

## Aula 7 - Laboratório de Controle - 2022/1

### Métodos de sintonia dos ganhos do controlador PID

Nome: Arthur Macedo, Catarina Sastre e Eric Rodrigues

Antes de fazer esta aula, é muito importante ler o documento [sintonia\\_pid.pdf](#).

```
I=1 ;  
turma=1 ;  
g=init(turma,I)
```

g =

$$\frac{9000}{s^4 + 40 s^3 + 600 s^2 + 4000 s + 10000}$$

Continuous-time transfer function.

g =

$$\frac{9000}{s^4 + 40 s^3 + 600 s^2 + 4000 s + 10000}$$

Continuous-time transfer function.

```
datetime('now')
```

```
ans = datetime  
15-Jun-2022 09:19:09
```

```
pwd
```

```
ans =  
'C:\Users\LEC0\Desktop\LabControle\Aula 6'
```

### Atividade 1 - Obtenção de modelos de ordem 1 e sintonia de controladores

Nesta atividade, execute o app aula7.mlapp para fazer a sintonia de um controlador P, PI ou PID via método de Ziegler-Nichols. **Assista o video Aula7.mp4 sobre como usar este app.**

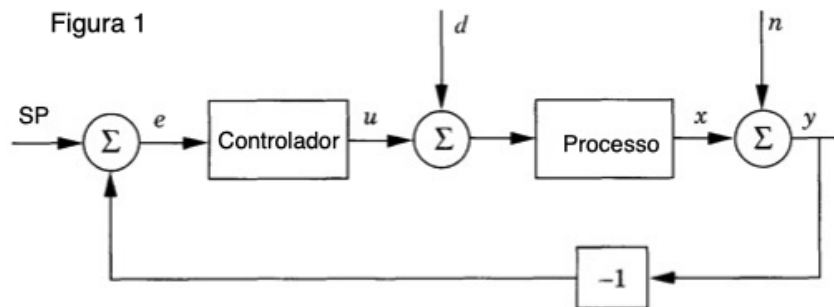
A Tabela 1 mostra como são calculados os ganhos dos controladores P, PI ou PID usando o método de Ziegler-Nichols

usando um modelo de primeira ordem definido por  $G(s) = \frac{Ke^{-\theta}}{\tau s + 1}$ , aproximado de uma FT de maior ordem.

Lembrando:  $K_i = 1/T_i$  e  $K_d = T_d$ ,

Controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{\tau}{K\theta}$	-	-
PI	$\frac{0.9\tau}{K\theta}$	3.33 $\theta$	
PID	$\frac{1.2\tau}{K\theta}$	2 $\theta$	0.5 $\theta$

As simulações são feitas como mostrado na figura 1, para uma entrada degrau SP e para um distúrbio em degrau em d.



Mostre o resultado da sintonia ao professor que o avaliará.

O modelo de ordem 1 obtido será usado nas demais atividades.

## Atividade 2 - Avaliação dos métodos de sintonia: controladores PI e PID

Da atividade 1, escolha os parâmetros do modelo  $g_1$  que será usado daqui para diante. Os 4 métodos de sintonia apresentados em `sintonia_pid` serão avaliados aqui.

Controladores PI e PID serão sintonizados e devem ter seu desempenho comparado.

### Sintonia do controlador PI

```
K=0.9; % Estes valores (K,tau,teta) vem da atividade 1
tau=0.27;
teta=0.18;
g1=tf(K,[tau 1], 'InputDelay', teta);
c1=sintonia(g1, 'PI', 'zie');
c2=sintonia(g1, 'PI', 'chr');
c3=sintonia(g1, 'PI', 'chr20');
c4=sintonia(g1, 'PI', 'iae_ot');

m1=feedback(c1*g,1);
m2=feedback(c2*g,1);
m3=feedback(c3*g,1);
m4=feedback(c4*g,1);

m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
```

