UFPE

CTG

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE CONTROLE

PRÁTICA 1

ALUNO: LUCAS GABRIEL F. LIMA

ATIVIDADE 1

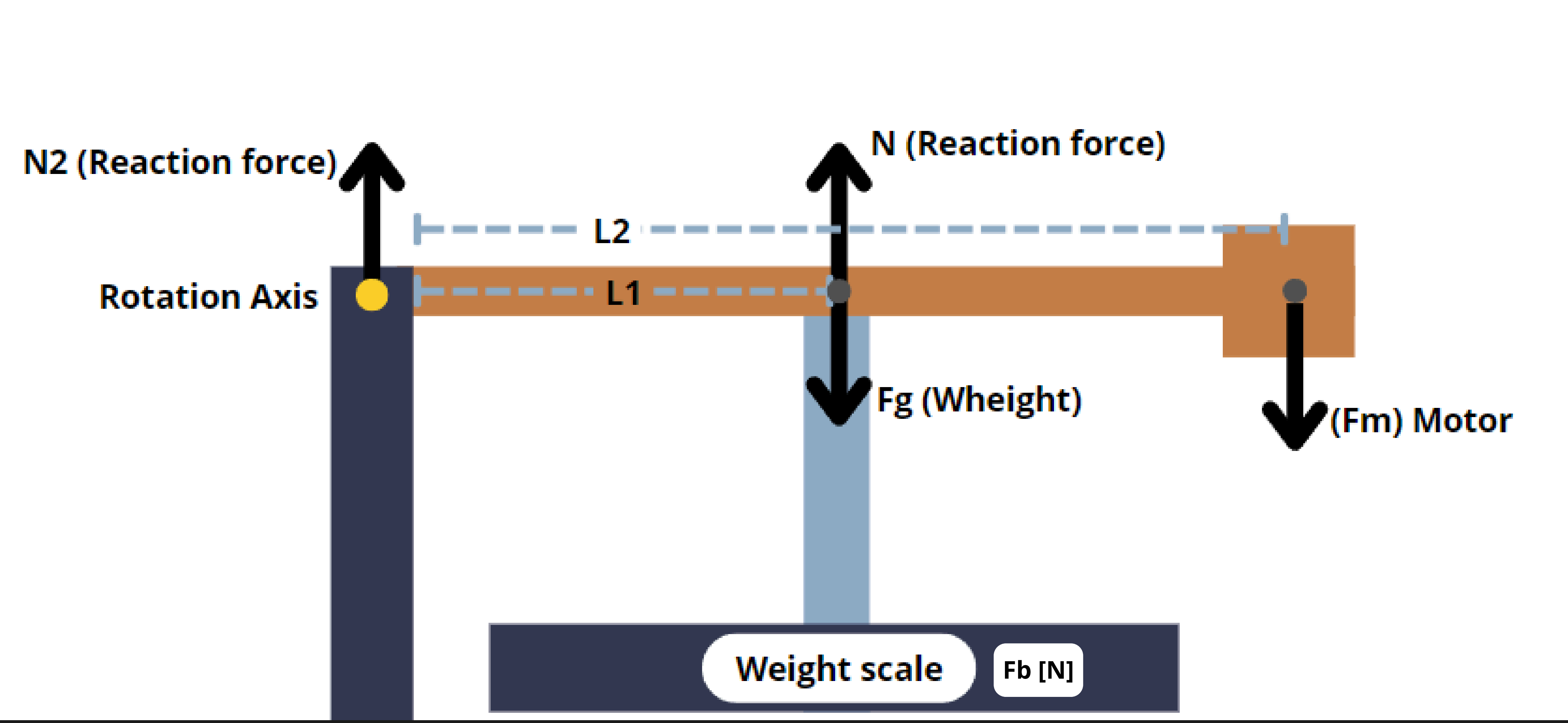
Coleta de dados e modelagem matemática da função de transferência do aeropêndulo, além de linearização

ATIVIDADE 1

SUMÁRIO

VISÃO GERAL E EQUACIONAMENTO

DIAGRAMA FISICO DO AEROPÊNDULO



Ao lado tem-se o diagrama de forças do sistema do Aeropêndulo, a meta é encontrar a relação entre o peso medido pela balança e o Empuxo (Força gerada pelo motor, Fm)

VISÃO GERAL E EQUACIONAMENTO

NOMENCLATURA DOS DADOS

F_g = Força peso (estrutura) [N]
F_m = Força causada pelo motor [N]
F_b = Força peso lida na balança [N]
N = Força de reação ao apoio [N]

Antes de fazer o somatório dos torques, é preciso estabelecer oque é cada dado.
Nomes das variáveis estão expostos ao lado.

FORÇA DE REAÇÃO

$$N = Fb$$

Uma consideração é que a balança foi tarada com o peso do sistema para o motor desligado, logo, o peso da estrutura pode ser desconsiderado no somatório dos torques e a força normal é dita igual a força peso medida.

VISÃO GERAL E EQUACIONAMENTO

EQUACIONAMENTO DOS TORQUES

Rotational Equilibrium

$$\sum \mathcal{T} = 0$$

$$\sum \mathcal{T} = -\mathcal{T}_N + \mathcal{T}_{Fm}$$

$$\mathcal{T}_{Fm} = \mathcal{T}_N \Rightarrow L2 * Fm = L1 * N$$

$$\mathbf{Fm} = \frac{\mathbf{L1}}{\mathbf{L2}} * \mathbf{N}$$

Ao lado, tem-se o equacionamento do sistema do AeroPêndulo (em equilíbrio, logo o somatório dos torques é igual a 0)

Por fim, é possível ver a relação entre o peso medido e a força feita pelo motor

DADOS DO SISTEMA

DADOS DO SISTEMA

Tensão (V)	Peso (N)	Tensão (V)	Peso (N)	Tensão (V)	Peso (N)	Tensão (V)	Peso (N)
0,1	0,0055	0,6	0,0352	1,2	0,1655	2,2	0,4817
0,2	0,0046	0,7	0,0537	1,4	0,2247	2,4	0,5677
0,3	0,0037	0,8	0,0731	1,6	0,2802	2,6	0,6463
0,4	0,0083	0,9	0,0907	1,8	0,3412	2,8	0,7194
0,5	0,0203	1,0	0,1147	2,0	0,4124	3,0	0,7961

Sistema
$L_1 \approx 9{,}5\ cm$
$L_2 \approx 27{,}5\ cm$
$g \approx 9{,}8\ m/s^2$

