

Construção de Manipulador Robótico de 5 Graus de Liberdade

Alexandre Alves Trindade¹ Denys Cezar Cabral¹

Orientador: Prof. Dr. Ildeu Lúcio Siqueira

Coorientador: Prof. Me. Énio Prates Vasconcelos Filho

¹Instituto Federal de Goiás - IFG - Câmpus Goiânia

Departamento IV - Coordenação de Eletrotécnica

Curso Superior Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação

Defesa de TCC2, 2018

Sumário

1 Introdução

- Definição de robô
- Definição de braço robótico e manipulador robótico
- Cinemática de manipulador robótico

2 Objetivo

3 Metodologia

- Projeto Mecânico
- Projeto dos circuitos elétricos/eletrônicos
- Desenvolvimento do supervisório
- Desenvolvimento de sistema de orientação e posição do efetuador
- Construção do manipulador robótico

4 Resultados e discussões

- Projeto mecânico
- Circuito eletrônico de acionamento e controle dos motores
- Supervisório
- Cinemática do manipulador robótico acadêmico
- Construção do manipulador robótico
- Testes de funcionamento (Avaliação)

5 Conclusão

- Proposta de trabalhos futuros

6 Referências

Introdução

Definição de robô

- Termo 'robô' usado inicialmente em 1921, pelo dramaturgo checo Karel Čapek.

Introdução

Definição de robô

- Termo 'robô' usado inicialmente em 1921, pelo dramaturgo checo Karel Čapek.
- Robô industrial: 'manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas' (Robotics Industries Association).

Introdução

Definição de robô

- Termo 'robô' usado inicialmente em 1921, pelo dramaturgo checo Karen Capek.
- Robô industrial: 'manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, partes, ferramentas ou peças especiais, através de diversos movimentos programados, para o desempenho de uma variedade de tarefas' (Robotics Industries Association).
- Robô: qualquer artefato que substitua o trabalho humano (Japanese Industrial Robot Association).

Definição de braço robótico e manipulador robótico

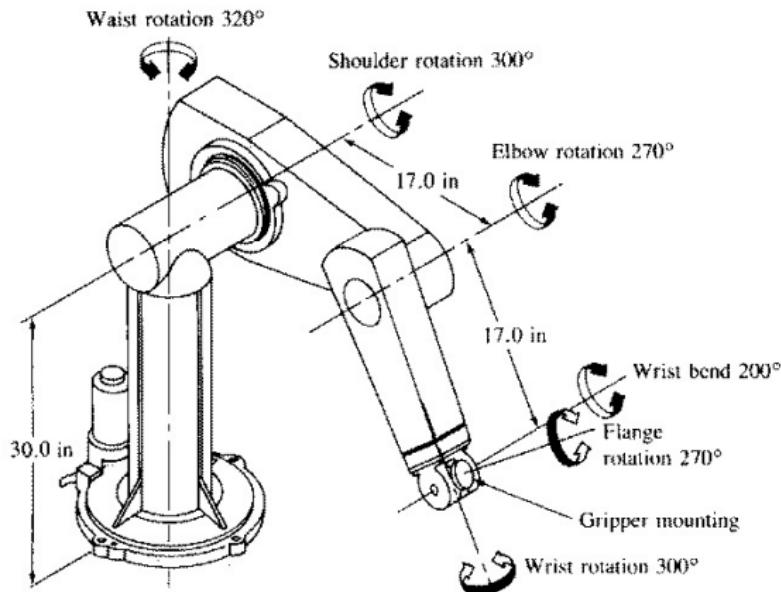
- Manipuladores robóticos: 'sistema autônomo, reprogramável, de múltiplos propósitos e possuidor de três ou mais eixos de liberdade, que possa ser ou fixo ou móvel, para aplicações em automação industrial' (ISO 8373).

Definição de braço robótico e manipulador robótico

- Manipuladores robóticos: 'sistema autônomo, reprogramável, de múltiplos propósitos e possuidor de três ou mais eixos de liberdade, que possa ser ou fixo ou móvel, para aplicações em automação industrial' (ISO 8373).
- Manipulador robótico é um dispositivo responsável por posicionar e orientar um objeto existente em sua extremidade.

Esquema de manipulador robótico

PUMA 560



Fonte: Fu et al., 1987.

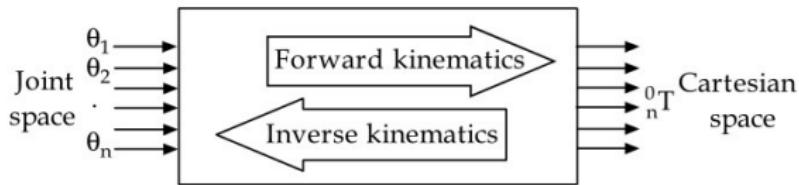
Cinemática de manipulador robótico

- Cinemática robótica é o estudo analítico de movimentação de um robô manipulador.

Cinemática de manipulador robótico

- Cinemática robótica é o estudo analítico de movimentação de um robô manipulador.

Representação da cinemática direta e inversa



Fonte: Kucuk; Bingul, 2006.

Cinemática direta

Não apresenta complexidade em obter equações matemáticas. Sempre há solução de cinemática direta para manipulador robótico.

Cinemática de manipulador robótico

Cinemática direta

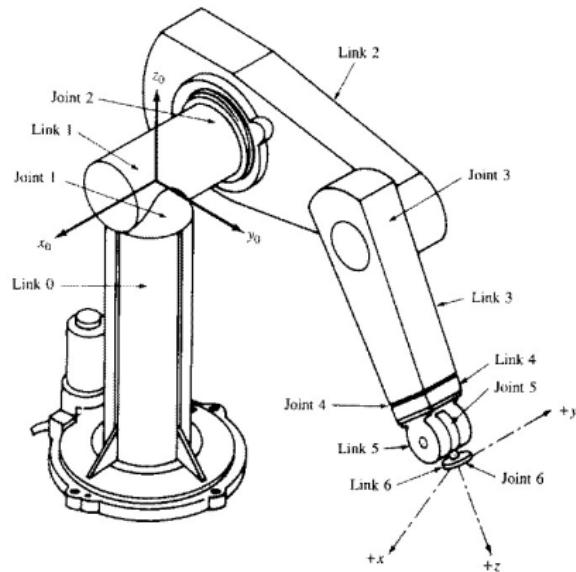
Não apresenta complexidade em obter equações matemáticas. Sempre há solução de cinemática direta para manipulador robótico.

Cinemática inversa

Problema matemático mais complexo do que a cinemática direta. Solução é computacionalmente extensa, geralmente demanda tempo considerável no controle de manipuladores robóticos.

Posição e orientação do efetuador

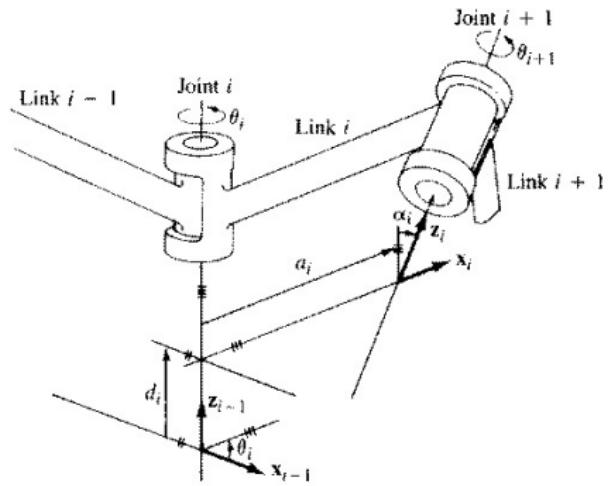
Estrutura de um manipulador



Fonte: Fu et al., 1987.

Posição e orientação do efetuador

Sistema de coordenadas e parâmetros dos ligamentos



Fonte: Fu et al., 1987.

Objetivo

Geral

Construir e controlar manipulador robótico acadêmico com cinco graus de liberdade de baixo custo.

Específicos

- Projetar o manipulador robótico acadêmico de 5 (cinco) graus de liberdade em software CAD;
- Simular o circuito de acionamento e controle dos motores utilizados no robô desenvolvido;
- Desenvolver sistema de controle dos motores, testando diferenças entre simulação e prática;
- Realizar integração do projeto mecânico (robô) com o sistema computacional, para entrada de dados e leitura do *log* do sistema através de supervisório;
- Estudar e implementar recursos de manipulação e de cinemática direta para obter os parâmetros de posição e velocidade das juntas do protótipo construído.

Metodologia

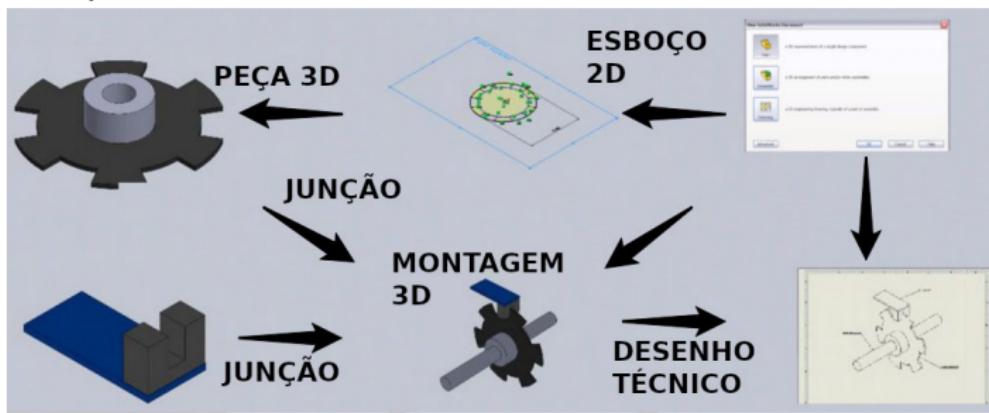
- Projeto do manipulador robótico acadêmico;
- Construção do manipulador robótico;
- Testes de funcionamento (Avaliação).

Metodologia

Projeto Mecânico

- Software utilizado: SolidWorks.

