x}$ (Amortecedor ideal)

$$\sum F_R = m\ddot{x} \quad (1)$$

$$m\ddot{x} = -F_{EL} - F_{AM} + f_i \quad (2)$$

$$m\ddot{x} = -K_s x - B\dot{x} + f_i \quad (3)$$

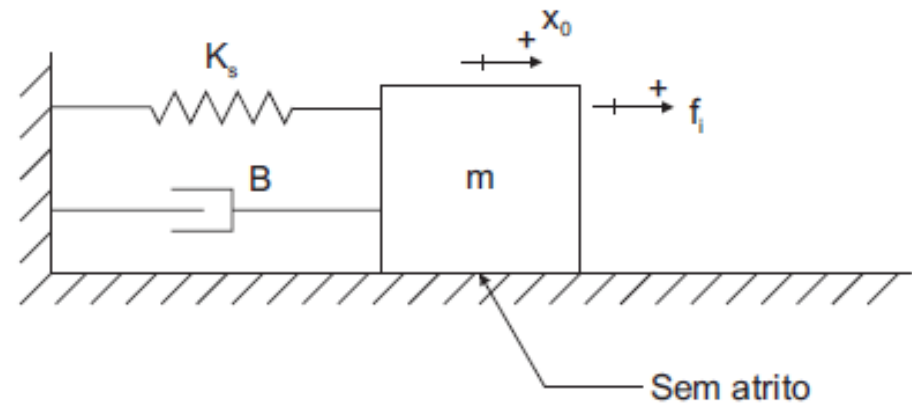
Sistema massa-mola-amortecedor Sujeito à força externa f_i

K_s = Coeficiente de elasticidade;

B = Coeficiente de amortecimento do amortecedor;

m = Massa do bloco;

f_i = Força externa .



Sistemas de Segunda Ordem - oscilação

<https://blogdocontroleiro.wordpress.com/2017/07/03/sistema-massa-mola-amortecedor/>

Função de transferência $X(s)/F(s)$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k}$$

Para simular, supor:

