

Projeto do controlador avanço-atraso para o motor CC

Nome: Rebeca Perim Pereira

```
turma=2 ;
I=2;
Tempo=3;

M=[5 9 3 4 1 2 12 7 11 10 9 8 6
    2 4 5 11 10 1 9 8 7 3 6 12
    9 1 12 8 5 11 6 3 2 4 10 7
    7 6 9 2 11 5 8 4 3 10 12 1
    12 9 3 11 7 8 5 2 10 1 6 4]';

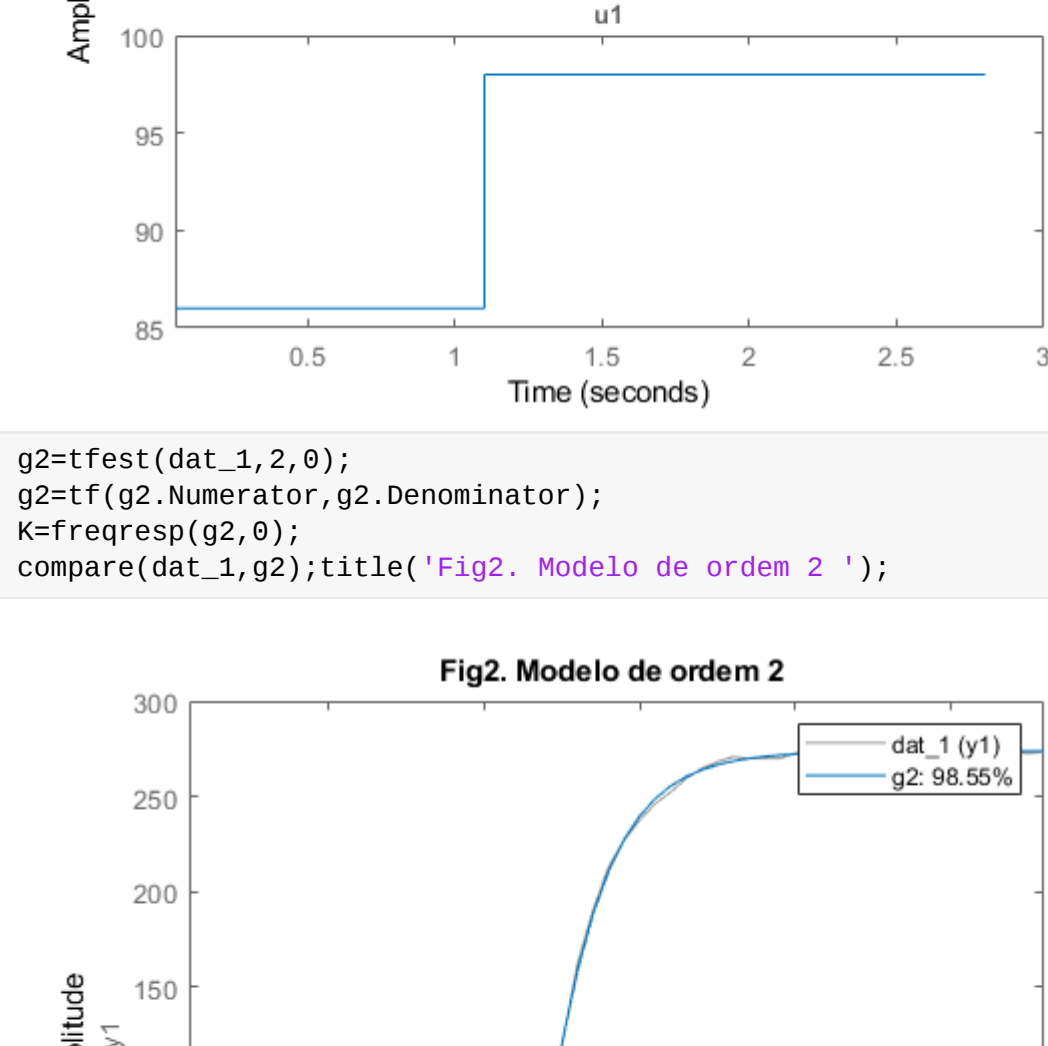
wn=M(I,turma);

arquivo='aula9_R2018.slx'; % Apague a linha que não usar

load dados.mat
i=wn*50;
ind=(1-20):(i+35);
y1=y1(ind);
u1=u1(ind);
t1=t1(ind);
Ref=mean(y1(end-10:end));
u0=mean(u1(1:10));
```

```
Atividade 0 - Estimação da FT

dat=iddata(y1,u1,Ts);
dat_1=iddata(y1-y1(1),u1-u1(1),Ts);
figure
plot(dat);title('Fig1. Dados originais');
```



```
g2=tfest(dat_1,2,0);
g2=tf(g2.Numerator,g2.Denominator);
K=fregresp(g2,0);
compare(dat_1,g2);title('Fig2. Modelo de ordem 2');
```



```
s=stepinfo(g2);
ts_ma=s.SettlingTime

ts_ma = 0.6928

Ts=0.01;
```