Etapas do desenvolvimento da estrutura mecânica

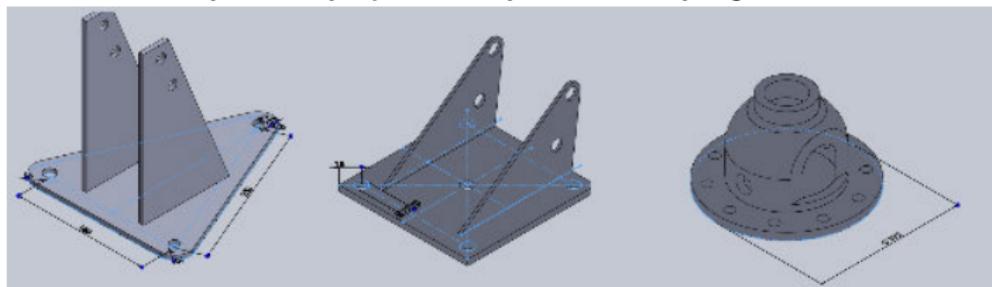


Metodologia

Projeto Mecânico

- Processo inverso: novas peças foram incorporadas ao projeto em desenvolvimento.

Exemplo de peças adequadas ao projeto

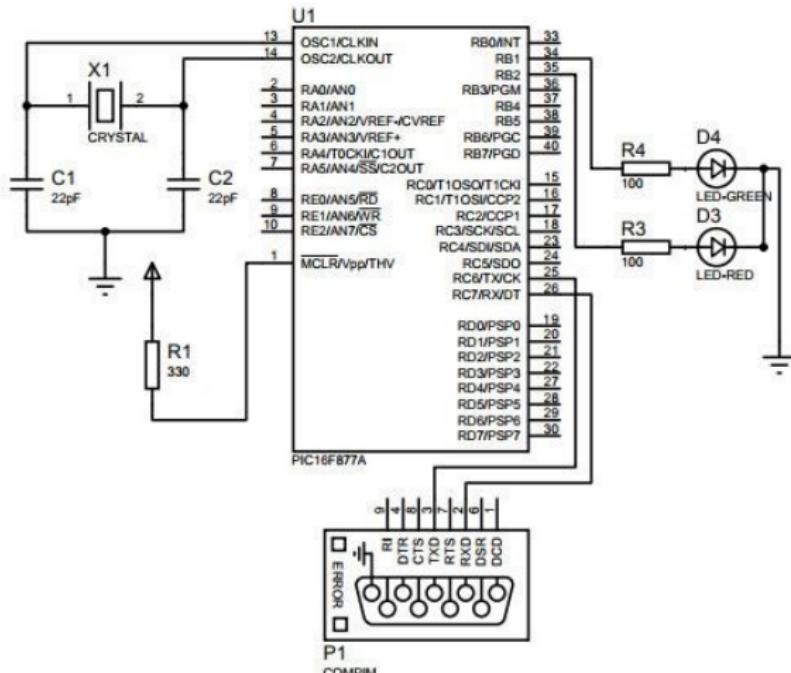


Metodologia

Projeto dos circuitos elétricos/eletônicos

- Circuito base, contém:
- Microcontrolador PIC16F877A;
- Conversor RS232;
- DB9.

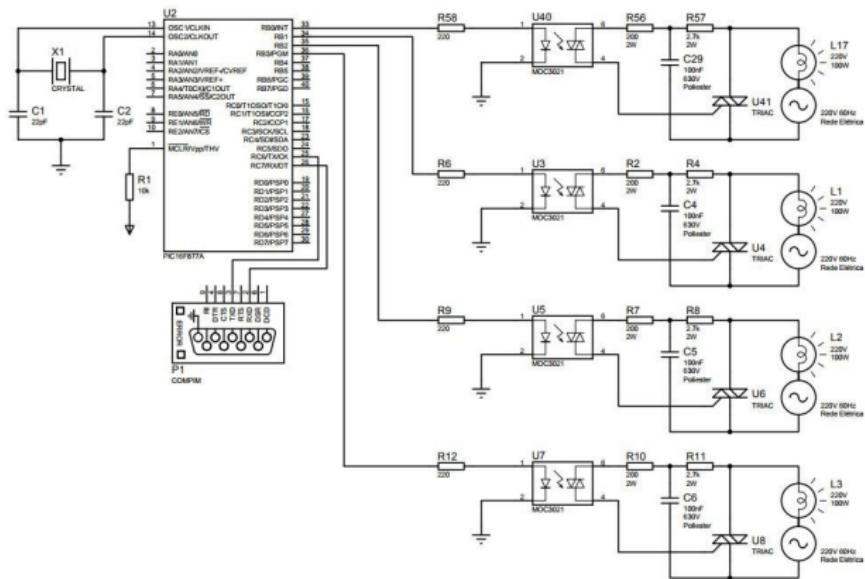
Esquema do circuito eletrônico



Metodologia

Projeto dos circuitos elétricos/eletrônicos

- Circuito, contém:
 - Acoplador óptico;
 - Circuito *snubber*;
 - TRIAC.

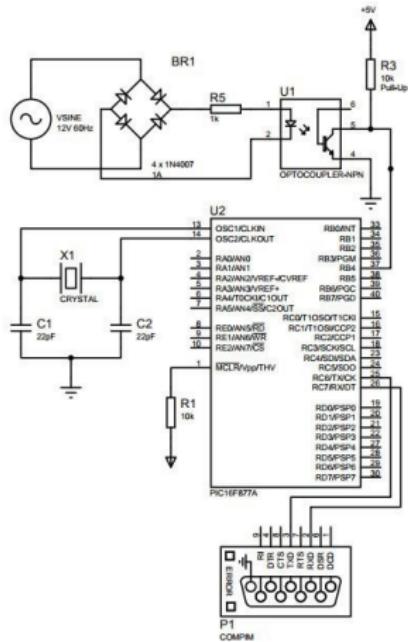


Metodologia

Projeto dos circuitos elétricos/eletrônicos

- Circuito, contém:
 - 4 diodos;
 - Acoplador óptico;
 - Resistor de *pull up*.

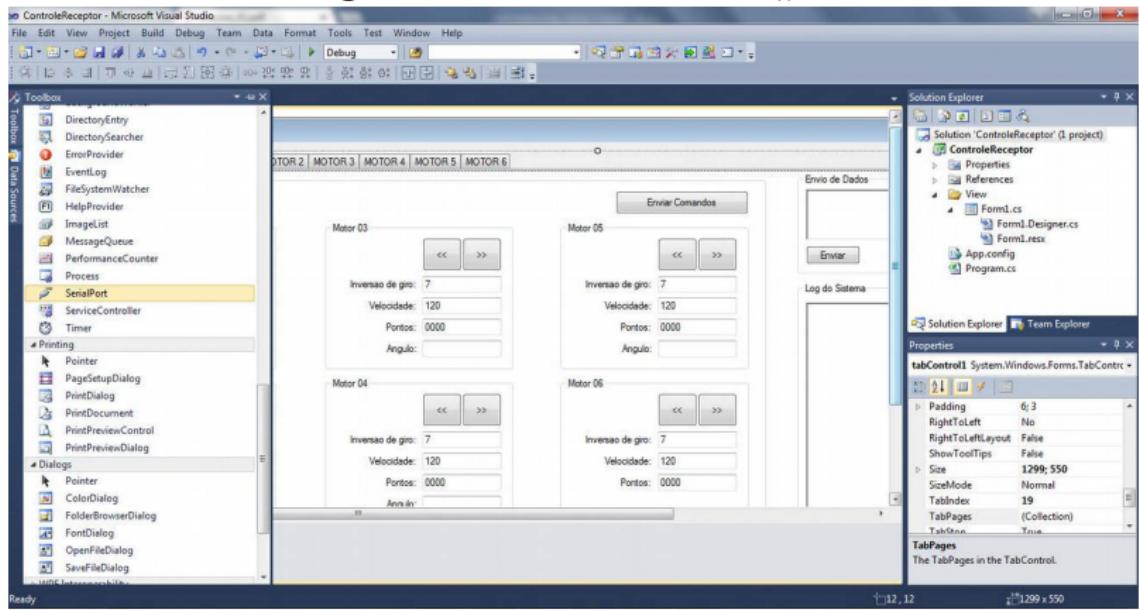
Circuito detector de passagem por zero



Metodologia

Desenvolvimento do supervisório

Vista geral do Visual Studio C#

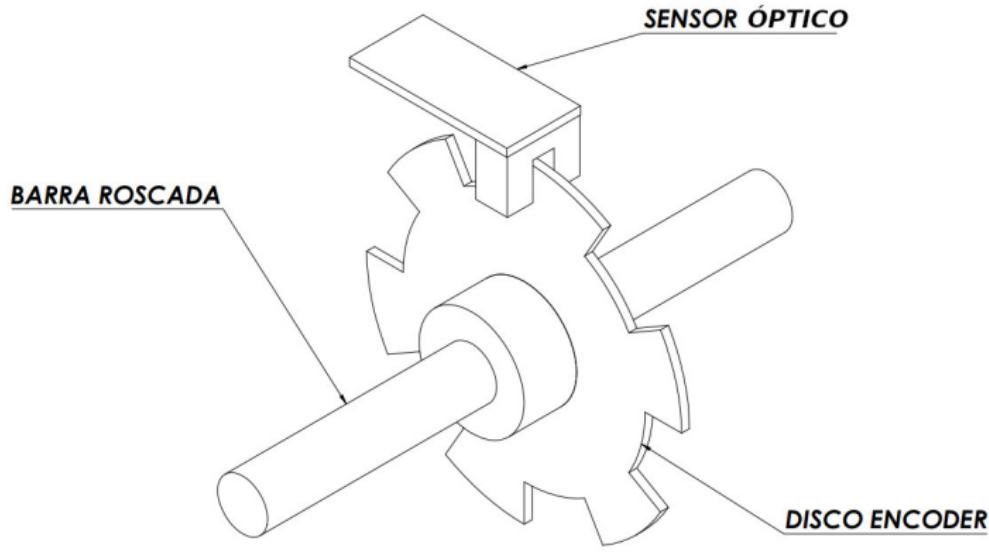


Metodologia

Obtenção de ângulos nas articulações

- Possui 6 hastes e 6 espaços. Matematicamente:
 $(Perímetro/.125) = Quantidade\ de\ Pontos$

