

Controle em malha aberta e fechada de um motor DC com encoder

Disciplina de Controle Inteligente de Sistemas
Mecatrônicos
Professor Fábio Meneghetti Ugulino de Araújo





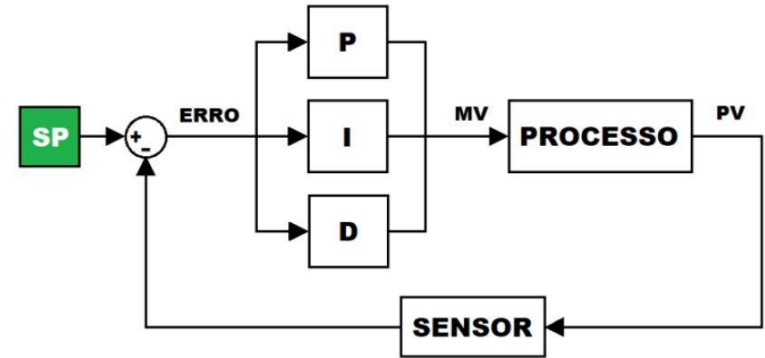
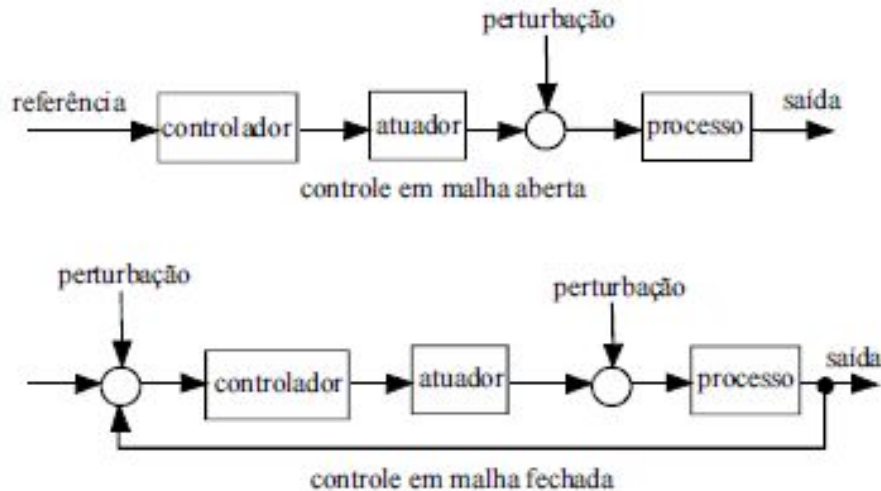
Mestrado em Engenharia Mecatrônica

Grupo composto pelos alunos:

- FRANCISCO PAIVA DA SILVA NETO
- JORGE ALISSON NASCIMENTO DOS SANTOS
- LUIZ VITOR CLEMENTINO
- SAMUEL VICTOR MACIEL DA SILVA

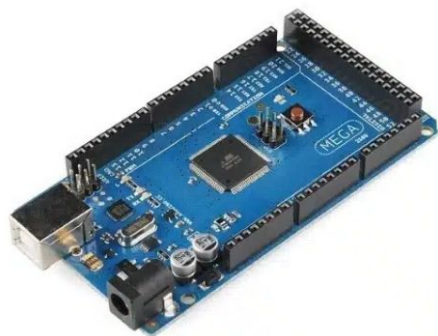
INTRODUÇÃO

- Motivação de estudo do problema
 - Estabelecer lei de controle;
 - Validar a teoria e sua aplicabilidade prática por meio de simulações;
 - Entender os conceitos de controle de forma prática, assim como a influência de cada uma das ações do PID.