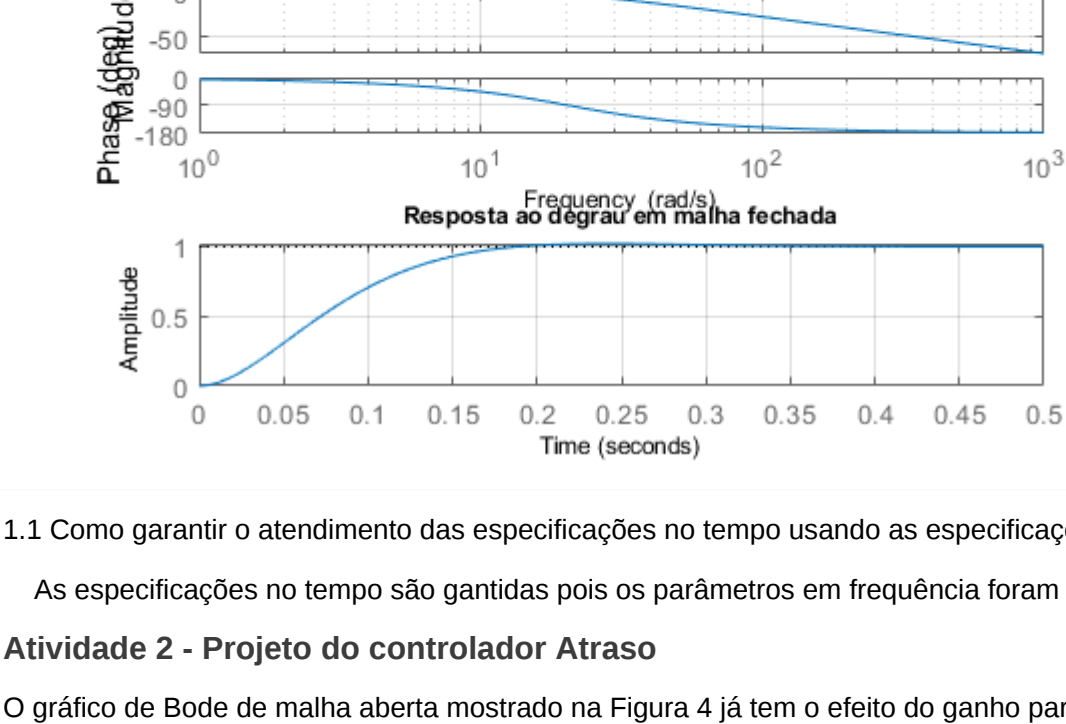
Atividade 1 - Obtenção das especificações em frequência a partir do tempo

Na atividade 4 do relatório 7, a partir de UP e ts, foi definido um modelo de referência. Use este modelo para gerar as especificações em frequência, usando para isto UPe e tse.

```
UPe=2.1;
tse=0.25;
a=log(UPe/100);
zeta=sqrt(a^2/(pi^2+a^2));
wn=4/(tse*zeta);
gma=tf(wn^2,[1 2*zeta*wn 0]);
m=tf(wn^2,[1 2*zeta*wn wn^2]);
[~,MFe]=margin(gma);
Bw=bandwidth(m);
Mpe=20*log10(max(bode(m)));
UP=UPe;tse=tse;MF=MFe;Bw=Bw;Mp=Mpe;
Tipo={'Especificacoes'};
Tabela1=table(Tipo,UP,ts,MF,Bw,Mp)
```

Tabela1 = 1x6 table					
	Tipo	UP	ts	MF	BW
1	'Especificac...	2.1000	0.2500	68.8290	18.6104

```
subplot(3,1,1);bode(gma);title('Fig.3 - Gráfico de Bode de malha aberta');grid
subplot(3,1,2);bode(m);title('Gráfico de Bode de malha fechada');grid
subplot(3,1,3);step(m);title('Resposta ao degrau em malha fechada');grid
```



1.1 Como garantir o atendimento das especificações no tempo usando as especificações em frequência?

As especificações no tempo são quantidades pois os parâmetros em frequência foram obtidos a partir das especificações no tempo.