EQUAÇÃO DO EMPUXO

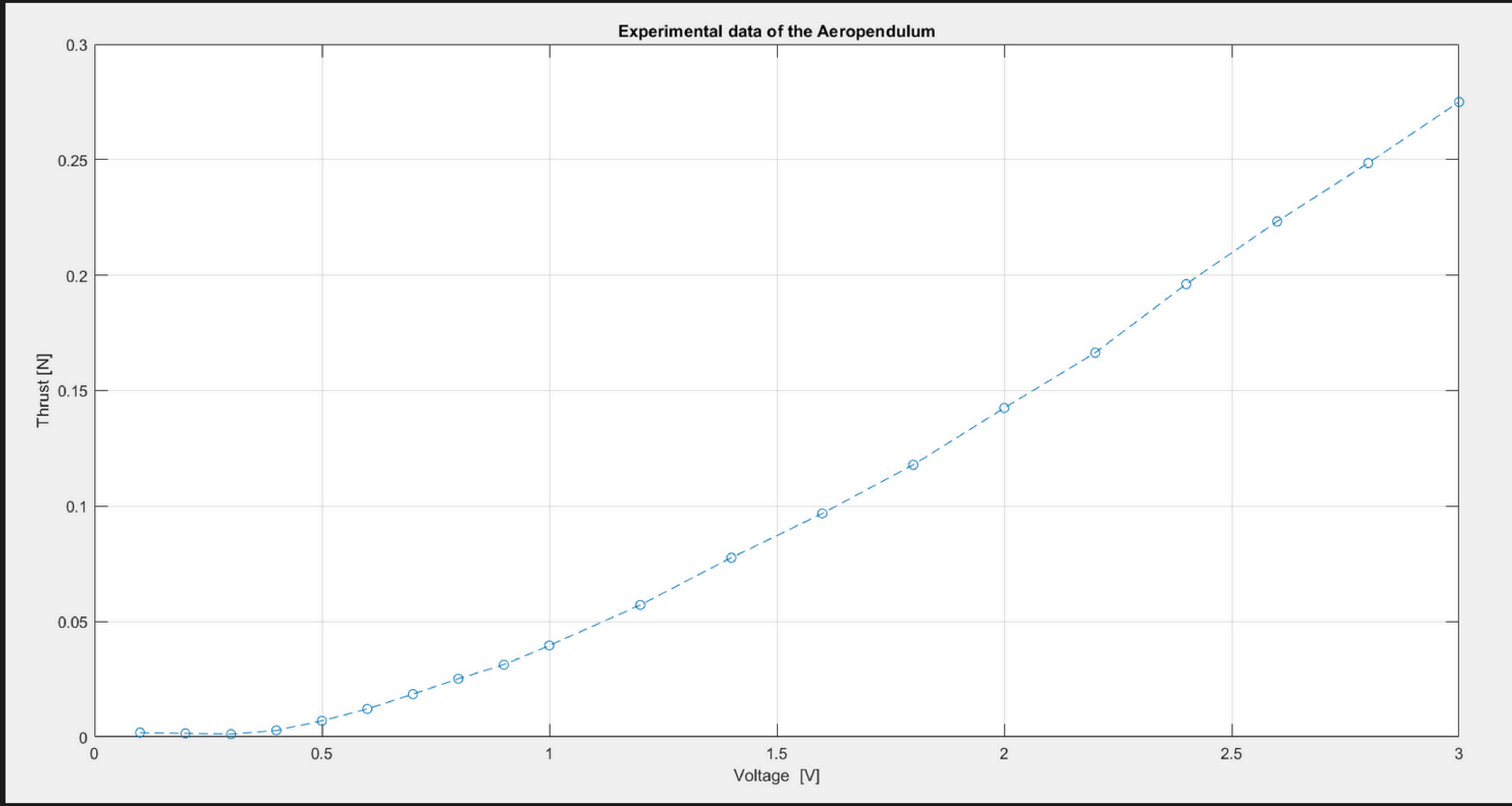
$$\mathrm{Fm} = \mathbf{0.3455} * \mathrm{N}$$

Utilizando os dados acima, foi possível achar o valor numérico da relação calculada no passo anterior. A partir dessa equação foi possível plotar a relação Empuxo x Tensão, vista a seguir.

Tanto a tabela de dados como a equação foram expostos acima.

DADOS DO SISTEMA

FORÇA DO MOTOR X TENSÃO



Ao lado, tem-se o gráfico da relação Empuxo x Tensão.

É visível que o sistema é não linear, algo que será analisado em mais detalhes na próxima etapa.

FUNÇÃO POLYFIT

Oque é Polyfit?

Polyfit é o nome dado ao processo de aproximar uma função qualquer a um polinômio de ordem n. Aumentar o grau do polinômio (valor de n) permite uma maior aproximação do em relação à função original

.

No matlab, é possível usar a função polyfit para adquirir os coeficientes desse polinômio, algo que será usado mais a frente.

EQUAÇÃO DO POLINOMIO

$$P(x) = a_0 * x^n + a_1 * x^{n-1} + \ldots + a_n * x + a_{n+1}$$

GANHO ESTÁTICO LINEAR

Oque é o ganho estático linear?

Dado que o sistema visto anteriormente é NÃO LINEAR, o seu ganho (linear) é a regressão linear feita uma faixa de tensão curta o suficiente para o gráfico ser aproximado por essa reta (linear).

