

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO PARA USO EDUCACIONAL

Rodrigo Fontan Arruda Cedrim, rodrigocedrim@gmail.com¹
José Moraes Gurgel Neto, neto.gurgel.moraes@gmail.com²

¹Instituto Federal de Alagoas, Campus Maceió, Av. do Ferroviário, Nº 530 – Centro, Maceió-AL, 57020-600.

²Centro Universitário Tiradentes, Av. Comendador Gustavo Paiva, Nº 5017 – Cruz das Almas, Maceió-AL, 57038-000.

Resumo: A utilização de robôs na engenharia cresce todos os anos, de forma que as disciplinas de robótica a nível de graduação se tornam cada vez mais importantes em todas as universidades do país. Apesar de se tratar de uma disciplina comum à diferentes cursos de engenharia, as universidades ainda têm dificuldade em adquirir manipuladores robóticos devido ao seu alto custo, dificultando a aprendizagem e deixando a academia num nível inferior ao que é encontrado na indústria. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um manipulador robótico com alta durabilidade, baixo custo e voltado ao ensino, utilizando um software elaborado com o objetivo de ensinar ao usuário os conceitos teóricos e matemáticos envolvidos, sendo relevante no cenário atual por trazer uma alternativa para o ensino de robótica.

Palavras-chave: Robótica Educacional, Manipuladores Robóticos, Ensino.

1. INTRODUÇÃO

A cada ano que passa, os robôs são envolvidos em mais áreas da sociedade, com isso, a demanda por profissionais capazes de desenvolver, operar e realizar manutenções e ajustes nestes equipamentos cresce de forma semelhante. O ensino de robótica no nível superior é objeto de discussão mesmo em países que estudam esses tópicos há mais tempo. Em um estudo feito por Esposito (2017), foi mostrado que o ensino de robótica nas universidades dos Estados Unidos carece de soluções com custo acessível que permitam aos alunos colocar em práticas os conceitos aprendidos em sala. No Brasil, a oferta de produtos deste tipo é ainda menor, distanciando o ambiente acadêmico da prática de operação e programação de manipuladores robóticos (GARCIA, 2013). Diante desse cenário, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fornecer uma contribuição relevante a este tema específico, o desenvolvimento de manipuladores robóticos educacionais de baixo custo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A estrutura do manipulador robótico foi definida a partir dos objetivos do projeto, que buscavam o desenvolvimento de um robô de baixo custo, com raio de trabalho de ao menos 40cm, precisão de 0,5mm e que fosse construído de material durável e resistente, visto que o fato de ser voltado ao ensino pode gerar situações em que ele não seja operado de forma ideal. Logo ficou claro que com o raio de trabalho definido, acoplar os motores diretamente nas juntas iria encarecer o projeto, pois seria necessário escolher motores com capacidade de carga superior nas primeiras juntas e escolher um material mais rígido para os elos, que ocasionaria em ainda mais carga para os motores. Com isso, a busca foi restringida entre os manipuladores cuja estrutura utiliza mecanismos para transferir os movimentos dos motores às juntas, possibilitando deixar os motores na base e utilizar material construtivo mais leve.

Considerando os fatos supracitados, foi escolhida uma estrutura do tipo RRR, que possui três juntas rotativas, com dois mecanismos de cadeia cinemática fechada entrelaçados, com o objetivo de transferir os movimentos dos motores às juntas superiores e de deixar o efetuador sempre paralelo ao solo. Esta estrutura é largamente utilizada entre os robôs paletizadores, já que o mecanismo aumenta a capacidade de carga e descarta a necessidade de um grau de liberdade extra para manter o efetuador paralelo ao solo (CABRAL, 2016).

2.1. IRB460

Com a arquitetura do manipulador definida, o primeiro manipulador robótico pesquisado foi o IRB460, desenvolvido pela empresa *ABB Robotics* (ABB, 2015). O modelo em questão é um robô paletizador com 4 graus de liberdade, tem cadeia cinemática mista e base compacta, visando o bom uso mesmo em células industriais de tamanho reduzido. Por se

tratar um robô antropomórfico (RRR), sua área de trabalho é em formato de esfera e a precisão de posicionamento tende a variar dentro dessa área (SCIAVICCO; SICILIANO, 2000).

