UFPE

CTG

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE CONTROLE

PRÁTICA 3

ALUNO: LUCAS GABRIEL F. LIMA

ATIVIDADE 1

Modelagem de 2 sistemas em caixa preta utilizando o método de Sundaresan, um deles sendo superamortecido e o outro subamortecido

ATIVIDADE 1

SUMÁRIO

VISÃO GERAL: MÉTODO DE SUNDARESAN

MODELO PARA SISTEMAS SUPERAMORTECIDOS

$$H(s) = \frac{K \quad e^{-\tau_d s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

MODELO PARA SISTEMAS SUBAMORTECIDOS

$$H(s) = \frac{K\, e^{-\tau_d s} \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2},$$

O método de sundaresan é focado em modelar a função de transferência real do sistema através de uma das funções ao lado.

Por esse motivo, um dos fatores mais importantes é que o sistema possa ser representado por uma das 2 funções (sistema com 2 polos e atraso).

VISÃO GERAL: MÉTODO DE SUNDARESAN

PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

1. Remover offset da entrada e resposta

2. Remover o delay (tempo) até o degrau

3. Mudar o ganho da resposta para o seu estado estacionário ser unitário.

Antes de encontrar os parâmetros que serão usados na função de transferência, é importante seguir esses 3 passos.

Isso vale tanto para o caso superamortecido como para o subamortecido.

SISTEMA SUPERAMORTECIDO

Para o sistema superamortecido, foram feitas 2 abordagens com Sundaresan: Analítica e Empírica, por fim comparando as 2.

MÉTODO DE SUNDARESAN: SISTEMA SUPERAMORTECIDO

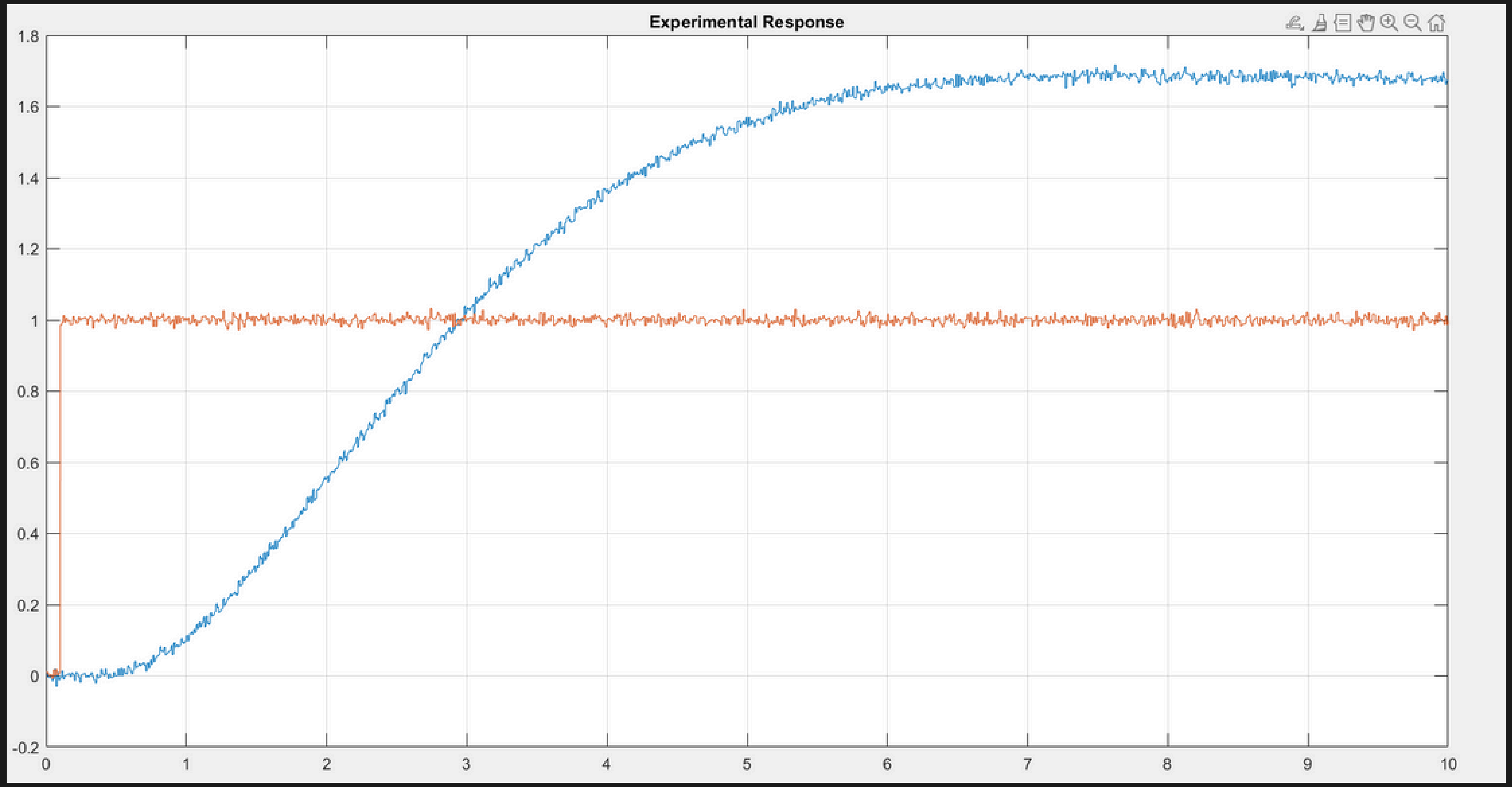
MODELO DE FUNÇÃO [CASO SUPERAMORTECIDO]

$$H(s) = \frac{\mathrm{K}e^{-\tau_d s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

Para sistemas superamortecidos, o objetivo é encontrar valores para $\tau 1$, $\tau 2$ e τd quem façam a função de transferência ao lado produzir uma resposta ao degrau similar ao sistema que tentamos modelar.

MÉTODO DE SUNDARESAN: SISTEMA SUPERAMORTECIDO

RESPOSTA EXPERIMENTAL

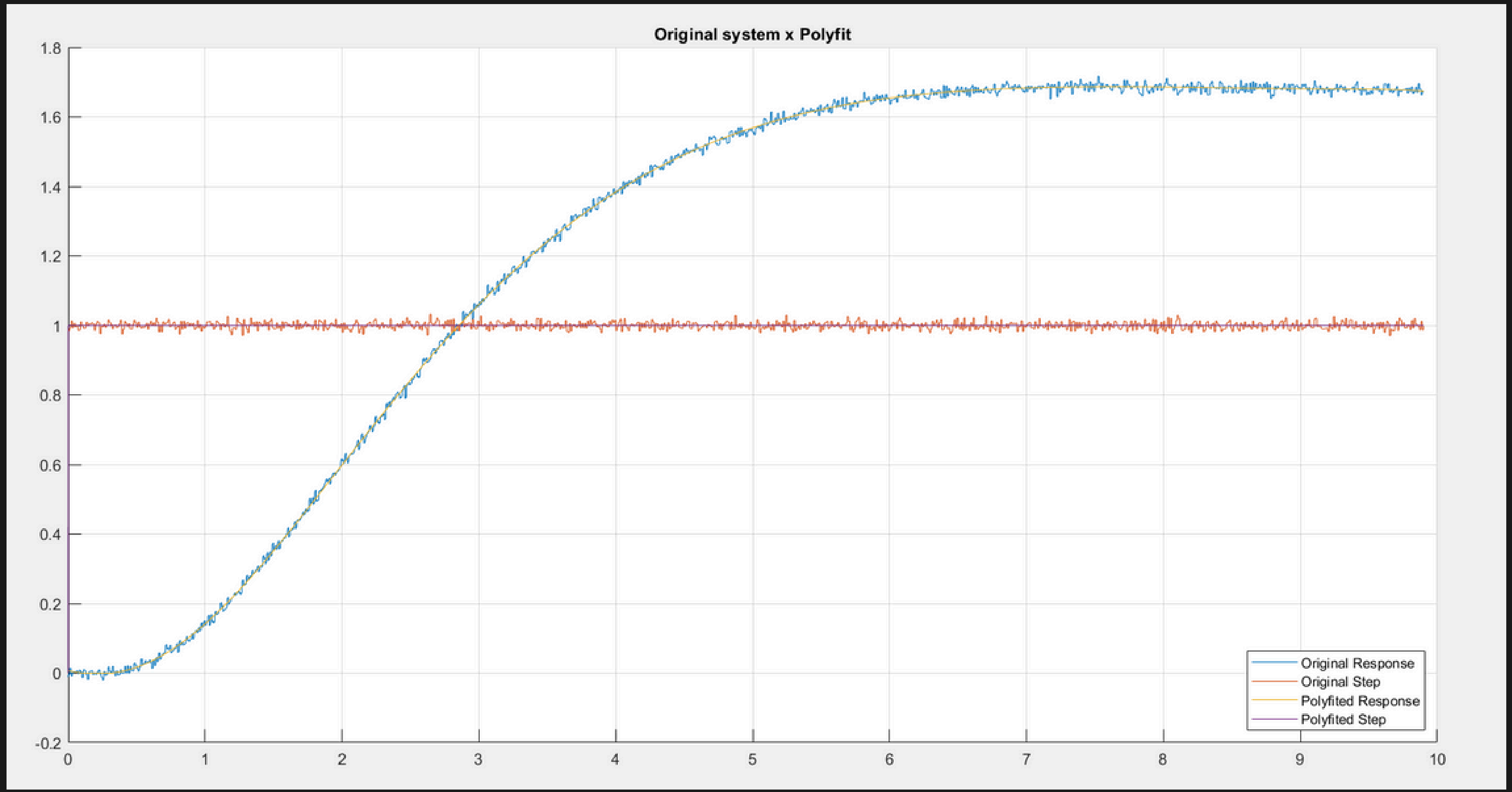


O a resposta ao degrau (e o próprio degrau) do sistema dado no .mat foi plotado ao lado.

O arquivo .m indexado na atividade contém o código usado para pré-processar o dado para a aplicação do método de sundaresan.

MÉTODO DE SUNDARESAN: SISTEMA SUPERAMORTECIDO

SINAL ORIGINAL E POLYFIT



Especificamente para o método analítico, se fez necessário fazer um polyfit do sistema (o gráfico do degrau não é necessário, mas ajuda visualmente).

A fins de comparação, a metodologia empírica usará o dado real (sem polyfit).

Á esquerda, tem-se ambos os gráficos (antes do ganho ser pré-processado).

MÉTODO DE SUNDARESAN: SISTEMA SUPERAMORTECIDO

PASSOS

1. Achar área m1

2. Achar ângulo Mi

3. Achar tempo Tm

4. Calcular o parâmetro λ

5. Achar o valor de η no gráfico

6. Calcular os valores τ1, τ2 e τd

Depois de pré-processar os dados, existe uma lista de passos para encontrar o modelo desejado.

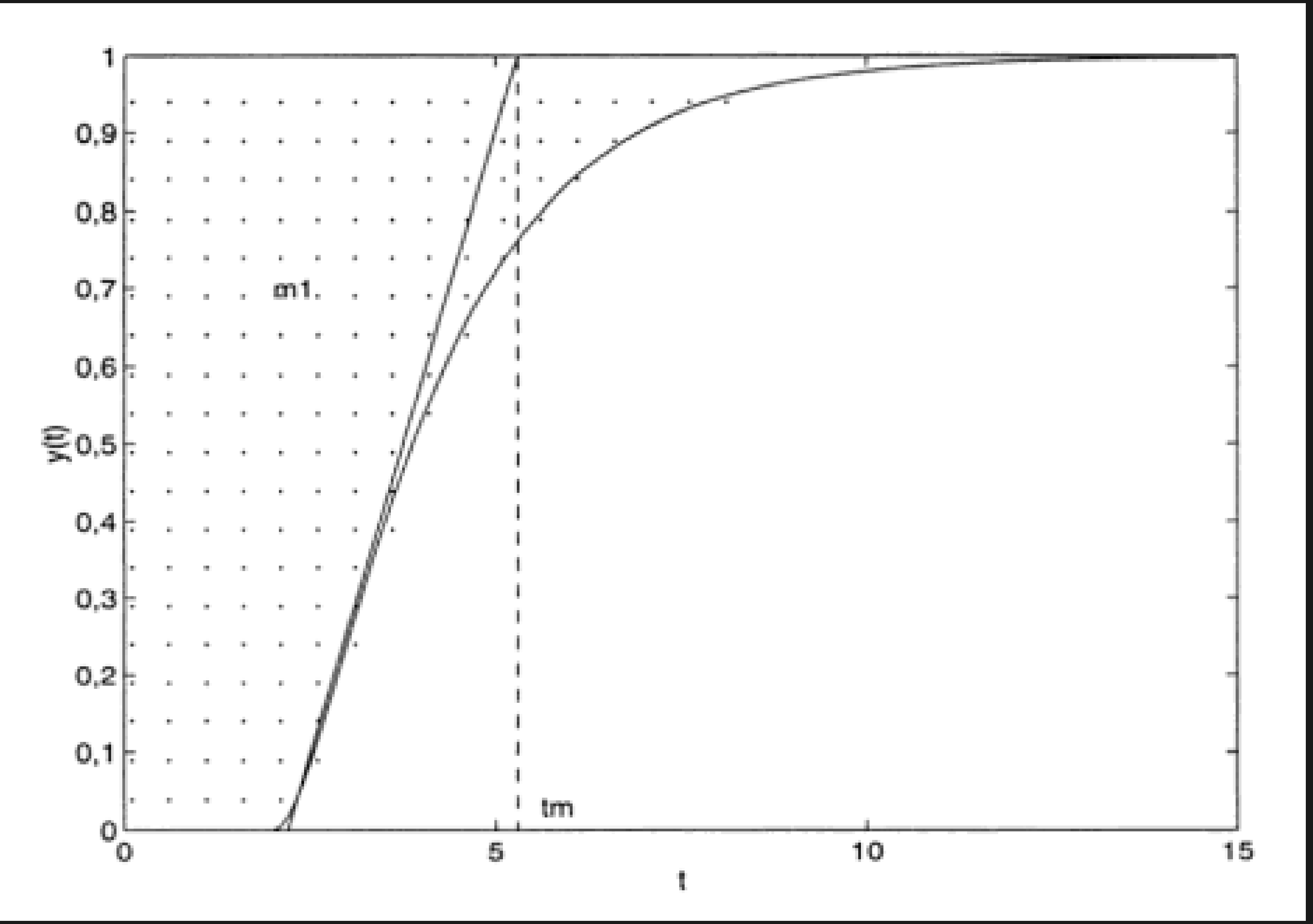
É importante salientar que os passos não precisam ser perfeitos, dado que tem-se um ajuste fino no final.

Será feita uma revisão de cada parâmetro, junto do método analítico e empírico de consegui-lo na prática

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

1. oque é m1?

AREA M1



O primeiro parâmetro é m1, a área entre a reta y=1 e a resposta do sistema (que foi pré-processado para ser unitário).

EQUAÇÃO DE M1

$$m_1 = \int_0^\infty \left(1 - y(t)\right) dt \, .$$

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

1. Área m1 [Analítica]

ÁREA M1 [ANALÍTICA]

```
%Integral from 0 to steady state point:
yint=polyint(yt);
m1=diff( polyval(yint,[Int_begin Int_end]) );
m1=1*(Int_end)-m1;
```

O algoritmo a esquerda foi usado para calcular a área m1, basicamente calculando a área abaixo do polinômio usado no polyfit.