Atividade 2 - Projeto do controlador Atraso

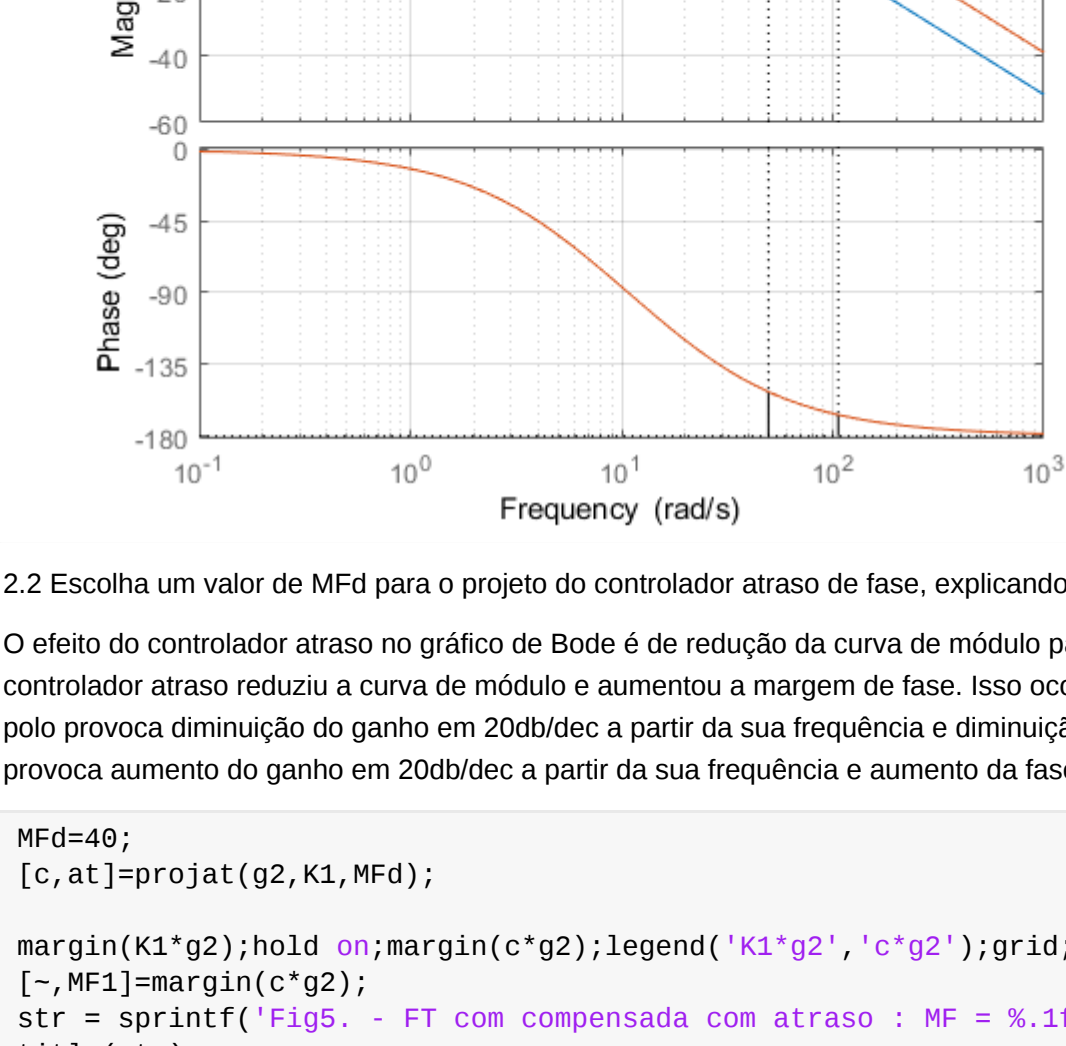
O gráfico de Bode de malha aberta mostrado na Figura 4 já tem o efeito do ganho para atender o erro em regime.