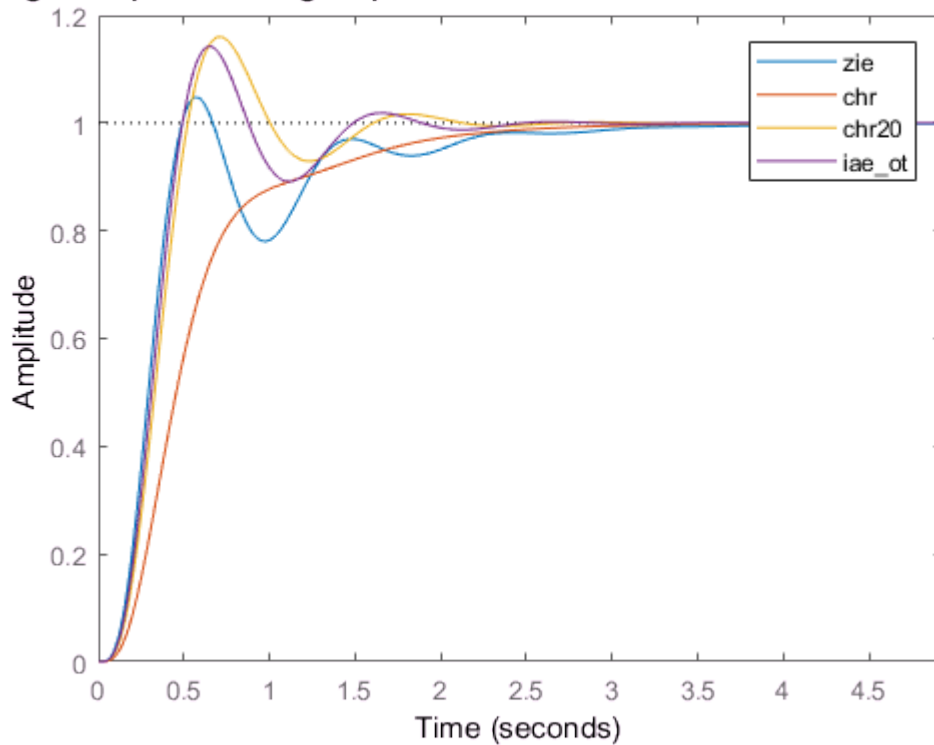
```

m3d=feedback(g,c3);
m4d=feedback(g,c4);

[y,t]=step(m1d);
figure
Tempo=max(t); % Escolher valor que mostre a resposta transitoria e em regime
t=linspace(0,Tempo,500);
step(m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig2. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PI')
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')