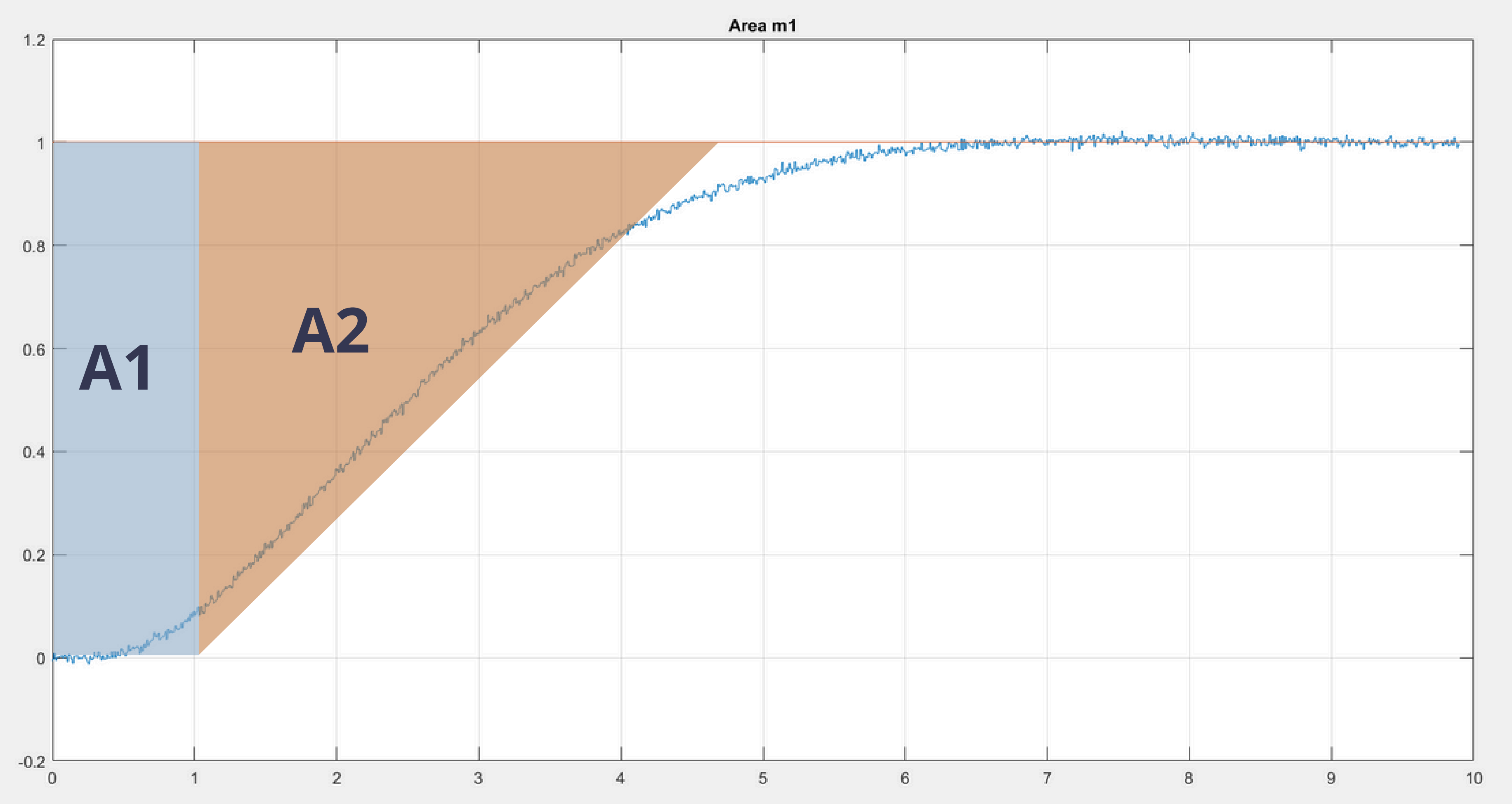
Área m1

2,7059

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

1. Área m1 [Empírica]

ÁREA [EMPÍRICA]



m1 é a soma de A1 e A2 vistos no gráfico.

É também possível compensar manualmente os espaços extras.

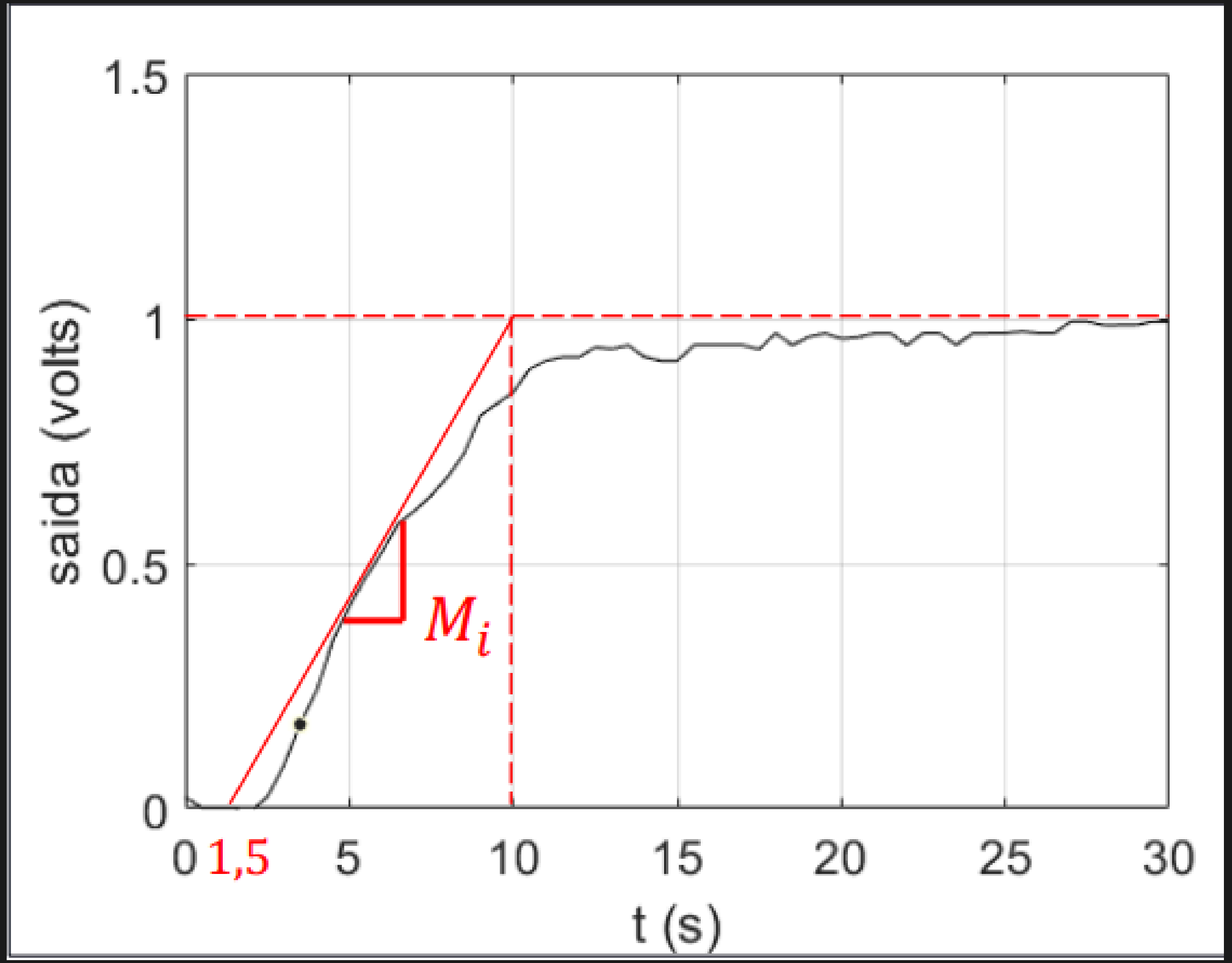
Área m1

2,75

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

2. Oque é Mi?

INCLINAÇÃO 'MI'



Mi é a inclinação da reta tangente à curva no ponto de inflexão (ponto onde a primeira derivada atinge o valor máximo e a segunda derivada troca de sinal).

EQUAÇÃO DE MI

$$\mathrm{Mi} = \frac{dy}{dt}$$

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

2. Inclinação Mi [Analítica]

PONTO DE INFLEXÃO

```
%% Calculate Mi
dt=time(2)-time(1); %evenly spaced, never changes
dyt=zeros(numel(Response_pol)-1,1); %initializing empty array nx1

%dy= yf-yo
for i=1:1:numel(Response_pol)-1
    dyt(i)=Response_pol(i+1)-Response_pol(i);
end

dyt_Max=max(dyt);
Mi=dyt_Max/dt;
```

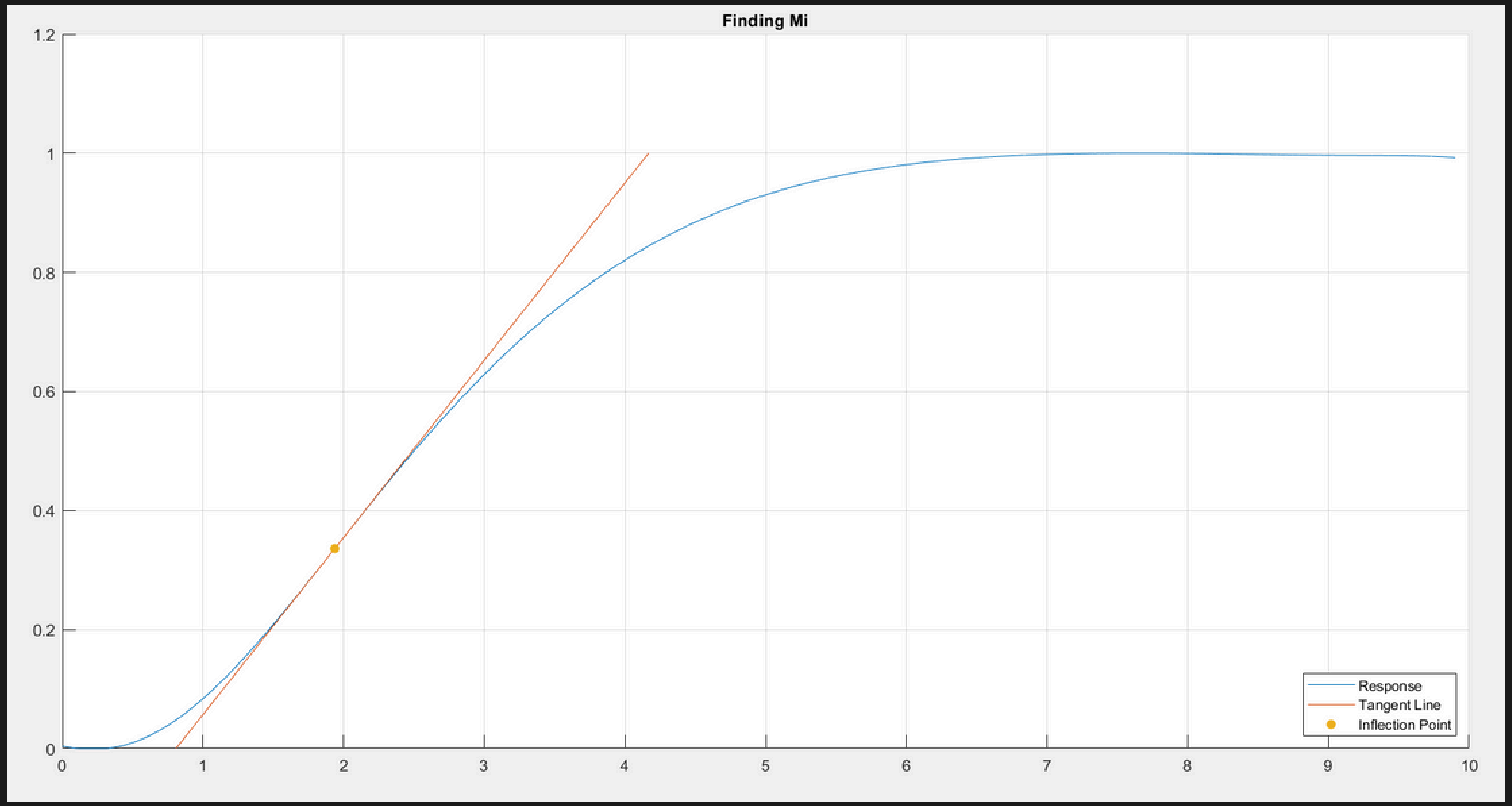
A maneira analítica escolhida foi calcular a derivada ponto a ponto da curva e pegar seu maior valor (que é Mi, como visto anteriormente).
Alternativamente, também seria possível encontrar o mesmo ponto derivando 2 vezes a função polinomial.

A função acima calcula a variação em y (e salva no array dyt) e acha seu valor máximo (dyt_Max). Dividindo esse valor por dt, tem-se Mi

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

2. Inclinação Mi [Analítica]

RETA TANGENTE



Usando a equação da reta, (dado que temos um ponto e sua inclinação) a reta tangente mesma foi criada e plotada.

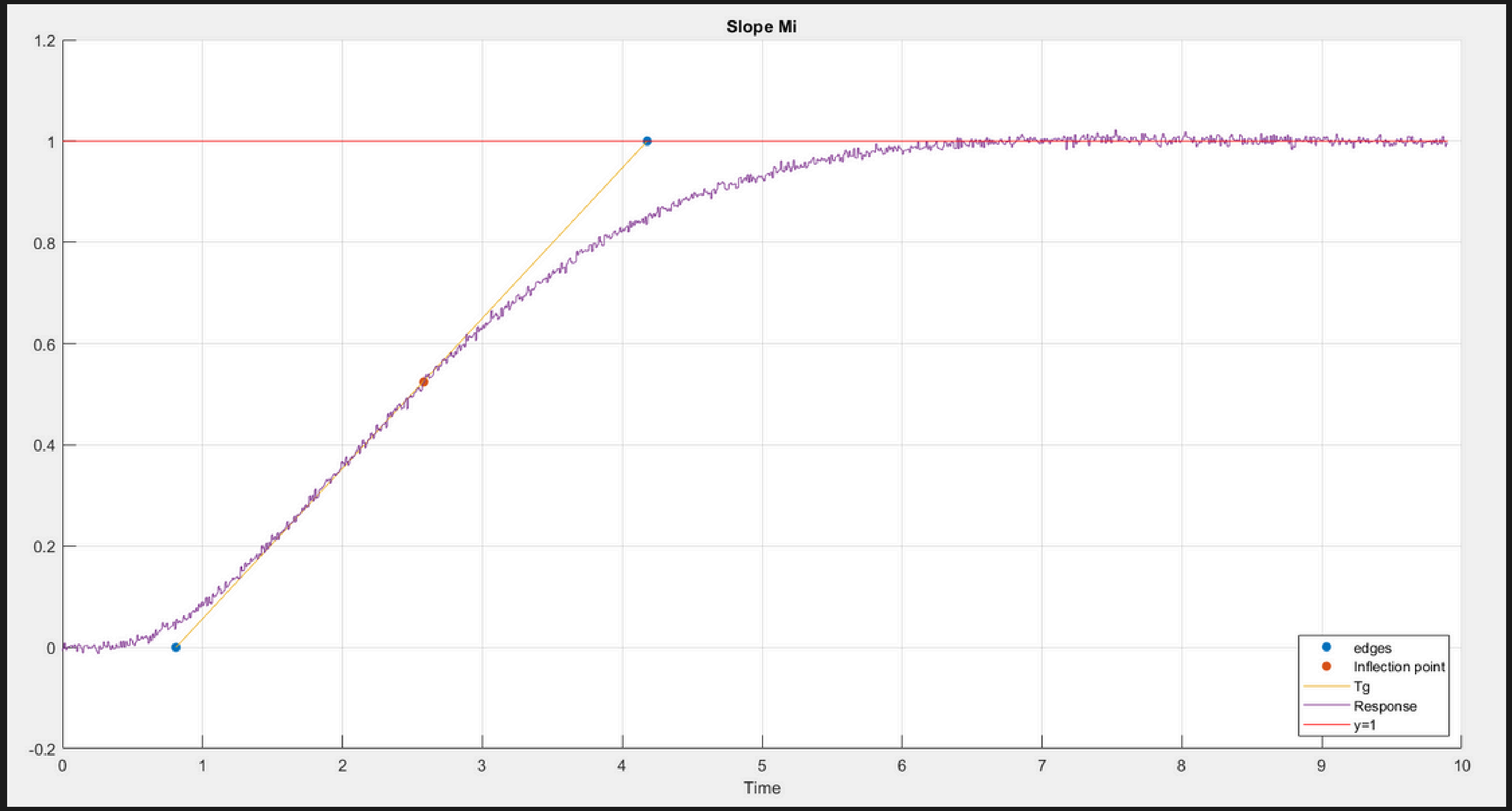
Mi [Analítico]

0,297

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

2. Inclinação Mi [Empírica]

RETA TANGENTE



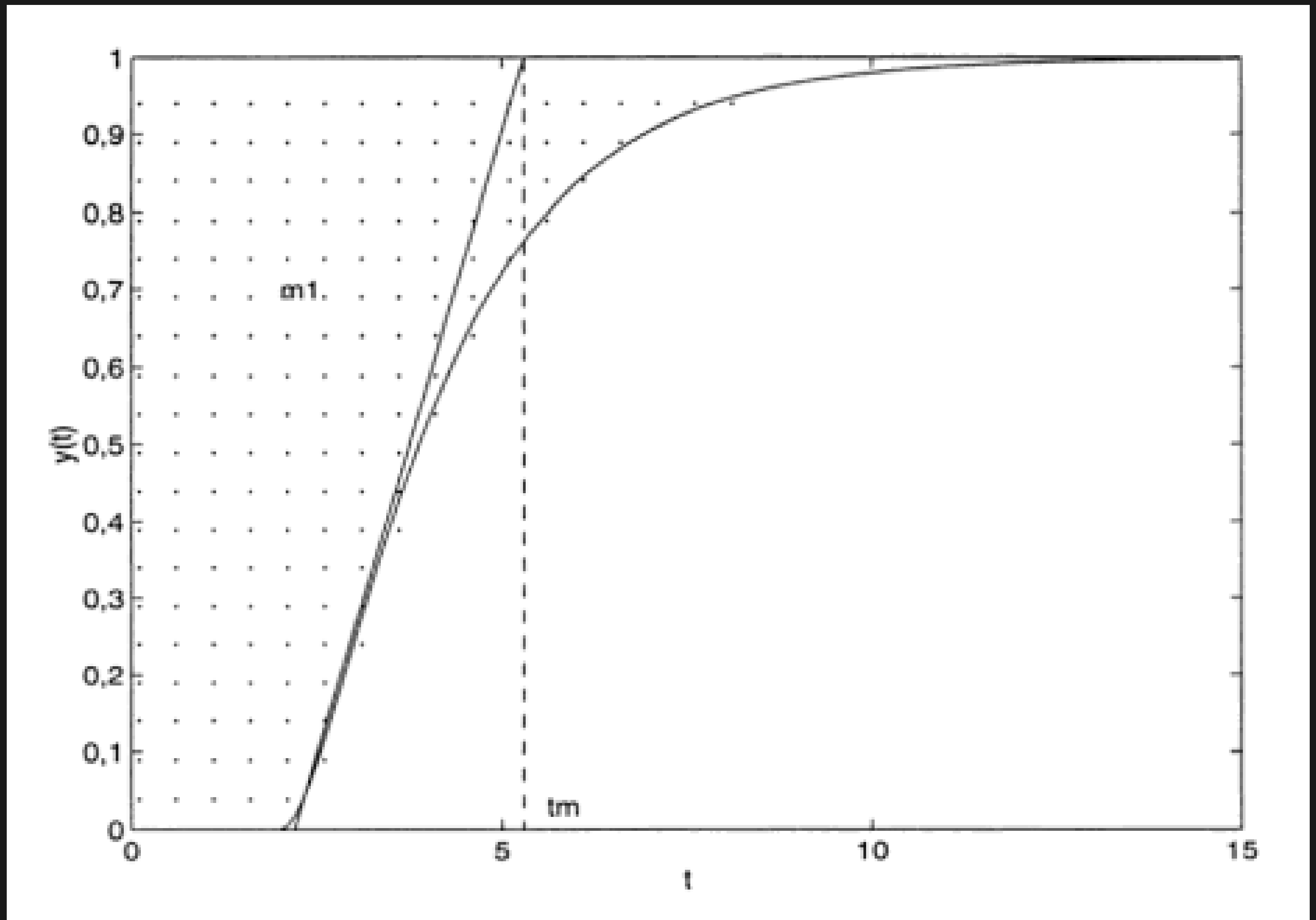
O ponto de inflexão foi escolhido de maneira heuristica, a partir dele foi traçada uma reta na mão e 2 pontos foram escolhidos nas bodas.
Mi foi calculado a partir dos 2 pontos na borda da reta tangente.