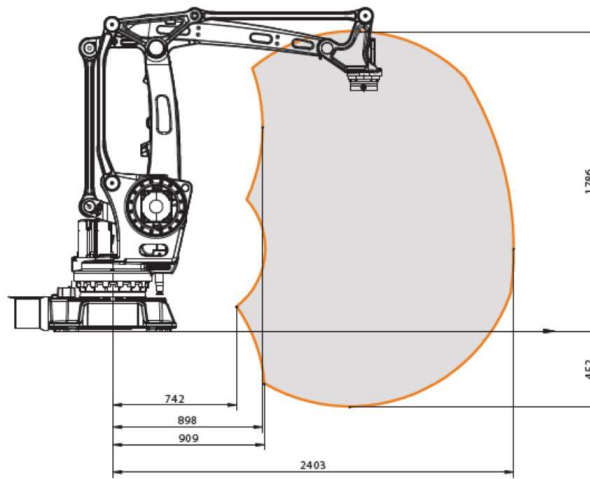


Figura 1: Área de Trabalho do IRB460. Fonte: (ABB, 2015).

2.2. Mecânica

Após verificar o estado da arte de robôs antropomórficos com os mecanismos de cadeia cinemática fechada entrelaçados, foi iniciado o projeto mecânico do robô utilizando o *software Inventor Professional*, da Autodesk (AUTODESK, 2017). Foram projetadas as peças necessárias para a montagem e dimensionados e especificados os itens de fixação que seriam utilizados. Com isso, foi realizada uma montagem completa do manipulador (Fig. 2) juntamente a diversas simulações de trajetória, em que foram verificados problemas pontuais e foram aplicadas as correções necessárias. Com o projeto concluído, a matéria-prima escolhida foram chapas de alumínio, devido a sua boa relação rigidez/peso, elevada resistência a corrosão (para garantir vida útil prolongada ao protótipo) e boa conformabilidade.



Figura 2: Projeto concluído. Fonte: Autor.

Foi utilizado o *HSM Ultimate* (AUTODESK, 2017), um plugin do *Inventor Professional*, para gerar os códigos *CAM* (Computer Aided Manufacturing), que foram carregados numa router CNC de fabricação própria de 3 eixos, transformando assim as chapas de alumínio nas peças do manipulador robótico. Ainda no *Inventor Professional*, foi utilizado o *Design Accelerator* (Fig. 3) para dimensionar as engrenagens, que tem a função de transferir o movimento de rotação do eixo de cada um dos motores para as juntas do robô. Foi utilizada uma redução de velocidade de 2:1 nos 3 pares, com o objetivo de amplificar o torque na saída da engrenagem e melhorar a precisão de posicionamento do robô.

Foram utilizados rolamentos em todas as juntas do manipulador, visando reduzir o atrito e suavizar os movimentos. Na primeira junta rotativa, que é ortogonal as outras duas, foi utilizado um mecanismo que consiste em um rolamento axial e dois rolamentos radiais, resultando num mecanismo com boa resistência mecânica e atrito reduzido. Nas juntas superiores do manipulador, foram inseridos rolamentos radiais com espessura de 3mm em rebaixos nas chapas de alumínio.