Disco *encoder*



Metodologia

Obtenção de ângulos nas articulações

Relação matemática entre pontos e ângulos

PASSO DA BARRA ROSCADA: P_B

NUMERO DE HASTES NO ENCODER: N_H

DIÂMETRO RODA DENTADA: D_R

ÂNGULO: A

QUANTIDADE DE HASTES POR PERÍMETRO DA RODA DENTADA: Q_H_P

**FORMULA DE CONVERSÃO DE ANGULOS
PARA QUANTIDADE DE PONTOS
DETECTADOS PELO SENSOR OPTICO.**

$$Y = [(PI * D_R * N_H * A) / (P_B * 360)]$$



$$Y = [(3.1416 * 190 * 12 * 30^\circ) / (1.5 * 360^\circ)]$$

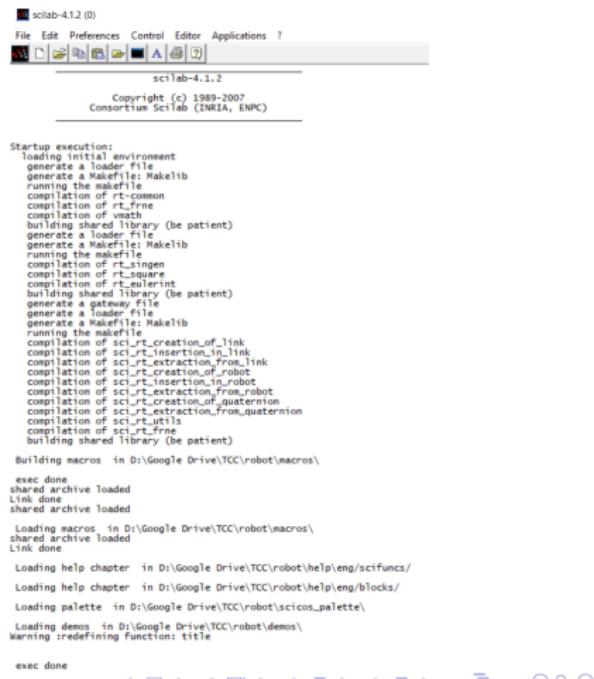
PARA 30° TEMOS Y = 397.93 PONTOS
SENSOR ÓPTICO RECEBE 398 SINAIS

Metodologia

Desenvolvimento de sistema de orientação e posição do efetuador

- *Software:* RTSS - the Robotics Toolbox for Scilab/Scicos;
- Versão estável RTSS **0.3.0**;
- Melhor funcionamento com Scilab-**4.1.2**.

Tela inicial do Scilab-4.1.2



Metodologia

Desenvolvimento de sistema de orientação e posição do efetuador

Legenda criação do objeto ligamento

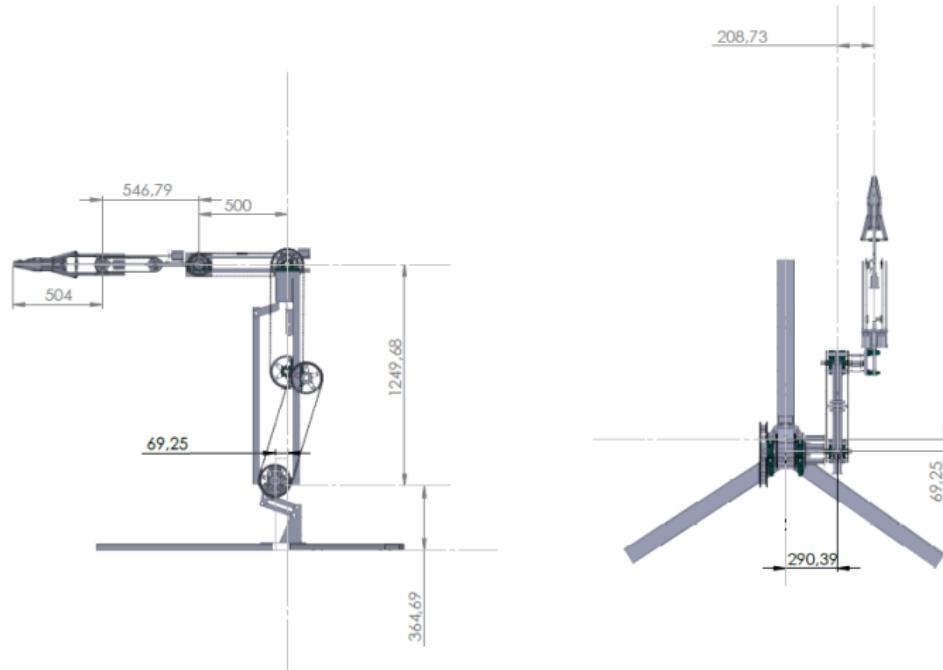
Parâmetro	Descrição
$l = rt_link()$	Cria objeto ligamento.
$l = rt_link(dh_row[, convention])$	Ligamento recebe os parâmetros Denavit Hartenberg como vetor de 5 posições.
dh_row [$\alpha, a, \theta, d, \sigma$]	= Vetor que armazena os Parâmetros Denavit Hartenberg.
α	Escalar. Parâmetro Denavit Hartenberg representa ângulo de torção do ligamento.
a	Escalar. Parâmetro Denavit Hartenberg representa comprimento do ligamento.
θ	Escalar. Parâmetro Denavit Hartenberg representa ângulo de rotação do ligamento.
d	Escalar. Parâmetro Denavit Hartenberg representa distância offset do ligamento.
σ	Escalar. Tipo da junta: 0 junta de revolução, valor não-nulo junta prismática.
$convention$	<i>String.</i> Parâmetros Denavit Hartenberg “standard” ou “modified”.

Fonte: rtss.sourceforge.net (2018).

Metodologia

Desenvolvimento de sistema de orientação e posição do efetuador

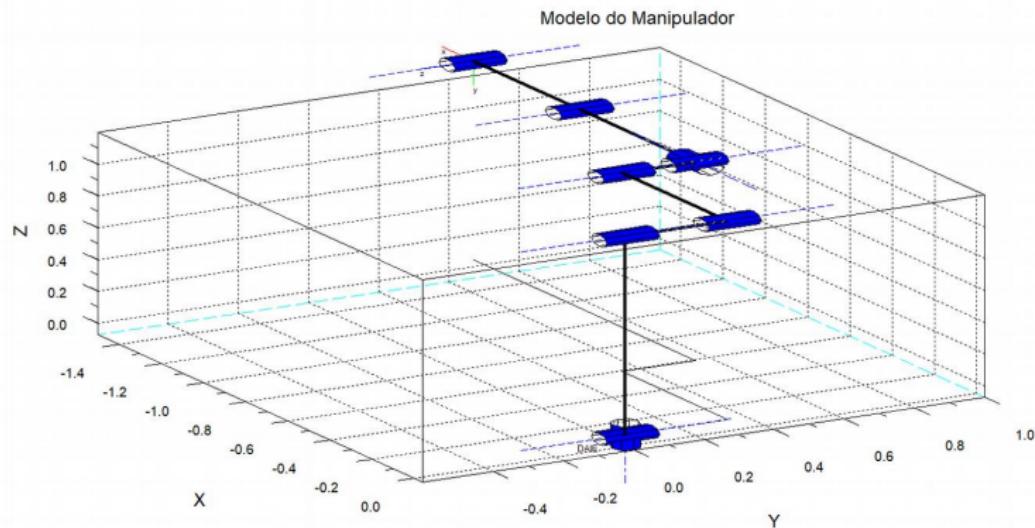
Dimensões dos ligamentos



Metodologia

Desenvolvimento de sistema de orientação e posição do efetuador

Posição inicial do modelo



Metodologia

Construção do manipulador robótico

Torno mecânico



Serra



Metodologia

Construção do manipulador robótico

Moto esmeril (esmerilhadeira)



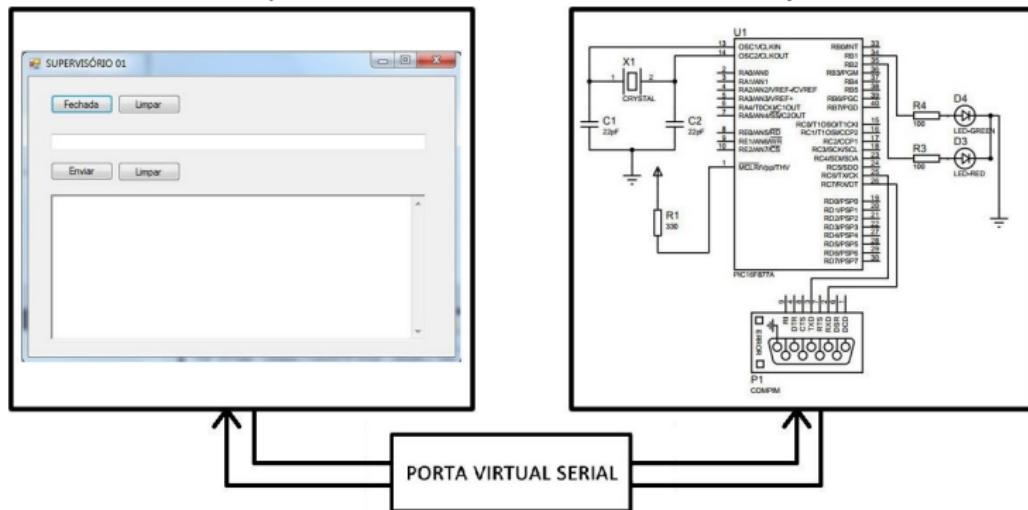
Furadeira



Metodologia

Testes de funcionamento (Avaliação)

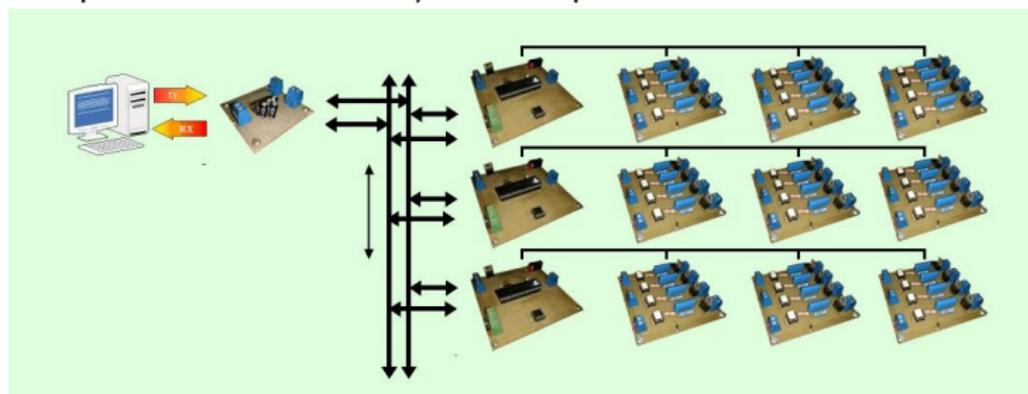
Comunicação serial entre Proteus e o supervisório



Metodologia

Testes de funcionamento (Avaliação)

Esquema da comunicação feita para controle dos motores



Fonte: Modificado de

<<http://komoissofunciona.blogspot.com.br/2010/08/o-que-e-rs232-rs485-rs422.html>>
(2018).

