

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

### Métodos de sintonia dos ganhos do controlador PID

Nome: Lázaro Villela Neto e Victoria Nippes Sassaroli

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

```
I=10 ;  
turma=1 ;  
g=init(turma,I)
```

g =

```
144000  
-----  
s^4 + 80 s^3 + 2400 s^2 + 32000 s + 160000
```

Continuous-time transfer function.

g =

```
144000  
-----  
s^4 + 80 s^3 + 2400 s^2 + 32000 s + 160000
```

Continuous-time transfer function.

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

```
ans = datetime  
15-Jun-2022 09:01:38
```

```
pwd
```

```
ans = 'C:\Users\LECO\Desktop\LabControle\aula7'
```

### 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 vídeo Aula7.mp4 sobre como usar este app.**

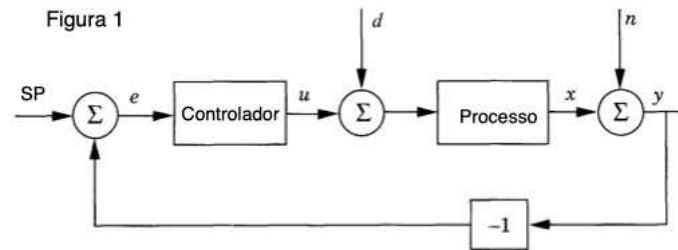
A Tabela 1 mostra como são calculados os ganhos dos controladores P, PI ou PID usando o método de Ziegler-Nichols

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  $K_d = T_d$ ,

Tabela 1. Sintonia via segundo método de Ziegler Nichols			
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

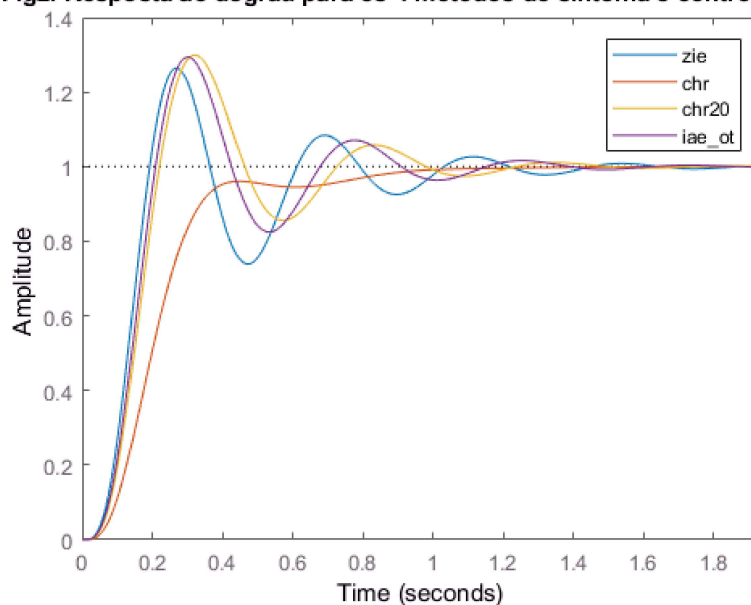
```
K=0.9; % Estes valores (K,tau,teta) vem da atividade 1
tau=0.13;
teta=0.07;
g1=tf(K,[tau 1],'InputDelay', teta);
c1=sintonia(g1,'PI', 'zie');
c2=sintonia(g1,'PI', 'chr');
c3=sintonia(g1,'PI', 'chr20');
c4=sintonia(g1,'PI', 'iae_ot');

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);

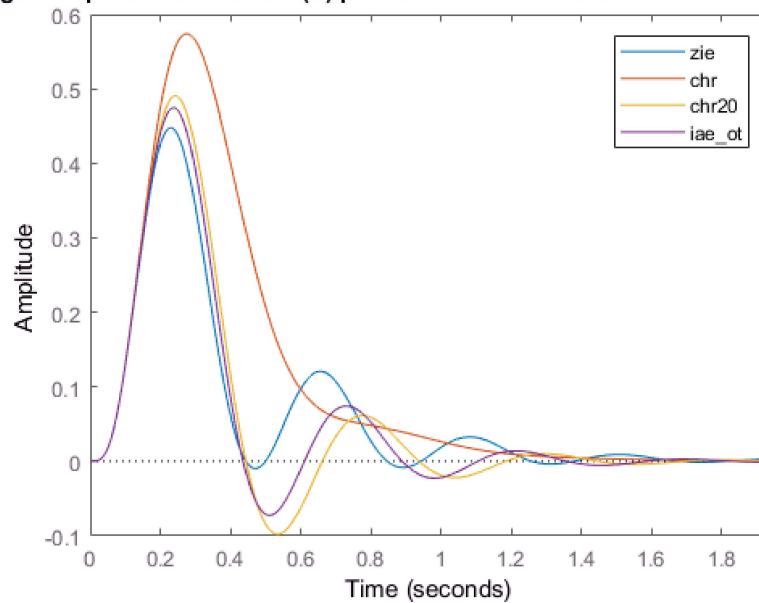
[y,t]=step(m1d);
figure
Tempo=max(t); % Escolher valor que mostre a resposta transitoria e em regime
t=linspace(0,Tempo,500);
step(m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig2. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PI');
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')
```