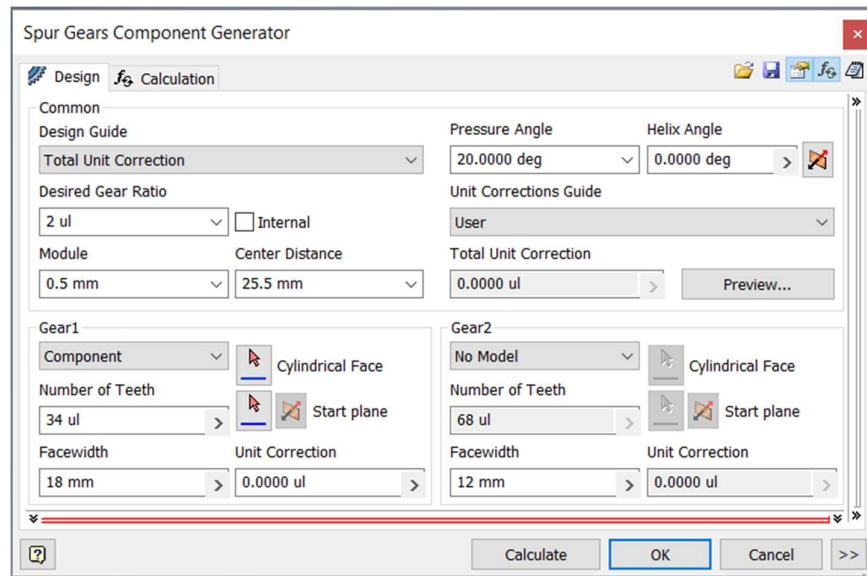


Figura 3: Design Accelerator. Fonte: Autor.

2.3. Eletrônica

Após a conclusão do projeto mecânico, foi possível definir quais os motores, fonte, microcontrolador e componentes eletrônicos seriam necessários para o funcionamento do manipulador robótico. Inicialmente foram definidos os motores, sendo levantada sua necessidade de tensão e corrente para posteriormente definir a fonte que seria utilizada. Com isso definido, foi escolhido um microcontrolador capaz de processar todas as informações necessárias e que tivesse um número grande de entradas e saídas, para possibilitar futuras melhorias no projeto.

Foram utilizados motores de passo com redução planetária de 5:1 (Fig. 4), obtendo boa precisão de posicionamento e o torque necessário. Os motores foram utilizados junto a drivers DRV8825, da *Pololu Electronics*, que por sua vez foram conectados num *CNC Shield* (PROTONEER, 2015) e alimentados por uma fonte 24V 10A.



Figura 4: Motores de passo com redução planetária. Fonte: Autor.

O microcontrolador escolhido foi uma placa de desenvolvimento da *STMicroelectronics*, que utiliza um microprocessador *ARM Cortex M4*, com clock de até 180MHz (STMICROELECTRONICS, 2017). Esta placa de desenvolvimento tem suporte aos *Shields* utilizados na plataforma Arduino, podendo então conectar o *CNC Shield* diretamente sobre o microcontrolador, eliminando a necessidade de confecção de uma placa de circuito impresso (Fig. 5).

Toda eletrônica do manipulador se comunica com o *software* educacional de controle desenvolvido utilizando comunicação serial no padrão *USB (Universal Serial Bus)*.

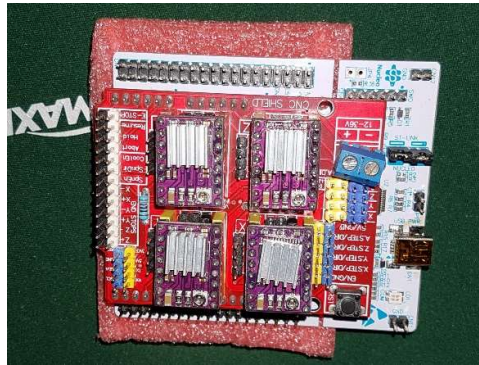


Figura 5: Eletrônica utilizada. Fonte: Autor.

2.4. Software

O *software* utilizado para controlar o manipulador, verificar variáveis e reforçar os conceitos teóricos e matemáticos utilizados na modelagem cinemática de robôs foi desenvolvido utilizando o *Visual Studio Community 2017*. Seu leiaute é dividido verticalmente em 3 seções (Fig. 6), uma para acompanhar a comunicação estabelecida entre o manipulador e o computador, uma para operação e acompanhamento das variáveis de posição e ângulo das juntas e a educacional, que mostra os conceitos e operações matemáticas que foram realizadas para que se chegue no resultado apresentado na segunda seção.