2.1 Qual deve ser o aumento da margem de fase para alcançar a margem de fase especificada? Dos dados do relatório 7, foi possível obter o valor de margem de fase especificada de MFe=68.829°. No diagrama de Bode com o efeito do ganho, temos que a margem de fase é 13.1°. Dessa forma, o aumento da margem de fase deve ser de 68,829°-13,1°=55,729°.

```
Erro_reg=0.01; % Erro percentual de 1%
K1=(1/Erro_reg-1)/K

K1 = 4.3488
```

```
figure
margin(g2);hold on;
margin(K1*g2); grid; title('Fig4 Gráfico e Bode de malha aberta com o ganho'); hold off
```

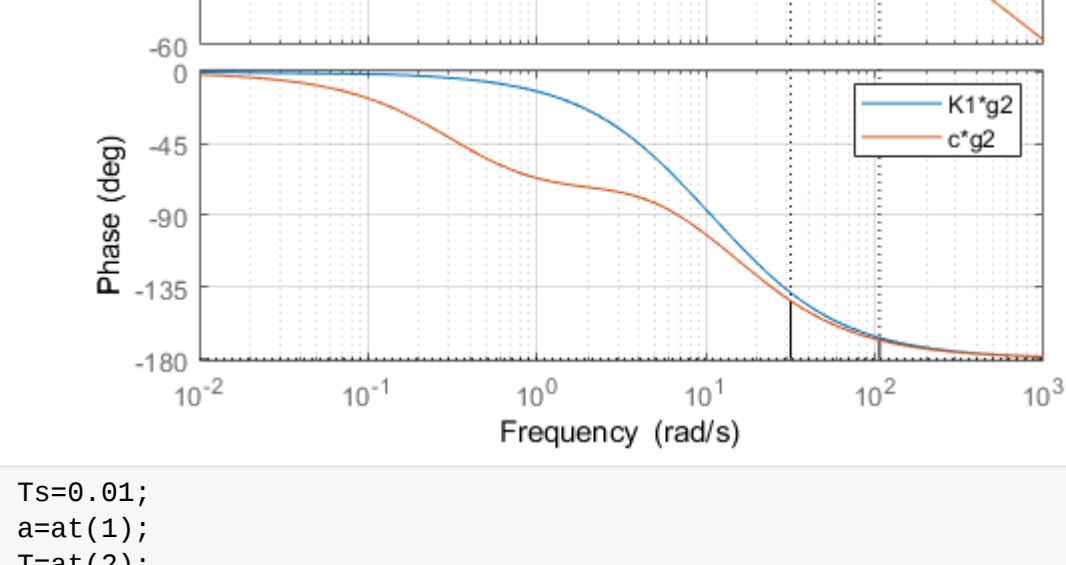


2.2 Escolha um valor de MFD para o projeto do controlador atraso de fase, explicando seu efeito no diagrama de Bode (Fig.5) e na resposta ao degrau (Fig.6)

O efeito do controlador atraso no gráfico de Bode é de redução da curva de módulo para que ela corte o 0db na frequência de corte de ganho que corresponde à margem de fase desejada. Na figura 5, o controlador atraso reduziu a curva de módulo e aumentou a margem de fase. Isso ocorreu pois foi adicionado o polo do controlador em uma década antes da nova frequência de cruzamento de ganho (o polo provoca diminuição do ganho em 20db/déc a partir da sua frequência e diminuição da fase nas frequências ao redor da sua) e também foi adicionado um zero uma década depois do polo (o zero provoca aumento do ganho em 20db/déc a partir da sua frequência e aumento da fase nas frequências ao redor da sua).

