Aula 3 - Laboratório de Controle - 2021/1

Identificação de modelos a partir de dados

Nome: Arthur Lorencini Bergamaschi

Atividade 1: Análise da resposta do motor

O modelo do motor utiizado é mostrado na Figura 1. A entrada é o sinal PWM e a saída agora é a rotação, em RPM. Um sinal de ruído é adicionado a saída.

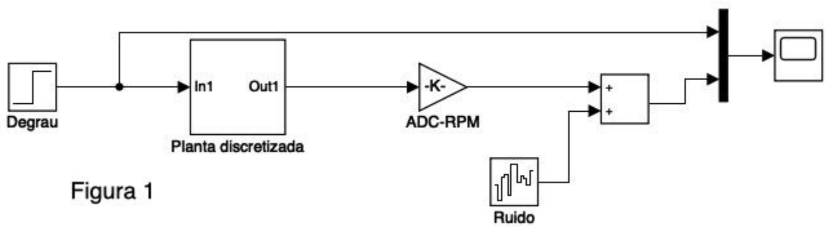
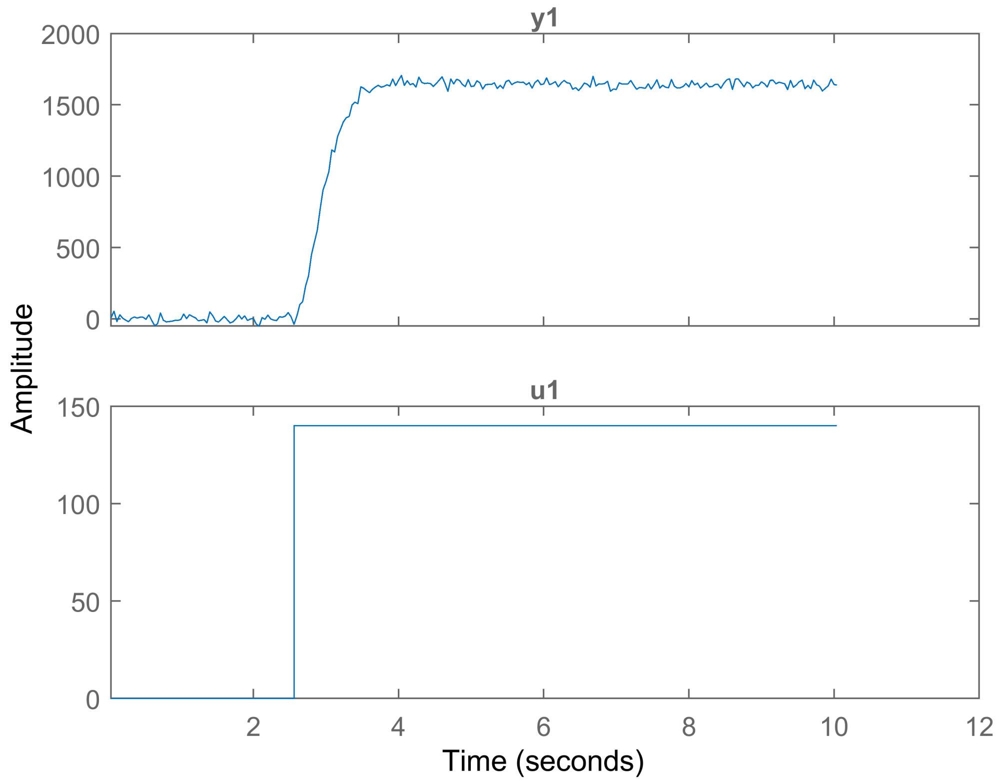


Figura 1

```
Tempo = 10;
arquivo='aula3_2018.slx';
Stepdelay=0.25*Tempo;
I = 1;
Turma = 2;

[wn,PWM,rpm_r,Ts]=init(I,Turma);
warning('off','all');
[y,u,t]=simula_slx(arquivo,Tempo);
dat=iddata(y,u,Ts);
plot(dat); title('Fig1. Dados originais')
```