```

**Fig2. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PI**

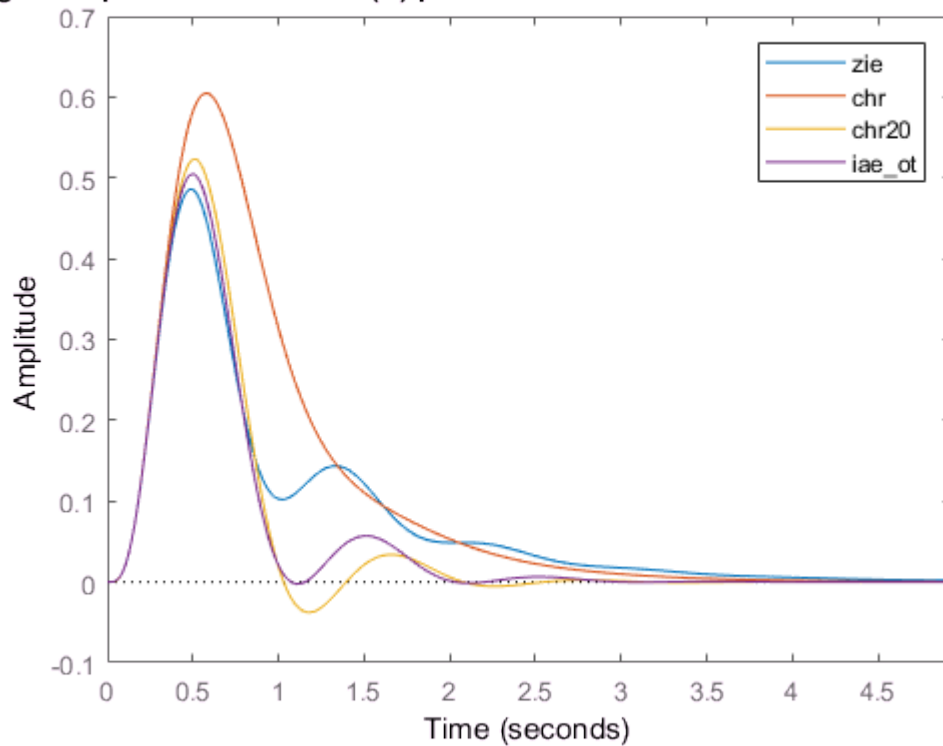


```

figure
step(m1d,m2d,m3d,m4d,Tempo);title('Fig3. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador PI')
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')

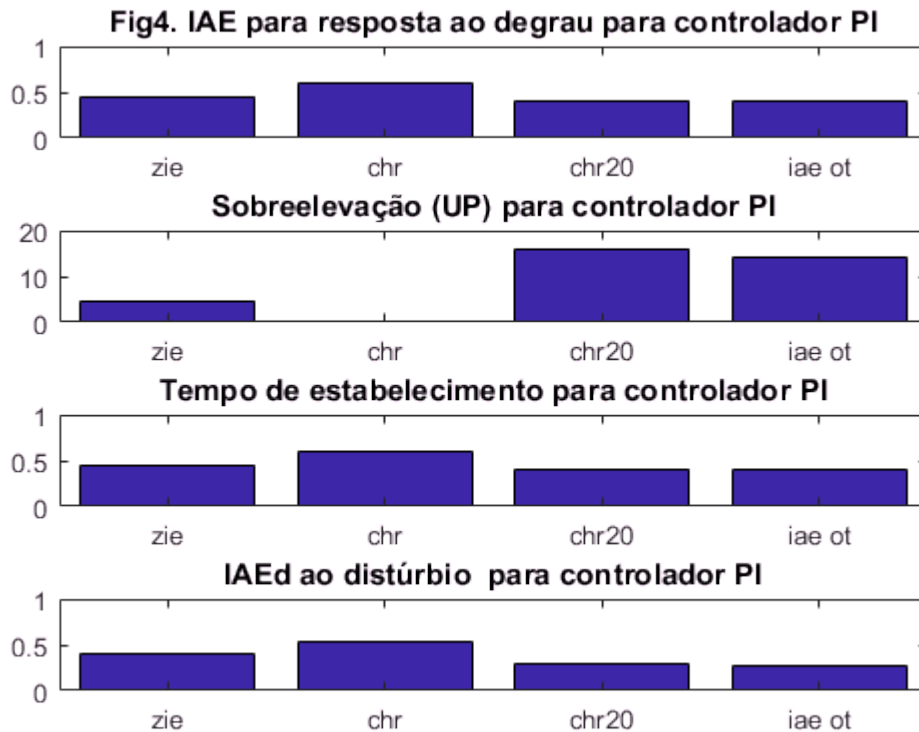
```

**Fig3. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador**



```
[iae_pi(1), UP_pi(1), ts_pi(1), iaed_pi(1)]=iaeupts(c1,g,t);
[iae_pi(2), UP_pi(2), ts_pi(2), iaed_pi(2)]=iaeupts(c2,g,t);
[iae_pi(3), UP_pi(3), ts_pi(3), iaed_pi(3)]=iaeupts(c3,g,t);
[iae_pi(4), UP_pi(4), ts_pi(4), iaed_pi(4)]=iaeupts(c4,g,t);

figure;
subplot(4,1,1);
bar(iae_pi);title('Fig4. IAE para resposta ao degrau para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,2);
bar(UP_pi);title('Sobreelevação (UP) para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,3);
bar(iae_pi);title('Tempo de estabelecimento para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,4);
bar(iaed_pi);title('IAEd ao distúrbio para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
```



2.1 Que método dá o melhor controlador PI para os critérios IAE e UP?

O melhor método de controle PI é o método de Ziegler-Nichols, sendo o mais consistente para os critérios IAE e UP, sendo o segundo menor em termos de sobreelevação e o terceiro menor em IAE

2.2 Verifique se o controlador PI que dá melhor rejeição ao distúrbio (menor IAEd) também dá menor IAE (resposta ao degrau). Compare e justifique, usando as figuras 2 e 3.