Metodologia

Testes de funcionamento (Avaliação)

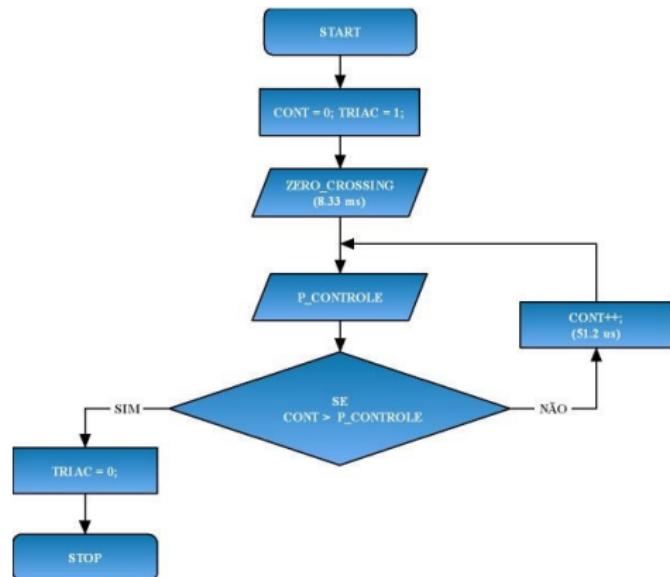
Vetor de comunicação



Metodologia

Testes de funcionamento (Avaliação)