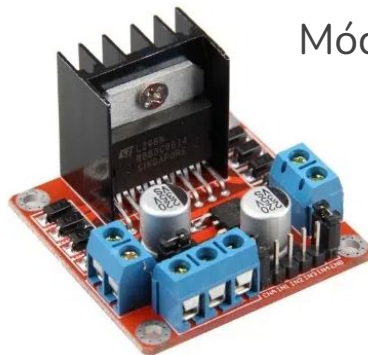




MATERIAIS E MONTAGEM



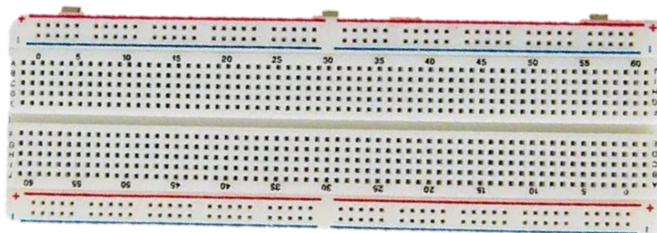
Arduino MEGA



Módulo Ponte H



Motor DC com encoder



Protoboard

MATERIAIS E MONTAGEM

Montagem final do circuito

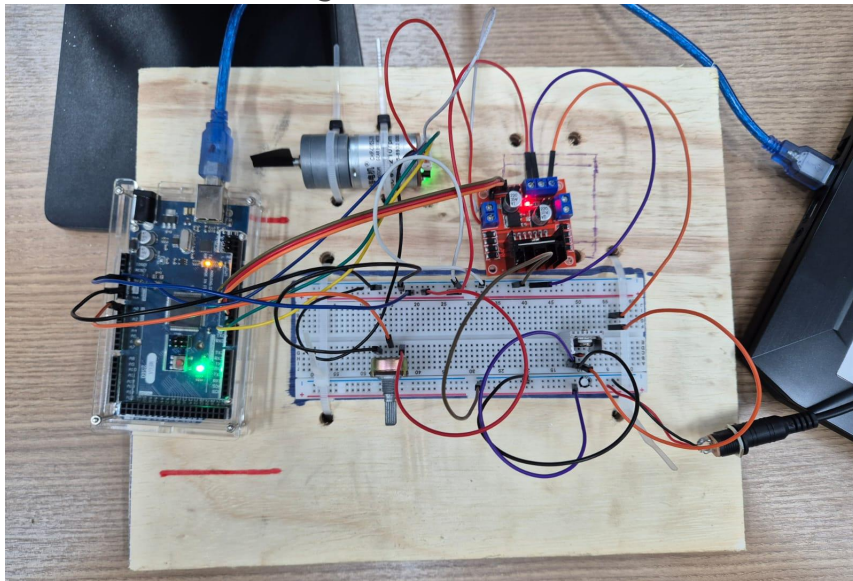


Tabela 1: Lista de componentes utilizados

Componente	Quantidade (UN)
Protoboard 830 furos	1
Arduino Mega 2560 R3	1
Ponte H Dupla L298N	1
Motor DC 6V com Encoder	1
Fonte Externa 12V 1A	1
Regulador de tensão L7806	1
Capacitor Eletrolítico 10uF/25v	1
Capacitor Cerâmico 100nF	1
Potenciômetro Rotativo Linear 10K Ω	1
Jumpers macho-macho	12
Jumpers macho-fêmea	3





METODOLOGIA - Coleta de dados

- A coleta de dados foi feita por meio do próprio monitor serial da Arduino IDE, no formato escolhido pela função `ExibeDados()`, em que o primeiro parâmetro escolhia qual case do switch iria ser ativada e quais dados seriam mostrados;
- Em boa parte dos experimentos, foram utilizados o case 5, embora, em algumas perguntas tenha sido alterado o código para que fosse possível obter informações adicionais para corroborar com o que estava sendo pesquisado;
- O case 5 mostra informações de tempo em segundos, setpoint em RPM, velocidade angular do motor em RPM, o erro de medição em RPM, adicionando 4 dados adicionais para o experimento em malha fechada, sendo eles o sinal de controle, e as ações proporcional, integrativa e derivativa, respectivamente.



METODOLOGIA - Tratamento dos dados

- Feito a coleta dos dados, estes eram salvos em arquivos '.txt' com tudo o que foi registrado no monitor serial;
- Depois disso, as informações eram colocados em uma planilha para serem filtrados por meio de um script e ferramentas próprias do Google Sheets a fim de que fosse possível obter um formato '.csv' apropriado para a última etapa;
- Por fim, os dados eram colocados em um código python que pegava tudo o que foi coletado e por meio das biblioteca Pandas, Matplotlib, Numpy e Statistics, gerava os gráficos, valores de média e desvio padrão usados na apresentação dos resultados.



RESULTADOS EM MALHA ABERTA

Zona morta (Valor de PWM necessário para mover o motor)

Velocidade angular do Motor: 0 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: 0 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: 0 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: -2 RPM	PWM: 69.00
Velocidade angular do Motor: -28 RPM	PWM: 69.00
Velocidade angular do Motor: -49 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: -65 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: -72 RPM	PWM: 69.00
Velocidade angular do Motor: -77 RPM	PWM: 69.00
Velocidade angular do Motor: -81 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: -84 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: -88 RPM	PWM: 68.00
Velocidade angular do Motor: -88 RPM	PWM: 69.00
Velocidade angular do Motor: -88 RPM	PWM: 69.00
Velocidade angular do Motor: -91 RPM	PWM: 69.00

SENTIDO HORÁRIO

Foi necessário um PWM de **68** para o motor entrar em movimento no sentido horário



RESULTADOS EM MALHA ABERTA

Zona morta (Valor de PWM necessário para mover o motor)

Velocidade angular do Motor: 127 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 127 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 127 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 128 RPM	PWM: 84.00
Velocidade angular do Motor: 127 RPM	PWM: 84.00

SENTIDO ANTI-HORÁRIO

Foi necessário um PWM de **84** para motor entrar em movimento no sentido anti-horário



RESULTADOS EM MALHA ABERTA

Tempos necessários para realização de cálculos e exibição de dados

Tempos para realizar cálculos:

Cálculo 1 = 8.010864257806949 μ s

Cálculo 2 = 8.010864257834704 μ s

Cálculo 3 = 12.063980102450245 μ s

Cálculo 4 = 12.016296386696546 μ s

Cálculo 5 = 7.987022399902344 μ s

Cálculo 6 = 7.987022399902344 μ s

Cálculo 7 = 7.963180542081005 μ s

Cálculo 8 = 11.920928955078125 μ s

TEMPO MÉDIO: 9.495019912719033 μ s

Tempos para exibição de dados (segundos) :

Tempo de exibir os dados: 0.1010
Tempo de exibir os dados: 0.1030
Tempo de exibir os dados: 0.1020
Tempo de exibir os dados: 0.1030
Tempo de exibir os dados: 0.1030
Tempo de exibir os dados: 0.1030
Tempo de exibir os dados: 0.1030
Tempo de exibir os dados: 0.1020
Tempo de exibir os dados: 0.1040
Tempo de exibir os dados: 0.1020
Tempo de exibir os dados: 0.1040
Tempo de exibir os dados: 0.1020