Mi [Empírico]
0,29691

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

3. oque é Tm?

TM

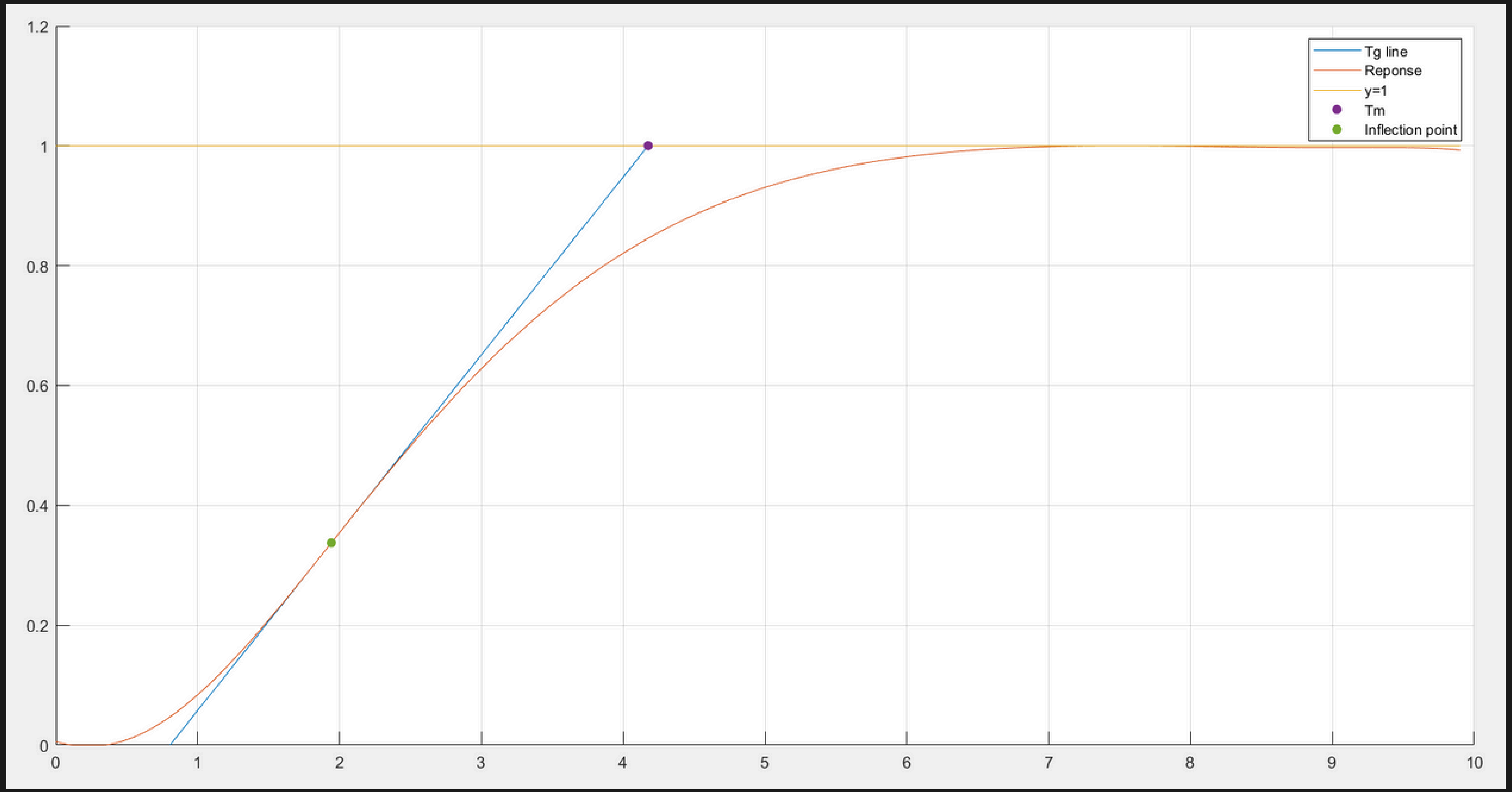


Tm é definido como ponto onde a reta tangente (usada no passo anterior) passa no ponto y=1

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

3. Tempo Tm [Analitico]

TM NO GRAFICO



De maneira analitica, basta pegar a equação da reta tangente e achar o tempo quando y=1.

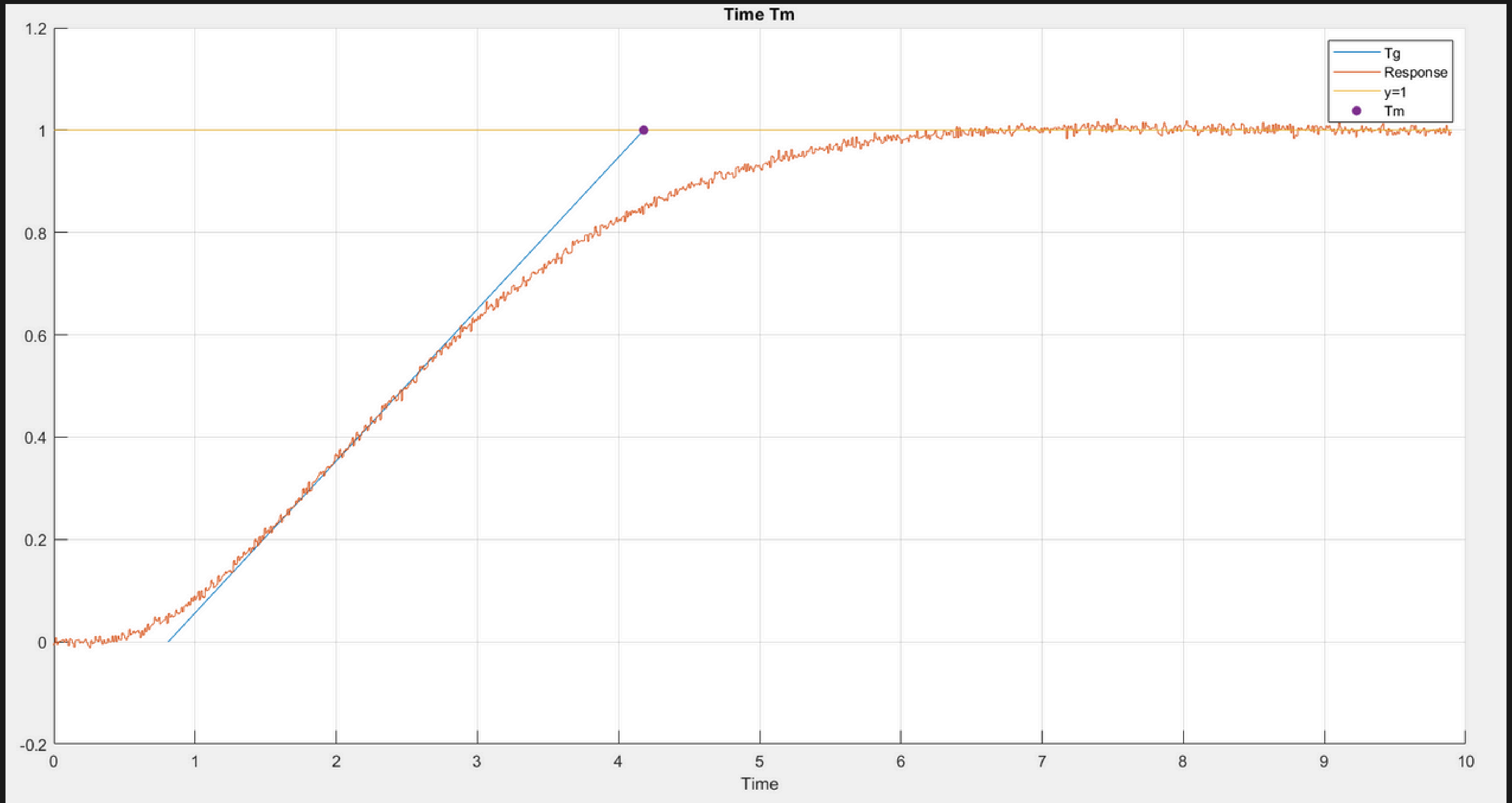
A esquerda o grafico foi plotado, abaixo tem-se o valor de Tm encontrado

Tm (sec)
4,168

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

3. Tempo Tm [Empírico]

TM [EMPÍRICO]



No método Empírico, o ponto Tm é achado visualmente apartir do grafico.

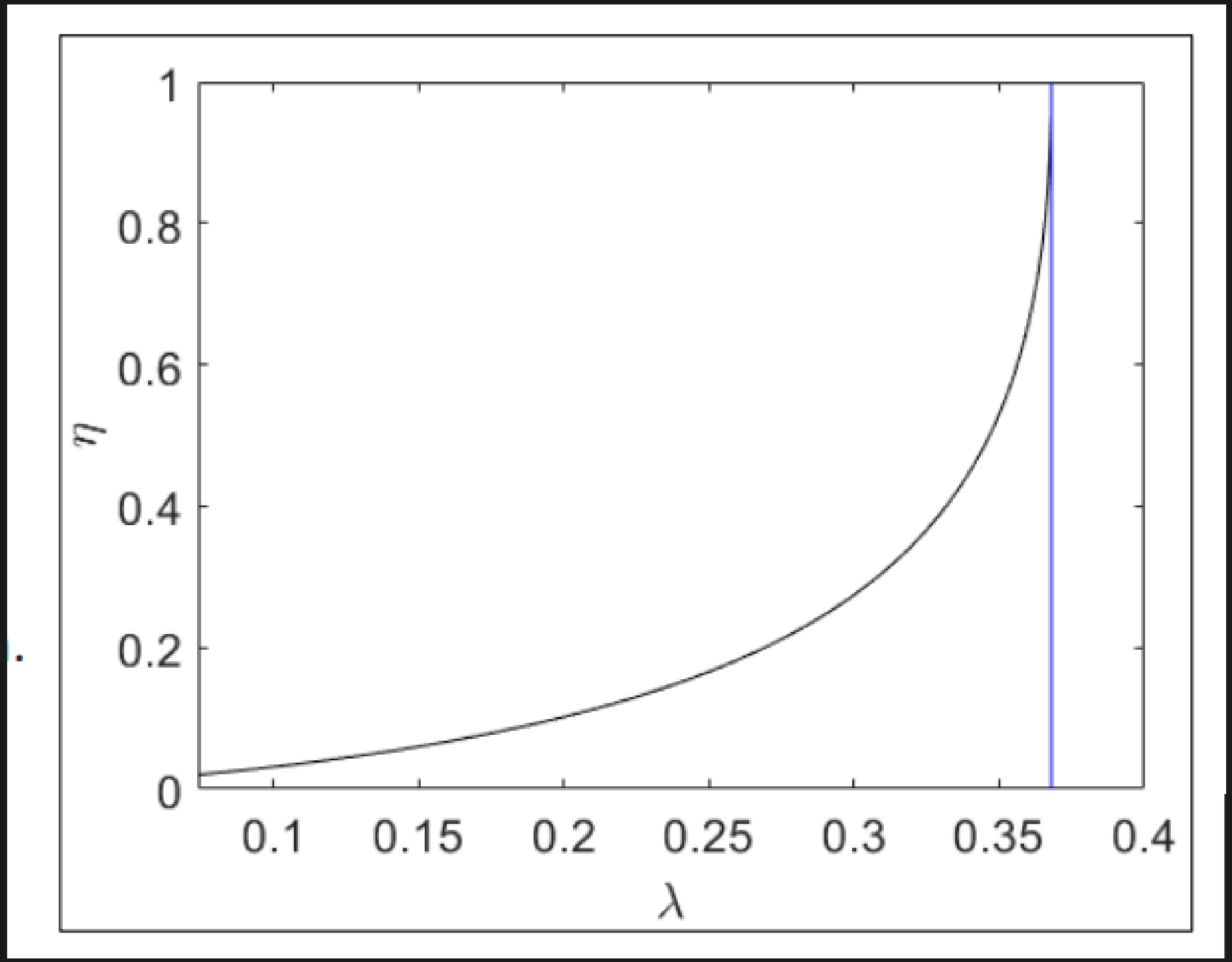
Ao lado têm-se a reta tangente e o ponto de Tm

Tm (sec)
4,178

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

4. Oque é λ e η?

GRÁFICO DE ETA



Depois de achar os 3 primeiros parâmetros (m1, Tm and Mi) é possivel calcular Lambda, e com ele o valor correspondente de eta no grafico a esquerda.

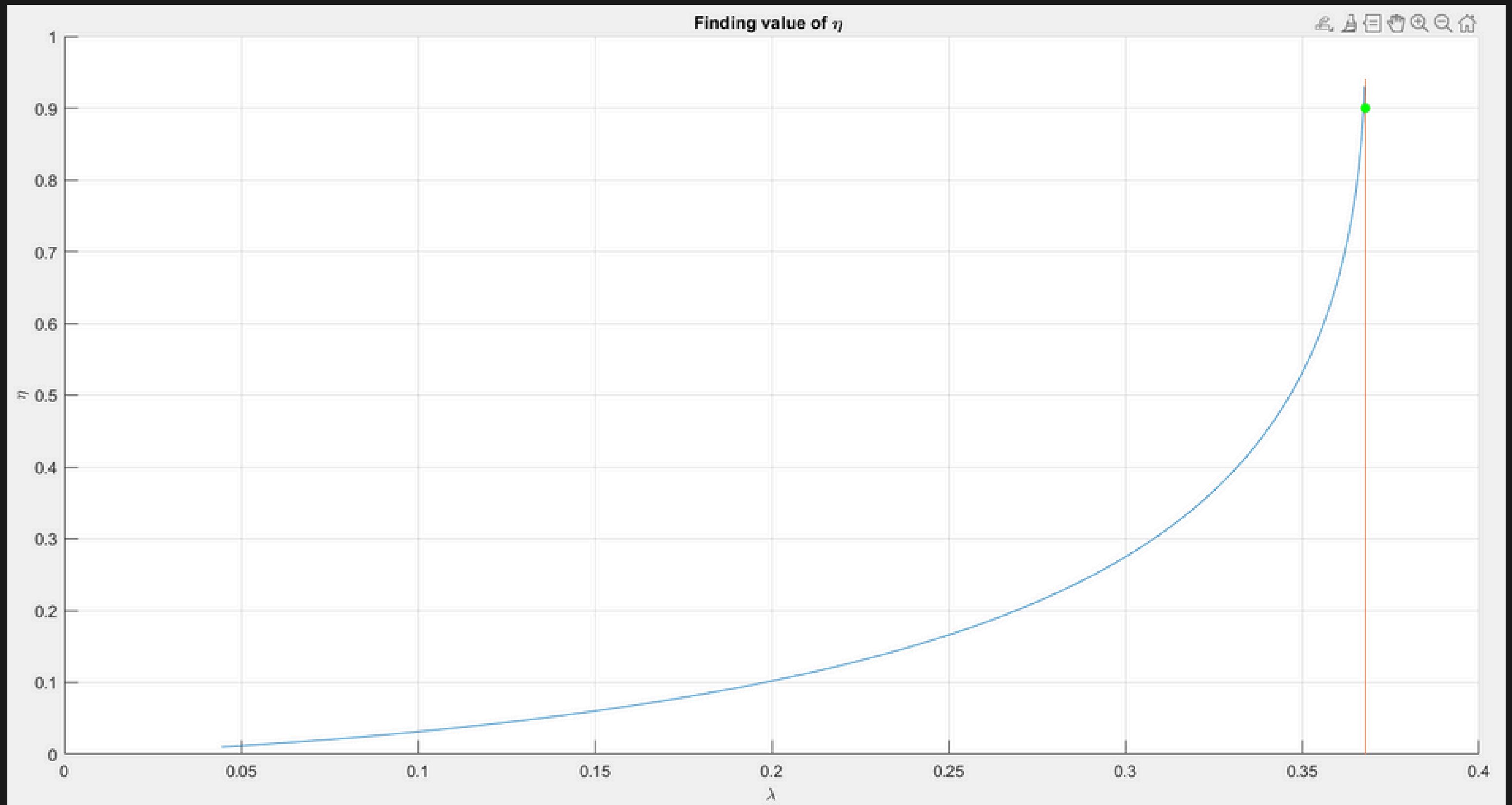
EQUAÇÃO DE LAMBDA

$$\lambda = M_i(t_m - m_1)$$

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

4. λ e η [Analitico]

GRÁFICO DE ETA



No método analitico,λ é encontrando com a função do slide anterior e η é encontrado utilizando a função vista abaixo.