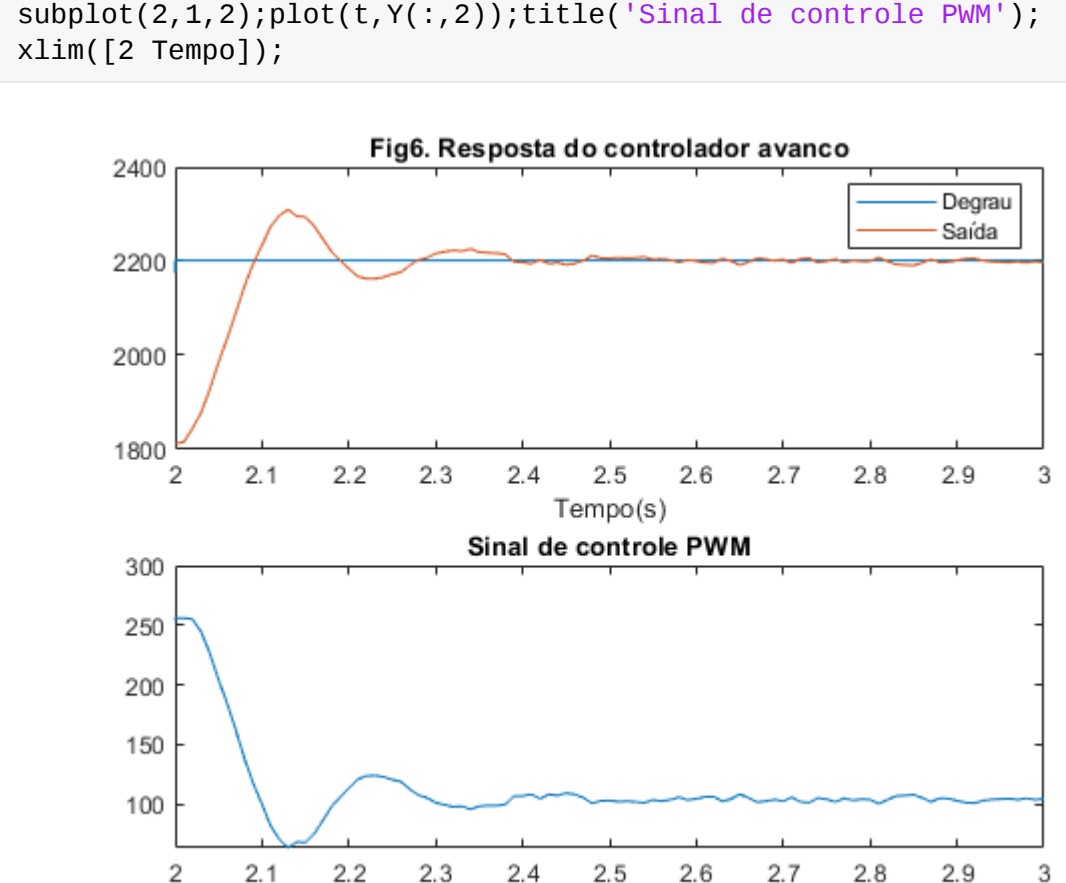
```
MFD=40;
[c,at]=projat(g2,K1,MFD);

margin(K1*g2);hold on;margin(c*g2);legend('K1*g2','c*g2');grid; hold off
[~,MF1]=margin(c*g2);
str = sprintf('Fig5. - FT com compensada com atraso : MF = %.1f',floor(MF1));
title(str);
```



```
Ts=0.01;
a=at(1);
T=at(2);
Nc=[a T 1];
Dc=[T 1];

[Y,t]=simula_slx(arquivo,Tempo);
subplot(2,1,1);plot(t,Y(:,1,3));legend('Degrau','Saída');xlabel('Tempo(s)');
title('Fig6. Resposta do controlador avanço');
xlim([2 Tempo]);
subplot(2,1,2);plot(t,Y(:,2));title('Sinal de controle PWM');
xlim([2 Tempo]);
```



```
[erro1,UP1,SettlingTime1,iae,G2] = desempenho(Y(:,2:3),t,Ref,2);
m1=feedback(c*g2,1);
[mag,~,w]=bode(m1);
mag=20*log10(squeeze(mag));
Bw1=bandwidth(m1);Mp1=20*log10(max(bode(m1)));
UP=[UPe;UP1];ts=[tse;SettlingTime1];MF=[MFe;MF1];Bw=[Bw;Bw1];Mp=[Mpe;Mp1];
Tipo={'Especificado','Avanço'};
Tabela2=table(Tipo,UP,ts,MF,BW,Mp)
```

Tabela2 = 2x6 table					
	Tipo	UP	ts	MF	BW
1	'Especificado'	2.1000	0.2500	68.8290	18.6104
2	'Avanço'	24.2880	1.2056	36.4360	50.0683

2.3 Verifique as melhorias conseguidas em MF, BW e Mp com o controlador avanço, analisando a tabela 2.

Como afirmo no item 2.3, quanto maior a margem de fase, mais estável é o sistema. Dessa forma, a escolha de MFD=40°. Foi escolhida MFD=40°. Em seguida, a escolha de fi deve ser com o intuito de resultar em aproximar o zero da origem, resultando em uma resposta mais lenta.

2.4 Qual o efeito de aumentar MFD sobre UP e ts ?

Como afirmo no item 2.3, quanto maior a margem de fase, mais estável é o sistema. Dessa forma, a escolha de MFD implicaria na diminuição da sobrelevação. Além disso, aumentar a estabilidade resulta em aproximar o zero da origem, resultando em uma resposta mais lenta.