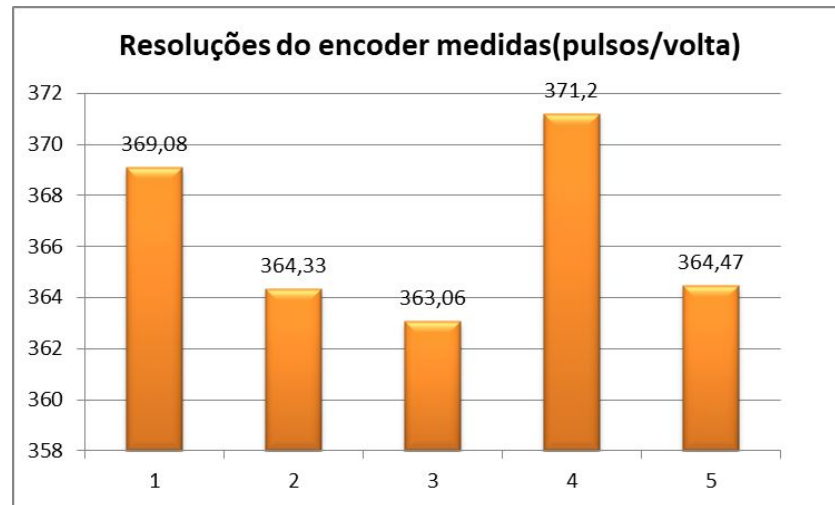
RESULTADOS EM MALHA ABERTA

Validação da resolução do encoder

A resolução do encoder é 341,2 pulsos/volta.

Para calcular os valores de resolução foi feita a razão entre a quantidade de pulsos e a quantidade de voltas dadas em um minuto.

- Resolução média de **366,43 pulsos/volta**





RESULTADOS EM MALHA ABERTA

“Estabilidade” das medições de posição e velocidade

- Para verificar os valores de estabilidade das medições, foram pegos os dados de velocidade e posição e realizados médias e desvios padrões para verificar a dispersão dos dados em relação ao setpoint;
- Para a velocidade bastou fazer a média e desvio padrão populacional comum, mas, para a posição, visto que é um valor incremental, essas medições foram feitas com base no erro entre duas amostras consecutivas, de modo que quanto menor a média e o seu desvio padrão, mais precisas seriam as medições;
- Vale salientar que as medições foram feitas para o sentido horário e anti-horário, a fim de verificar se os valores permaneceram iguais, caso contrário, qual seria sua diferença;



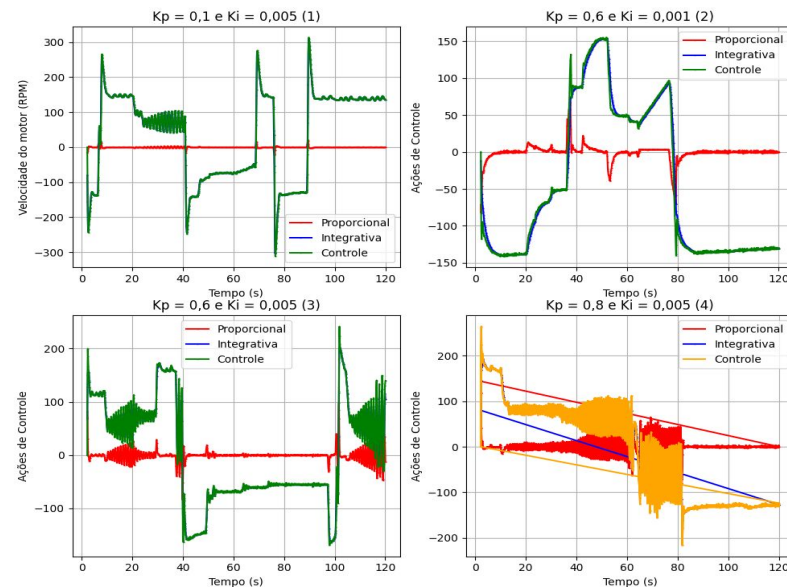
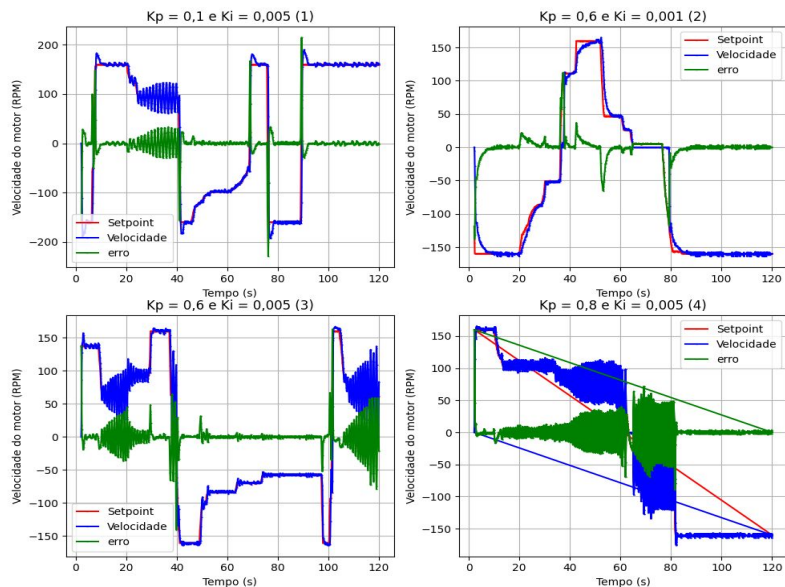
RESULTADOS EM MALHA ABERTA

“Estabilidade” das medições de posição e velocidade

- Com isso, verificou-se uma mudança nas médias de velocidade, embora a média do erro tenha permanecido próxima, assim como ocorreu para os valores de posição;
- Os resultados consideram dois algoritmos significativos na resposta;
- Sentido horário:
 - Estabilidade de medição da velocidade: $-177,41 \pm 7,94$;
 - Estabilidade de medição do erro da velocidade: $1,23 \pm 8,12$;
 - Estabilidade de medição de posição: $3,94 \pm 22,18$
- Sentido anti-horário:
 - Estabilidade de medição de velocidade: $170 \pm 7,0$;
 - Estabilidade de medição do erro da velocidade: $1,23 \pm 8,12$