O método que resulta em um menor IAEd e também em um menor IAE é o iae ot. Pela figura 2, vemos que a resposta ao degrau tem o menor tempo de estabelecimento em relação aos demais métodos e na figura 3 temos que a curva de iae ot apresenta a menor área e consequentemente o menor erro ao distúrbio.

2.3 Dos 4 controladores (c1,c2,c3,c4), qual tem maior ganho  $K_p$ ? Verifique que efeito isto teve sobre IAE, UP,  $t_s$ , IAEd

O controlador 1 obtido pelo método de Ziegler-Nichols apresenta o maior ganho  $K_p$ , com valor 2. Pelas aulas teóricas de projeto de controladores e pela Aula 5, sabemos que o  $K_p$  deveria causar um aumento no sobressinal, porém vemos que o controlador obtido pelo referente método tem um dos menores sobressinais, apesar de ter o maior ganho proporcional.

## Sintonia do controlador PID

```

c1=sintonia(g1,'PID', 'zie');
c2=sintonia(g1,'PID', 'chr');
c3=sintonia(g1,'PID', 'chr20');
c4=sintonia(g1,'PID', 'iae_ot');

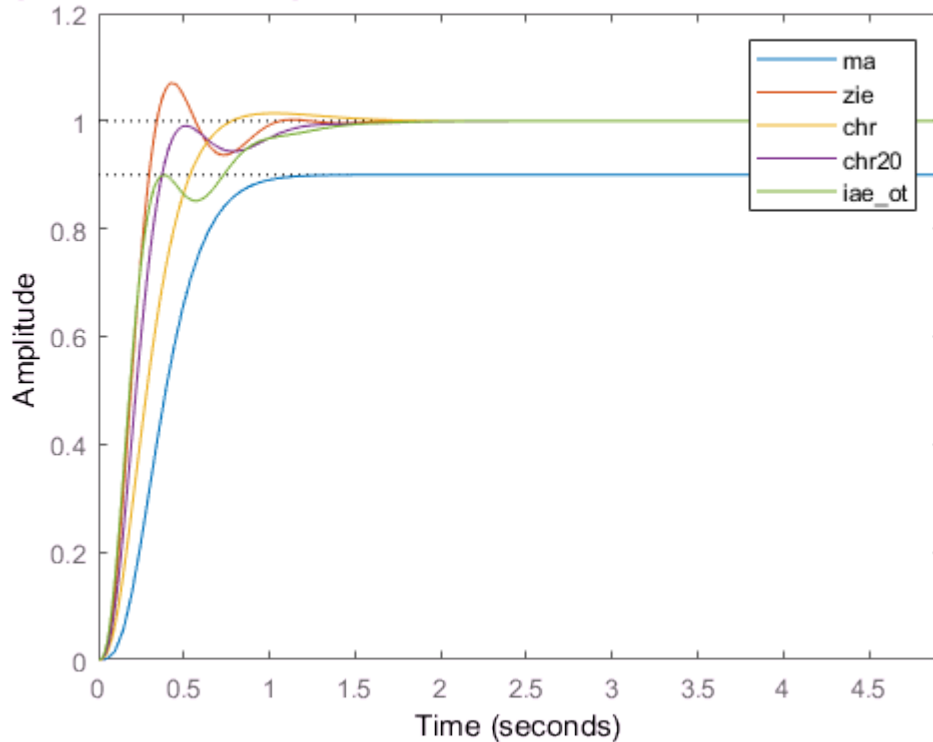
m1=feedback(c1*g,1);
m2=feedback(c2*g,1);