O objetivo é atualizar o *software* sempre que um novo tópico de robótica for implementado no manipulador (cinemática inversa, velocidade, força, etc), fazendo com que ele se torne uma ferramenta facilitadora no ensino da disciplina.

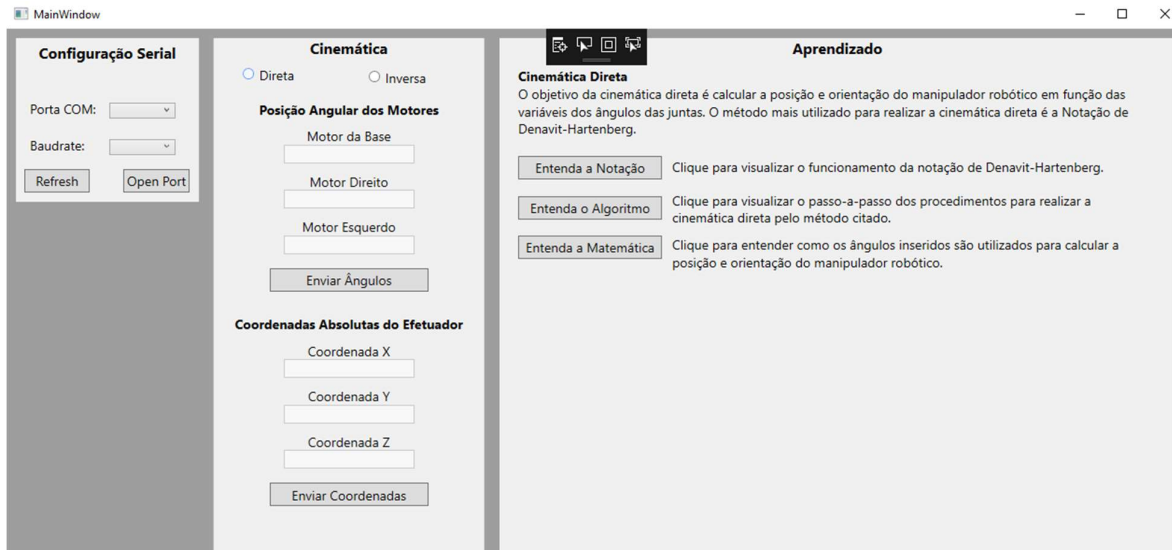


Figura 6: Software Pallet V2.0 Controller. Fonte: Autor.

2.5. Modelagem Cinemática

Após concluídas as etapas de projeto e simulação, foi iniciada então a modelagem da cinemática direta do manipulador robótico paletizador. Apesar do modelo desenvolvido apresentar dois mecanismos de cadeia cinemática fechada entrelaçados, a modelagem cinemática dele ocorre de forma análoga a um manipulador antropomórfico convencional, pois os comprimentos dos elos dos mecanismos foram dimensionados de forma que o movimento dos motores na base seja transferido de forma integral à junta correspondente (Fig. 7).

A Figura 8 mostra os sistemas de coordenadas referentes a cada uma das juntas e ao efetuador, determinada pela notação de *Denavit-Hartenberg* seguindo o algoritmo proposto por Cabral (2016).