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



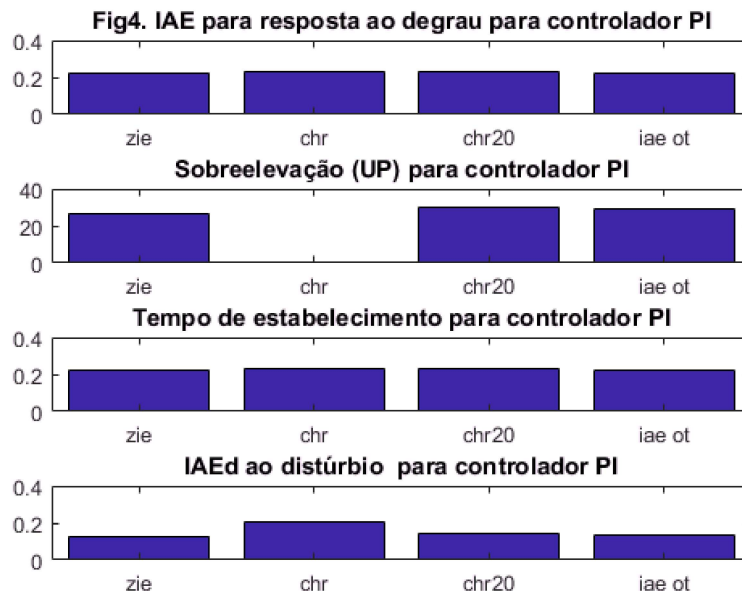
```
figure
step(m1d,m2d,m3d,m4d,Tempo);title('Fig3. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador PI');
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')
```

**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 método que dá o melhor controlador PI para o critério de IAE e UP é o chr, pois em relação ao IAE os valores são iguais para todos os métodos (**0.2**), enquanto para a sobrelevação UP, o valor de chr também é o menor valor (**0**), logo o método se comporta melhor.

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.

Sim, observando pelo gráfico, o método ZIE obtém o menor valor para IAE (**0.2255**) e o menor valor para IAEd (**0.1279**), sendo marginalmente melhor do que o chr20 e o iae ot.

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

O controlador c1 tem o maior ganho Kp (**1.8571**).O seu efeito é um maior IAE e UP, menor ts, e menor IAEd.