Planta responsável pelo controle do ângulo de disparo do triac



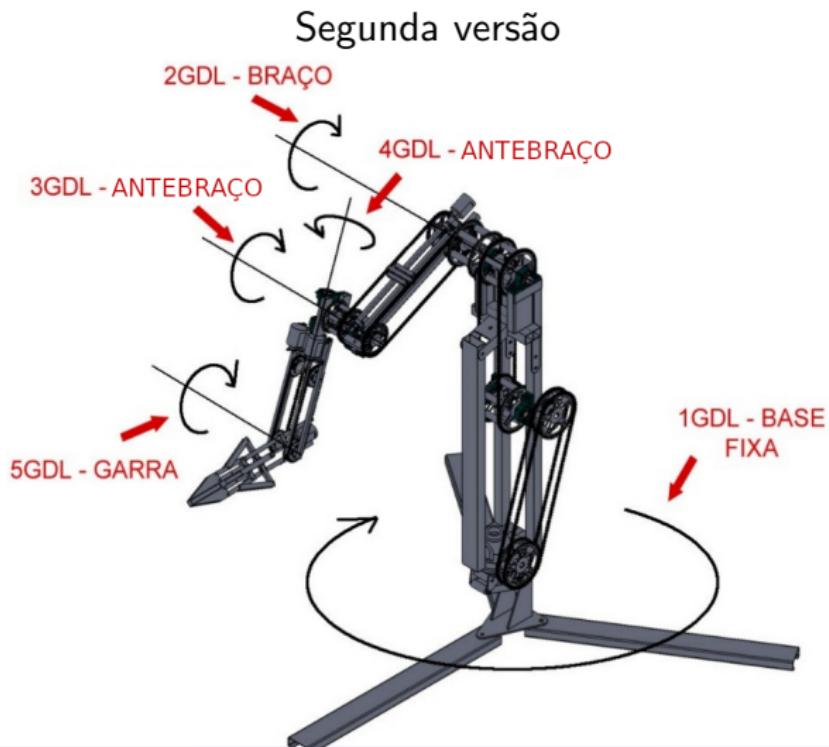
Resultados e discussões

Projeto mecânico



Resultados e discussões

Projeto mecânico



Resultados e discussões

Projeto mecânico

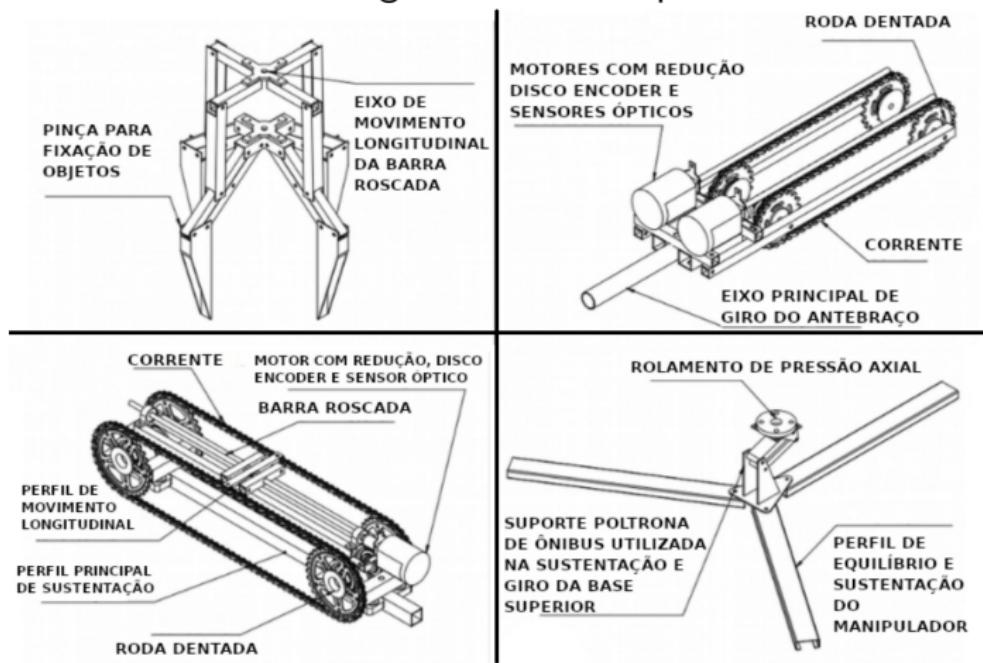
Projeto mecânico atual



Resultados e discussões

Projeto mecânico

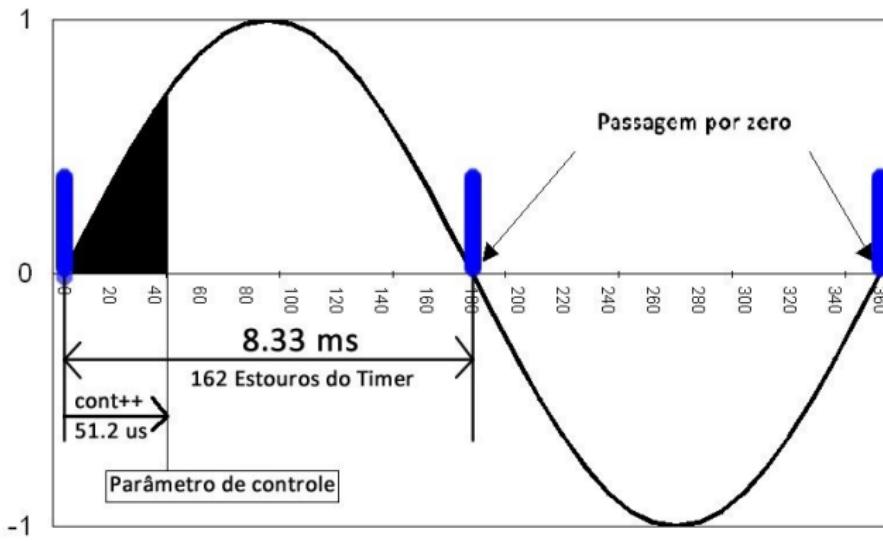
Sub-montagens e seus componentes



Resultados e discussões

Círcuito eletrônico de acionamento e controle dos motores

Esquema de controle do ângulo de disparo



Resultados e discussões

Circuito eletrônico de acionamento e controle dos motores

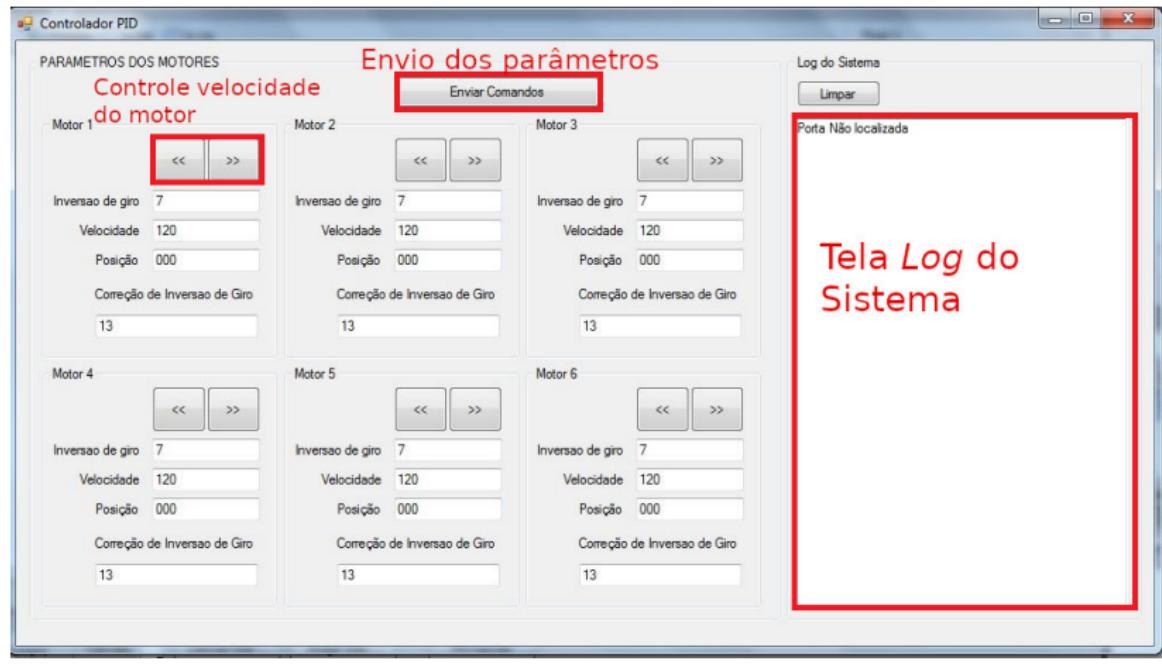
Painel elétrico



Resultados e discussões

Supervisório

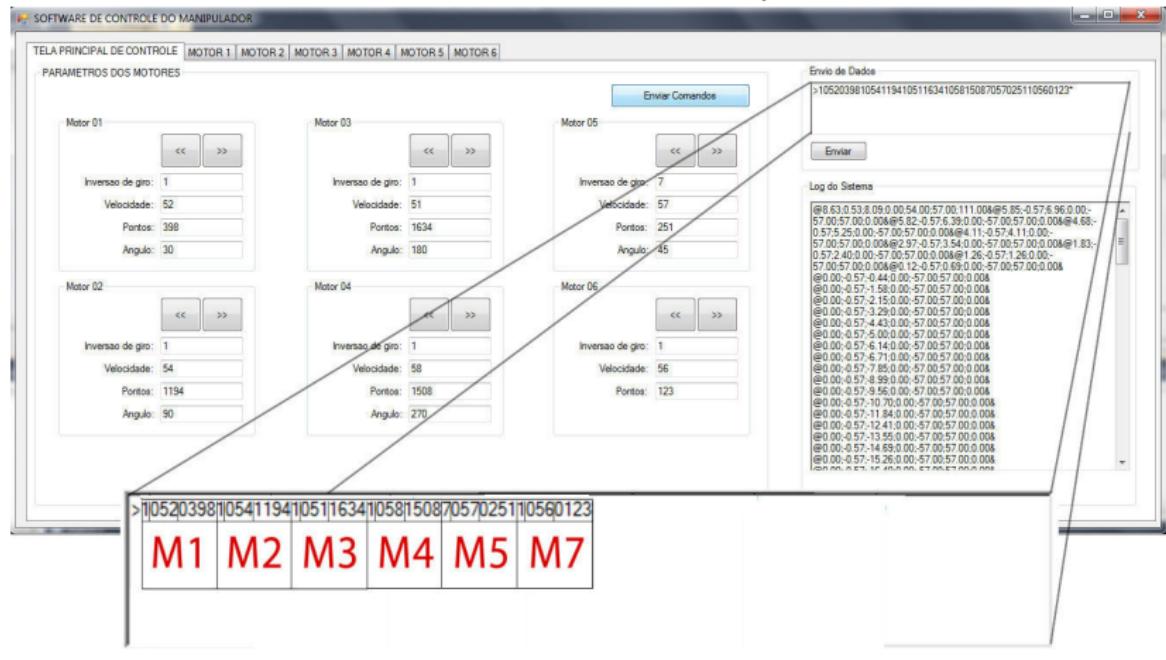
Controlador PID



Resultados e discussões

Supervisório

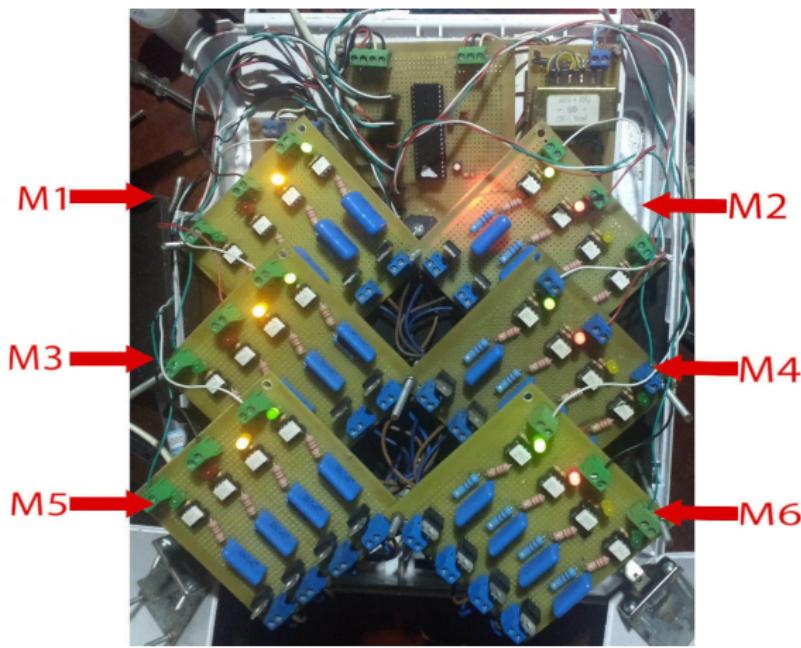
Protocolo de comunicação



Resultados e discussões

Supervisório

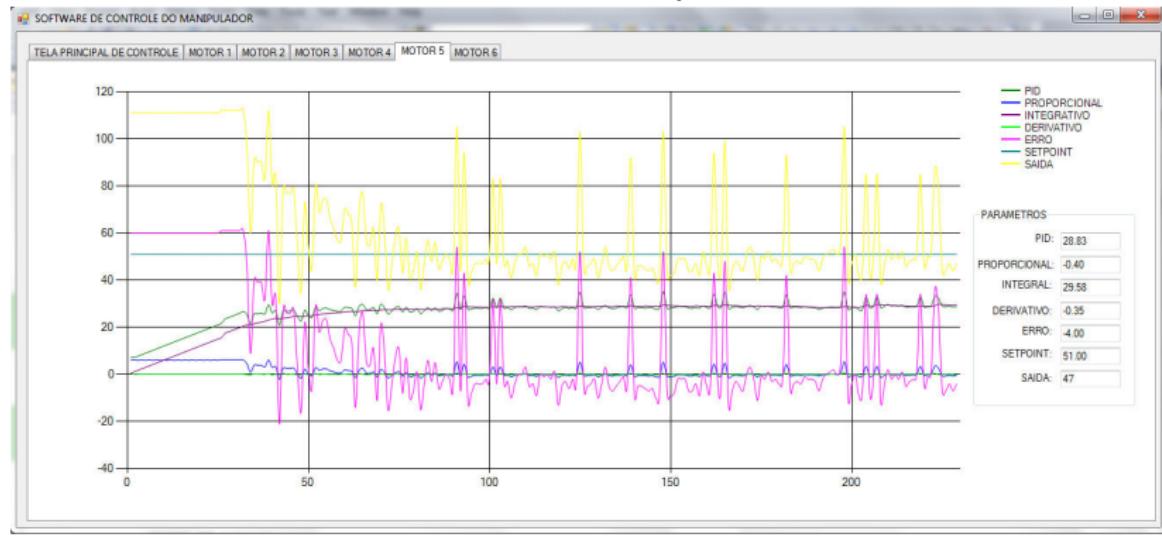
Painel elétrico



Resultados e discussões

Supervisório

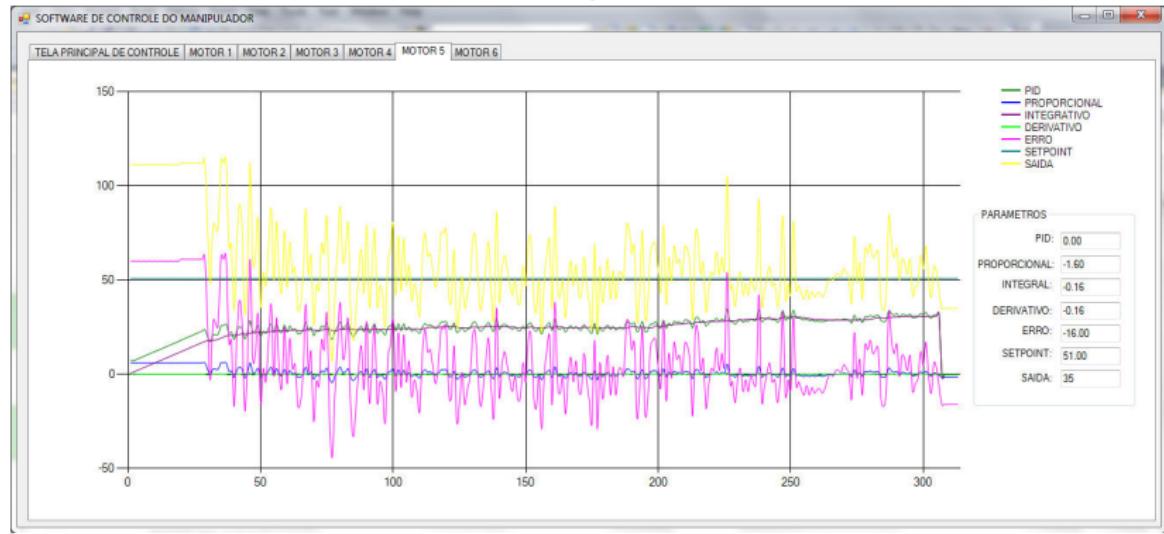
PID sem torque



Resultados e discussões

Supervisório

PID com torque constante



Resultados e discussões

Cinemática do manipulador robótico acadêmico

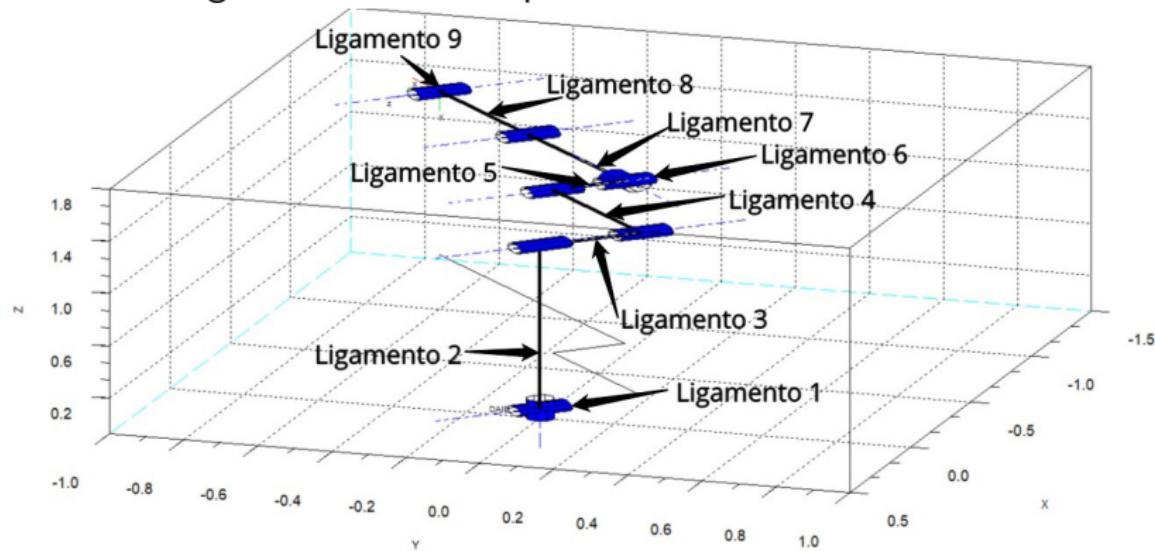