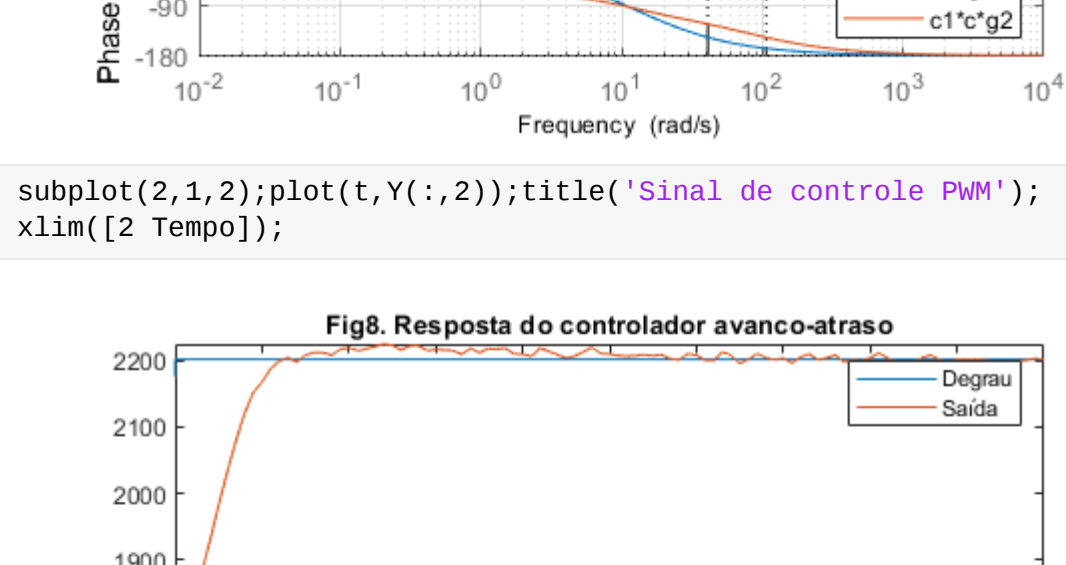
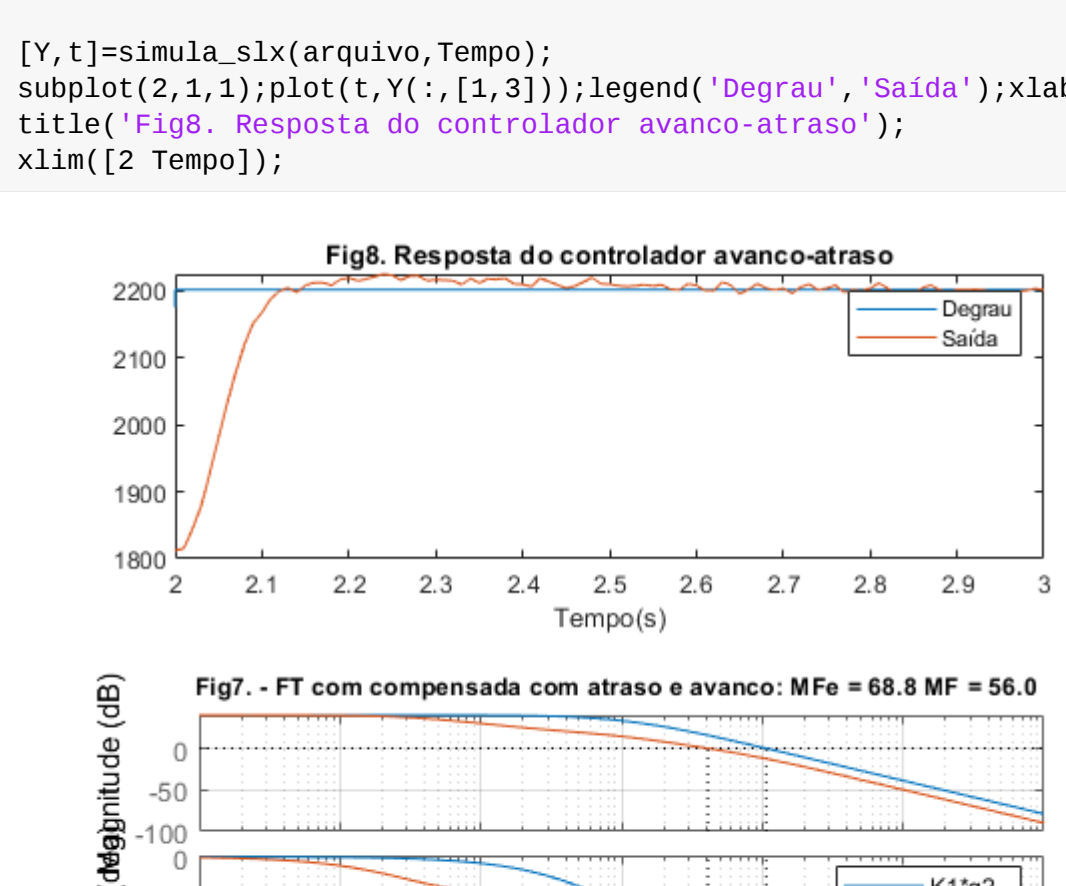
Atividade 3 - Projeto do controlador Avanço