Fig1. Dados originais



1.1 Explicar o que representam as duas curvas da Figura 1.

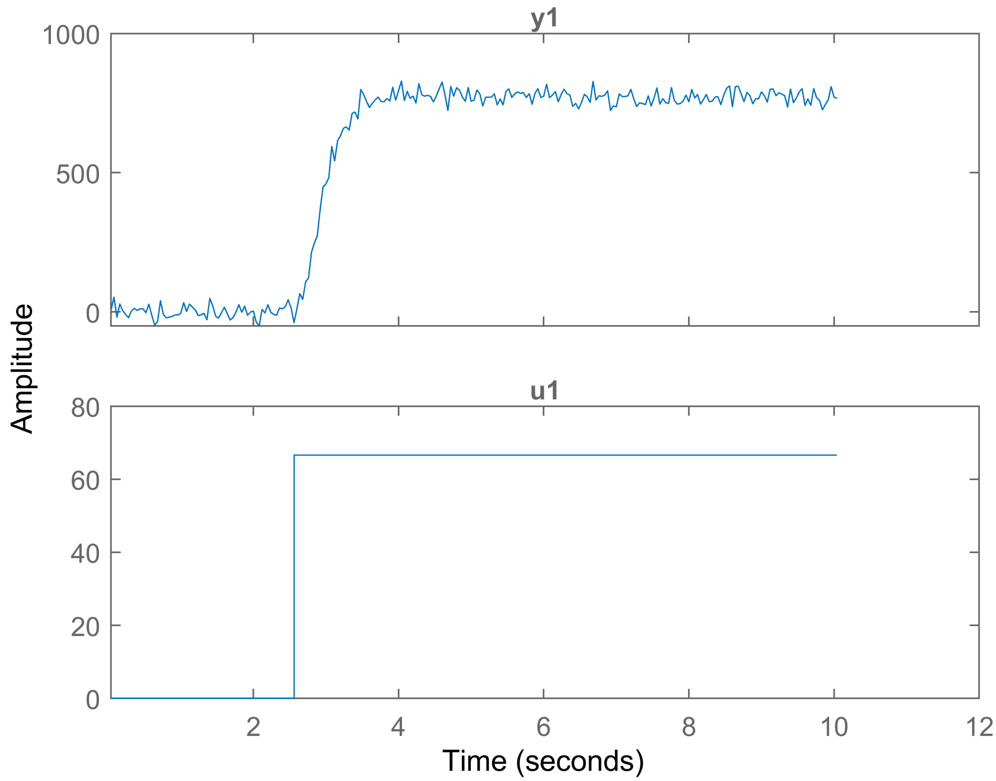
A figura de baixo mostra o degrau unitário que parte depois de um delay de 2.5s. A figura acima mostra a resposta do sistema em rpm com a adição de um ruído. Veja que existe uma curva mostrando a demora que o sistema leva para chegar no seu valor de regime.

1.2 Calcular o valor da entrada PWM para ter em regime uma saída de velocidade = rpm_r. Explicar o cálculo e informar como obter o valor da saída em regime na figura 2.

O cálculo do PWM é feito achando o ganho. 1680/140 = 12. Com isso, para ter um rpm_r de 800, o PWM precisa ser 800/12 = 66.6

```
PWM=66.6;
[y,u,t]=simula_slx(arquivo,Tempo);
dat=iddata(y,u,Ts);
plot(dat);title('Fig2. Resposta para entrada PWM ajustada')
```