Comandos para criar cada ligamento

```
L(1) = rt_link([\%pi/2 0 0 0 0], "standard");  
L(2) = rt_link([0 1.24968 0 0 0], "standard");  
L(3) = rt_link([0 0 0 -0.29039 0], "standard");  
L(4) = rt_link([0 0.5 0 0 0], "standard");  
L(5) = rt_link([-%pi/2 0 0 -0.20873 0], "standard");  
L(6) = rt_link([\%pi/2 0 0 0 0], "standard");  
L(7) = rt_link([0 0.54679 0 0 0], "standard");  
L(8) = rt_link([0 0.504 0 0 0], "standard");  
L(9) = rt_link([0 0 0 0 0], "standard");
```

Resultados e discussões

Cinemática do manipulador robótico acadêmico

Ligamentos do manipulador robótico acadêmico



Resultados e discussões

Cinemática do manipulador robótico acadêmico

Comandos para criar e visualizar trajetória

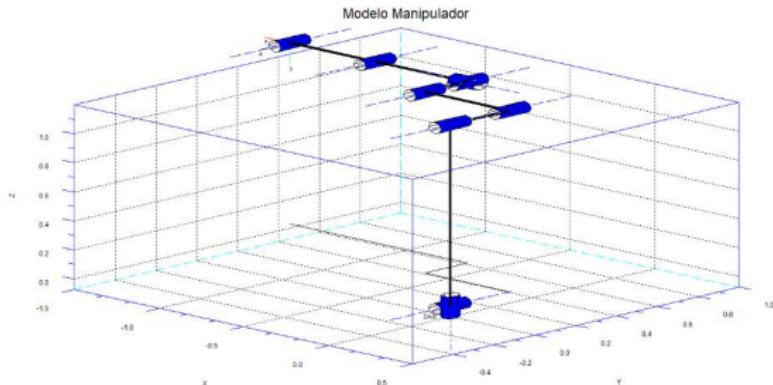
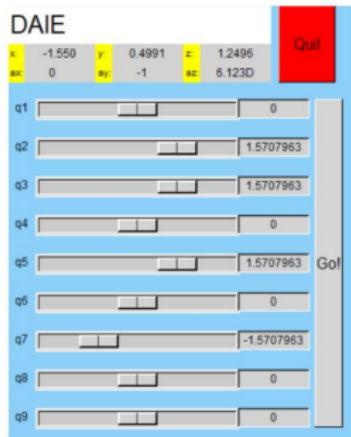
Parâmetro	Legenda
$t = [0 : 0.056 : 10];$	Vetor tempo.
$jt = rt_jtraj(qready, qstretch, t);$	Calcula trajetória entre duas posições de juntas.
$rt_plot(DAIE, jt);$	Cria animação gráfica do movimento.

Fonte: rtss.sourceforge.net (2018).

Resultados e discussões

Cinemática do manipulador robótico acadêmico

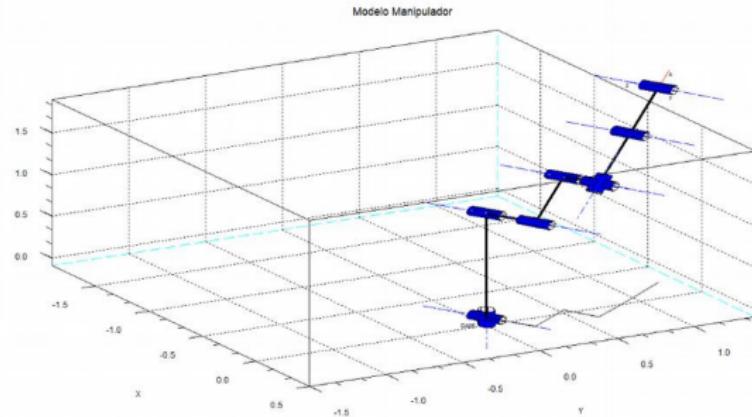
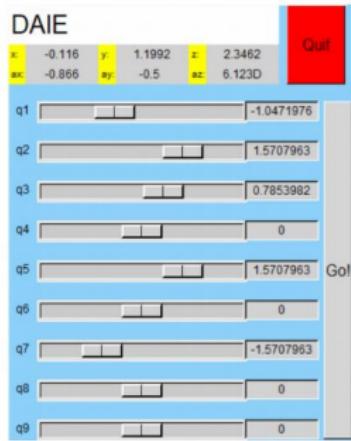
Posição inicial



Resultados e discussões

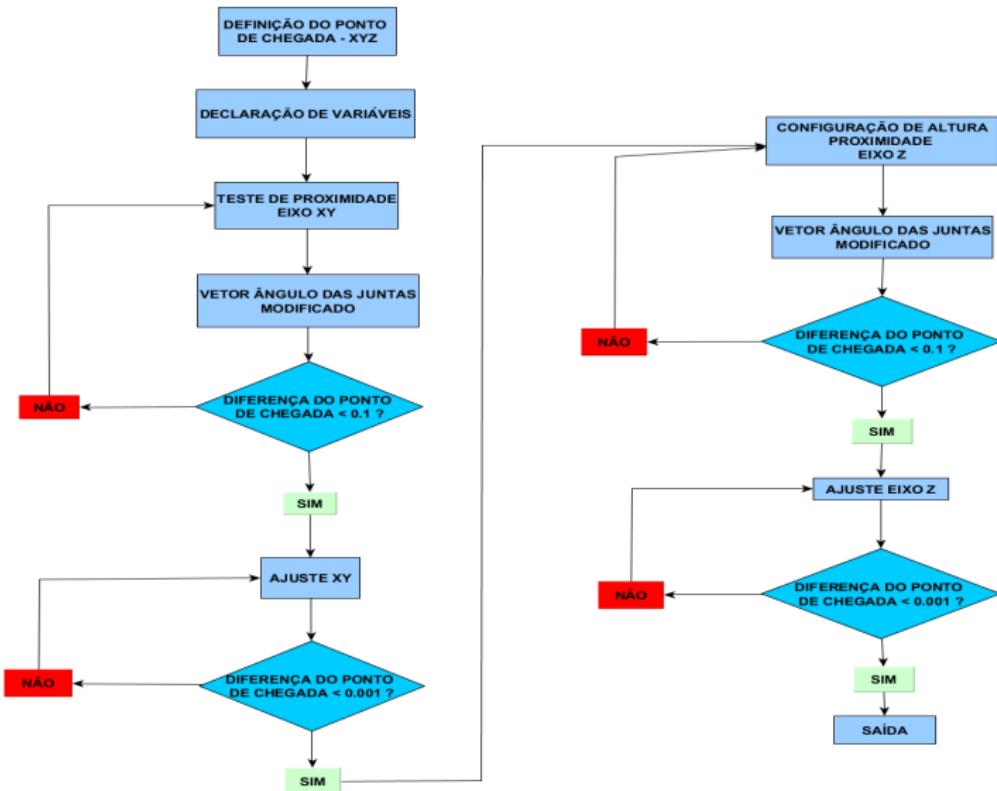
Cinemática do manipulador robótico acadêmico