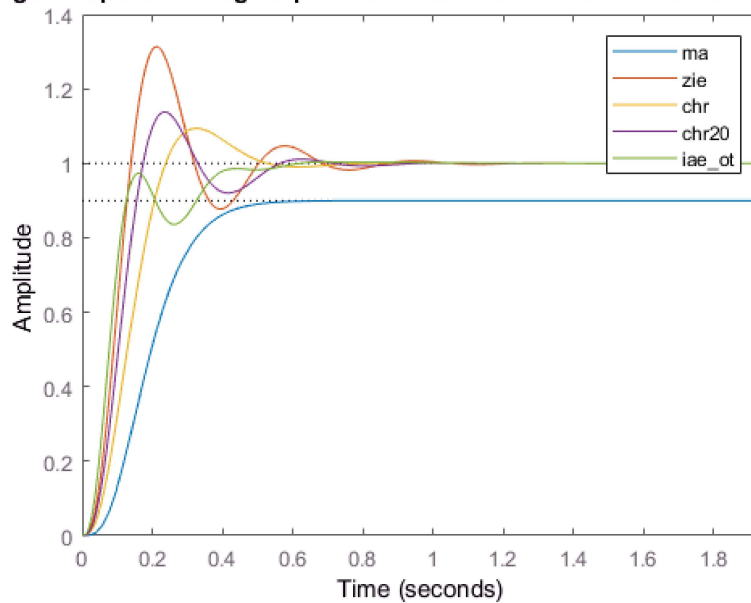
### Sintonia do controlador PID

```
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);

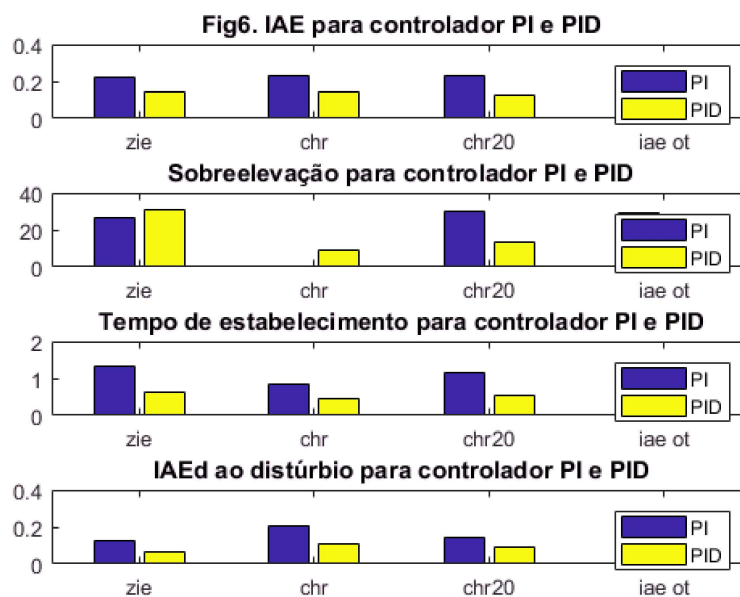
figure
step(g,m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig5. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PID');
legend('ma','zie','chr','chr20','iae_ot')
```

**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 uso os valores de Up e ts para explicar as diferenças.

Nota-se uma grande melhora no valor de IAE, que pode ser justificada pelo valor de ts. Como IAE é a integral do erro, o parâmetro que mais afeta seu valor é o ts, e vemos uma diminuição significativa no ts para o controlador PID em comparação com o PI. A sobrelevação, apesar de afetar o valor de IAE, não é tão significativa como o ts, porém ainda vemos uma diminuição da sobrelevação para o PID nos controladores **chr20**, e **iae ot**, porém um aumento não insignificante no **zie** e **chr**.

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

Nos termos dos valores de **IAE** podemos notar uma melhora significativa do controle PID em relação ao PI em todos os 4 métodos.

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).

Podemos escolher o controlador PI ou PID observando os parâmetros que são mais importantes para o projeto especificado. Nota-se que no controlador PI, o método zie se comportou melhor do que os outros, porém, no PID, o seu aumento de sobrelevação pode ser um fator para excluí-lo da suas opções, e escolher um controlador como o chr, que obteve uma menor sobrelevação com um ts semelhante.