$M = 0.5 \text{ kg}$

$K = 1 \text{ N/cm}$

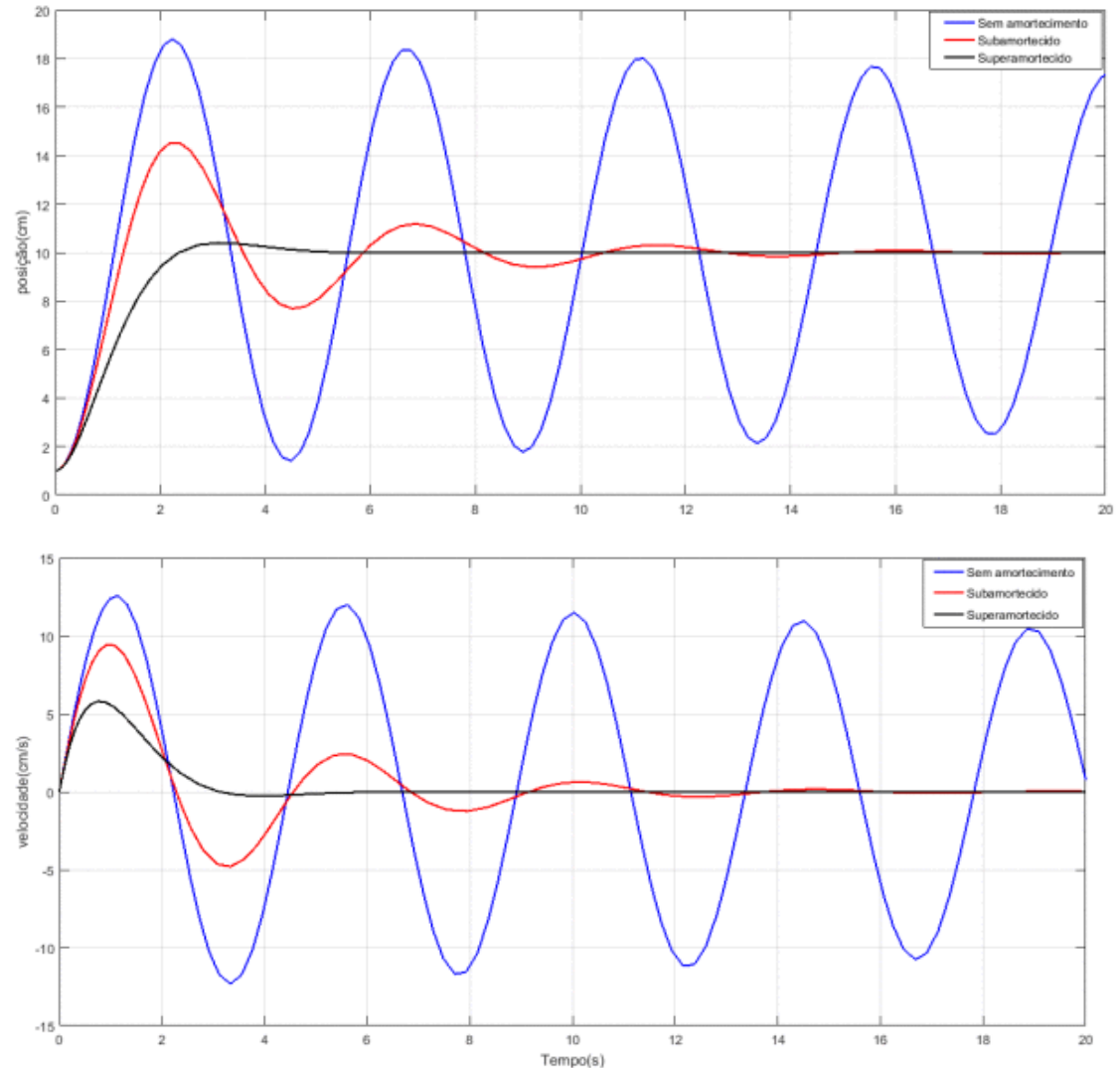
$B = 0.01 \text{ N} \cdot \text{s/cm}$

$B = 0.3 \text{ N} \cdot \text{s/cm}$

$B = 1 \text{ N} \cdot \text{s/cm}$

$F = f_i = 10 \text{ N}$

e condições iniciais nulas



Sistemas de Segunda Ordem - oscilação

<https://blogdocontroleiro.wordpress.com/2017/07/03/sistema-massa-mola-amortecedor/>

Função de transferência $X(s)/F(s)$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k}$$

Para simular, supor:

$$M = 1 \text{ kg}$$

$$K = 20 \text{ N/m}$$

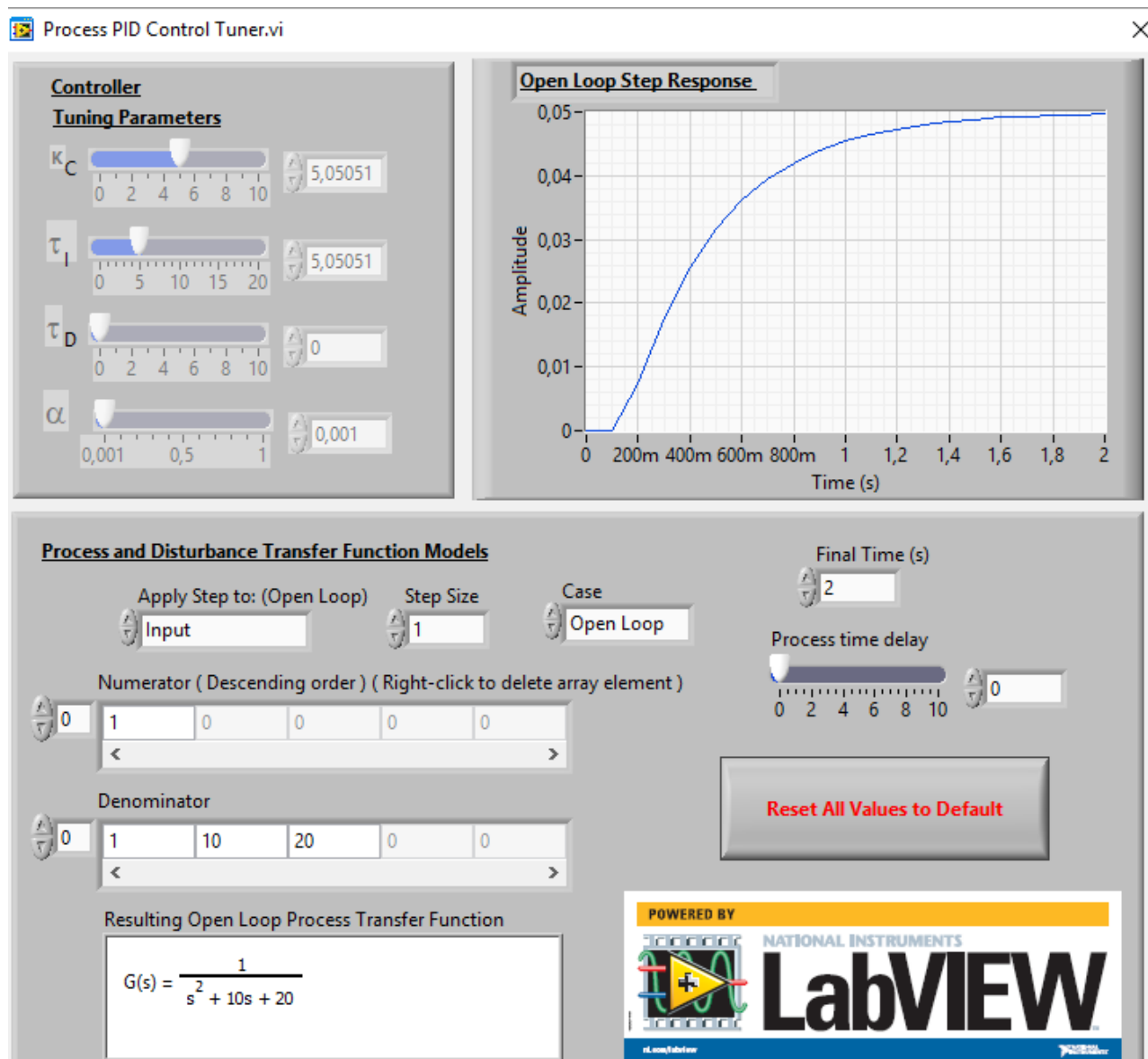
$$B = 10 \text{ Ns/m}$$

$$F = f_i = 1 \text{ N}$$

e condições iniciais nulas

Objetivos: tempo de subida rápido (o tempo em que a saída atinge pela primeira vez o setpoint, Overshoot mínimo, sem erro de regime permanente.