Como λ foi acima do limite, η assumiu o valor máximo (0.99).

Valor λ

0,367

EQUAÇÃO DE ETA

$$X = \frac{\ln \eta}{\eta - 1}$$

$$\lambda = Xe^{-X}$$

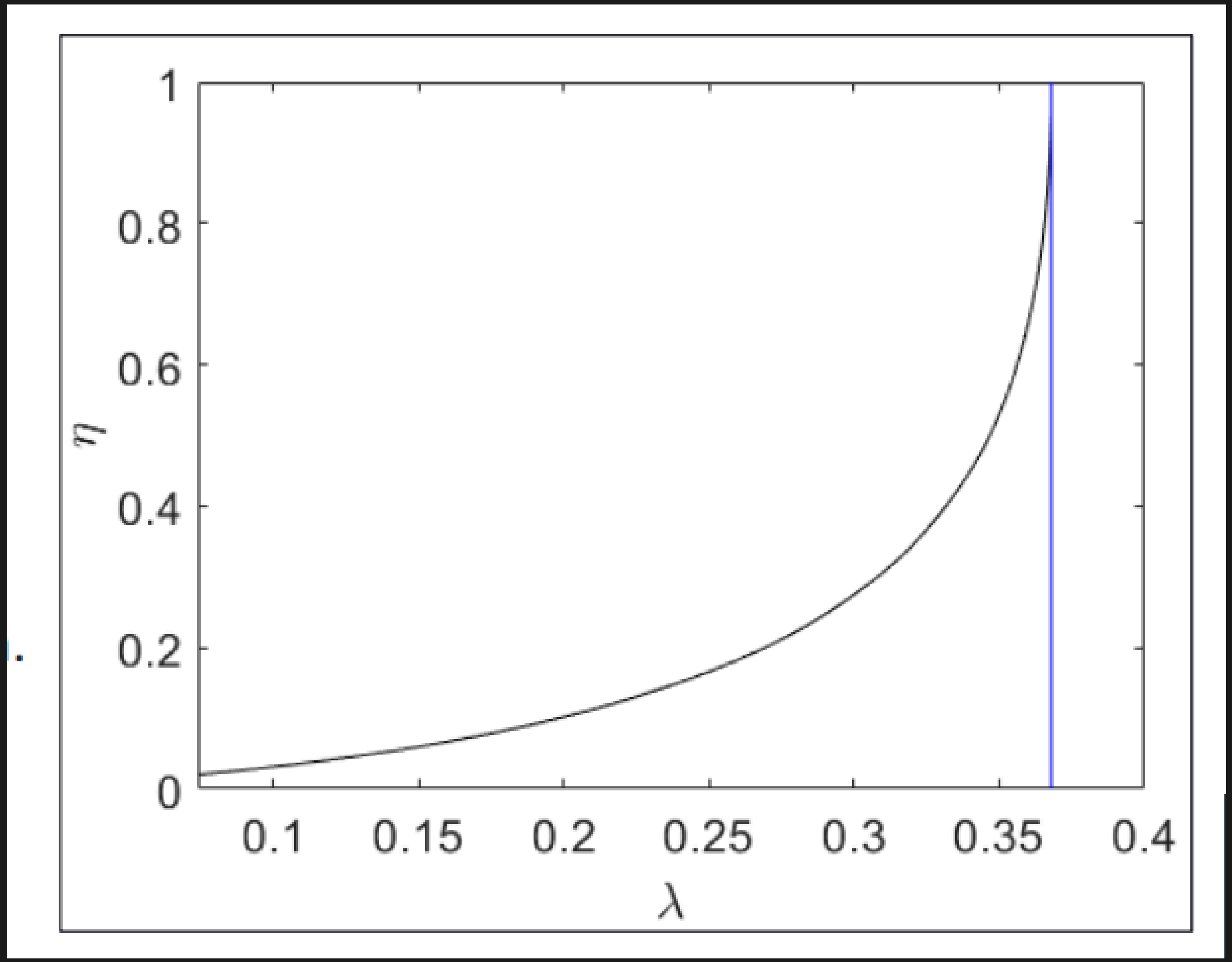
Valor η

0,99

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

4. λ e η [Empírico]

GRAFICO DE ETA



No metodo empirico, basta escolher η visualmente utilizando o grafico.

Novamente, como λ foi acima do limite, η assumiu o valor máximo (0.99).

Valor λ

0,424

Valor η

0,99

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 1)

5. oque é τ1, τ2 and τd?

EQUAÇÕES PARA CALCULO DOS TEMPOS

$$\tau_1 = \frac{\eta^{\eta/(1-\eta)}}{M_i}$$

$$\tau_2 = \frac{\eta^{1/(1-\eta)}}{M_i}$$

$$\tau_d = m_1 - \tau_1 - \tau_2$$

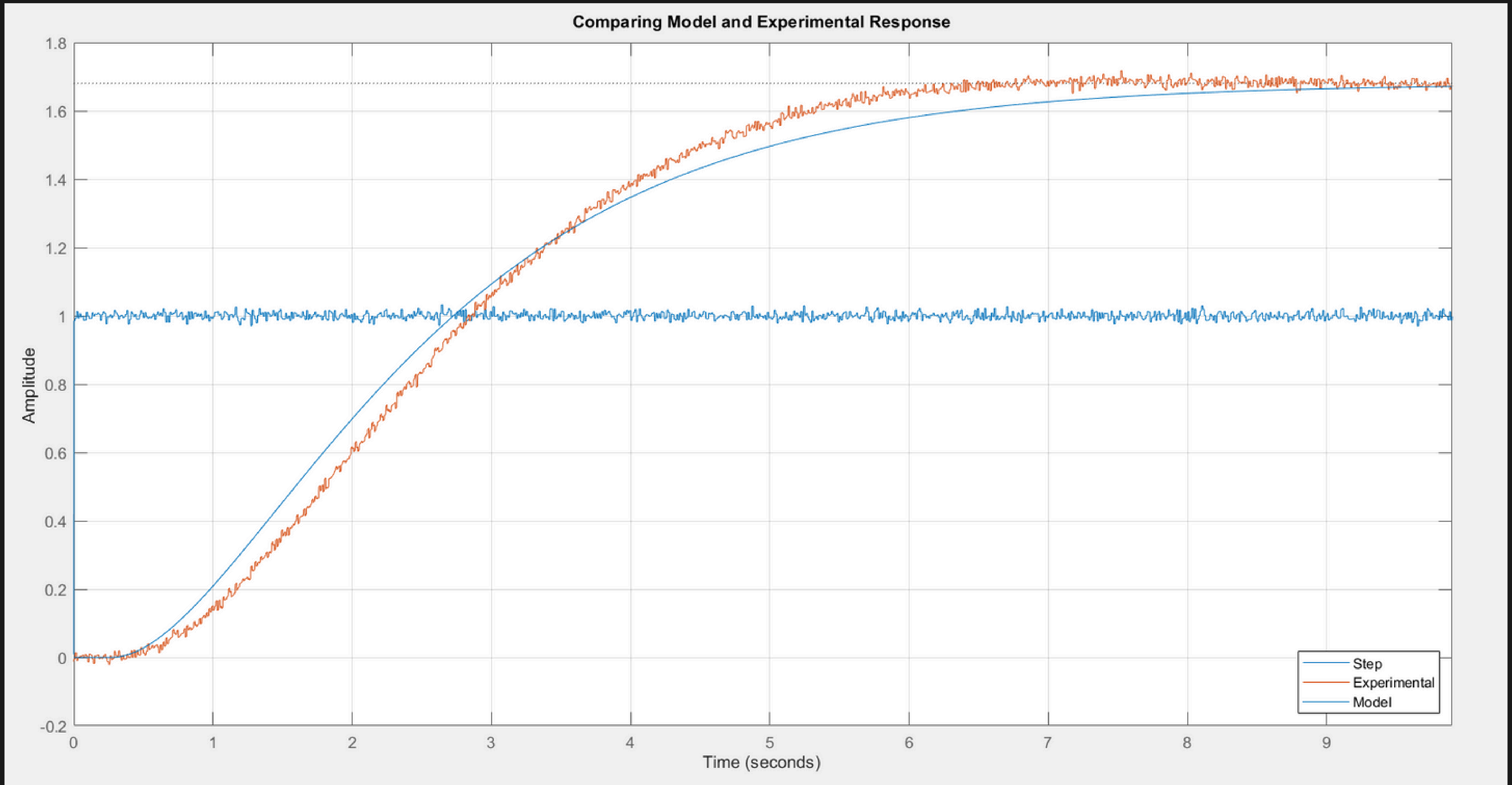
O último passo é calcular as 3 constantes a esquerda, que podem precisar de um ajuste fino no final, onde:

- τ1 e τ2 são as constantes de tempo de cada pólo, diminuí-las acelera a resposta

- td é o atraso, é possível escolhê-lo analisando o gráfico.

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 1)

MODELO ANALITICO X EXPERIMENTAL



VALORES

m1= 2,70

Mi= 0,297

Tm= 4,168

λ= 0,367

η= 0,999

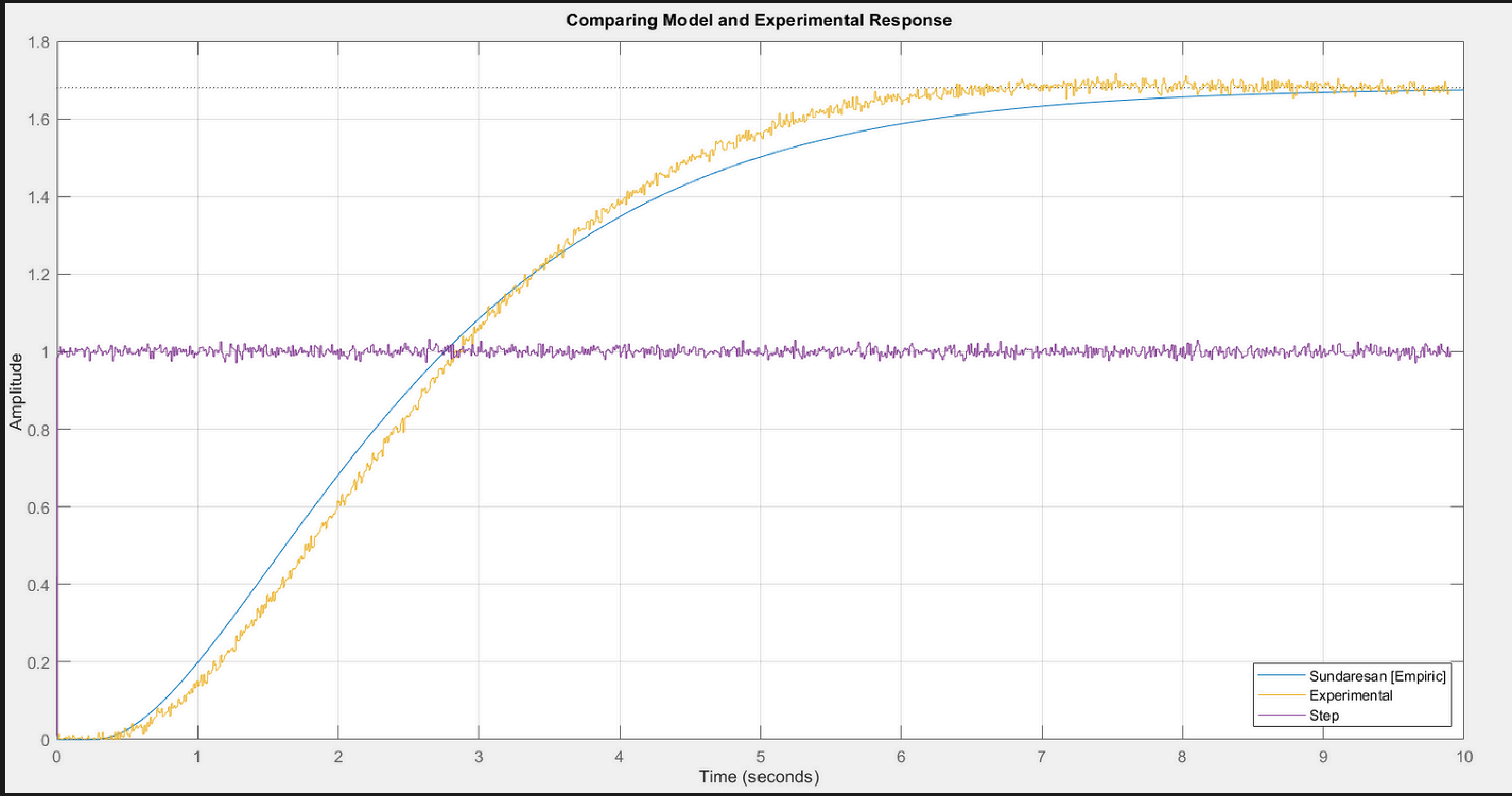
τ1= 1,236

τ2= 1,235

τd= 0,234

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 1)

MODELO EMPÍRICO X EXPERIMENTAL



VALORES

m1= 2,75
Mi= 0,29
Tm= 4,178

λ= 0,42399
η= 0,99

τ1= 1,2452
τ2= 1,2328
τd= 0,27195

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 1)

FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA [ANALITICA]

```
                     1.1043
exp(-0.23*s) * ----------------------
               (s+0.8095) (s+0.8087)
```

FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA [EMPÍRICA]

```
                     1.0944
exp(-0.27*s) * ----------------------
               (s+0.8112) (s+0.8031)
```

Ao lado tem-se a comparação das funções de transferencia adquiridas pelo modelo analitico e pelo modelo empirico, abaixo, tem-se os parâmetros no ajuste fino

VALORES DO AJUSTE FINO

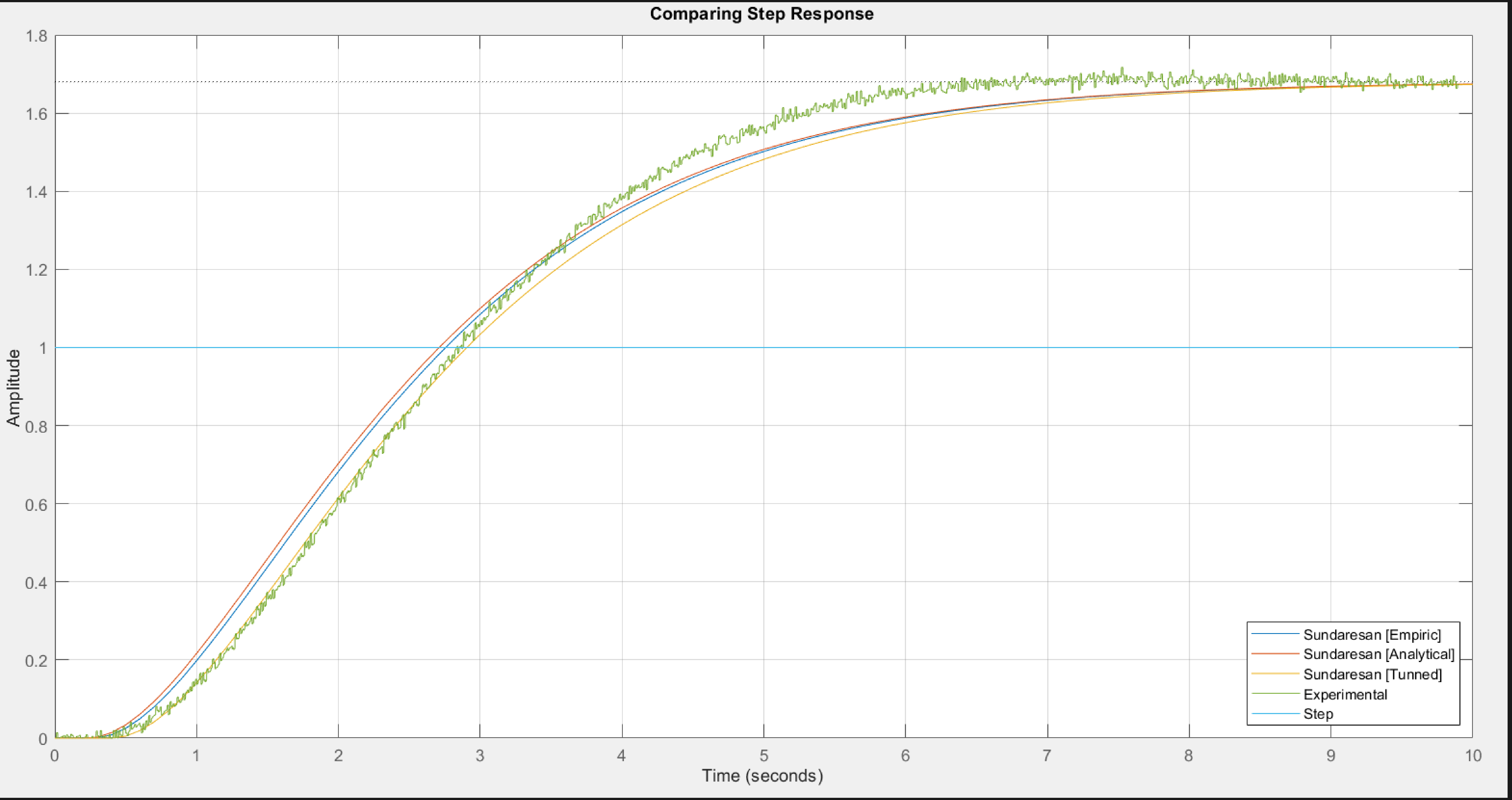
$\tau1=1.3$

$\tau2=1.2$

$\tau d=0.4$

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 1)

COMPARAÇÃO ENTRE MODELO EMPÍRICO, ANALITICO E REAL



VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 1)

Observações sobre o Modelo

- A diferença entre o sistema real e o modelado é devido ao fato do sistema não conseguir ser bem representado por 2 pólos reais e o atraso (nesse caso, se fosse desejada uma modelagem mais proxima, seria melhor ultilizar o system Identification)

SISTEMA SUBAMORTECIDO

Para o sistema subamortecido, tem-se a modelagem apenas empírica.