Posição após movimentação



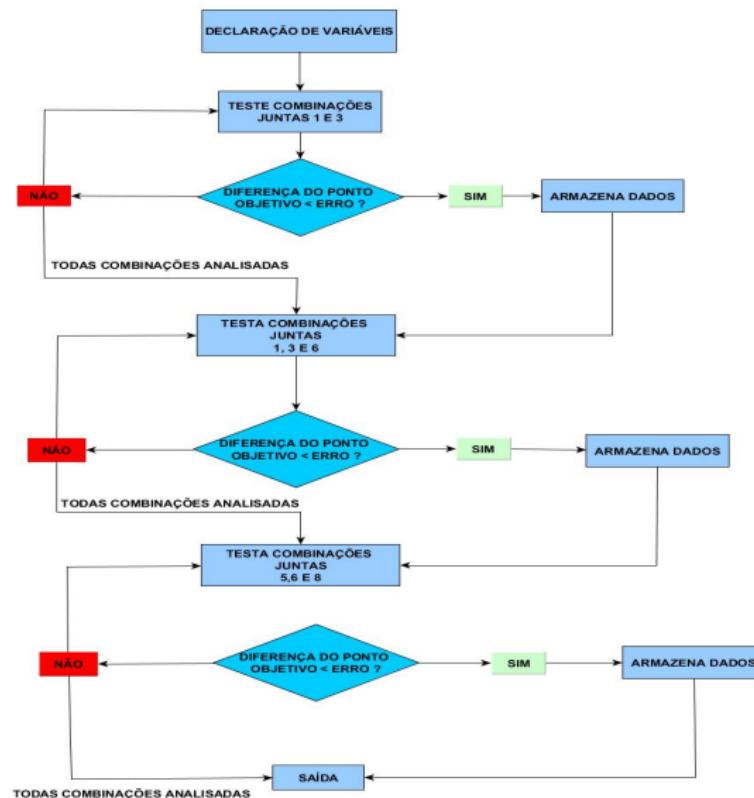
Resultados e discussões

Fluxograma primeiro algoritmo de movimentação



Resultados e discussões

Fluxograma segundo algoritmo de movimentação



Resultados e discussões

Cinemática do manipulador robótico acadêmico

Transformada homogênea

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Resultados e discussões

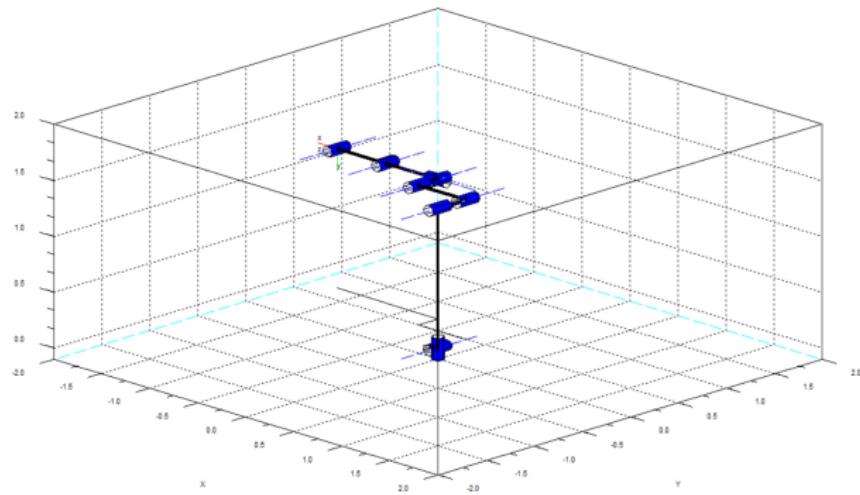
Posição inicial

X=-1.55

Y=0.50

Z=1.25

vetor_angulo=[0°; 90°; 90°; 0°; 90°; 0°; -90°; 0°; 0°]



Resultados e discussões

Posição calculada

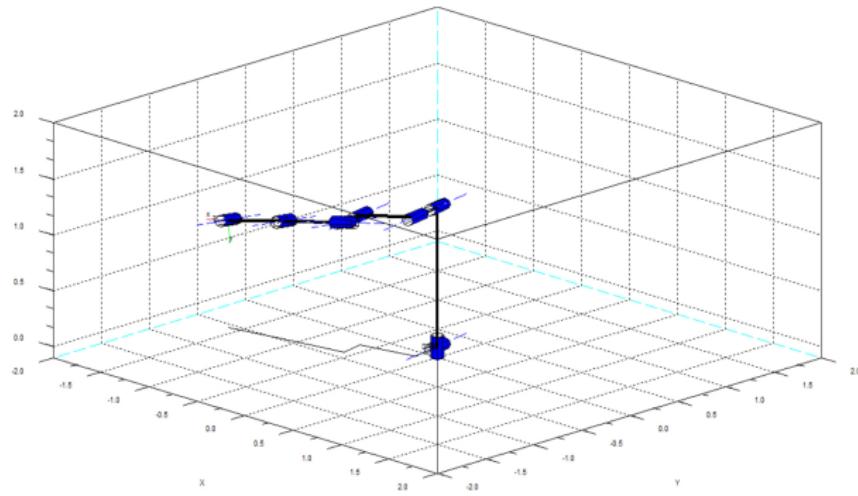
DEFINIDO	CALCULADO	ERRO
----------	-----------	------

X=-1.2	X= -1.41	Ex=0.21
--------	----------	---------

Y=-0.95	Y= -0.77	Ey=0.18
---------	----------	---------

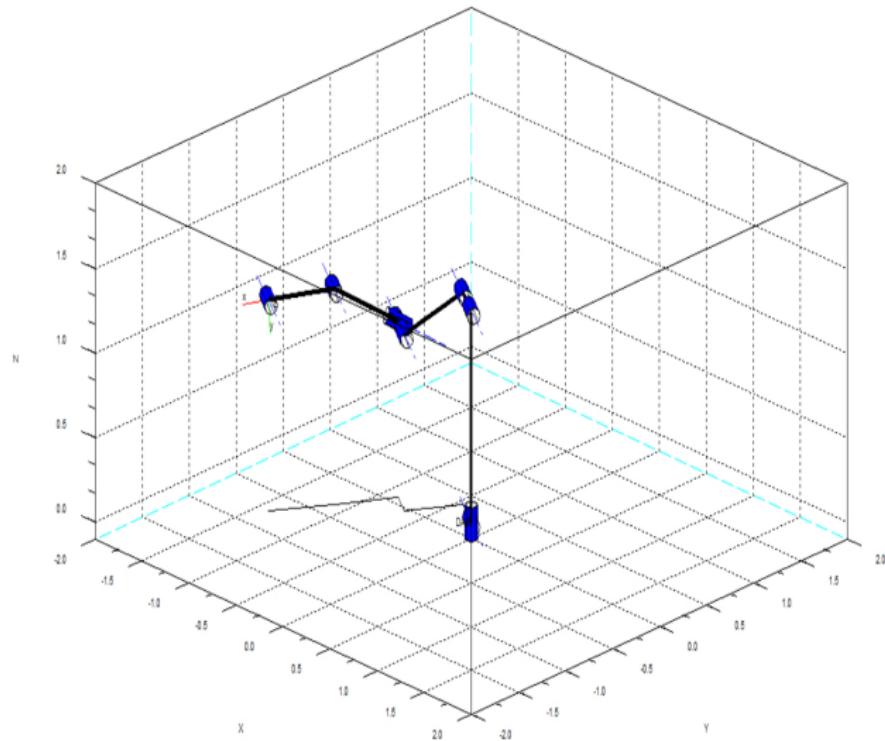
Z=1.24	Z= 0.97	Ez=0.27
--------	---------	---------

vetor_angulo=[-169.5°; 90°; 259.5°; 0°; 90°; 169.5°;- 90°; 0°; 0°]