Fig2. Resposta para entrada PWM ajustada

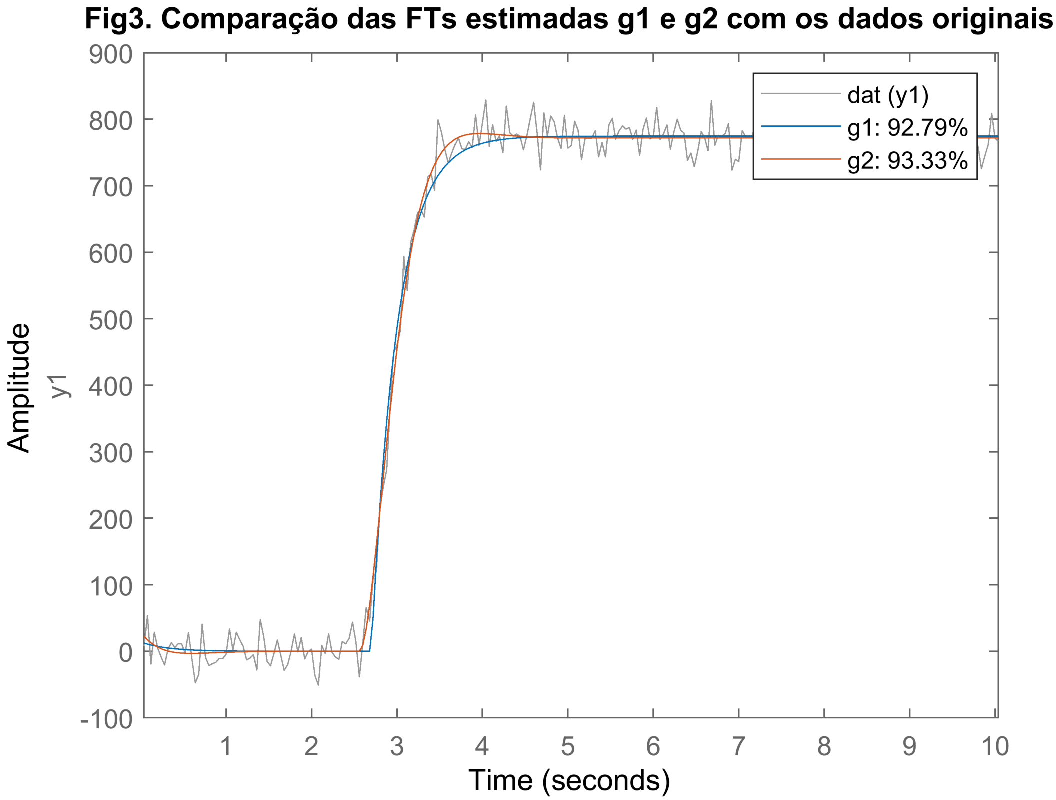


Atividade 2: Identificação dos modelos contínuos de ordem 1 e 2

Ler o apêndice sobre a identificação de funções de transferência e o sobre o índice fit para medir a qualidade do modelo. Depois, use os comandos abaixo para estimar a FT g1 de ordem 1 e a FT g2 de ordem 2.

```
delay=t(sum(y<0.1*y(end)))-Stepdelay;
g1=tfest(dat,1,0,delay);
g2=tfest(dat,2,0);

figure;compare(dat,g1,g2);
title('Fig3. Comparação das FTs estimadas g1 e g2 com os dados originais');
```



2.1 Explique o comando tfest e analise o FIT de g1 e g2, comparando.

O comando tfest serve para estimar a função de transferência e devolver um modelo que mais se adequa aos dados informados. O g2 possui um FIT (93.33%) maior do que o g1 (92.79%), mostrando que o modelo de segunda ordem, para este caso em específico, se encaixa melhor do que um modelo de primeira ordem.

2.2 Compare esse método de estimar g1 ao utilizado na aula 2 (atividade 2).

Na atividade 2, nós fizemos uma estimativa de um sistema de primeira ordem avaliando a norma euclidiana do erro de dez valores de tempo morto, a partir daí, vemos qual é o melhor tau para aproximar o modelo. Além disso, nós calculamos o ganho fazendo uma relação entre a saída e a entrada. O dessa atividade nós utilizamos o tfest utilizando os dados que nos foram fornecidos, com exceção do delay, e ele nos fornece o valores de K e de tau.

2.3 Compare g1 com a FT G de primeira ordem+tempo morto $G = \frac{e^{ds}K}{\tau s + 1}$ e obtenha o ganho K e a constante de tempo τ.

Por comparação, vemos que o K é 11.7361 e fazemos a divisão pelo polo e vemos que o tau é 0.3040s.

2.4 Compare g2 com o protótipo de segunda ordem em malha fechada $M(s) = \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + wn^2}$ e obtenha ζ e w_n.