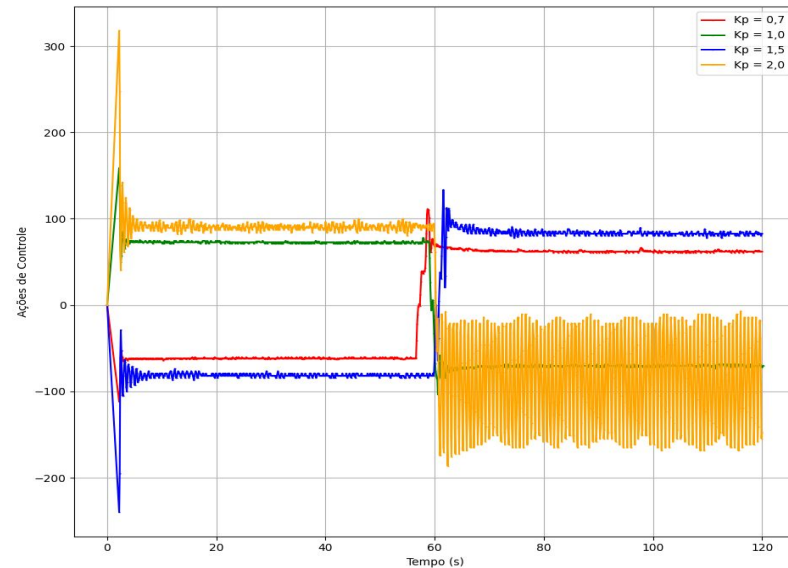
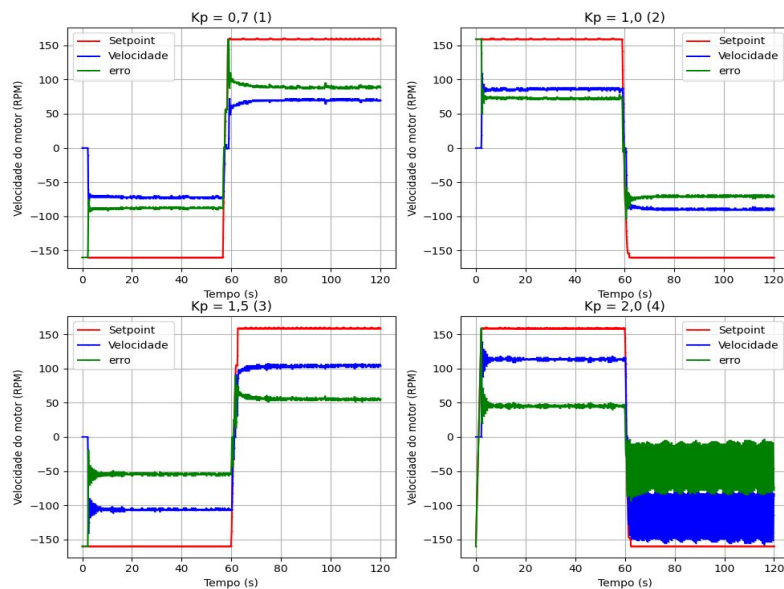
RESULTADOS EM MALHA FECHADA

Diferentes valores de ganho para o PI



RESULTADOS EM MALHA FECHADA

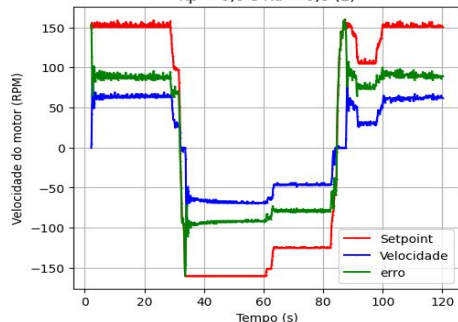
Controlador P



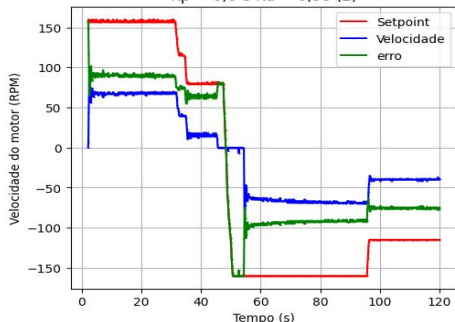
RESULTADOS EM MALHA FECHADA

Controlador PD

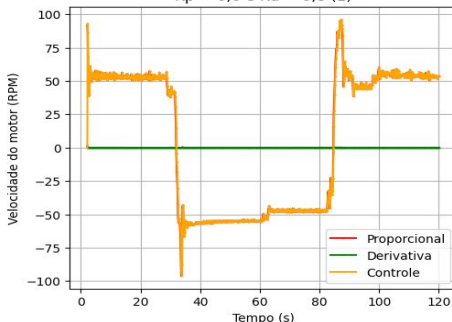
$K_p = 0,6$ e $K_d = 0,8$ (1)



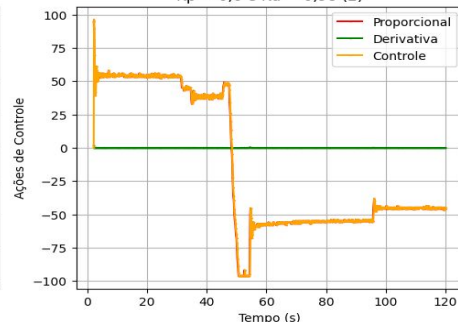
$K_p = 0,6$ e $K_d = 0,98$ (2)