```

```
m3=feedback(c3*g,1);
m4=feedback(c4*g,1);
```

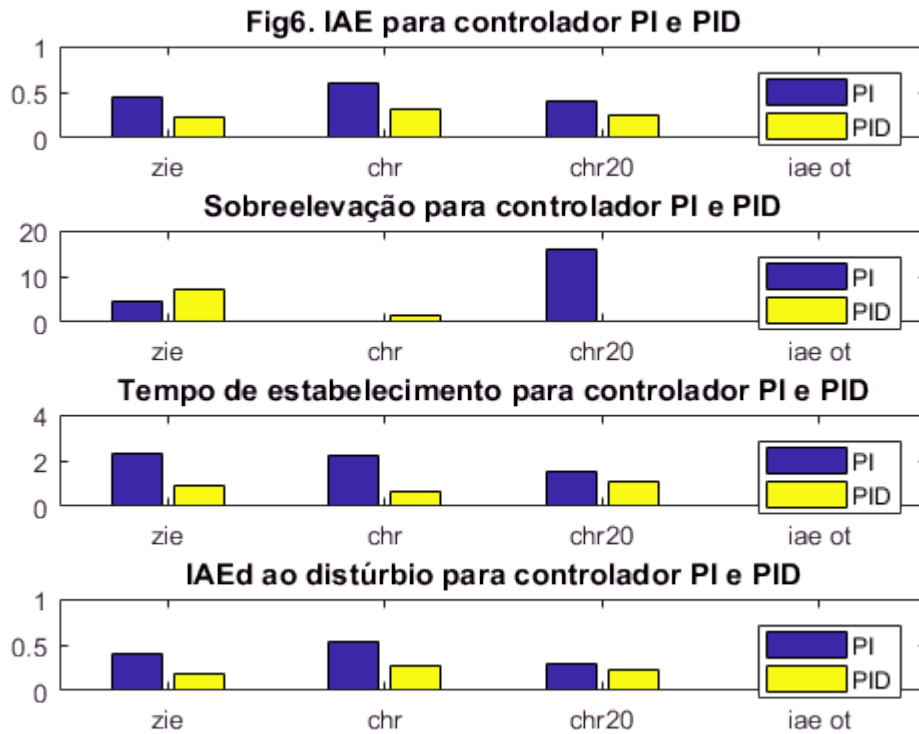
```
figure
step(g,m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig5. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PID')
legend('ma','zie','chr','chr20','iae_ot')
```

**Fig5. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PID**



```
[iae_pid(1), UP_pid(1), ts_pid(1), iaed_pid(1)]=iaeupts(c1,g,t);
[iae_pid(2), UP_pid(2), ts_pid(2), iaed_pid(2)]=iaeupts(c2,g,t);
[iae_pid(3), UP_pid(3), ts_pid(3), iaed_pid(3)]=iaeupts(c3,g,t);
[iae_pid(4), UP_pid(4), ts_pid(4), iaed_pid(4)]=iaeupts(c4,g,t);
```

```
figure;
subplot(4,1,1);
bar([iae_pi;iae_pid]);title('Fig6. IAE para controlador PI e PID');
legend('PI','PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,2);
bar([UP_pi;UP_pid]);title('Sobreelevação para controlador PI e PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});legend('PI','PID');
subplot(4,1,3);
bar([ts_pi;ts_pid]);title('Tempo de estabelecimento para controlador PI e PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});legend('PI','PID');
subplot(4,1,4);
bar([iaed_pi;iaed_pid]);title('IAEd ao distúrbio para controlador PI e PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});legend('PI','PID');
```



2.4 Compare os valores de IAE obtidos pelos controladores PI e PID, e use os valores de  $U_p$  e  $t_s$  para explicar as diferenças.