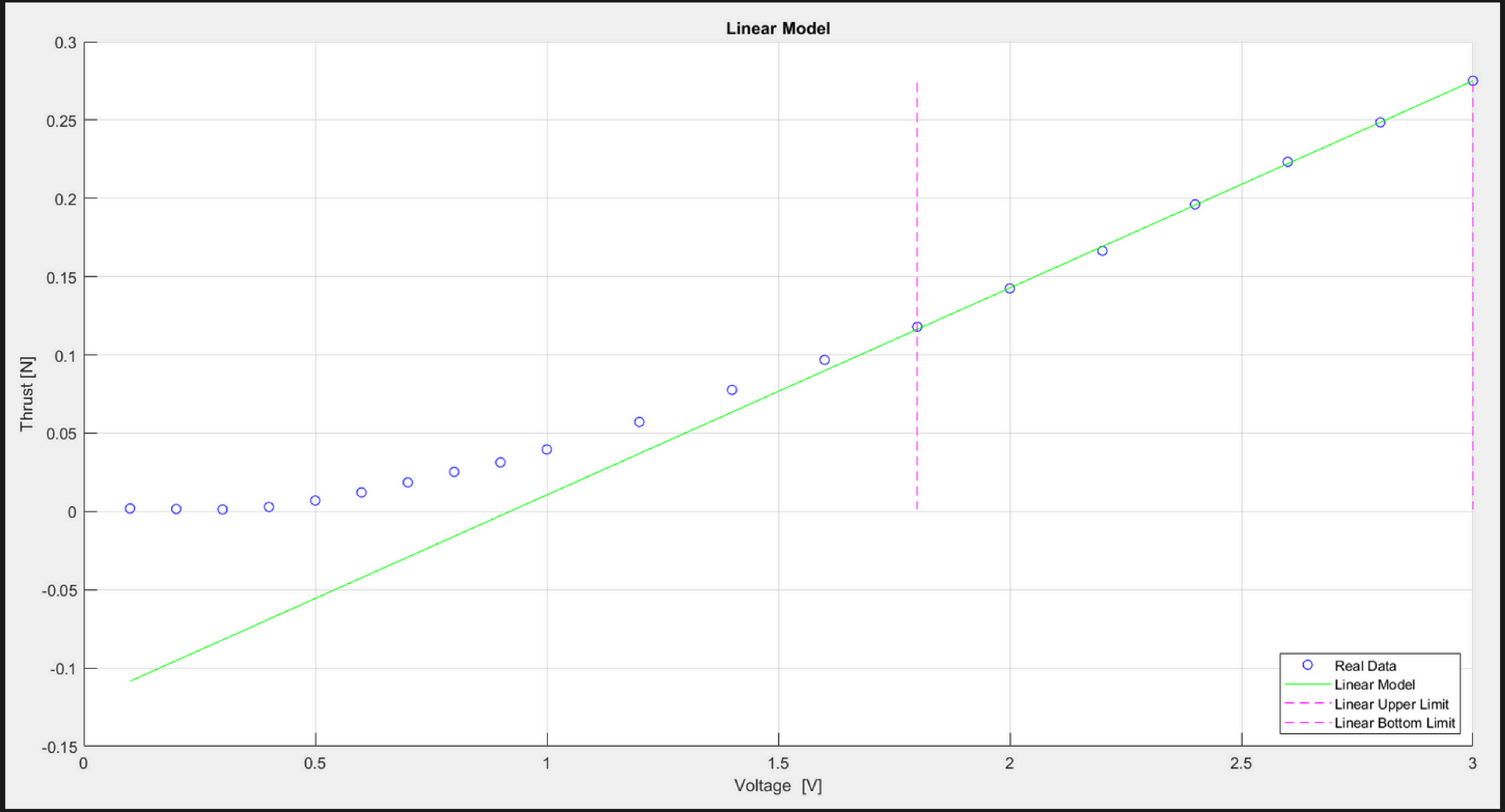
O ganho estático linear é o vetor dos coeficientes dessa reta (a0 e a1 da equação abaixo), e é usado para projetar o controle (dado que técnicas de controle assumem relações lineares) mas não para testa-lo (dado que fora da região linear a aproximação é falha).

EQUAÇÃO DA RETA

$$P(x) = a_0 * x + a_1$$

GANHO ESTÁTICO LINEAR

MODELO LINEAR



GANHOS

a0 = 0,13222

a1 = -0,12165

REGIÃO 'LINEAR'

Inicio= 1.8 V

Fim = 3.0 V

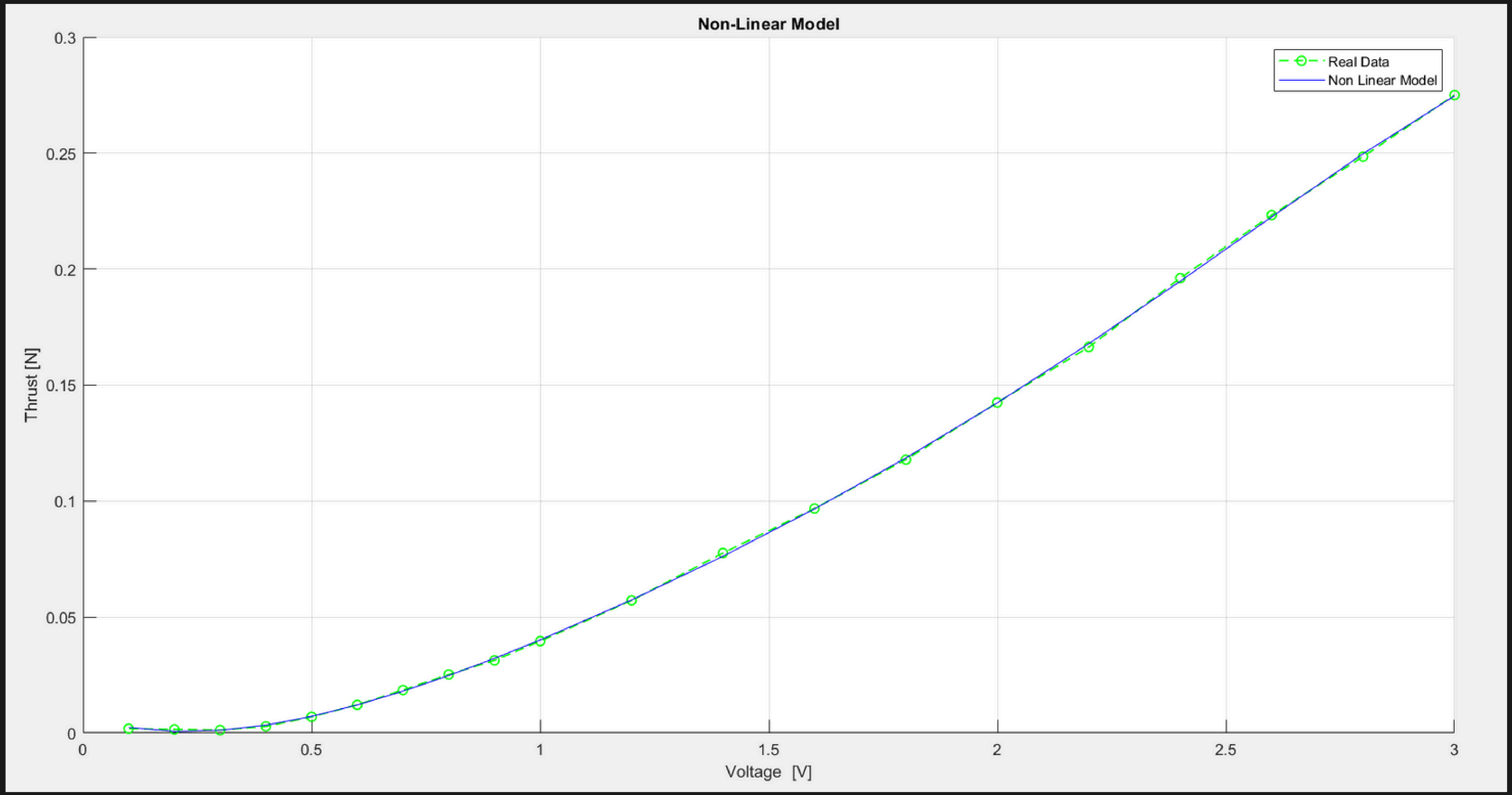
GANHO ESTÁTICO NÃO-LINEAR

Oque é o ganho estatico não-linear?