MÉTODO DE SUNDARESAN: SUBAMORTECIDO

PASSOS

1. Achar Area m_1

2. Achar Inclinação M_i

3. Achar T_m

4. Calcular λ

5. Achar ζ no grafico

6. Calcular ω_n e τ_d

O pre-processamento dos dados permanece igual para ambos os sistemas, porem os passos são diferentes.

.

MÉTODO DE SUNDARESAN: SUBAMORTECIDO

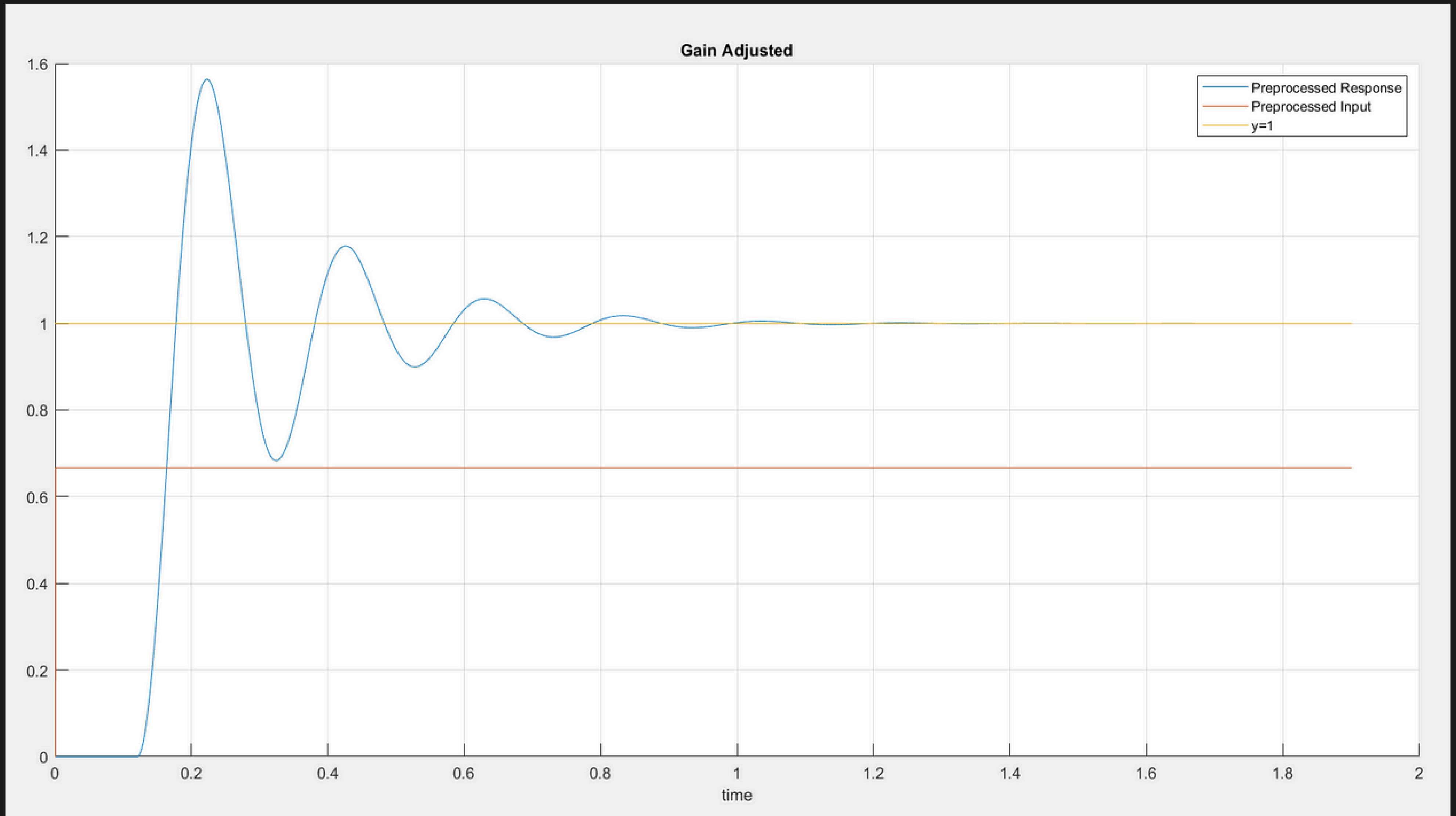
FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

$$H(s) = \frac{K\, e^{-\tau_{\mathrm{d}} s} \omega_{\mathrm{n}}^2}{s^2 + 2\zeta\omega_{\mathrm{n}} s + \omega_{\mathrm{n}}^2}$$

A função de transferência final do sistema é tal qual a esquerda

MÉTODO DE SUNDARESAN: SUBAMORTECIDO

REPOSTA PROCESSADA E DEGRAU

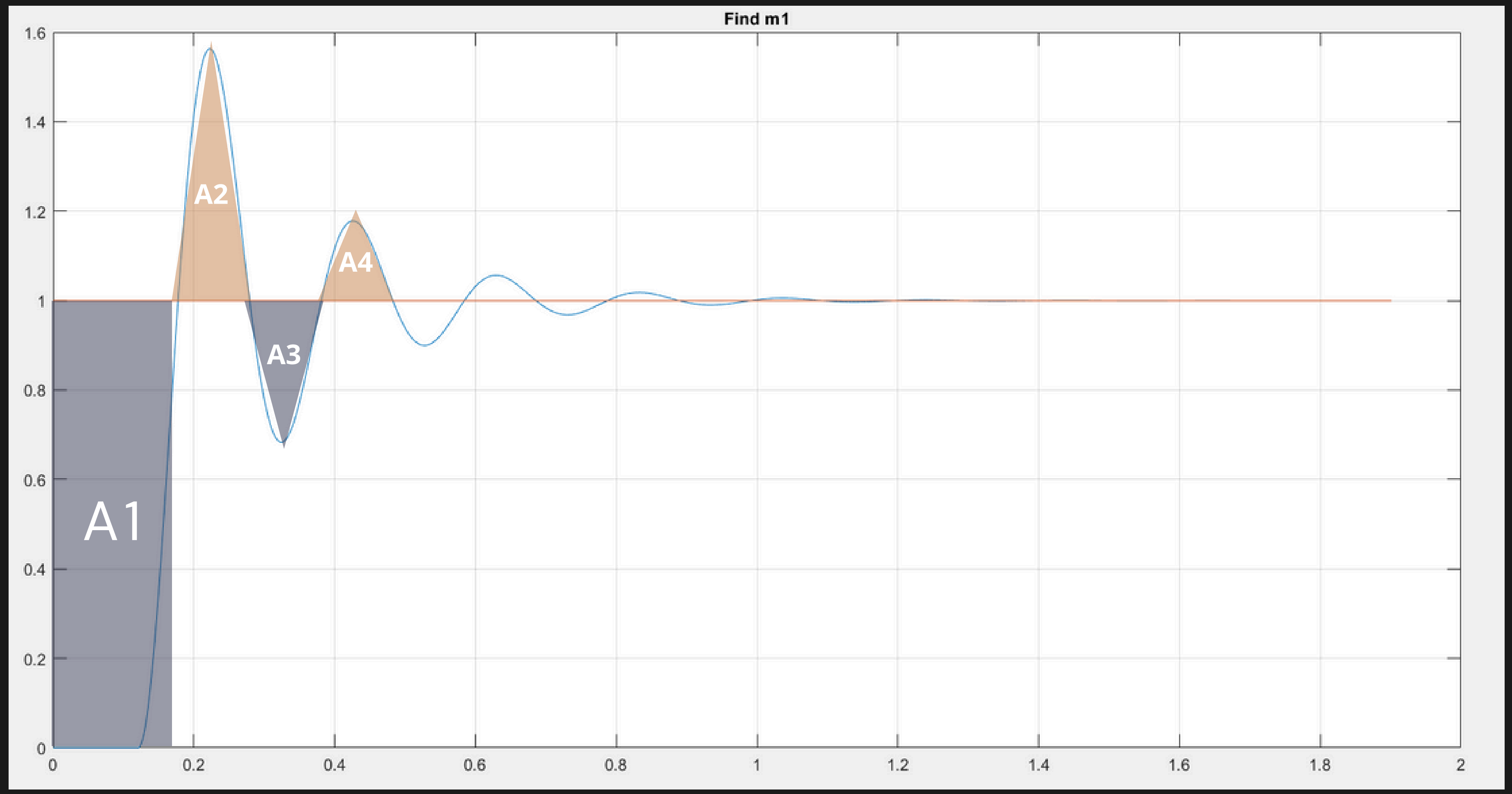


O Arquivo ao lado mostra o sistema já pre-processado, com o ganho estacionario unitario

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 2)

1. Área m1

ÁREAS



As áreas foram 3 trapézios e 1 quadrado, tal qual marcados ao lado.

Acima da linha y=1 é tido como negativo, abaixo é positivo, então é possível aproximar que o resto das áreas se cancelam.

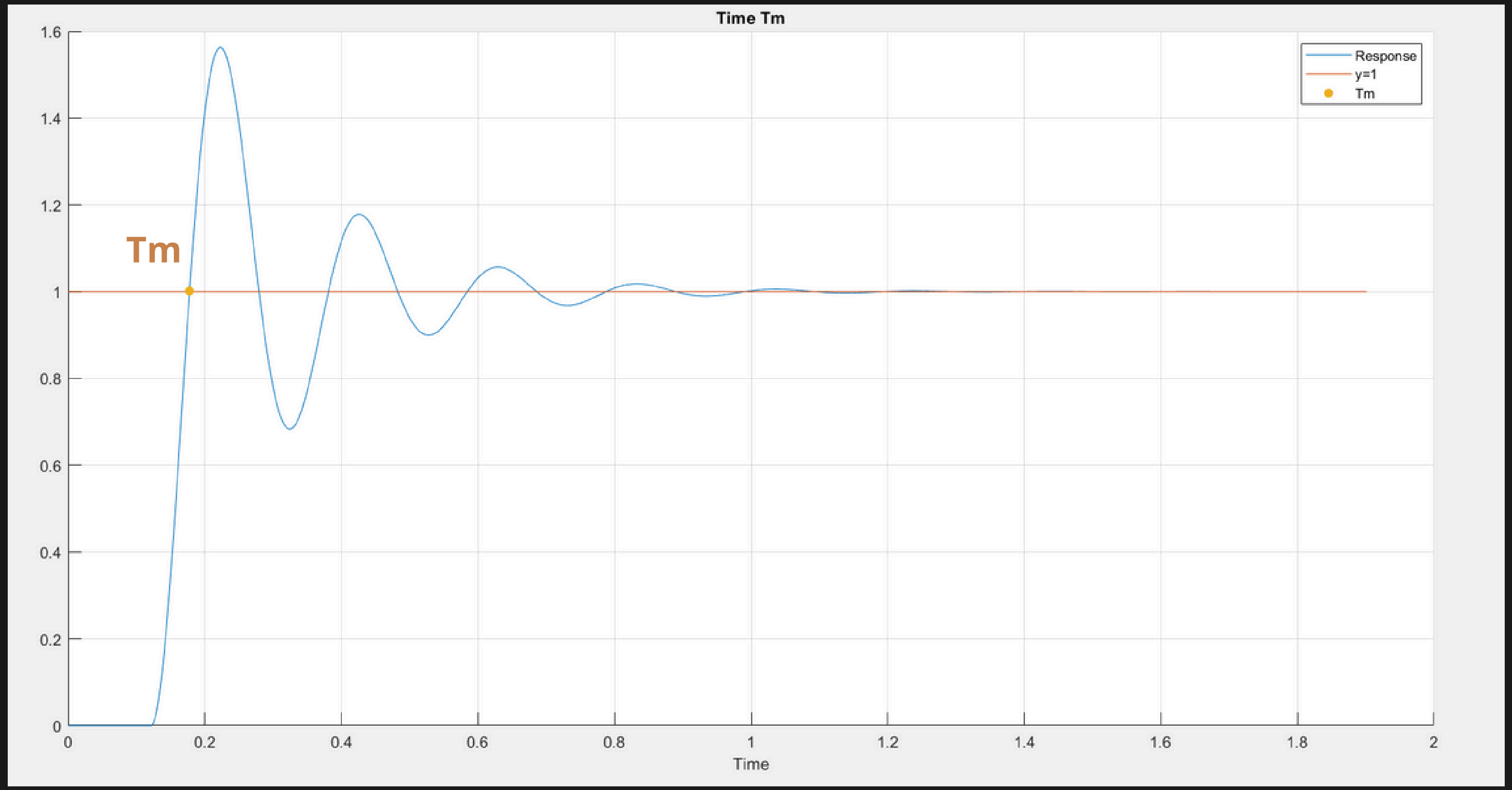
valor m1

0,1377

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 2)

2. Tempo Tm

TM IN THE GRAPH



Para o sistema subamortercido, agora tm é tempo na primeira interseção da curva e a reta y=1

O ponto em questão foi marcado no grafico.