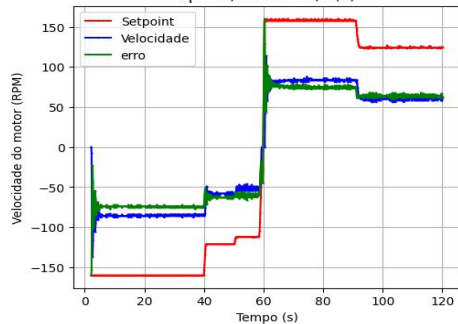
$K_p = 0,6$ e $K_d = 0,8$ (1)



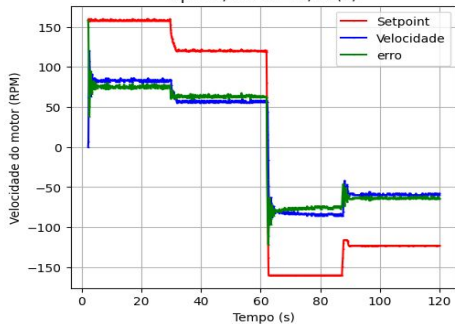
$K_p = 0,6$ e $K_d = 0,98$ (2)



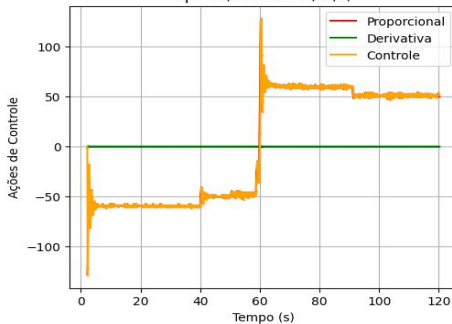
$K_p = 0,8$ e $K_d = 0,8$ (3)



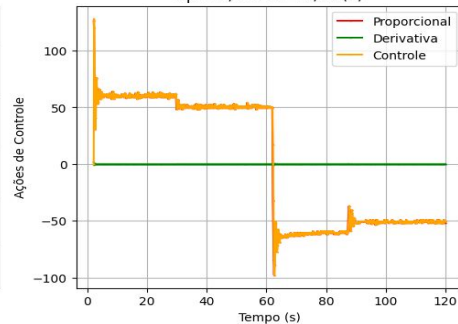
$K_p = 0,8$ e $K_d = 0,98$ (4)



$K_p = 0,8$ e $K_d = 0,8$ (3)

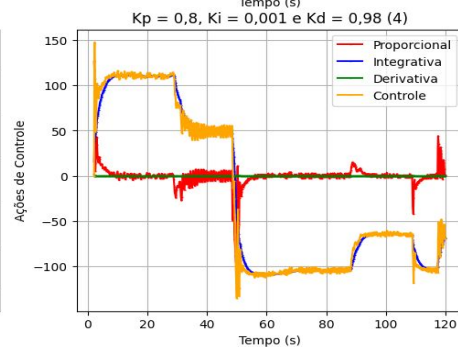
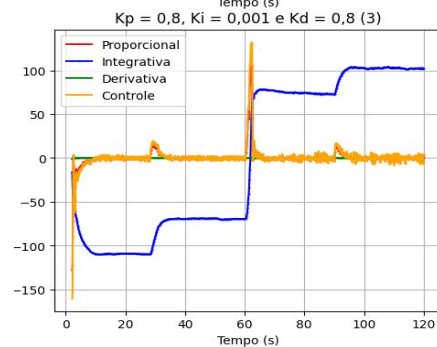
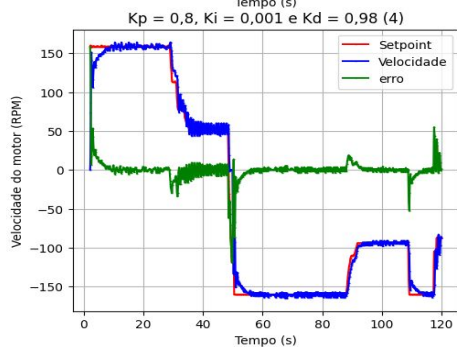
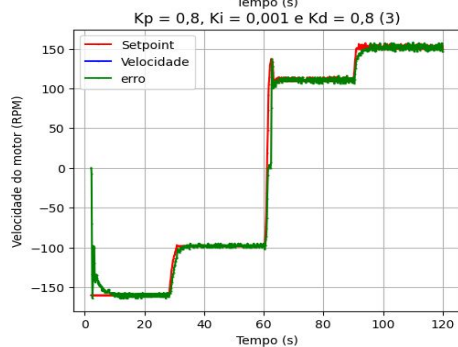
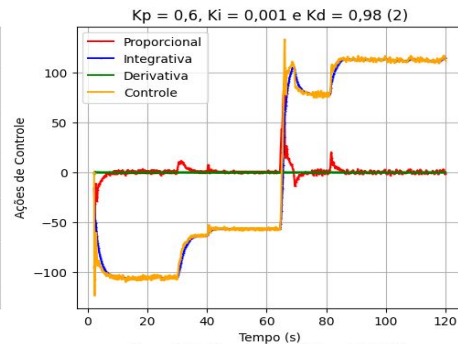
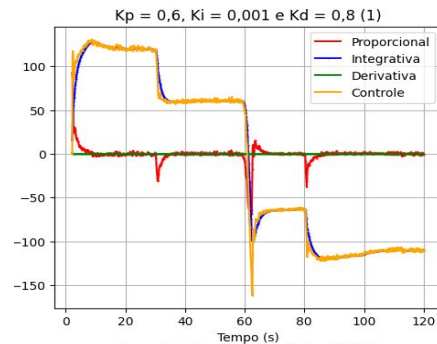
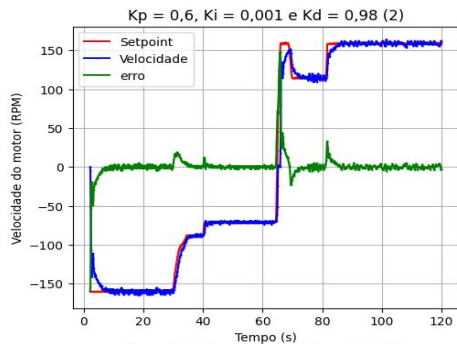
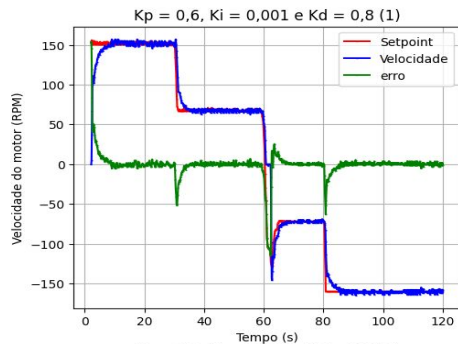