### 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

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

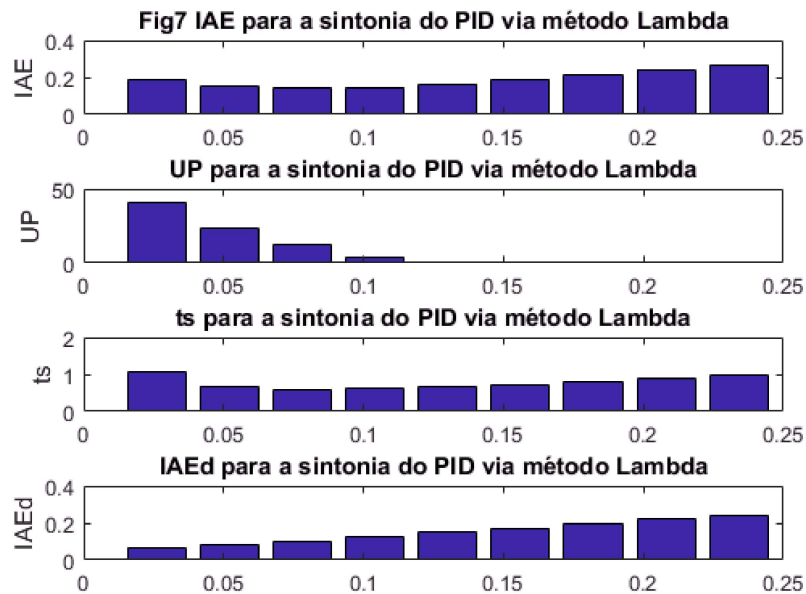
Assim, pode escolher a dinâmica da resposta, reduzindo o tempo de subida e estabelecimento, com o preço de uma maior sobrelevação.

```
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');
```



```

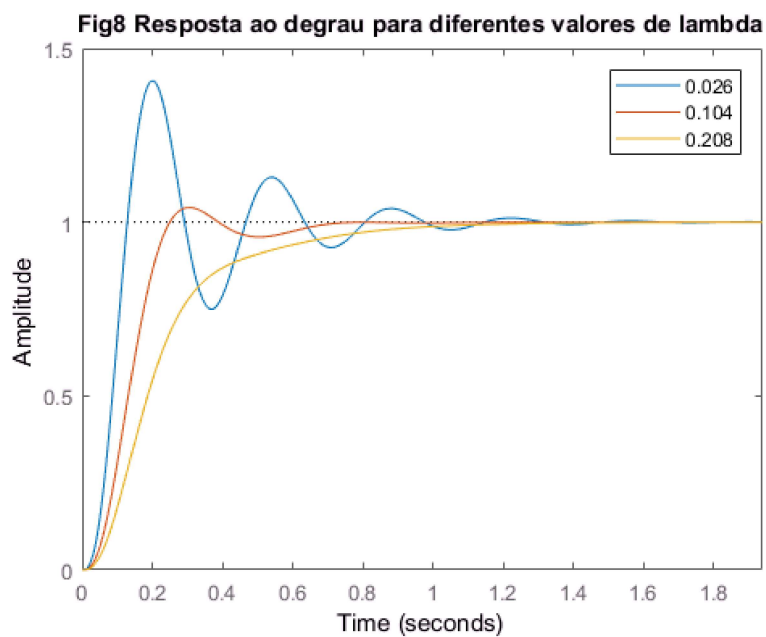
c1=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(1));
c2=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(4));
c3=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(8));

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)))

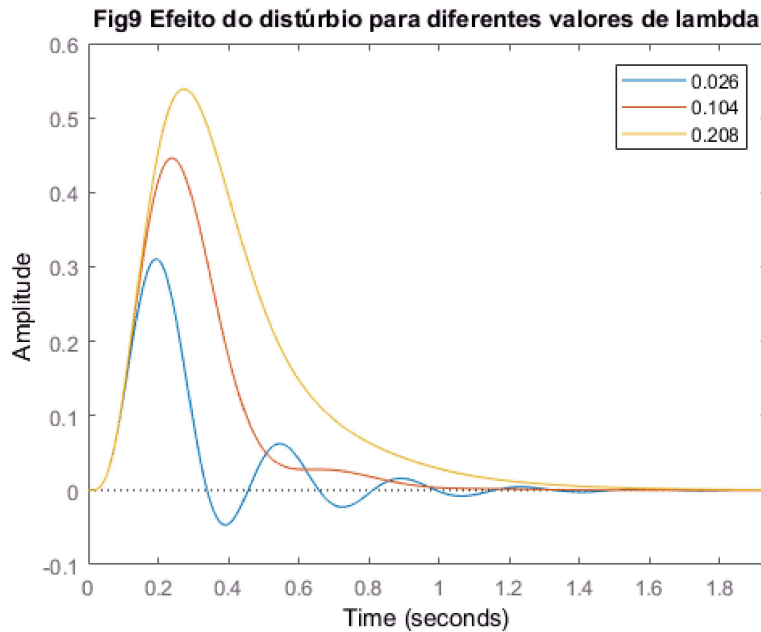
```



```

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 ts? 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)

O aumento de  $\lambda$  nos dá uma menor sobre-elevação ao custo de um maior ts. Nota-se esse comportamento tanto nos gráficos, quanto nas equações de  $K_p$ , que nos mostram que  $\lambda$  é diretamente proporcional ao  $K_p$ . No mais, o ts é idealmente um valor próximo de  $\lambda$ .

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?

Para IAE, um  $\lambda$  maior obtemos um IAE maior também, pois o ts aumenta, e como discutido anteriormente, o ts é um dos fatores mais relevantes no IAE. Similarmente, no IAE<sub>d</sub> nota-se que com o aumento de  $\lambda$ , há também um aumento de IAE<sub>d</sub>. Deve-se escolher um valor próximo ao IAE<sub>ot</sub> para  $\lambda$  a fim de minimizar os efeitos negativos do IAE e do IAE<sub>d</sub>. Nota-se que um valor muito baixo, também gera um valor maior de IAE.

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).

O IAE obtido, (**0.1492**) é maior do que o IAE<sub>ot</sub> (**0.1071**). As diferenças podem ser justificadas por uma escolha não tão boa dos parâmetros iniciais  $K$ ,  $\theta$  e  $\tau$  na aproximação do sistema.