O ganho estático não linear é o vetor dos coeficientes do polyfit da reta mais geral, é usado na hora de testar o sistema, dado que é a representação mais próxima do sistema real.

GANHO ESTÁTICO NÃO-LINEAR

MODELO NÃO-LINEAR (ORDEM 5)



GANHOS

a0 = -0,003556

a1 = -0,028721

a2 = -0,089893

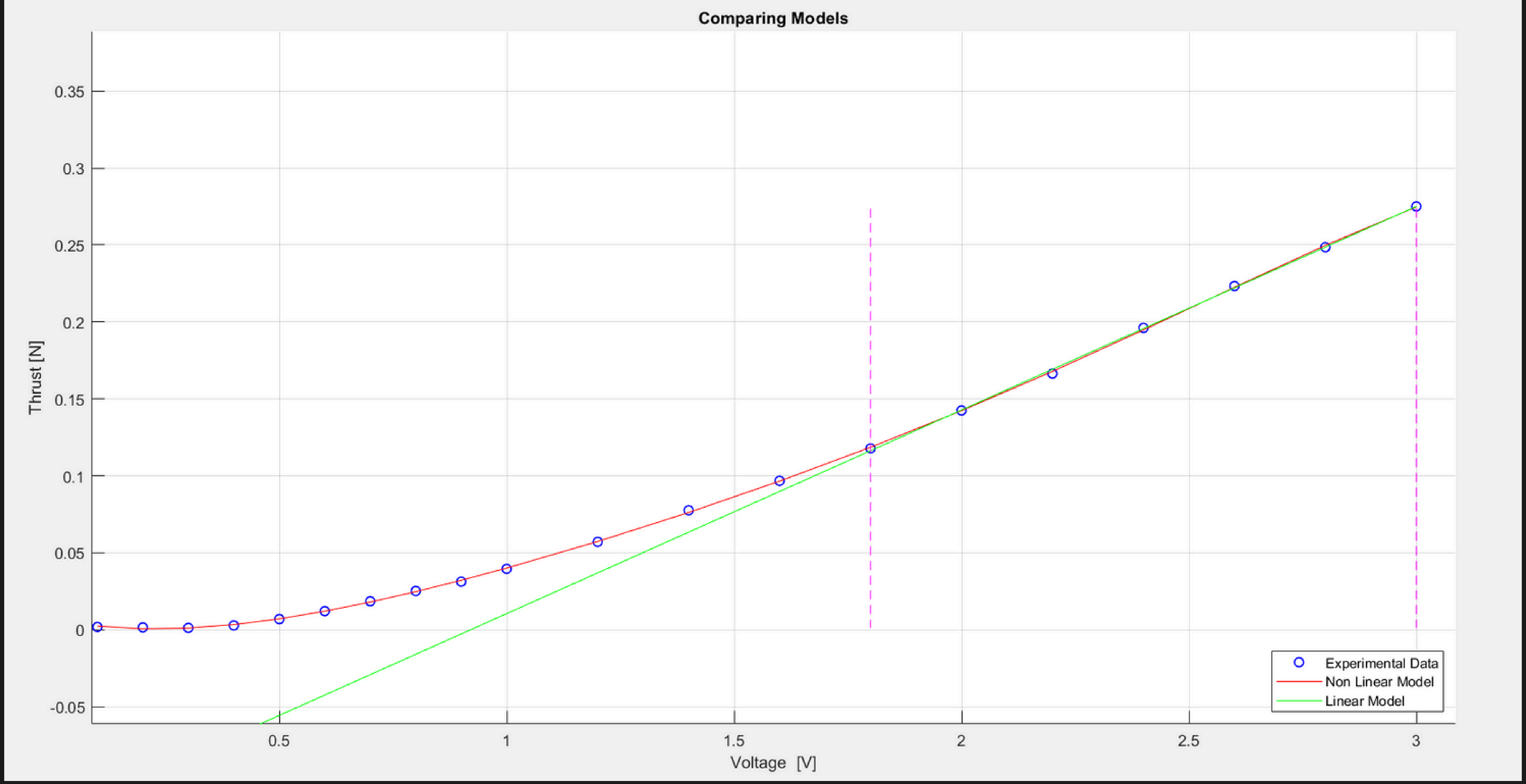
a3 = 0,1564

a4 = -0,058318

a5 = 0,0067781

COMPARAÇÃO DOS MODELOS DO SISTEMA

COMPARAÇÃO DOS MODELOS



ATIVIDADE 2

Coleta de dados e modelagem caixa cinza de um sistema de primeira ordem

ATIVIDADE 2

SUMÁRIO

RESPOSTA AO DEGRAU (EXPERIMENTAL)