$K_p = 0,8$ e $K_d = 0,98$ (4)



RESULTADOS EM MALHA FECHADA

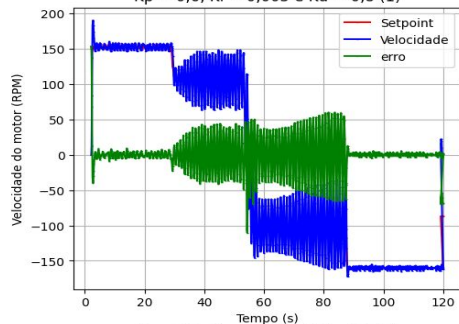
Controlador PID



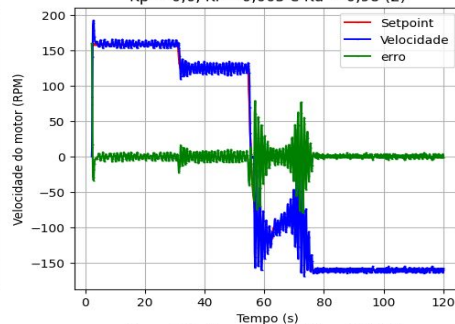
RESULTADOS EM MALHA FECHADA

Controlador PID

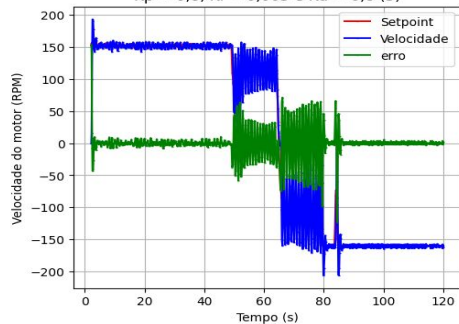
$K_p = 0,6$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,8$ (1)



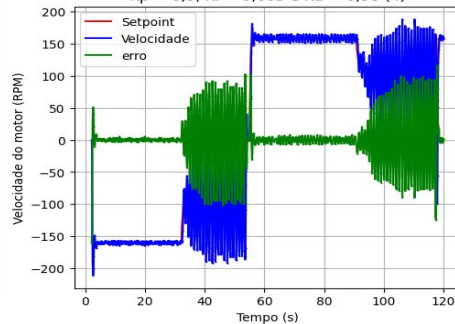
$K_p = 0,6$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,98$ (2)



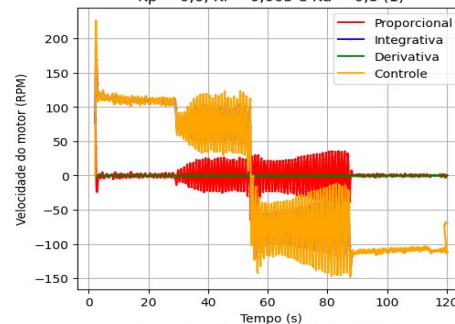
$K_p = 0,8$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,8$ (3)



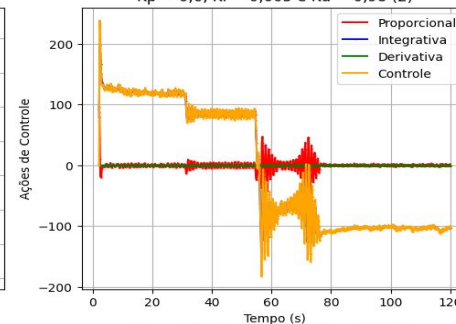
$K_p = 0,8$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,98$ (4)



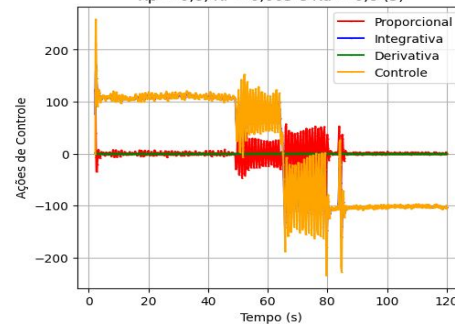
$K_p = 0,6$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,8$ (1)