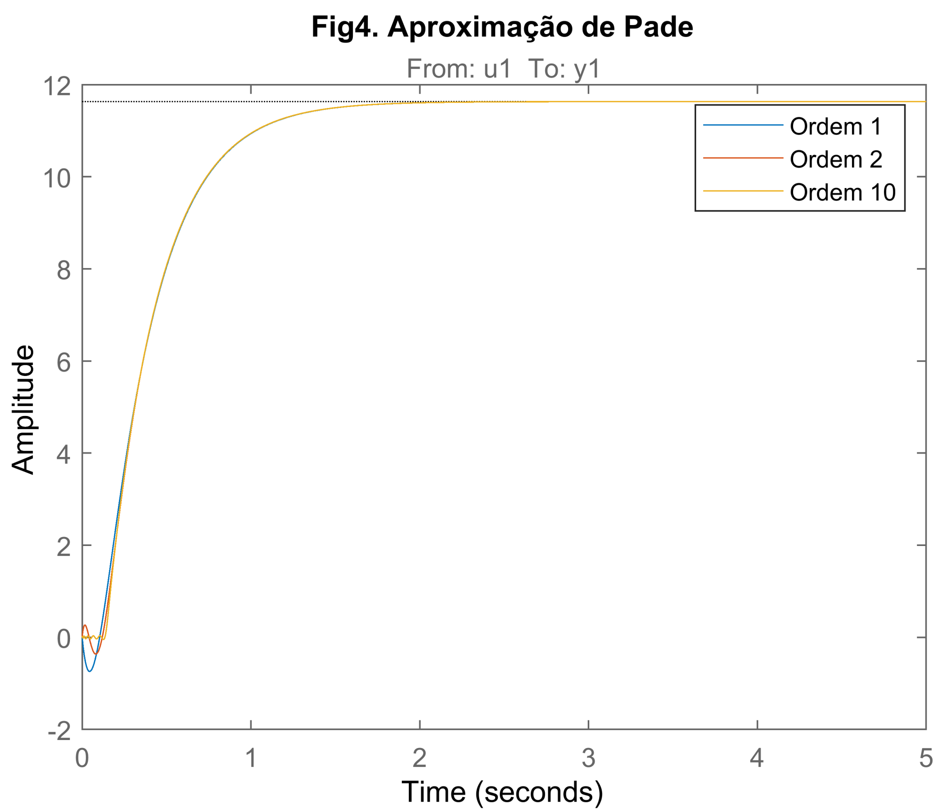
Por comparação, vemos que w_n = 13.82 e ζ = 0.4878

Atividade 3 - Aproximação de Padé do tempo morto

A aproximação de Padé permite aproximar o atraso e^{-ds} por polos e zeros, e assim obter FTs racionais na presença de atrasos (ver apêndice 2)

No script a seguir, usa-se aproximação de Padé de ordem 1,2,10 para aproximar o tempo morto de g1 por polinômios.

```
g1p=pade(g1,1);
g2p=pade(g1,2);
g10p=pade(g1,10);
figure(7);step(g1p , g2p, g10p, Tempo/2 );title('Fig4. Aproximação de Pade');legend('Ordem 1',
```



3.1 Use a aproximação de Padé para obter uma FT de malha fechada m1 de g1 e obtenha seus polos (ver links de ajuda na aula 2).

```
m1_1 = feedback(g1p,1);
m1_2 = feedback(g2p,1);
m1_10 = feedback(g10p,1);
fprintf("Polos de malha fechada g1p");pole(m1_1)
```

```
Polos de malha fechada g1p
ans = 2×1 complex
  10.3369 +22.0574i
  10.3369 -22.0574i
```

```
fprintf("Polos de malha fechada g2p");pole(m1_2)
```

```
Polos de malha fechada g2p
ans = 3×1 complex
 -96.3318 + 0.0000i
   5.9690 +15.1116i
   5.9690 -15.1116i
```

```
fprintf("Polos de malha fechada g10p");pole(m1_10)
```

```
Polos de malha fechada g10p
ans = 11×1 complex
10^2 ×
  -5.7718 + 0.0000i
  -1.0463 + 2.7298i
  -1.0463 - 2.7298i
  -0.1626 + 1.5245i
  -0.1626 - 1.5245i
  -0.0700 + 1.0076i
  -0.0700 - 1.0076i
  -0.0275 + 0.5617i
  -0.0275 - 0.5617i
   0.0560 + 0.1503i
      ⋮
```

3.2 Use o comando rlocus para explicar o que ocorre com as raízes de 1+kg1(s)=0 (polos de malha fechada) quando o ganho k varia de zero a infinito (coloque apenas texto e informações do LR, sem comandos ou figuras).

Para rlocus(g1p), se K tende ao infinito, então ele vai deixando o sistema instável. O K é maior do que 0.48, nós vemos que o sistema fica instável. Como temos um polo sem par, temos uma assíntota no eixo real. Como só temos 2 polos e 1 zero, a análise fica mais fácil de fazer.