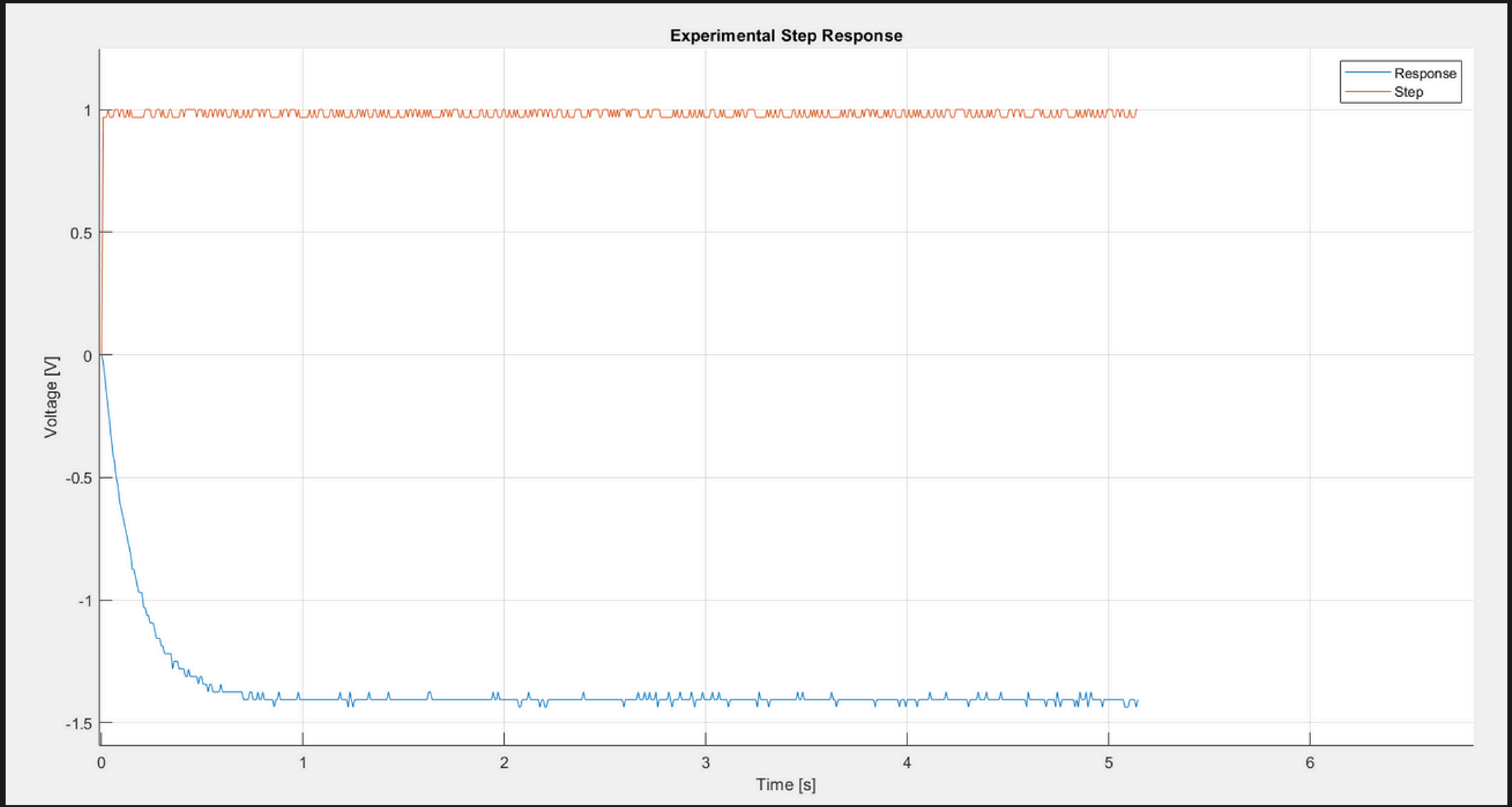
O primeiro dado a ser coletado do sistema é sua resposta ao degrau, para tanto, foi escolhida uma frequência suficientemente baixa (5 Hz) para que o ganho não seja afetado (após testes, é possível ver que o sistema é um passa baixa).

Dado que o sistema é de primeira ordem, foram capturados tanto o ganho estático do sistema (K) quanto a constante de tempo (τ), além dos tempos de assentamento (Ts), de subida (Tr) e seu sobressinal (Mp%, que é nulo).

- τ = Tempo (segundos) do degrau até que a saída seja 63,2% do steady state
- k = (ΔSaída) / (ΔEntrada)

RESPOSTA AO DEGRAU (EXPERIMENTAL)

RESPOSTA AO DEGRAU (EXPERIMENTAL)



VALORES

τ = 0,165

K= -1,406

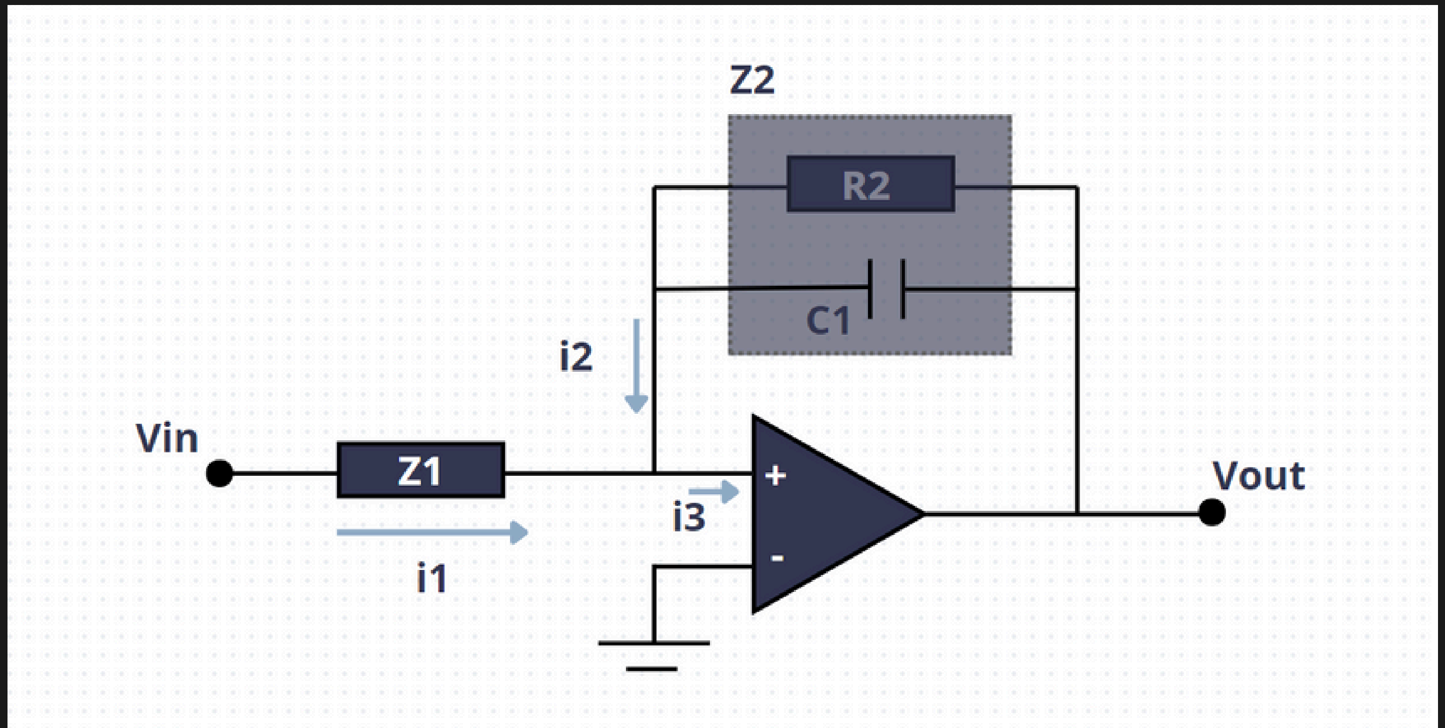
Mp= 0%

Ts(2%)= 0,656 s

Tr= 0,360 s

MODELO MATEMÁTICO E PARÂMETROS

CIRCUITO



EQUAÇÃO DO CIRCUITO

$$\mathrm{i1} = \frac{\mathrm{Vin} - 0}{\mathrm{Z1}} \qquad \mathrm{i2} = \frac{\mathrm{Vout} - 0}{\mathrm{Z2}}$$