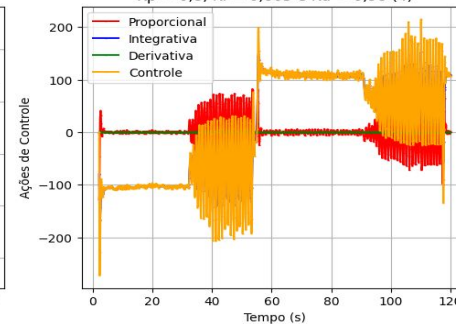
$K_p = 0,6$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,98$ (2)



$K_p = 0,8$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,8$ (3)

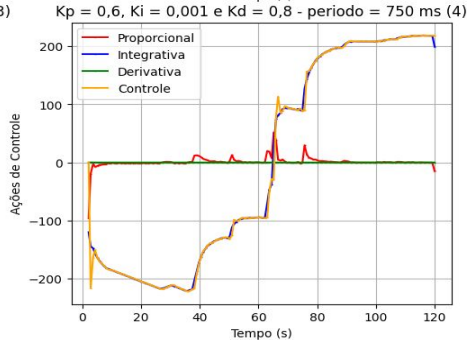
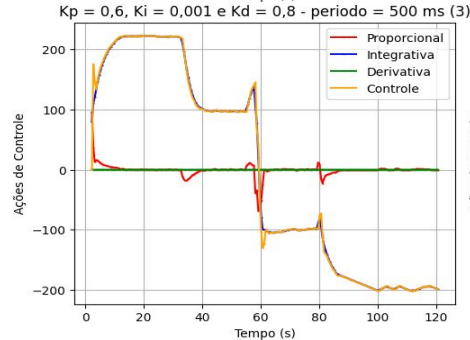
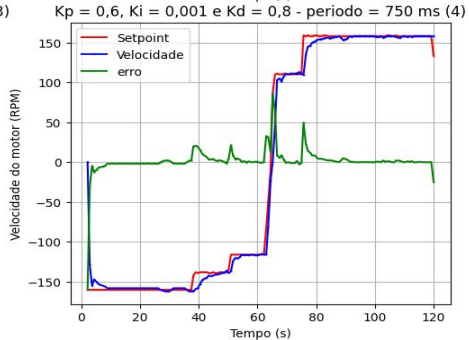
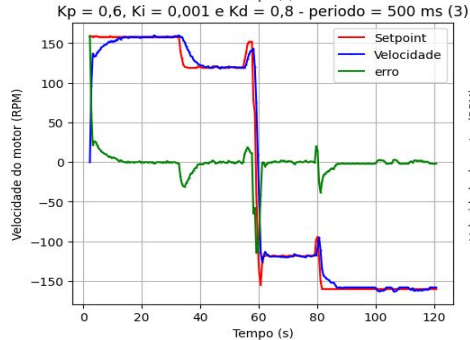
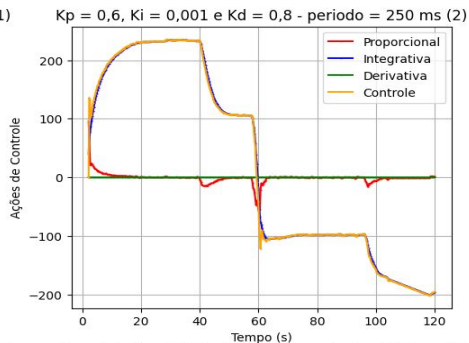
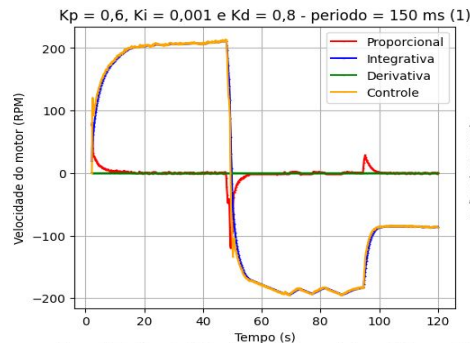
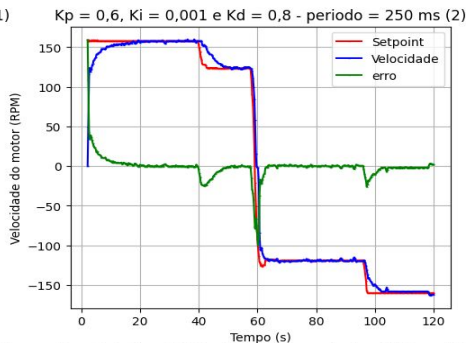
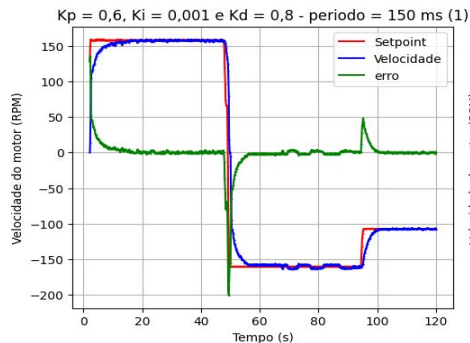


$K_p = 0,8$, $K_i = 0,005$ e $K_d = 0,98$ (4)