Escolha a fase fi a adicionar a MF e projetar o controlador avanço.

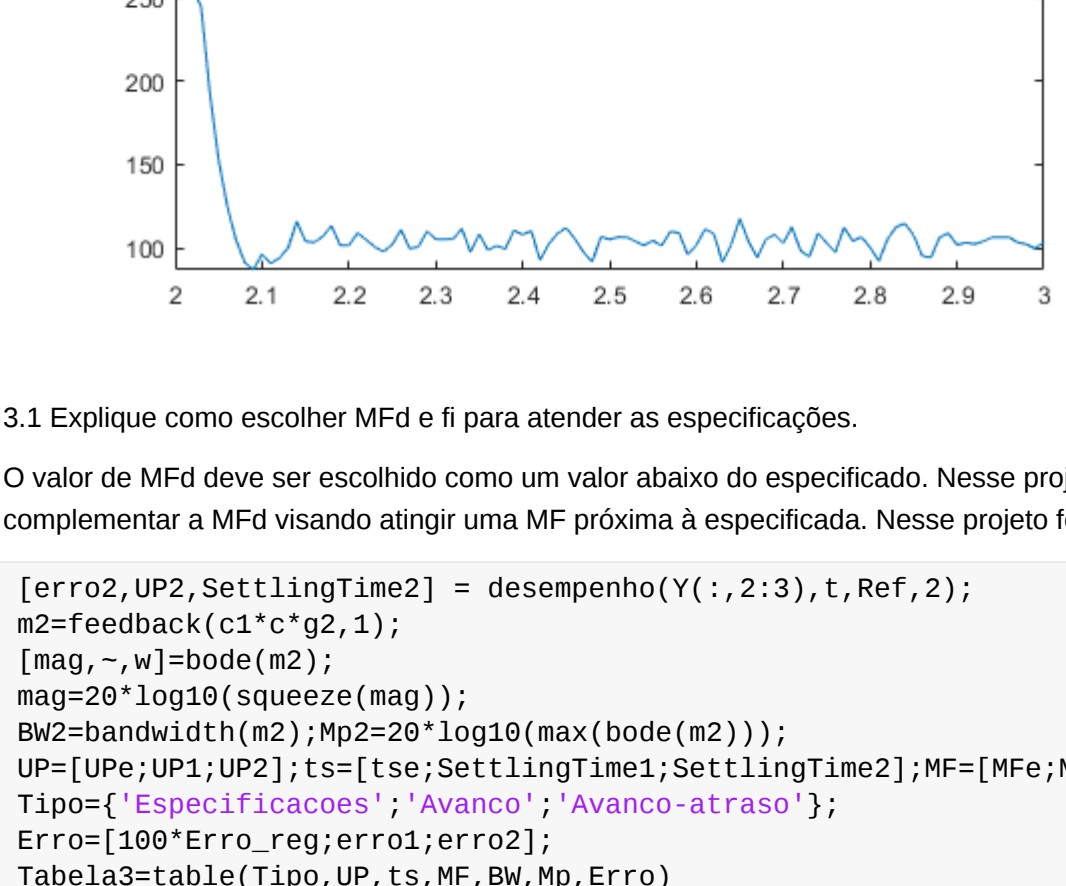
```
fi=28;
c1=c;
[c,at]=projav(c*g2,1,fi);
a=at(1);
T=at(2);
Nc=conv(Nc,[a T 1]);
Dc=conv(Dc,[T 1]);

margin(K1*g2);hold on;margin(c1*c*g2);legend('K1*g2','c1*c*g2');grid; hold off
m2=feedback(c1*c*g2,1);Bw2=bandwidth(m2);MP2=20*log10(max(bode(m2)));
[~,MF2]=margin(c1*c*g2);
str = sprintf('Fig7. - FT com compensada com atraso e avanço: MFe = %.1f MF = %.1f ',MFe,floor(MF2));
title(str);
```

```
[Y,t]=simula_slx(arquivo,Tempo);
subplot(2,1,1);plot(t,Y(:,1,3));legend('Degrau','Saída');xlabel('Tempo(s)');
title('Fig8. Resposta do controlador avanço-atraso');
xlim([2 Tempo]);
```



```
subplot(2,1,2);plot(t,Y(:,2));title('Sinal de controle PWM');
xlim([2 Tempo]);
```