$$\mathrm{i3} = \mathrm{i1} + \mathrm{i2} = 0 \qquad \Rightarrow \mathrm{i2} = -\mathrm{i1}$$

$$\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Z2}} = \frac{-\mathrm{Vin}}{\mathrm{Z1}} \qquad \Rightarrow \boxed{\frac{\mathrm{Vout}}{\mathrm{Vin}} = \frac{-Z2}{\mathrm{Z1}}}$$

O sistema é claramente um passa baixa, com o amp-op na configuração amplificador inversor. As imagens acima contém a representação do circuito e o equacionamento do mesmo.

É válido salientar que tem-se Z1=R1.

MODELO MATEMÁTICO E PARÂMETROS

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

$$FT1 = \frac{-Z2}{Z1} = \frac{-\left(\frac{R2}{R1}\right)}{R2 * C1 * s + 1} = \frac{\mathrm{K}}{\tau * \mathrm{s} + 1}$$

$$\mathrm{FT1} = \frac{\mathrm{K}}{\tau * \mathrm{s} + 1}$$

PARÂMETROS ISOLADOS

$$K = -\left(\frac{R2}{R1}\right)$$

$$\tau = R2 * C1$$

PARÂMETROS

τ = Constante de tempo

K= Ganho estático

Colocando o circuito da maneira mais geral de um sistema de primeira ordem, é possível separar os valores físicos em 2 dependências já adquiridas (mostradas ao lado esquerdo).

MODELO MATEMÁTICO E PARÂMETROS

FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA MODELADA

$$\frac{-1.406}{0.165\,s + 1}$$

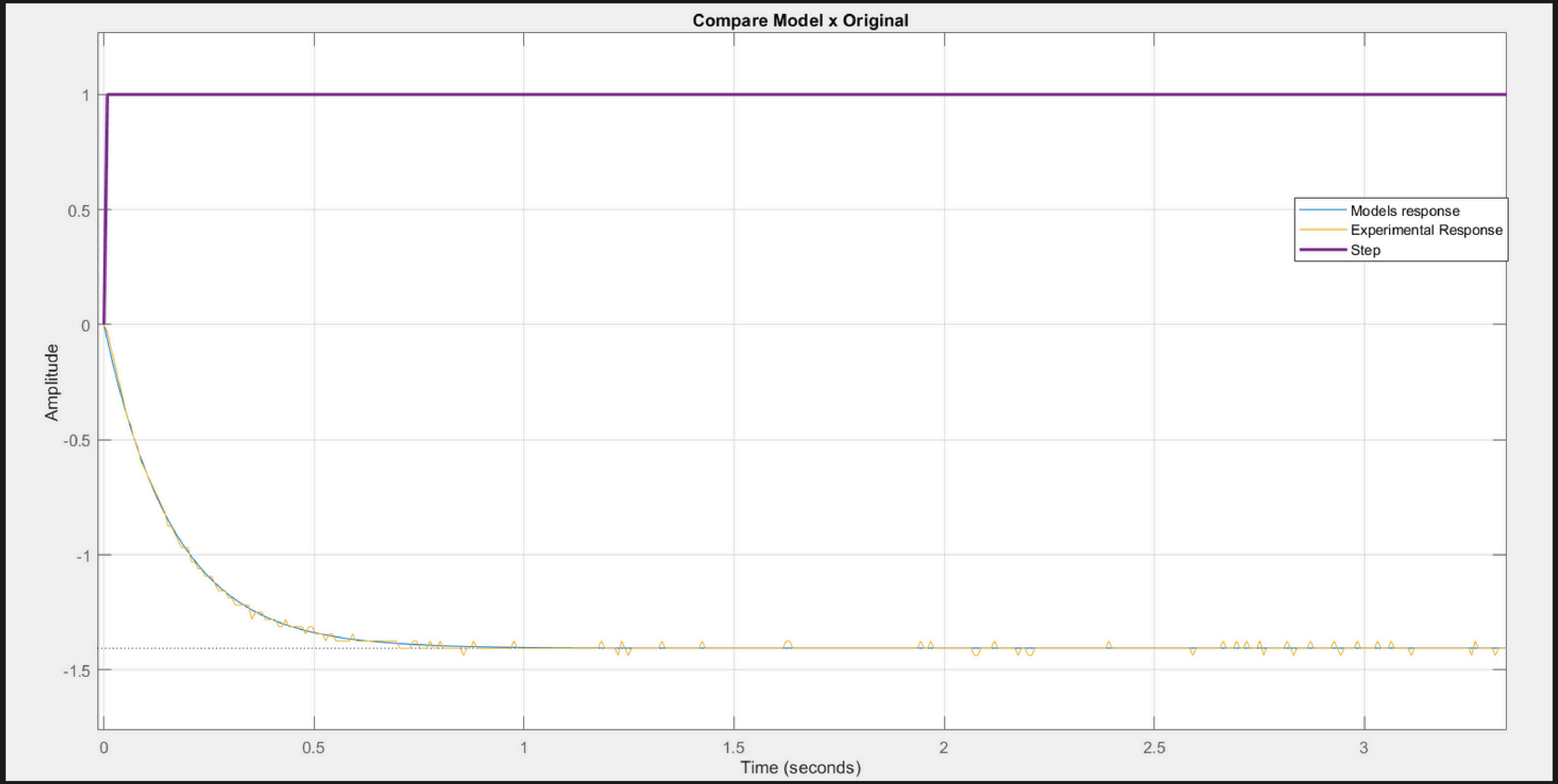
PARÂMETROS

R1= 355.62 kΩ
R2= 500.00 kΩ
C1= 330 nF

A função de transferência numérica foi exposta acima, tendo seus parâmetros fisicos colocados ao lado.