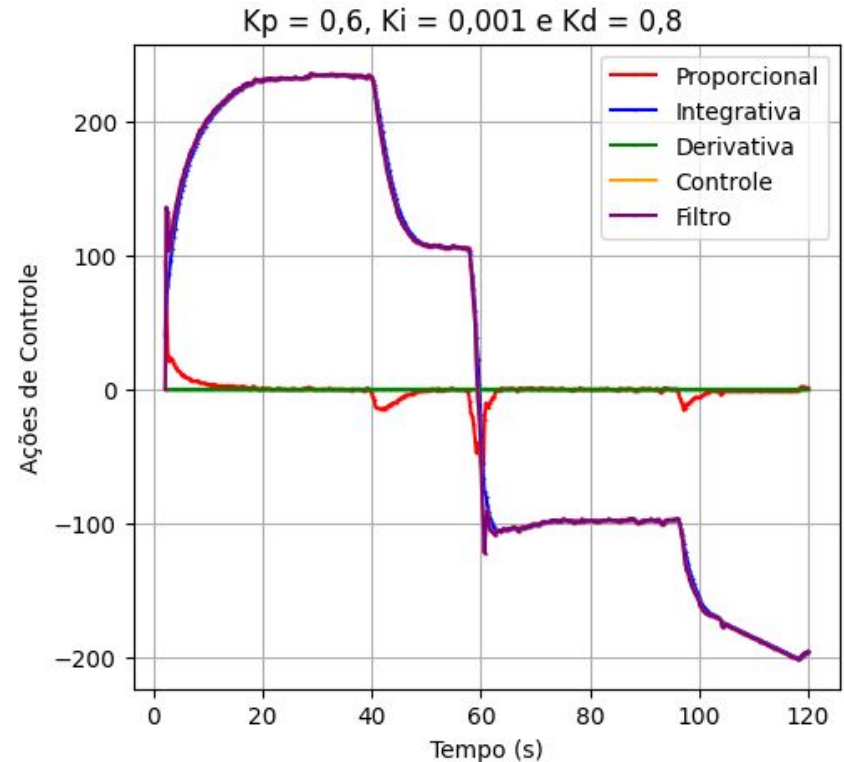
RESULTADOS EM MALHA FECHADA

Teste com diferentes períodos de amostragem

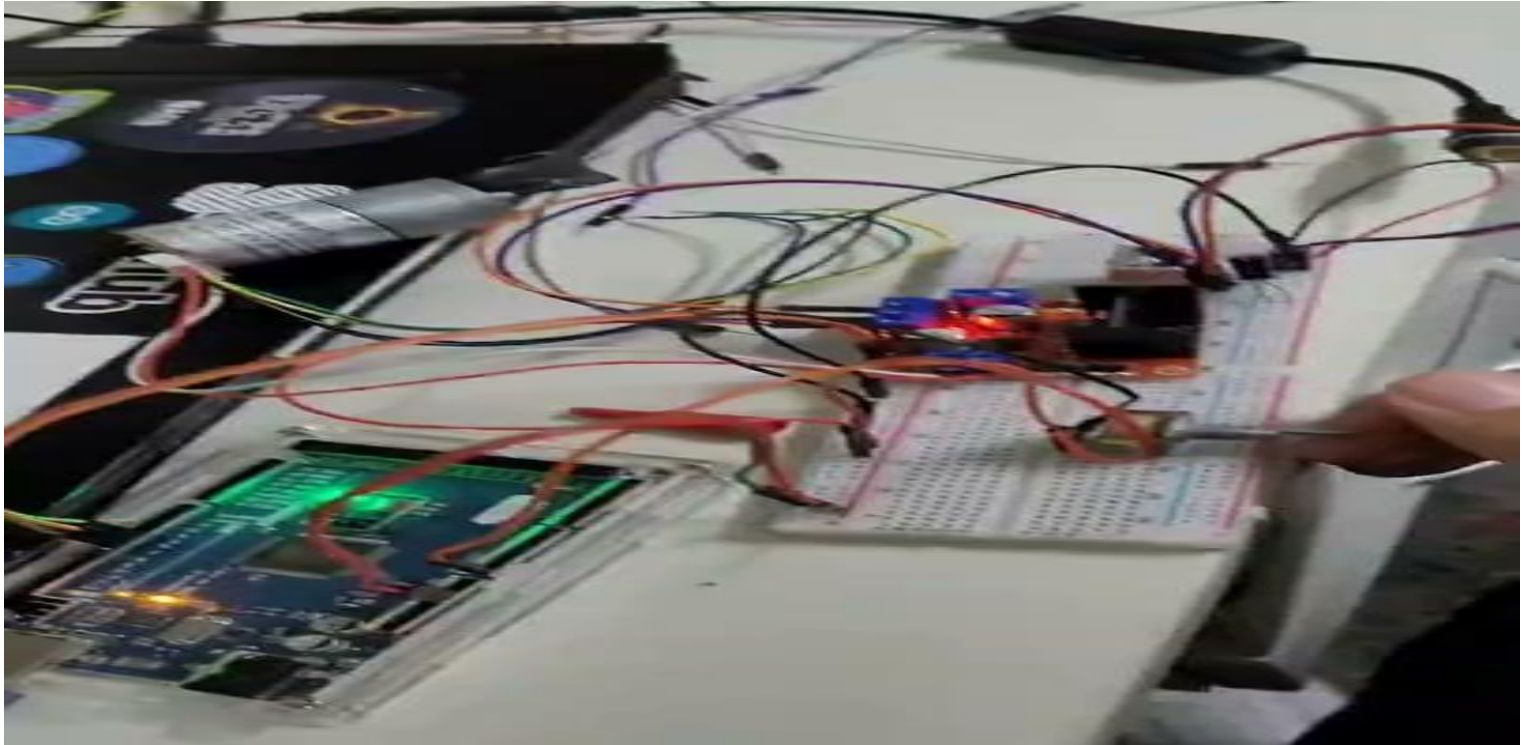


RESULTADOS EM MALHA FECHADA

Filtros para ação
derivativa e ação
integrativa
(Anti-wind up)



SISTEMA EM FUNCIONAMENTO





REFERÊNCIAS

<https://blog.eletrogate.com/filtro-digital-no-arduino/>