Sistemas de Segunda Ordem - oscilação

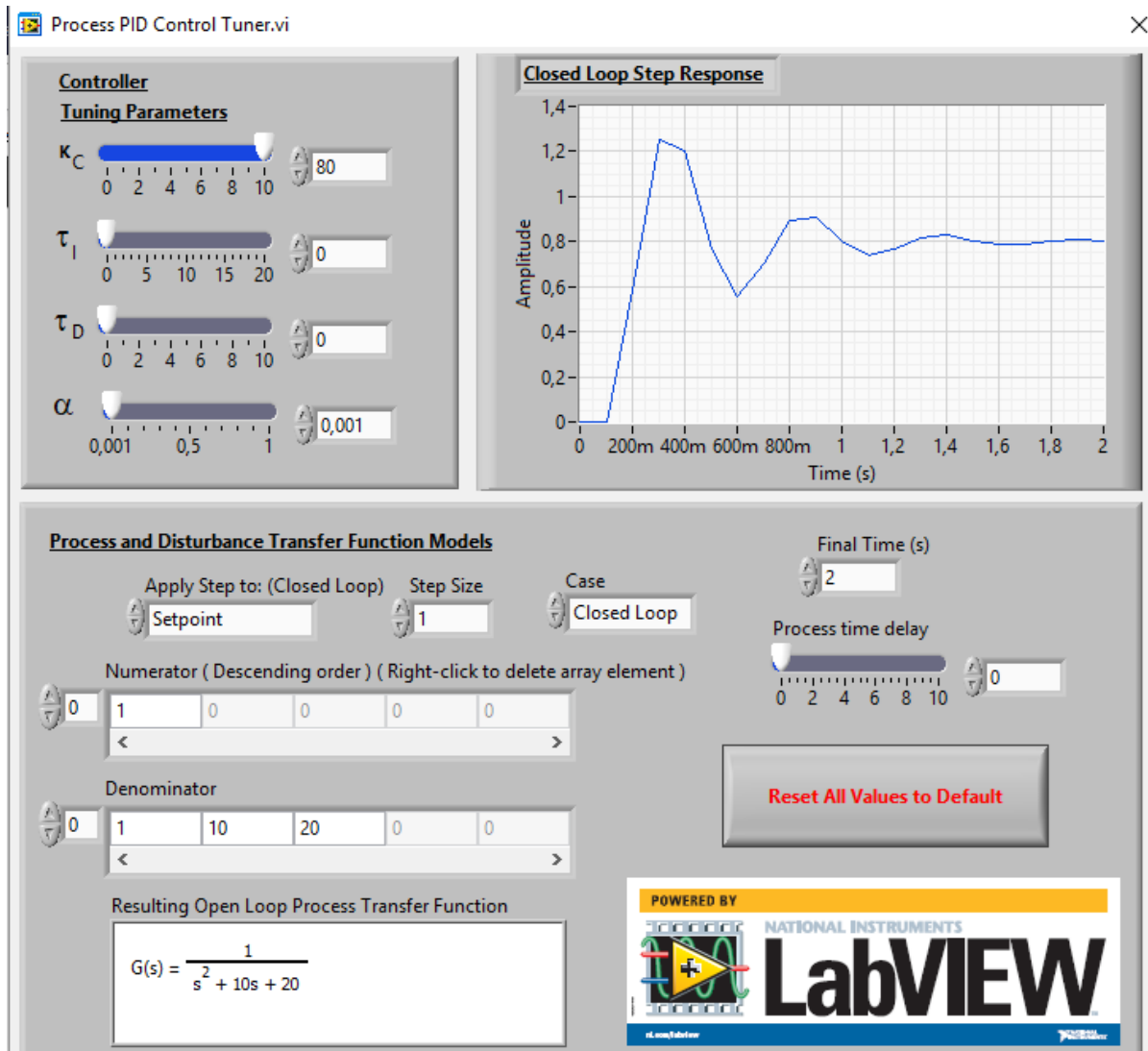


Em malha aberta:

- erro de 95% - 0.05 X 1
- tempo de subida - 1s
- tempo de estab. - 1.5s

Teste 1: Controle P, com $K_p (k_C) = 300$

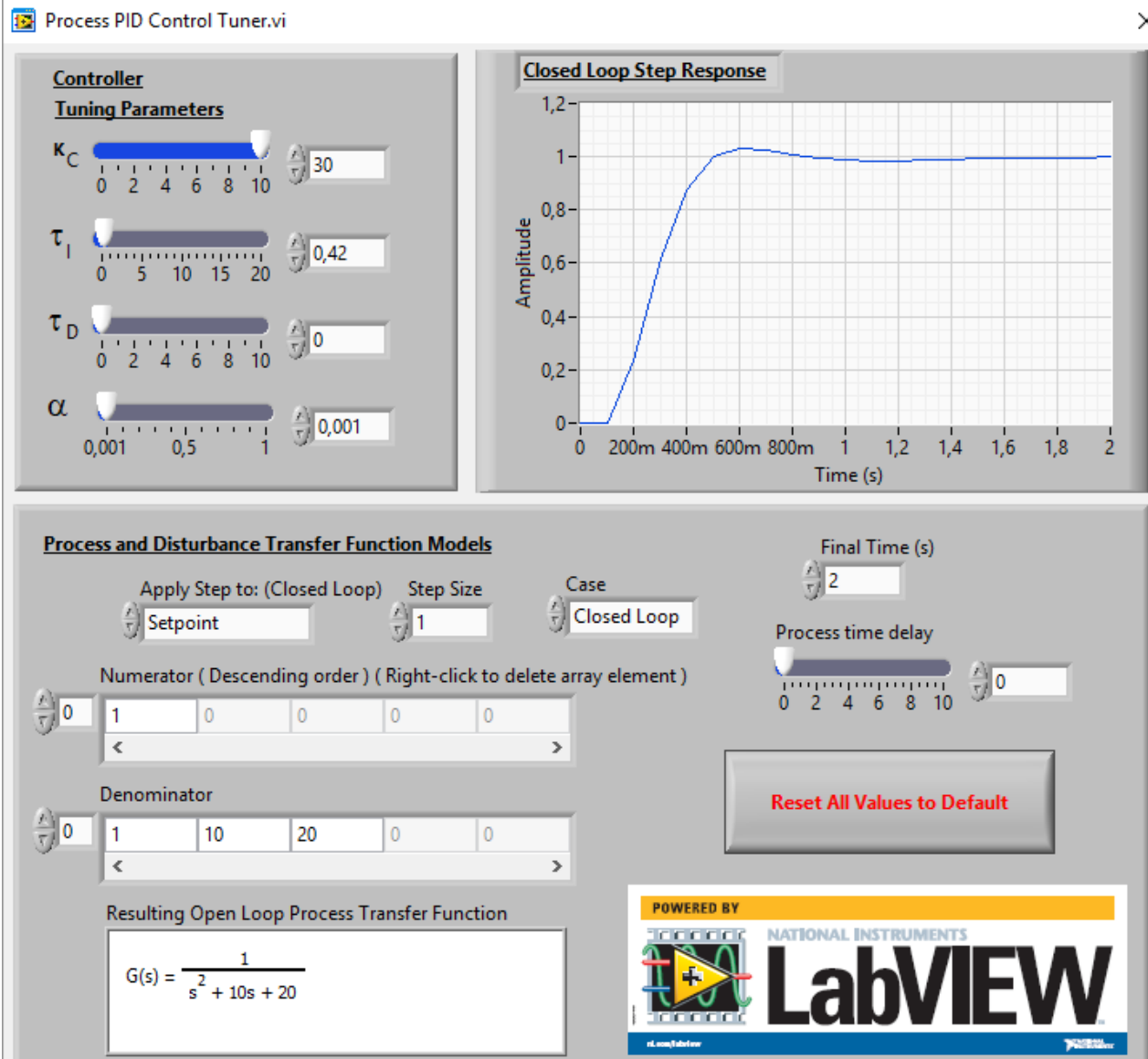
Sistemas de Segunda Ordem - oscilação



Em malha fechada:

Teste 1: Controle P, com
 $K_p (k_C) = 80$
Overshoot
Offset

Sistemas de Segunda Ordem - oscilação

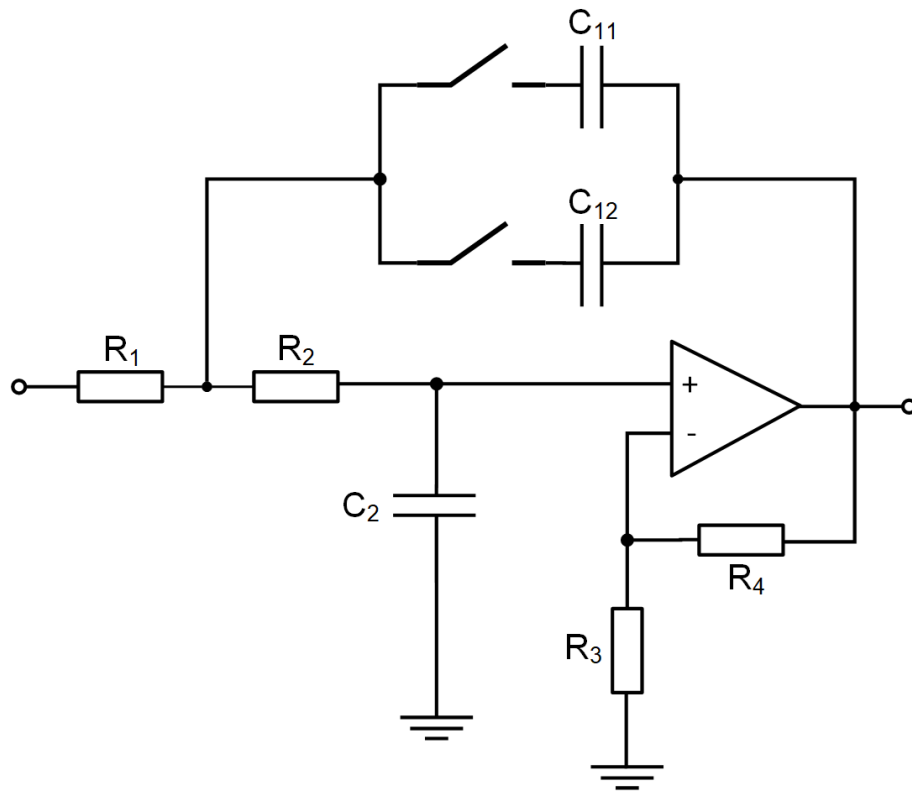


Em malha fechada:

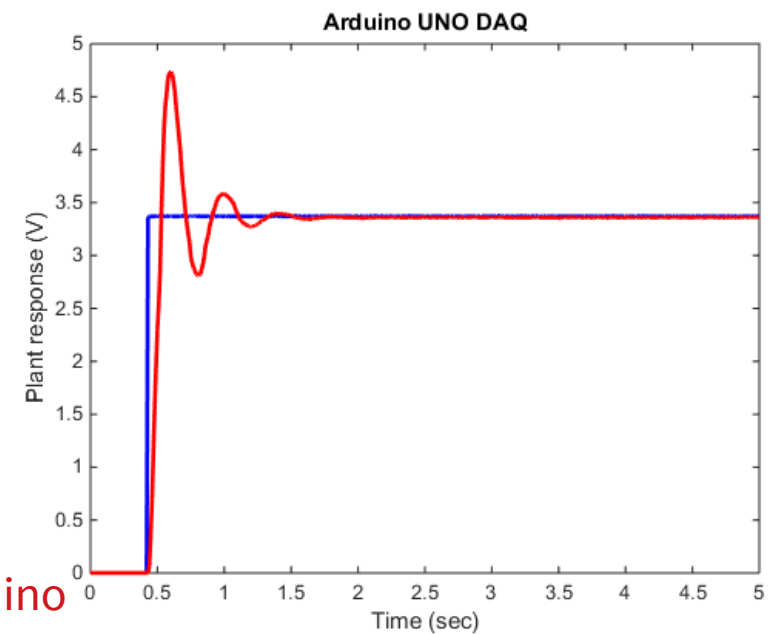
Teste 1: Controle P, com
 $K_p (k_C) = 30$
 $K_i = 70$, $K_p/\tau_i = 70$
 $\tau_i = 0,42$

Circuito – filtro de segunda ordem

Circuito com AMPOP



$R_1 = R_2 = 100K$
 $R_3 = 2K$
 $R_4 = 22K$ (pot)
 $C_2 = 680$ nF
 $C_{11} = 47\mu F$
LM741



Resposta ao degrau com 3,3V do Arduino

Circuito – filtro de segunda ordem

Circuito com AMPOP

$$Gp(s) = K \frac{a_0}{s^2 + a_1 s + a_0} = \frac{\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$