VALIDAÇÃO DO MODELO (RESPOSTA AO DEGRAU)

RESPOSTA AO DEGRAU (MODELO)



VALORES

τ = 0,165

K= -1,406

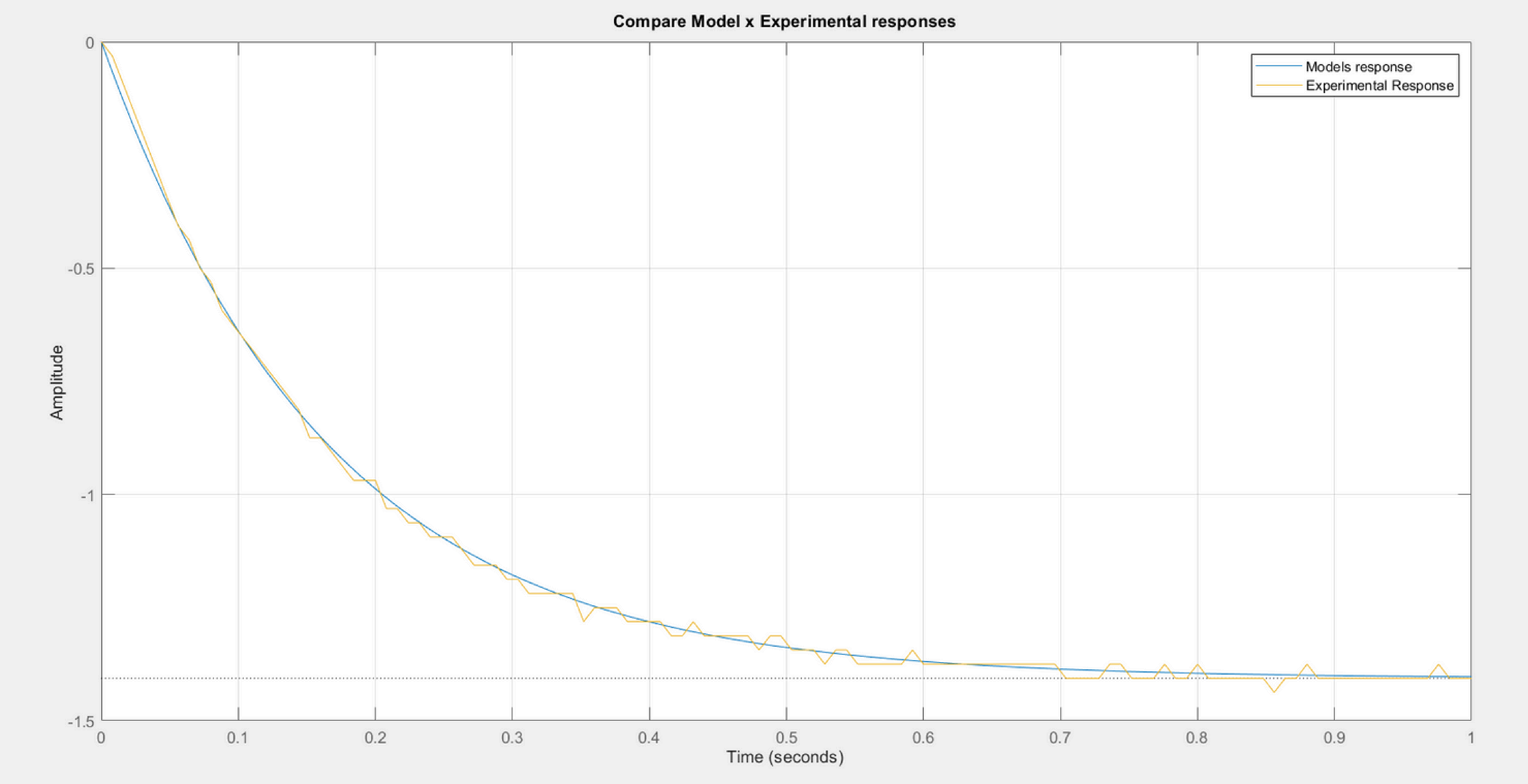
Mp= 0%

Ts(2%)= 0,645 s

Tr= 0,362 s

VALIDAÇÃO DO MODELO (RESPOSTA AO DEGRAU)

COMPARAÇÃO RESPOSTA AO DEGRAU EXPERIMENTAL E MODELADA



A esquerda, tem-se o grafico comparando a resposta ao degrau unitario do modelo e do circuito real.

RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (EXPERIMENTAL)

Para a resposta em frequencia, foram usadas ondas senoidais (dado que a onda quadrada pode ser vista somatorio de ondas senoidas de diferentes frequencias e a variação da amplitude da onda quadrada é o somatorio das variações das diversas ondas).

Para fazer o plot do diagrama de bode, foram usadas medições, com frequências separadas, onde ambos ganho e fase foram anotados, a medição de fase foi conturbada, e alguns valores foram aproximados.