3.1 Explique como escolher MFD e fi para atender as especificações.

O valor de MFD deve ser escolhido como um valor abaixo do especificado. Nesse projeto o especificado foi de 68,829°. Foi escolhida MFD=40°. Em seguida, a escolha de fi deve ser com o intuito de resultar em aproximar o zero da origem, resultando em uma resposta mais lenta.

```
[erro2,UP2,SettlingTime2] = desempenho(Y(:,2:3),t,Ref,2);
m2=feedback(c1*c*g2,1);
[mag,~,w]=bode(m2);
mag=20*log10(squeeze(mag));
Bw2=bandwidth(m2);Mp2=20*log10(max(bode(m2)));
UP=[UPe;UP1;UP2];ts=[tse;SettlingTime1;SettlingTime2];MF=[MFe;MF1;MF2];Bw=[Bw;Bw1;Bw2];Mp=[Mpe;Mp1;Mp2];
Tipo={'Especificacoes','Avanço','Avanço-atraso'};
Erro=[100*Erro_reg;erro1;erro2];
Tabela3=table(Tipo,UP,ts,MF,BW,Mp,Erro)
```

Tabela3 = 3x7 table						
	Tipo	UP	ts	MF	BW	Mp
1	'Especificac...	2.1000	0.2500	68.8290	18.6104	-0.0042
2	'Avanço'	24.2880	1.2056	36.4360	50.0683	4.0797
3	'Avanço-atr...	2.8903	0.2094	56.9443	65.4264	0.0358

3.2 Comentar atendimento das especificações em frequência, com valores dos gráficos e da Tabela 3.

O resultado da combinação de atraso e avanço proporcionou sobrelevação próxima 2% e ts próximo ao esperado de 0.25s. Além disso, a MF obtida foi de 56.9443°, um valor relativamente alto, o que indica que o sistema atraso-avanço está mais estável que com apenas controlador atraso. A largura de banda foi de 65,4264 rad/s, valor maior que o especificado, indicando que o sistema responde mais rápido. O valor de Mp obtido no atraso - avanço foi de 0.6546db, maior que o especificado de -0.0042db. Como sabemos, quanto maior o valor máximo de módulo, mais instável o sistema, o que confere com o valor de UP, visto que UPe=2,1% e o obtido no projeto é de 2.89%. O projeto de atraso-avanço obteve um ótimo valor de erro, 0.0358%.

3.3 Compare o projeto do PID com o do avanço-atraso em relação a: a) erro em regime b) Dificuldades para fazer o projeto em duas etapas (Pi depois PD ou atraso e depois avanço) c) Uso de especificações no tempo ou frequência

a) Quanto ao erro de posição, que é o erro à entrada degrau, sabemos que o PID possui uma vantagem, pois por possuir o polo na origem, o PI de posição do PID é sempre zerado. Em contrapartida, o erro do controlador Avanço-Atraso foi de 0,0358%. Dessa forma, nesse aspecto o PID possui vantagem sobre o controlador Avanço-Atraso.

b) O projeto do PID necessita da análise do Lugar Geométrico das raízes e alocação de zeros e polo, com análise de cada intervalo para a alocação. Em contrapartida, o projeto Avanço atraso utilizou as rotinas de código "projav" e "projav", que necessitam de entrada de apenas um parâmetro, o que simplifica bastante a execução do projeto. Nesse aspecto, o projeto Avanço-Atraso provou ser mais objetivo.

c)Para o projeto Avanço-Atraso, as especificações na frequência foram obtidas a partir do desejado no tempo, para que as conclusões fossem satisfatórias. No projeto PID, os ajustes na frequência foram feitos visando respeitar as especificações no tempo esperadas na conclusão do projeto.

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