Os controladores PID apresentam valores de IAE e IAEd menores em relação aos controladores PI. Isso pode ser comprovado analisando a diferença entre o tempo de estabelecimento e a sobreelevação dos controladores PID, que apresentam valores menores em relação aos controladores PI.

2.5 Compare o desempenho dos controladores PI e PID (Fig.6) em termos dos valores de IAE para os 4 métodos, usando as figuras de resposta ao degrau para justificar

Comparando o desempenho dos controladores PI e PID analisando a figura 5, é notável que o PID tem um desempenho melhor pois apresenta menores sobressinal e tempo de assentamento e, portanto, menor IAE (como é visto na figura 6).

2.6 Usando as figuras mostradas, como escolher o controlador (PI ou PID) e o método (um dos 4) para a melhor resposta ao degrau e ao mesmo tempo melhor rejeição ao distúrbio? (faça uma nova figura, se isto ajudar)

Analisando os resultados da simulação, o controlador PID é escolhido, pois apresenta menores parâmetros (IAE, IAEd,  $t_s$ ,  $U_p$ ) em relação ao controlador PI. E de forma análoga, analisando os quatro métodos para controlador do tipo PID, foi escolhido o chr20, visto que apresenta valores baixos e consistentes nos quatro parâmetros apresentados na figura 6.

### Atividade 3 - Avaliação da sintonia lambda com controlador PID

Neste método o parâmetro  $\lambda$  é escolhido de forma a obter os parâmetros do controlador  $C(s)$  para que se tenha em malha fechada

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

Assim, pode escolher a dinâmica da resposta, reduzindo o tempo de subida e estabelecimento, com o preço de uma maior sobrelevação.