$$a_0 = \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2},$$

$$a_1 = \frac{R_1 + R_2}{C_1 R_1 R_2},$$

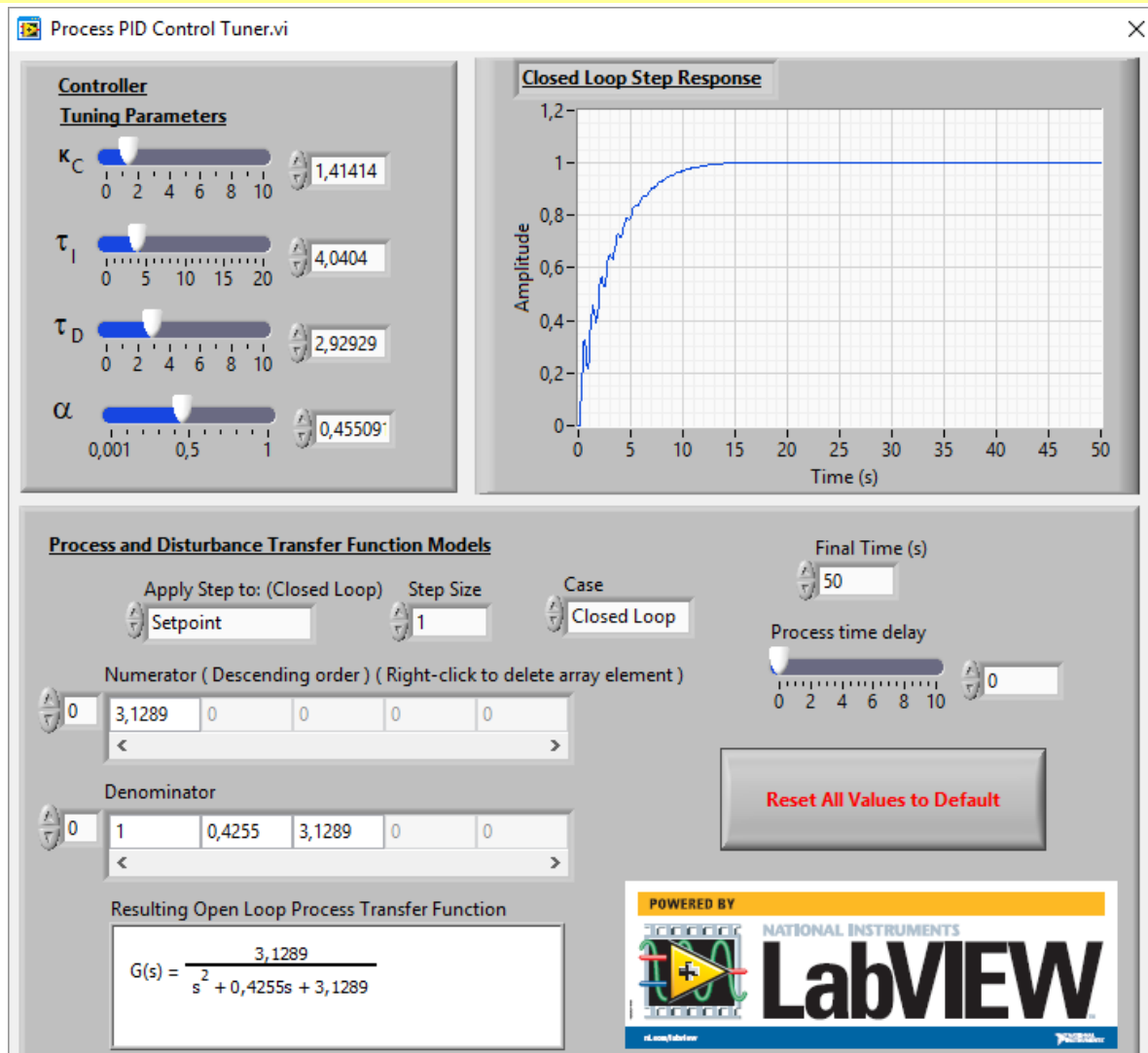
Substituindo os valores

$$\rightarrow Gp_2(s) = \frac{3.1289}{s^2 + 0.4255s + 3.1289}.$$

Resposta em frequência

Possibilidades de conexão (com módulo)

CIRCUITO COM AMPOP



$$Gc = \frac{U(s)}{E(s)} = Kc \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \frac{\tau_d s}{1 + \alpha s} \right)$$

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Por hoje é isso!