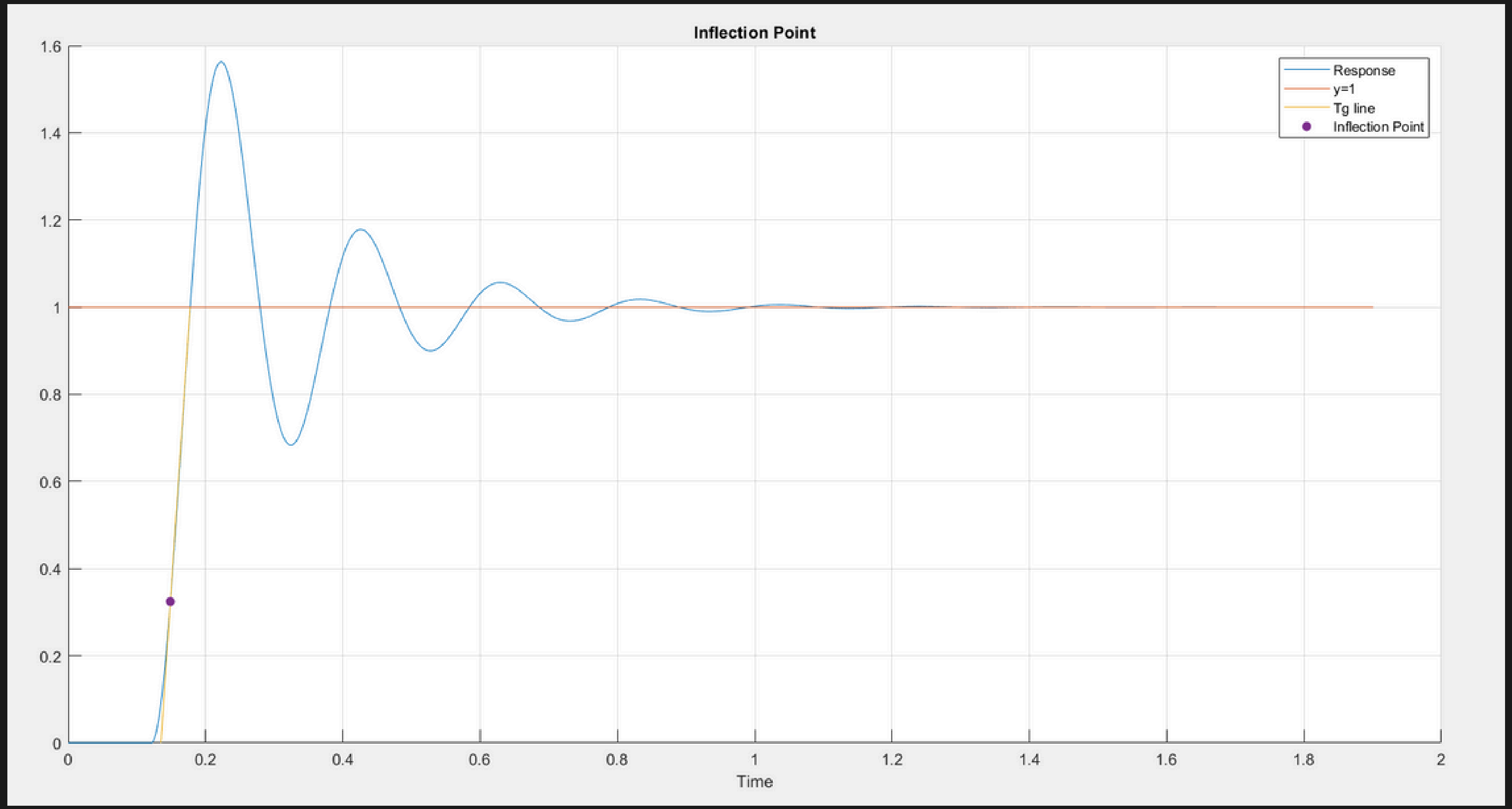
valor Tm

0,1774

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 2)

3. Inclinação Mi

INFLECTION POINT



O ponto de inflexão foi escolhido a mão.
Mi foi calculado utilizando a relação: dy/dt=Mi (com dy relativo ao ponto)

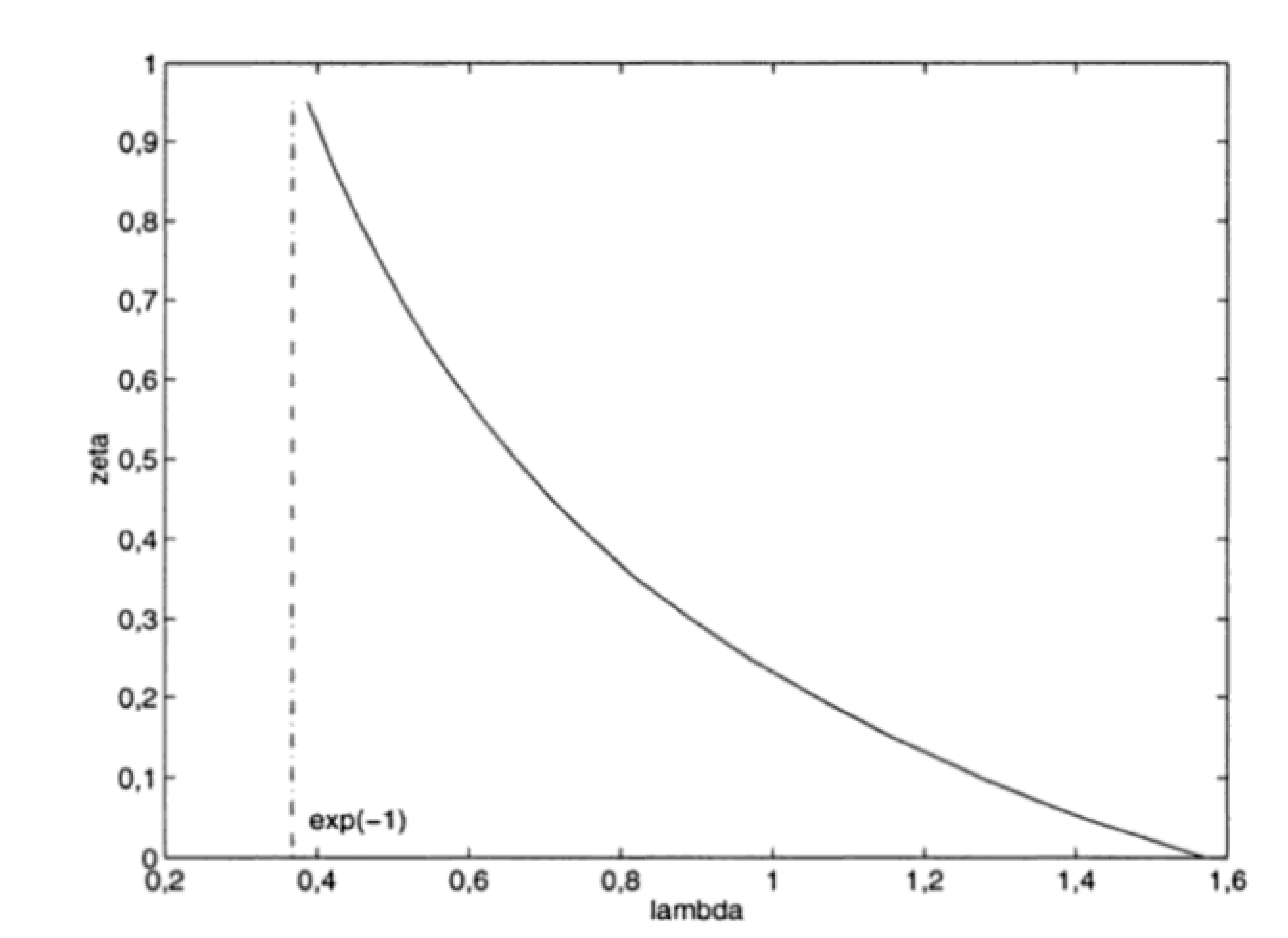
Valor Mi

23,58

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 2)

4. Oque é λ e ζ?

GRAPH FOR STEP 4



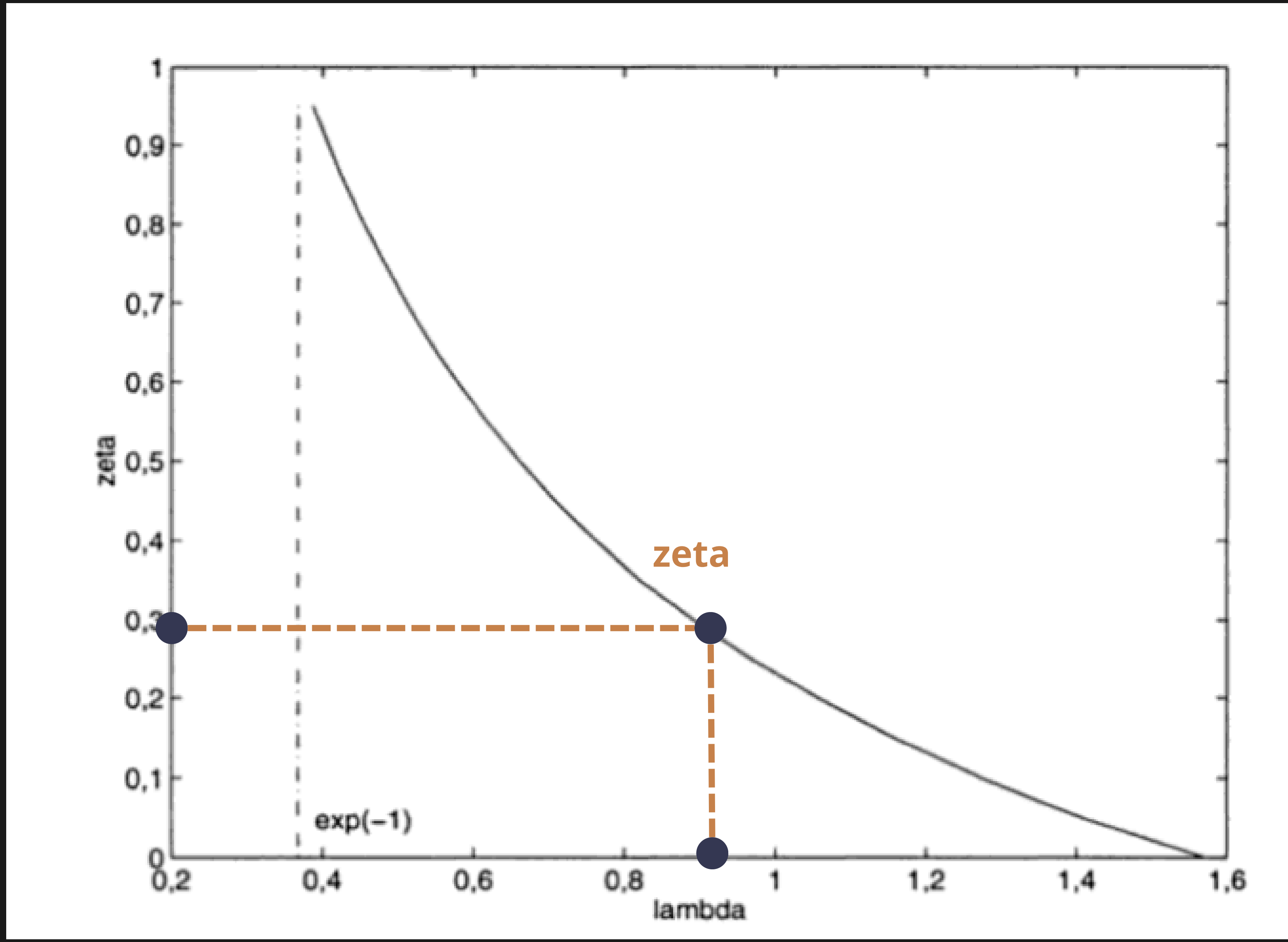
Lambda permanece igual, inclusive com a mesma equação, mas agora é ultilizado para achar o zeta no grafico a esquerda.

LAMBDA EQUATION

$$\lambda = M_i(t_m - m_1)$$

ENCONTRANDO PARÂMETROS (SISTEMA 2)

LAMBDA AND



4. Valores de λ e ζ

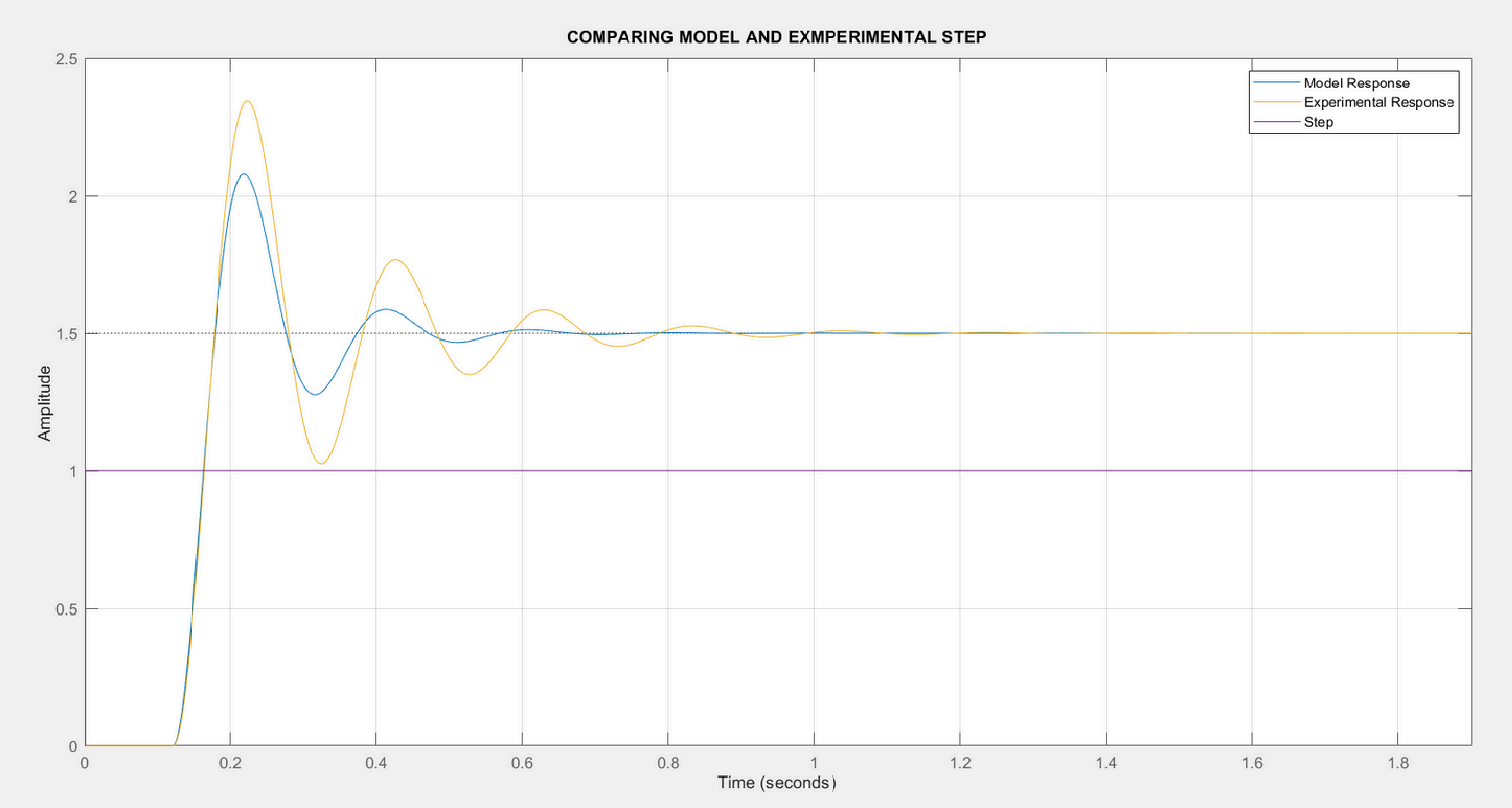
Com a formula ja apresentada, foi calculado o valor de λ.
Em seguida, com o grafico (a esquerda) o valor de ζ também foi encontrado.

Valor λ
0.934

Valor ζ
0.29

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 2)

MODELO EMPIRICO X EXPERIMENTAL



VALORES

m1= 0,1377

Mi= 23,58

Tm= 0,1774

λ= 0,93409

ζ= 0,29

wn= 23,209

τd= 0,1766

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 2)

Ajuste fino de τd, ζ e ωn.

- Td (atraso):

Pode ser adquirido empiricamente ao analisar o grafico

- ζ (Coeficiente de amortecimento):

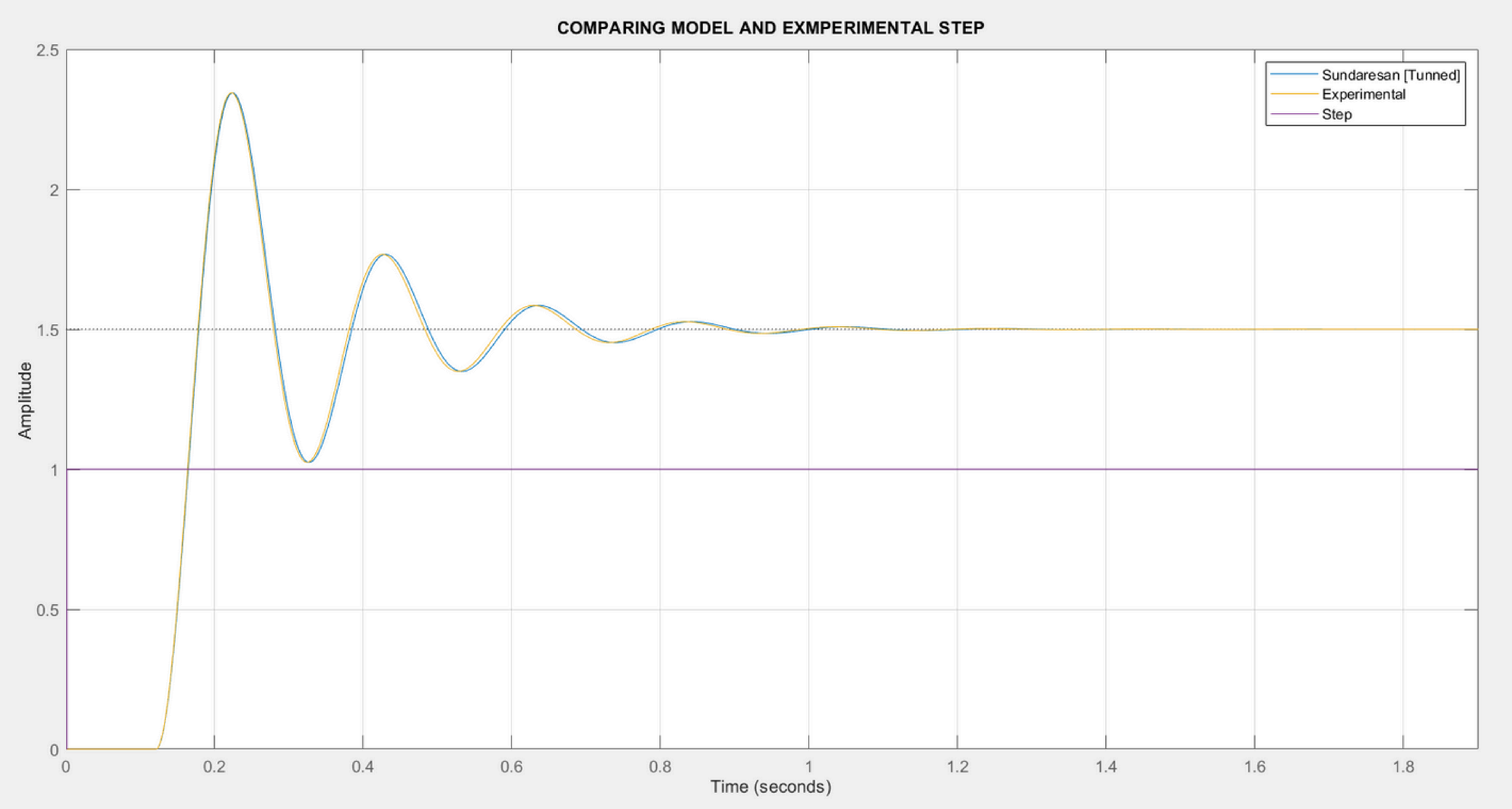
É diretamente responsavel pelo overshoot, então basta altera-lo até o modelo e a resposta coincidam.