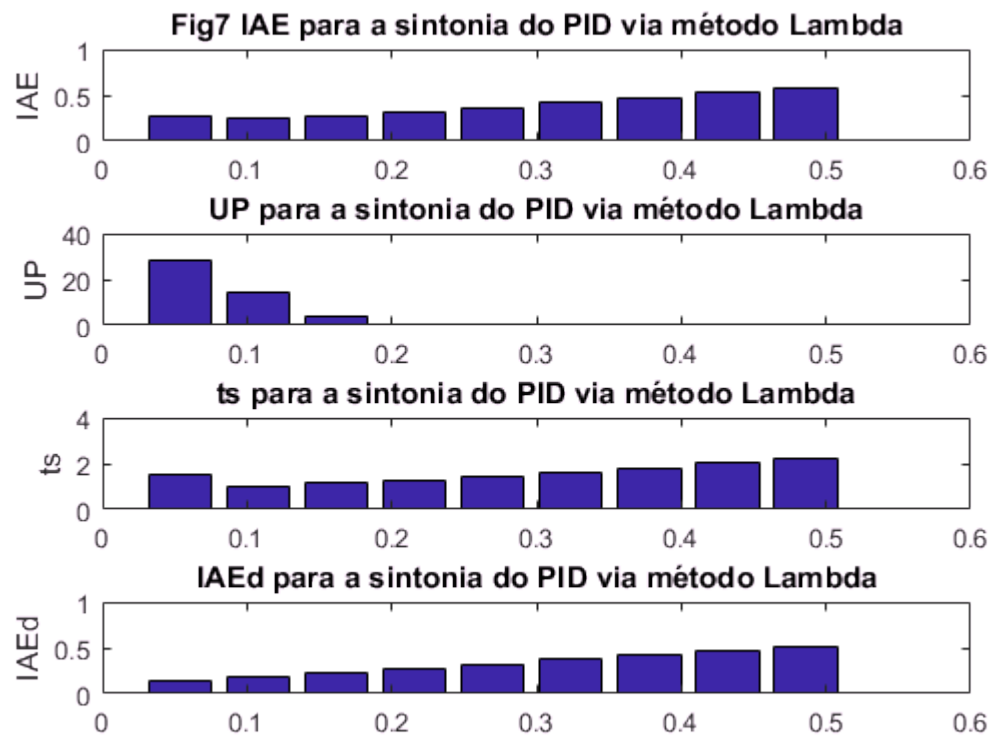
```
tau=g1.Denominator{1}(1);
lambda=tau*[0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8]; % Altere se ficar melhor
for i=1:length(lambda)
    c=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(i));
    m=feedback(c*g,1);
    [iael(i),upl(i), tsl(i), iaedl(i)]=iaeupts(c,g,t);
end

figure
subplot(4,1,1);
bar(lambda,iael);title('Fig7 IAE para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('IAE');
subplot(4,1,2);
bar(lambda,upl);title('UP para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('UP');

subplot(4,1,3);
bar(lambda,tsl);title('ts para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('ts');

subplot(4,1,4);
bar(lambda,iaedl);title('IAEd para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('IAEd');
```





```

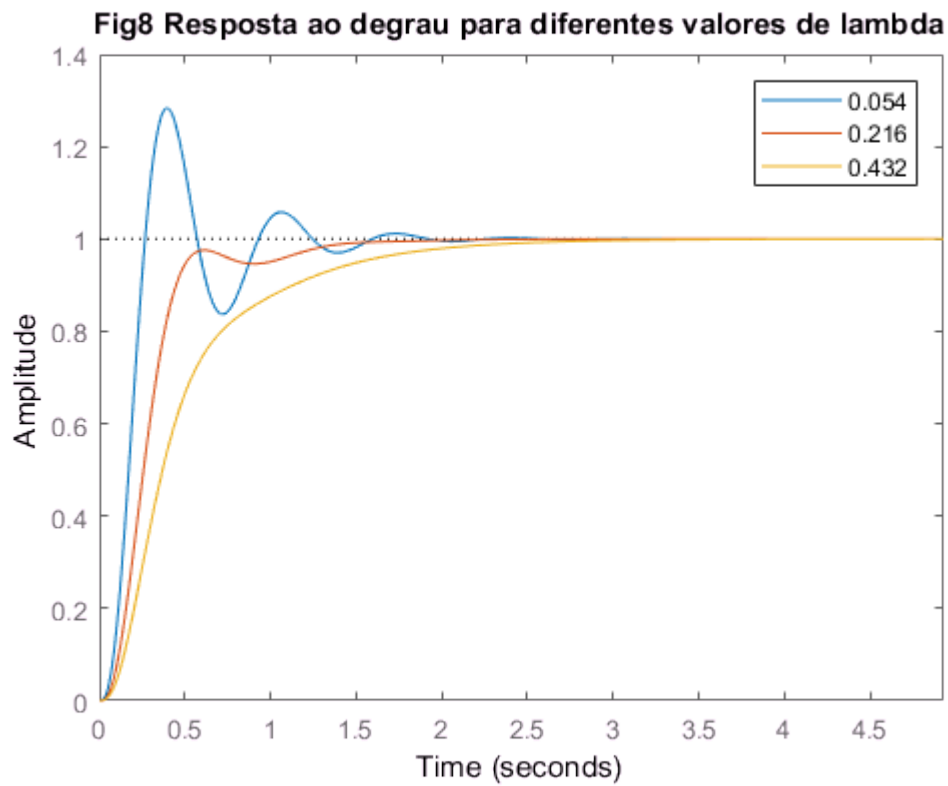
c1=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(1));
c2=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(4));
c3=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(8));

m1=feedback(c1*g,1);
m2=feedback(c2*g,1);
m3=feedback(c3*g,1);

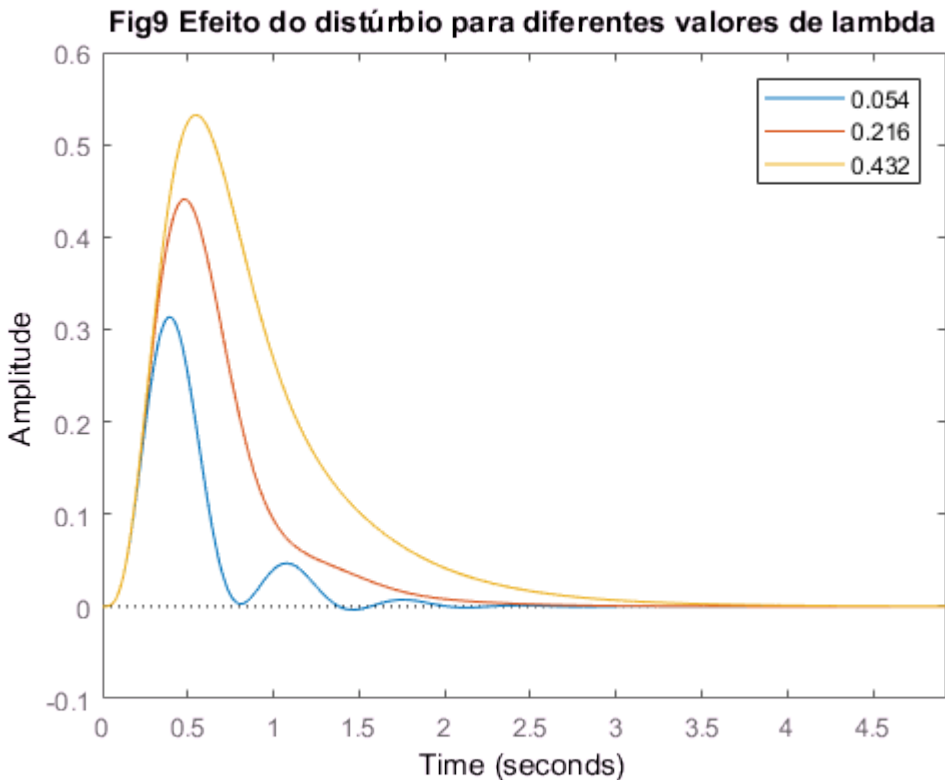
m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);

figure
step(m1,m2,m3,Tempo);title('Fig8 Resposta ao degrau para diferentes valores de lambda')
legend(num2str(lambda(1)),num2str(lambda(4)),num2str(lambda(8)))