Resultados e discussões

Posição ideal



Construção do manipulador robótico

Partes da garra na furadeira



Garra montada

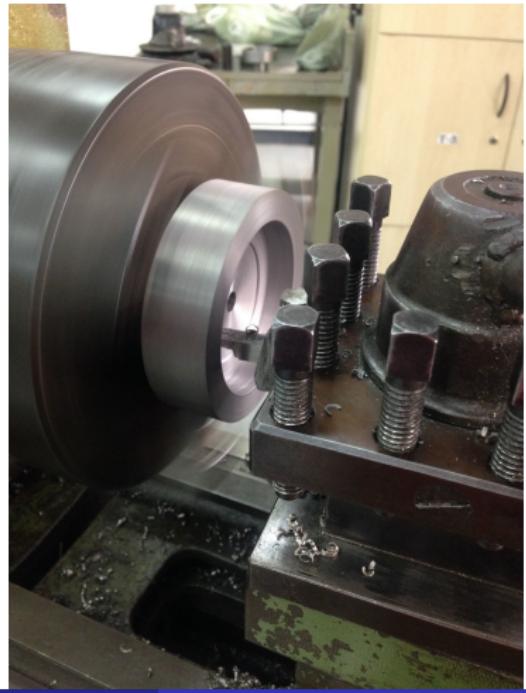


Construção do manipulador robótico

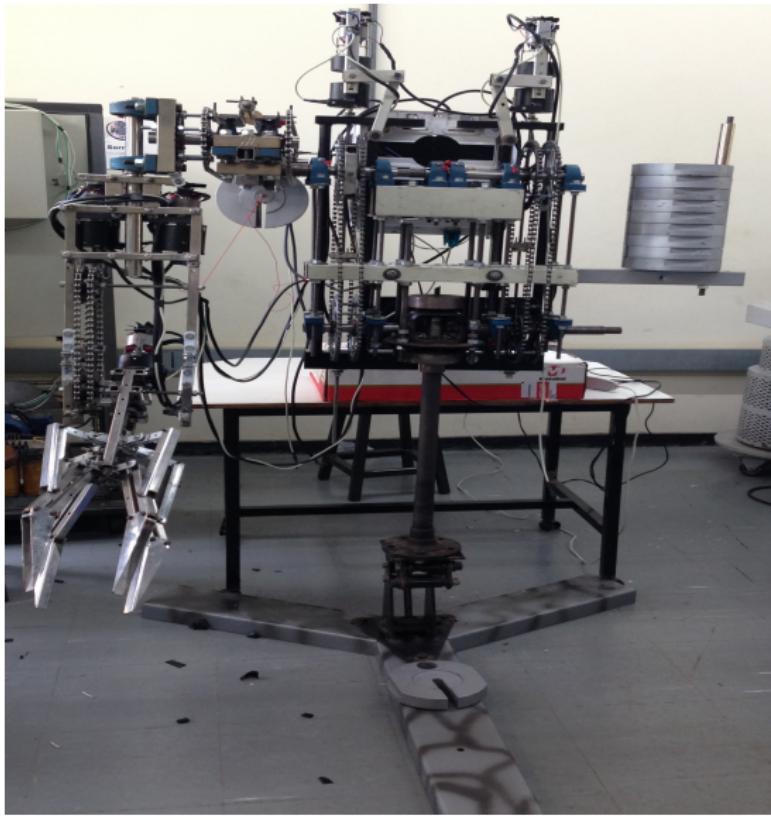
Montagem do sistema de rotação da base



Usinagem de peça utilizada com o rolamento

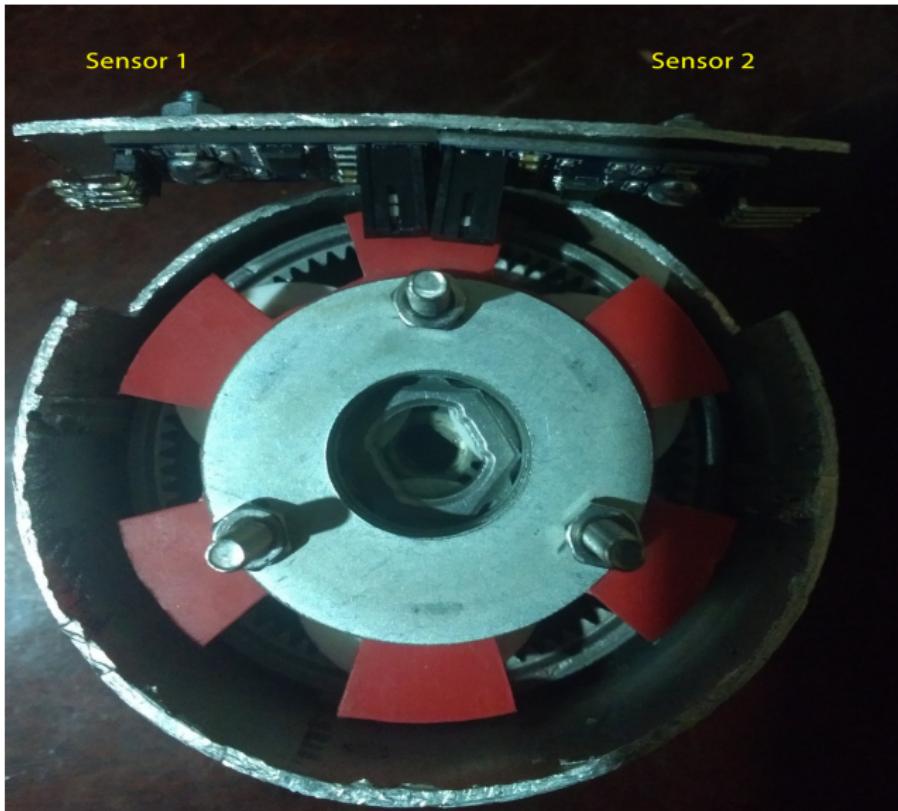


Construção do manipulador robótico



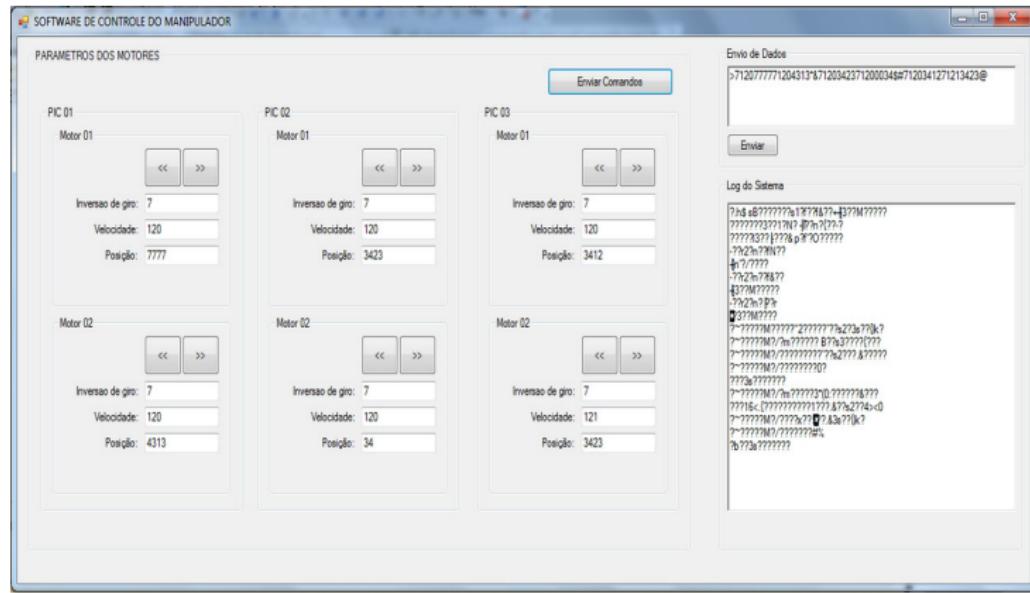
Testes de funcionamento (Avaliação)

Disco encoder e sensores ópticos



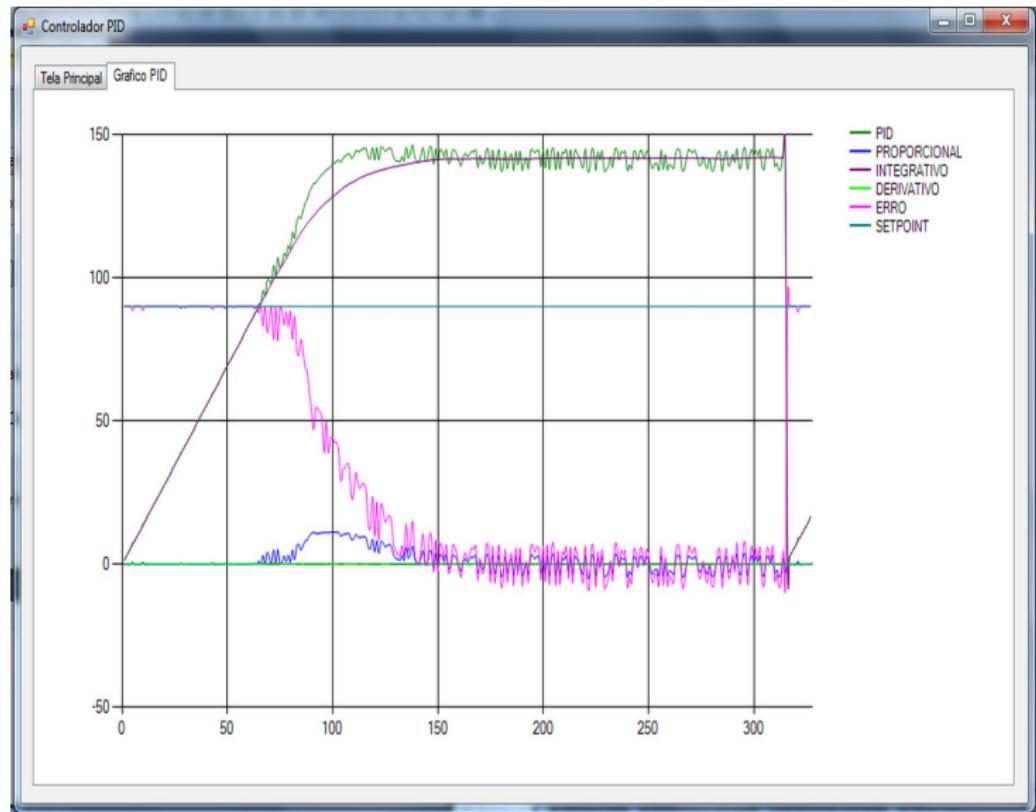
Testes de funcionamento (Avaliação)

Interface de controle do manipulador



Testes de funcionamento (Avaliação)

Gráfico PID x Tempo.



Testes de funcionamento (Avaliação)

Aplicação - Vídeo



Conclusão

Teste com supervisório

Os testes realizados com o supervisório e o manipulador robótico construído obedeceu à lei de controle implementada no microcontrolador, demonstrou o funcionamento do protocolo de comunicação ao enviar determinado ângulo para uma das juntas do robô.

Estudo de trajetórias de movimento

O algoritmo de cinemática do manipulador robótico permitiu explorar trajetórias, ao gerar o vetor dos ângulos que é usado pelo supervisório.

Custo do projeto

O orçamento limitado justifica a aplicação de materiais reciclados, ou que foram originalmente feitos para outras aplicações, algumas dessas peças são fonte de incerteza para a estabilidade do manipulador.

Proposta de trabalhos futuros

- Utilizar rosca sem fim para converter esforço longitudinal para rotacional, em contrapartida ao sistema de barra roscada que tem maior erro;
- Desenvolver projeto similar, com mínimo de peças e sub-montagens;
- Planejamento orçamentário, o intuito é agregar maior qualidade na construção do manipulador robótico;
- Desenvolver protótipo em escala reduzida para reduzir custo da construção, menor tempo de montagem e permitir que testes sejam realizados para então ampliar as medidas do robô;
- Ampliar pesquisa acadêmica sobre a utilização de motor AC - motor universal - na robótica, especificamente para manipuladores robóticos.

Referências

-  CRAIG, J. J.
Introduction to Robotics: Mechanics and Control.
[S.I.]: Pearson Prentice Hall, 2005.
-  CORKE, P. I.
<http://rtss.sourceforge.net/>.
2018.
-  FU, K. S.; GONZALEZ, R. C.; LEE, C. S. G.
Robotics: Control, sensing, vision and intelligence.
[S.I.]: McGraw-Hill, 1987.
-  KINGSLEY, C.; FITZGERALD, A. E.; UMANS, S. D.
Electric Machinery.
7. ed. [S.I.]: McGraw-Hill, 2014.

Referências

-  KUCUK, S.; BINGUL, Z.
Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control.
1. ed. Germany: Pro Literatur Verlag, 2006.
-  ROSARIO, J. M.
CAPÍTULO 2: Modelagem e Controle de Robôs. In: Vitor Ferreira Romano (Editor). Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos.
[S.I.]: Editora Edgar Blucher LTDA, página 10., 2002.

Agradecimentos

Ao nosso orientador professor Ildeu Lúcio Siqueira, pelo empenho e seriedade ao direcionar este trabalho da melhor forma possível.

Ao nosso coorientador professor Énio Prates Vasconcelos Filho, por todo apoio e disponibilidade para solucionar os desafios encontrados.

Ao engenheiro mecânico e técnico do laboratório de usinagem do IFG Paulo Vinícius da Silva Resende, pela ajuda na parte experimental do TCC.

Aos nossos familiares e amigos, pelo suporte e companheirismo.