- ωn

Altera a frequência de oscilação, então é inversamente proporcional a tempo de acomodação do sistema (aumentar esse valor acelera a reposta, achatando o gráfico).

VALIDAÇÃO DO MODELO (SISTEMA 2)

RESULTADO FINAL (APÓS AJUSTE FINO)



VALORES

ζ= 0,18

wn= 31

τd= 0.121

ATIVIDADE 2

Modeling a black box system (finding it's aproximated transfer function) using the System Identification Toolbox on MATLAB

ATIVIDADE 2

SUMÁRIO

VISÃO GERAL: SYSTEM IDENTIFICATION

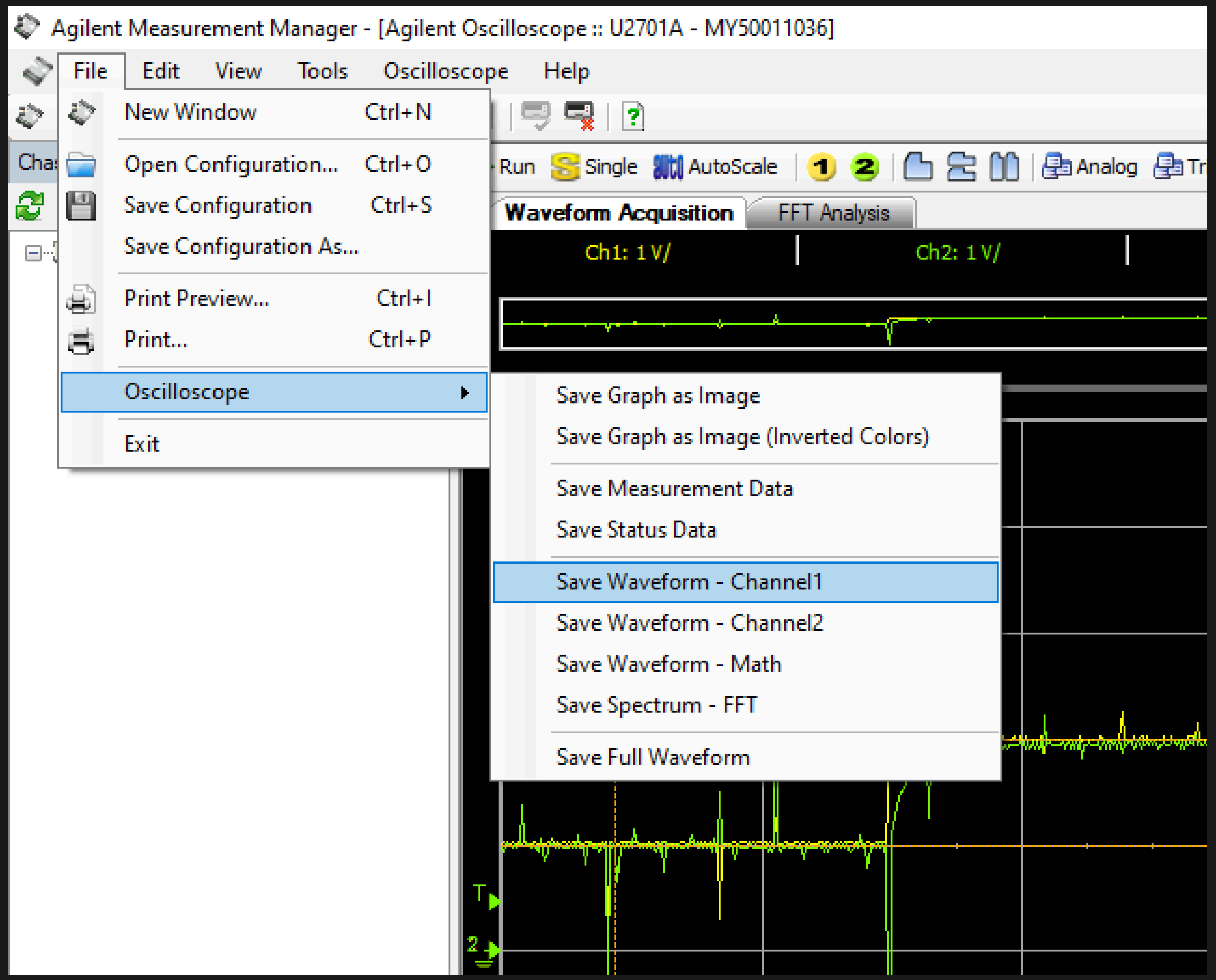
LIMITAÇÕES DA TOOLBOX

1. A toolbox não pode ser usada em sistemas não lineares/instaveis.

2. Os dados de tempo precisam ser igualmente espaçados (e em quantidade descente)

ADQUIRINDO DADOS DO AGILENT

AQUISIÇÃO DE DADOS



Primeiro, os dados são adquiridos experimentalmente atravês do Agilent, onde tem-se 2 observações importantes:

- 1. O dado precisa estar completo, começando antes do degrau e terminado só depois do assentamento.
- 2. Em boa quantidade (quanto mais pontos durante a resposta transitoria, melhor).

PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

ETAPAS DO PRÉ-PROCESSAMENTO

1. Remover offsets

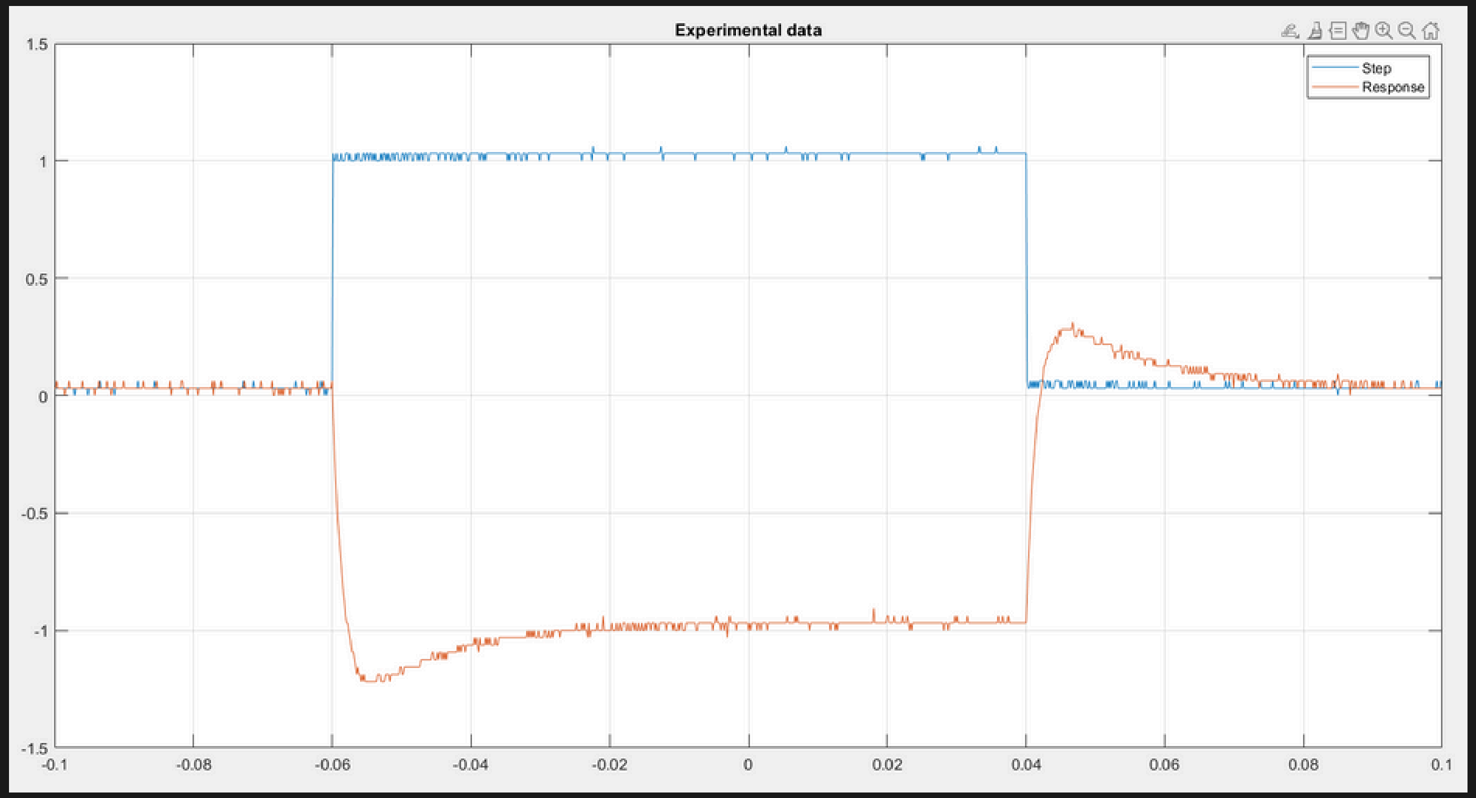
2. Remover tempo antes do degrau (Opcional)

Antes de usar a toolbox, é importante seguir o primeiro passo.

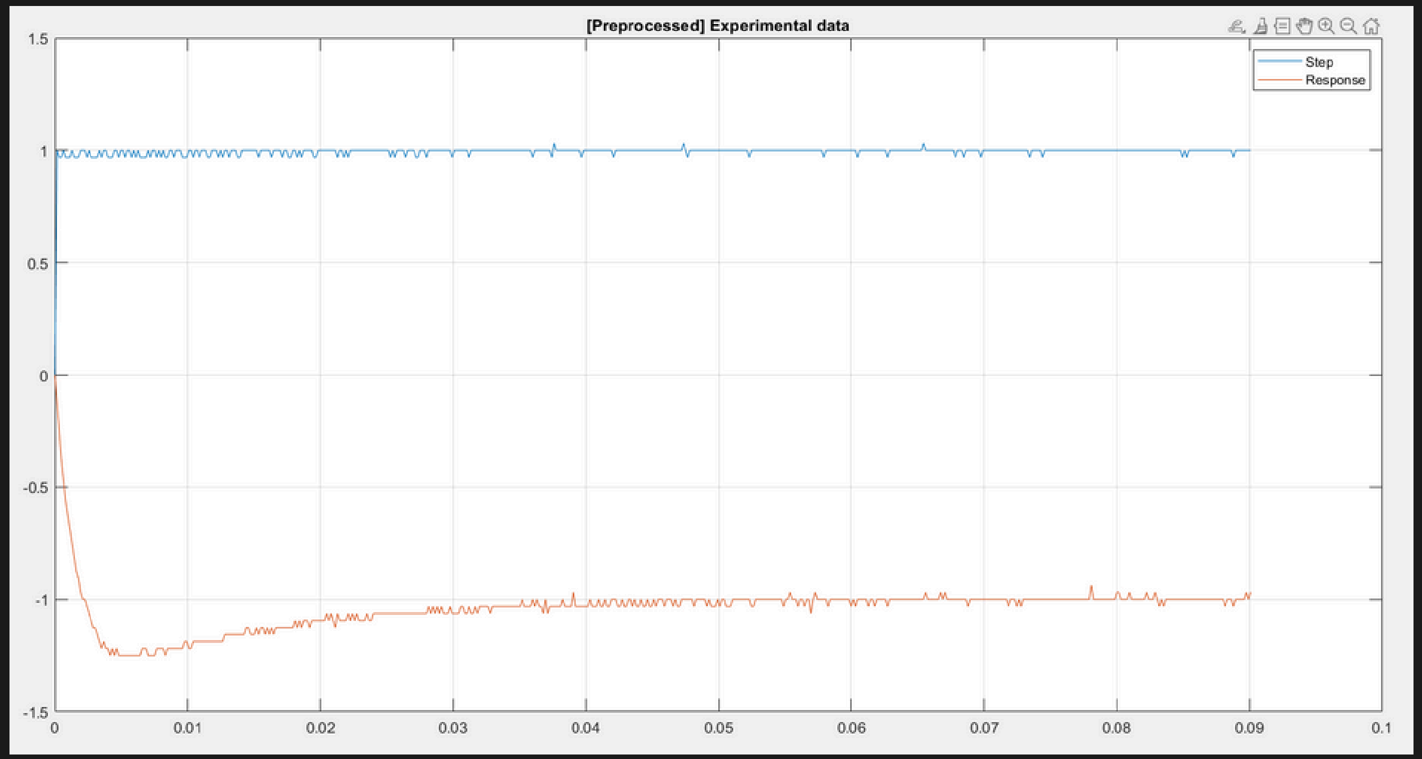
Opcionalmente, remover o delay até o degrau é util no final do processo para comparar a resposta original e o degrau da função transferência, mas não altera em nada o resultado.

PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

DADOS ANTES



DADOS DEPOIS



Dados antes e depois do pré-processamento

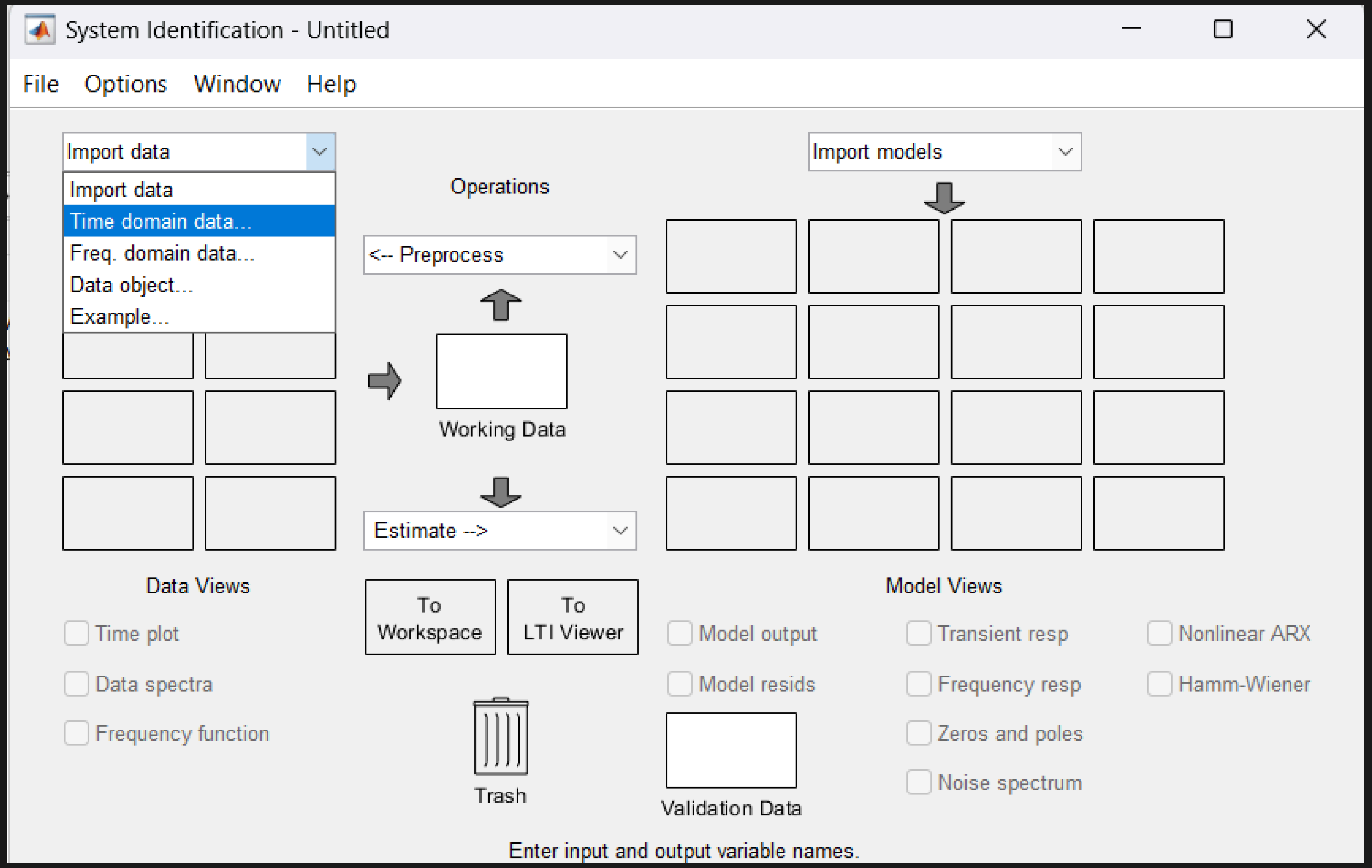
UTILIZANDO O SYSTEM IDENTIFICATION

LINHA DE COMANDO

```
>> systemIdentification
```

Para abrir a toolbox, basta usar a linha de comandos.