```



```
figure
step(m1d,m2d,m3d,Tempo);title('Fig9 Efeito do distúrbio para diferentes valores de lambda')
legend(num2str(lambda(1)),num2str(lambda(4)),num2str(lambda(8)))
```



3.1 Qual o efeito do valor de  $\lambda$  em UP e  $t_s$ ? Justifique o comportamento baseado no ganho  $K_p$ , que é dado por  $K_p = \frac{2\tau + \theta}{K(2\lambda + \theta)}$  para PID e  $K_p = \frac{2\tau + \theta}{2K\lambda}$  para PI. (ver Tabela 7 de Sintonia\_PID.pdf)

Aumentando lambda, temos a redução de  $K_p$  para os controladores PI e PID. Isso implica na diminuição de UP e no aumento de  $t_s$ , podemos dizer que o incremento de lambda está aumentando o amortecimento do sistema.

3.2 Compare o efeito de  $\lambda$  sobre o IAE (resposta ao degrau) e sobre o IAE<sub>d</sub> (resposta ao distúrbio). Como escolher um valor de  $\lambda$  que atenda bem os dois?

Quanto maior o valor de lambda, maior serão IAE e IAE<sub>d</sub>. Para melhorar esses parâmetros, devemos escolher um valor pequeno para lambda.

3.3 Compare o valor de IAE conseguido com o método IAE<sub>ot</sub> e o menor valor obtido com o método lambda. Justifique as diferenças (lendo pag 27 de Sintonia\_pid.pdf).

No método lambda, o menor IAE é obtido com  $\lambda = 0.1080$  no qual  $IAE = 0.2561$ . Enquanto no método IAE<sub>ot</sub>,  $IAE = 0.2676$ . O método de lambda atinge um resultado melhor, pois com o auxílio do parâmetro lambda, conseguimos ajustar melhor os ganhos do controlador. Não estamos mais dependendo apenas de K, theta e tau, como no IAE<sub>ot</sub>.