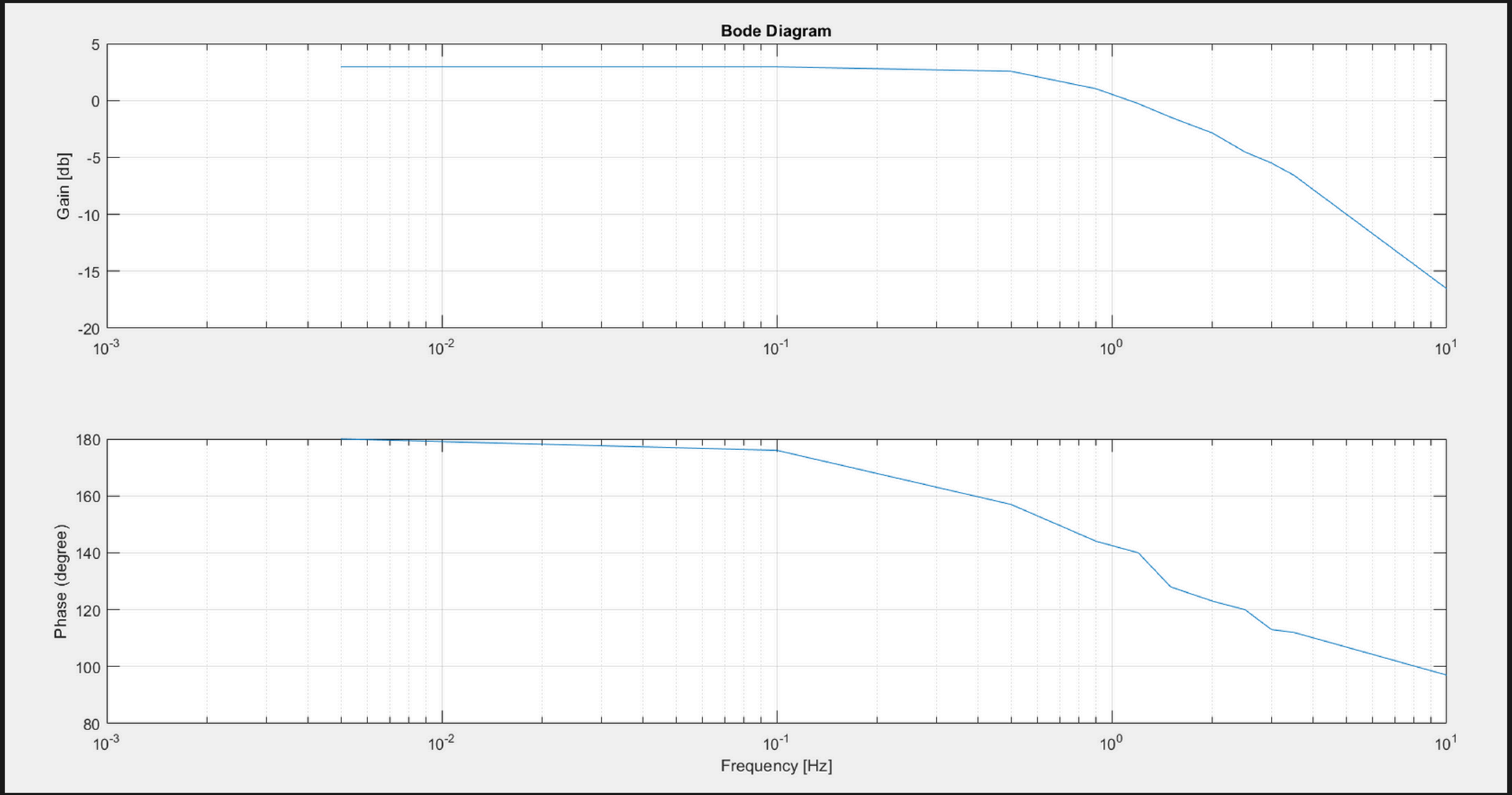
A fase foi mantida em graus e o ganho foi passado para db.

GANHO EM DECIBEIS

$$Kdb = 20 * \log_{10}(K)$$

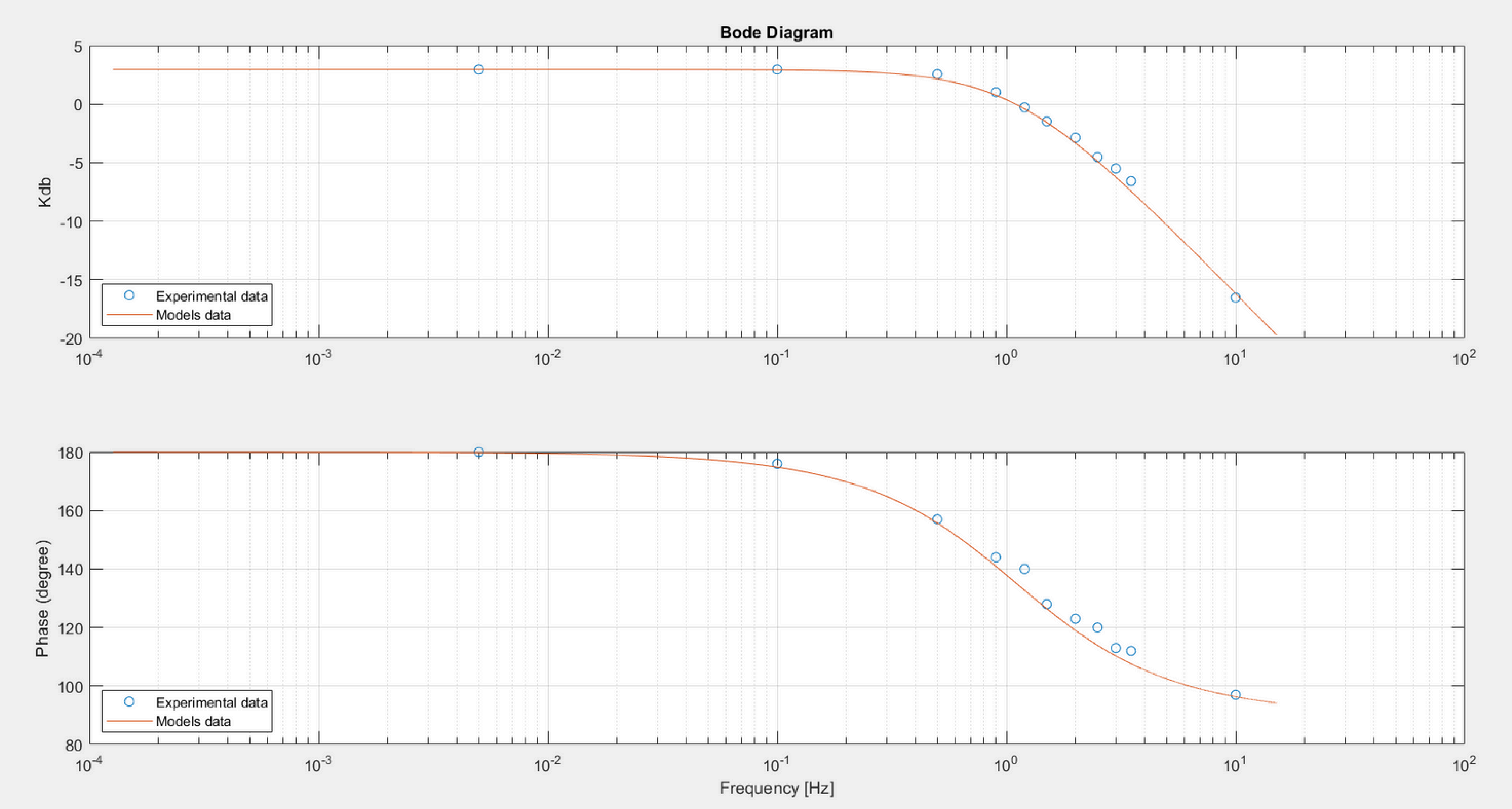
RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (EXPERIMENTAL)

BODE PLOT (EXPERIMENTAL)



VALIDAÇÃO DO MODELO (RESPOSTA EM FREQUÊNCIA)

COMPARAÇÃO DIAGRAMA DE BODE EXPERIMENTAL E MODELADO



PERGUNTAS?

Contato:
Lucasgabrielfl00@gmail.com

Material de estudos para disciplina
Laboratório de Engenharia de Controle