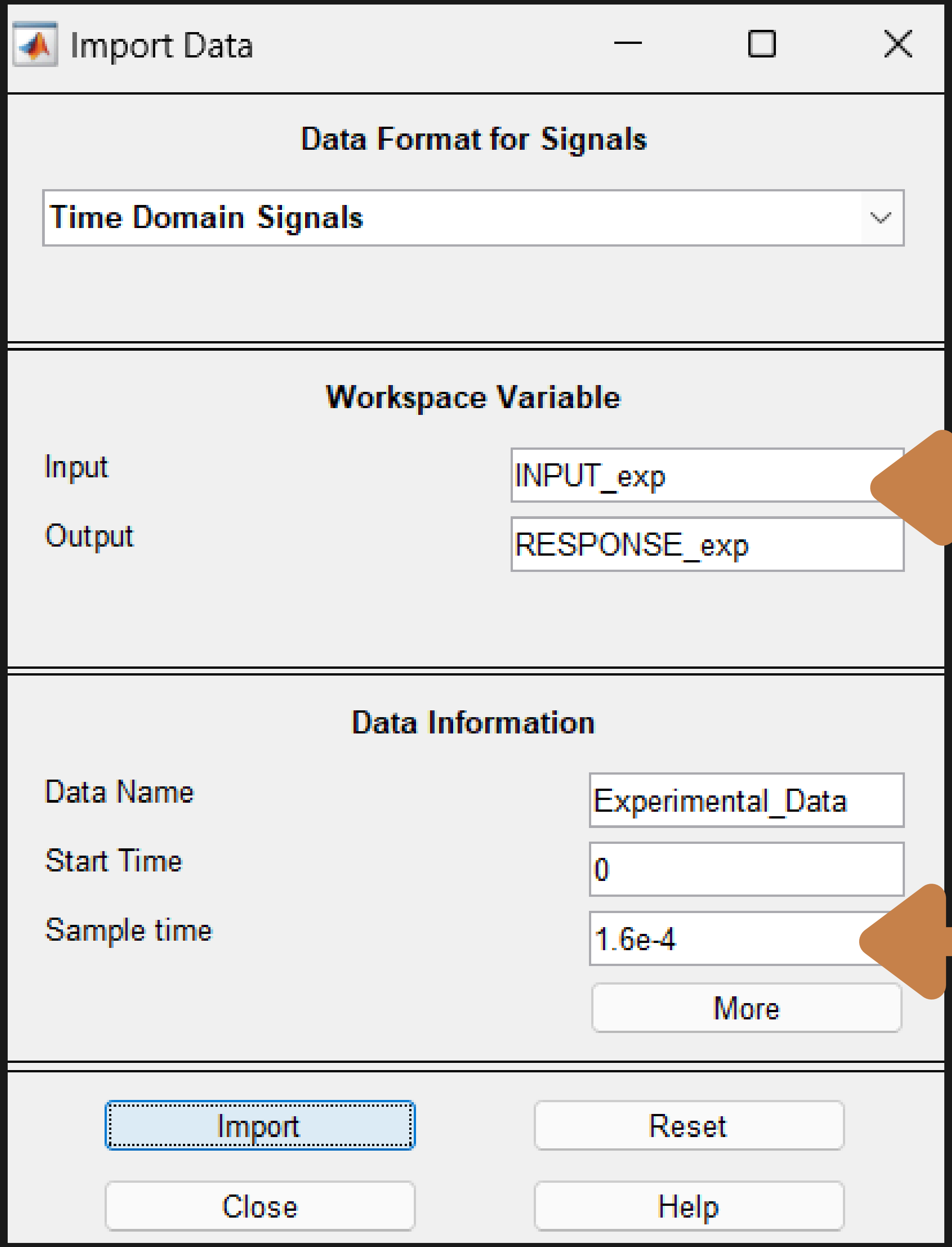
IMPORTANDO DADOS



Para importar os dados, basta clicar em “Import data” e escolher dados no dominio do tempo (já que é assim que a informação do dataset está)

UTILIZANDO O SYSTEM IDENTIFICATION

IMPORTANDO DADOS

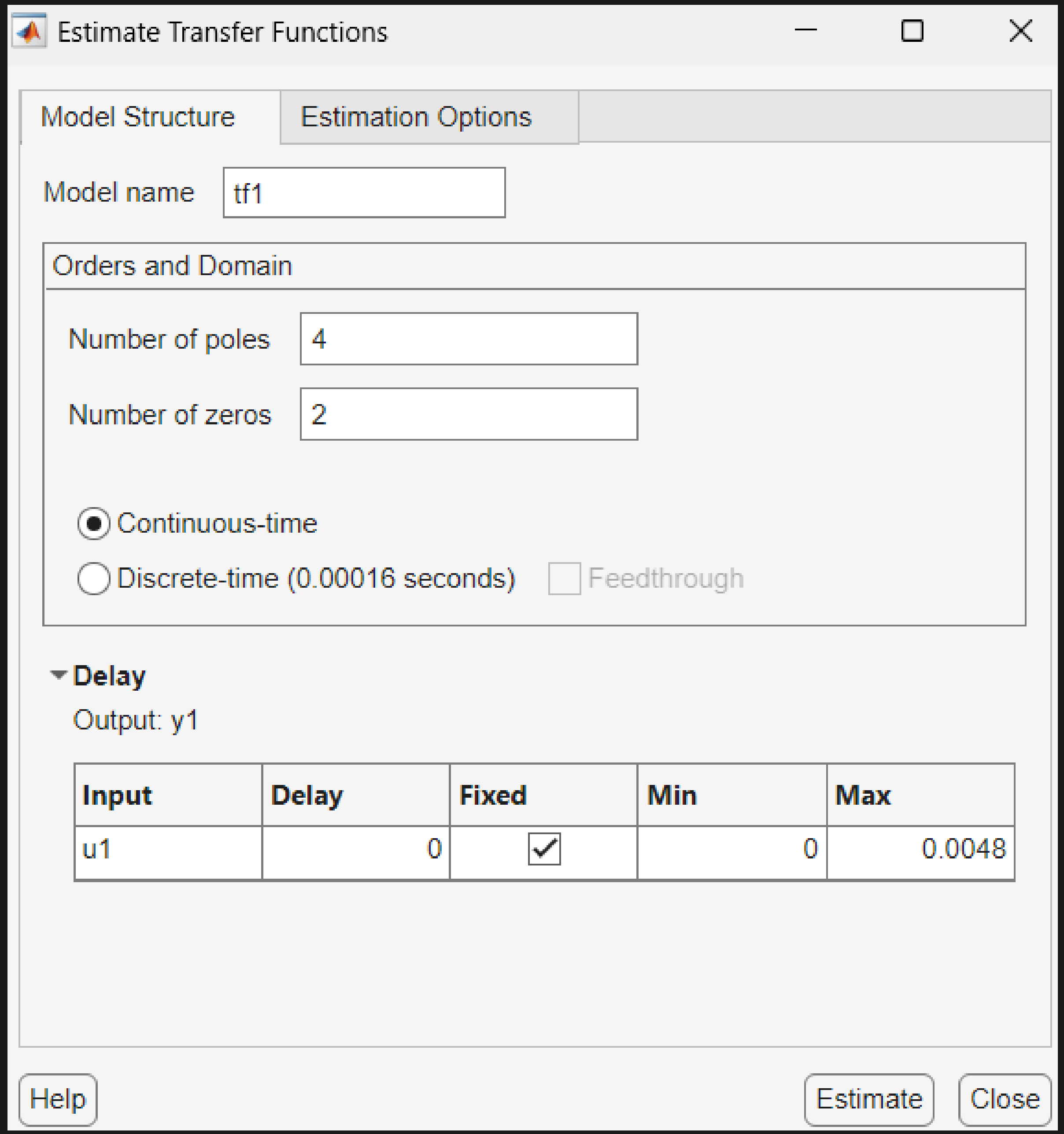


Primeiro, são importados os arrays da entrada (input) and reposta (output), a partir do workspace (usando o mesmo nome).

Depois, dê um nome ao dataset, especifique o tempo de inicio (do degrau) e o tempo de sample (o tempo [CONSTANTE] entre 2 amostras).

UTILIZANDO O SYSTEM IDENTIFICATION

ESTIMANDO POLOS E ZEROS

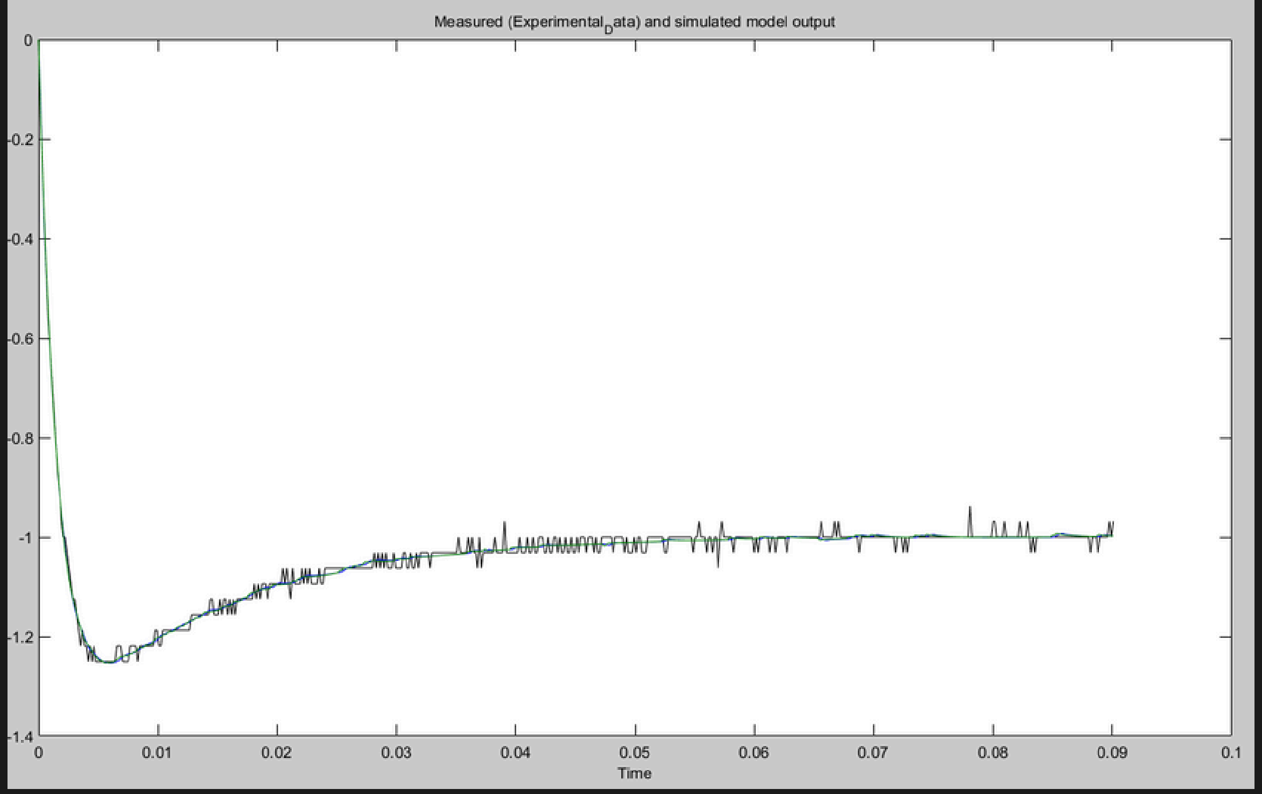


O primeiro passo aqui é uma estimativa do numero de polos e zeros (baseado na forma do sinal).

Outro passo importante é escolher o delay (se ele existir)

UTILIZANDO O SYSTEM IDENTIFICATION

COMPARAÇÃO DO MODELO E SISTEMA



É possivel comparar o modelo com o sistema real dentro do proprio system identification.

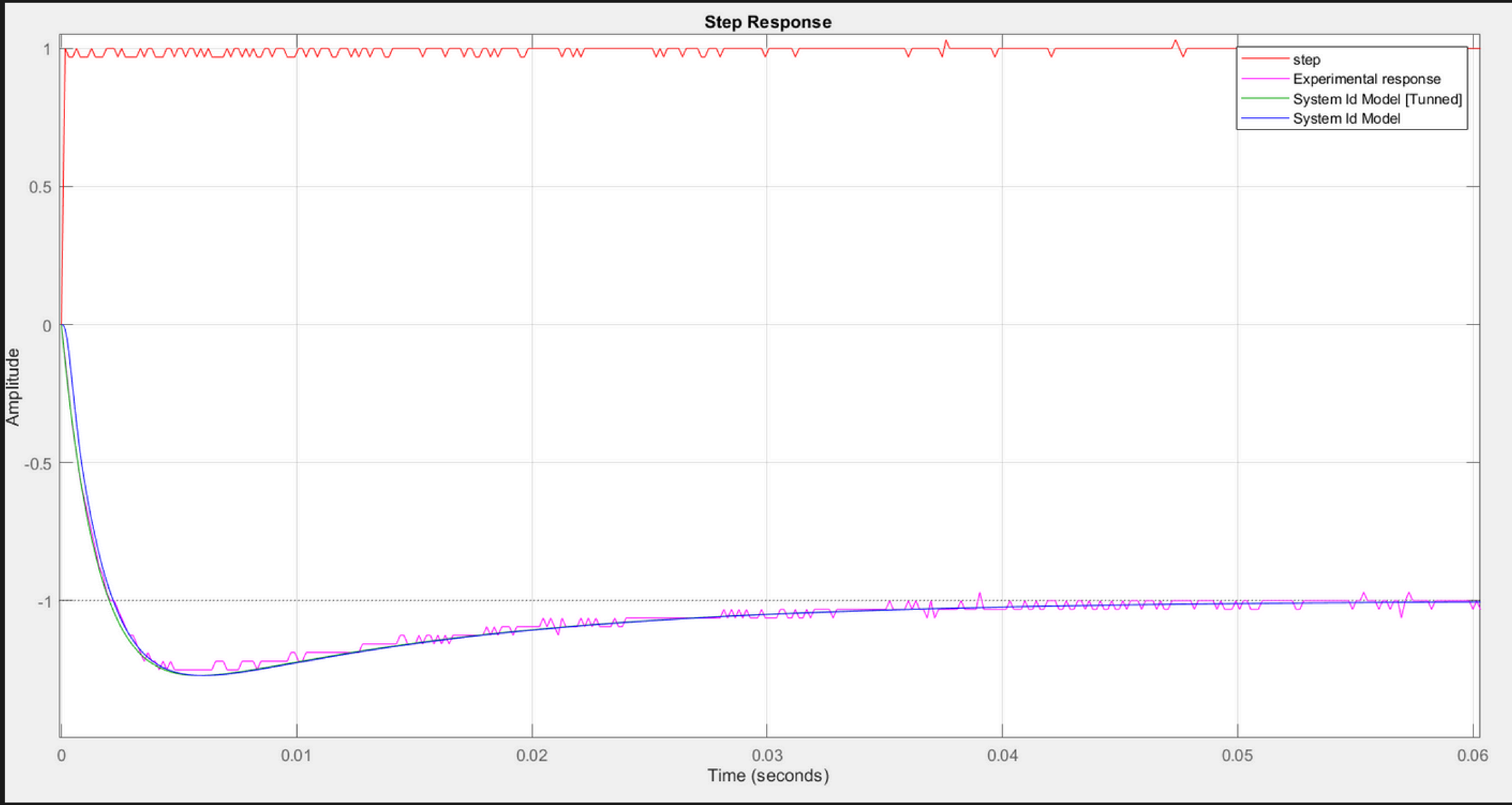
FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA GERADA

$$\frac{2.933e05\ s^2 - 4.35e10\ s - 2.317e12}{s^4 + 8797\ s^3 + 5.443e07\ s^2 + 3.469e10\ s + 2.319e12}$$

A esquerda, tem-se a função transferência gerada apartir da toolbox.

VALIDANDO O MODELO

COMPARAÇÃO DO MODELO E SISTEMA



VALIDANDO O MODELO

Observações sobre o Modelo

- O ajuste fino do modelo foi retirar os polos mais rapidos do mesmo (usando o criterio de dominancia de 5x)
- O ajuste foi empírico e baseado na experiência do projestista (a ideia principal era tirar o zero de fase não minima do sistema)

PERGUNTAS?

Contato:
Lucasgabrielfl00@gmail.com

Material de estudos para disciplina
Laboratório de Engenharia de Controle