Para rlocus(g2p), temos 3 polos no lado esquerdo do plano S e dois zeros no outro. O sistema fica instável se K é maior que 0.381, pois os polos vão estar no lado direito do plano S. Como temos 1 polo sem par, então temos uma assintota no eixo real. Quando K vai aumentando, o polo sem par deixa o sistema mais estável, mais os outros dois tendem a deixar mais instável (porém, com 'velocidades' menores). Fazer a análise do sistema com 5 componentes ainda é humanamente possível.

Para o rlocus(g10p), temos 11 polos no lado esquerdo do plano S e 10 zeros no outro. O sistema fica instável para K maior que 0.497. Além disso, temos um polo sem par, temos uma assíntota no eixo real. Como temos 21 componentes, fica visualmente dificil de analisar o efeito ao variar o ganho no sistema, pois temos cerca de 11 caminhos para serem analisados simultaneamente, apesar de ser um modelo mais preciso que os outros dois modelos anteriores (ao observar a figura 4).

Portanto, temos que o g2p é um modelo mais adequado para as nossas condições, pois temos um modelo satisfatoriamente preciso e não muito complexo de ser analisado.

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

```
ans = datetime
   02-Jul-2021 11:04:52
```

```
pwd
```

```
ans =
'C:\Users\malaquias\Desktop\UFES\UFES-LCA\Aula3'
```

Apêndice 1

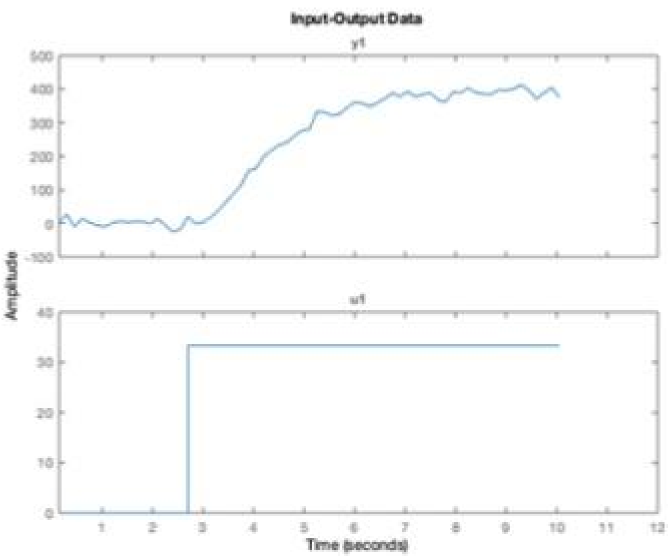
Identificação de modelos no Matlab

Seja o conjunto de dados de entrada-saída coletados e mostrados abaixo. Os métodos de identificação de sistemas permitem estimar os parâmetros de funções de transferência que aproximem a relação mostrada pelos dados.

A função tfest minimiza o erro do modelo para uma função de transferência com o número de polos e zeros especificados.

Exemplos:

```
g=tfest(dat,2,1); Estima uma FT com 2 polos e 1 zero
g=tfest(dat,1,0,d); Estima uma ft com 1 polo, nenhum zero e atraso=d
O numerador e denominador do modelo são acessados via g.Numerator e g.Denominator
Os dados usados por tfest são colocados na struct dat com o comando
dat=iddata(y,u,Ts);
```



Qualidade do modelo: usa-se a métrica fit, calculada por $fit = 100 * (1 - \frac{\|erro\|}{\|y-\bar{y}\|})$, sendo y a saída e $\bar{y}$ seu valor médio. Um valor de fit próximo de 100 indica que o erro é muito pequeno comparado ao sinal de saída y.

Ao estimar uma FT `g=tfest(dat,2,1),` o valor do FIT de g é obtido via `g.Report.Fit.FitPercent`

Apêndice 2

Aproximação de Padé

Seja a FT de primeira ordem+tempo morto $G(s) = \frac{Ke^{-ds}}{\tau s+1}$. Não é possível obter a FT de malha fechada $M(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)}$, devido a presença do atraso no numerador, pois $M(s)$ não é uma FT racional (polinômio no numerador e no denominador).

A aproximação de Padé do atraso é uma solução para o problema. A aproximação de primeira ordem é

$$e^{-ds} \cong \frac{-s + 2/d}{s + 2/d}$$

e teríamos $G(s) \cong \frac{K(-s+\frac{2}{d})}{(\tau s+1)(s+\frac{2}{d})}$.

No Matlab, basta fazer g1p=pade(g1,N), sendo N a ordem da aproximação. g1p será a aproximação de Padé de ordem N de g1.