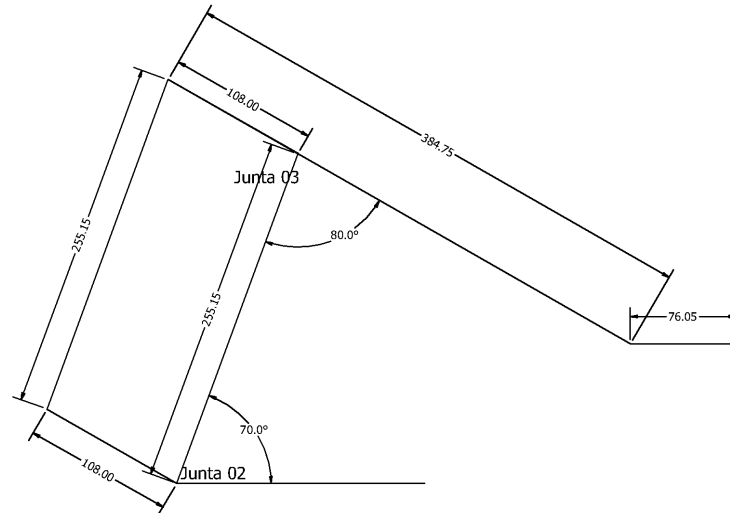


Figura 7: Grafo para análise do mecanismo. Fonte: Autor.

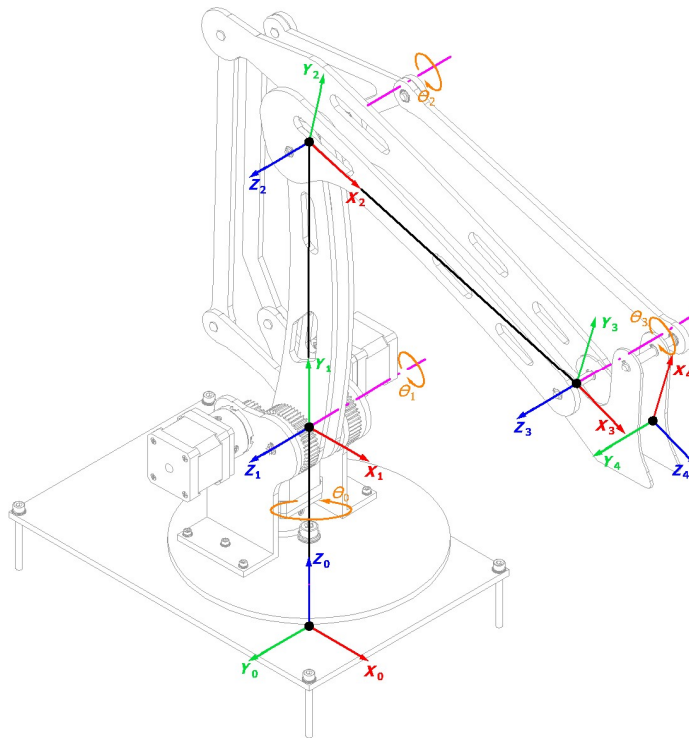


Figura 8: Estrutura e Sistemas de Coordenadas. Fonte: Autor.

Com os sistemas de coordenadas definidos, os dados obtidos (Tab. 1) são inseridos numa matriz de transformação, que nos retorna a posição do efetuador em resposta aos ângulos inseridos em cada uma das juntas do robô (SCIAVICCO; SICILIANO, 2000), finalizando assim o processo de cinemática direta.

Tabela 1. Parâmetros de Denavit-Hartenberg.

Elo	a_i (mm)	α_i	d_i (mm)	θ_i
1	0	90°	173	θ_1
2	255,15	0	0	θ_2
3	276,75	0	0	θ_3
4	76,05	0	0	θ_4

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estrutura mecânica projetada do manipulador se comportou de forma esperada nas simulações de carga e movimentação realizadas no *software* CAD. A utilização de motores de passo com redução planetária de 5:1, os pares de engrenagens acopladas no eixo de cada motor com redução de 2:1 e a utilização dos Drivers DRV8825 na configuração de 1/4 de passo, proporciona um deslocamento teórico de 0,217mm/passo no maior dos elos, o resultado nos elos menores é naturalmente melhor. Considerando as possíveis folgas presentes nas reduções dos motores e nos engrenamentos, espera-se conseguir atingir o objetivo de 0,5mm de precisão de posicionamento.

A utilização de boas práticas de programação possibilitou realizar a aceleração e desaceleração dos movimentos da primeira junta do manipulador sem prejudicar a precisão do posicionamento.

O software desenvolvido se comunicou de forma eficiente com o microcontrolador utilizado e conseguiu enviar e receber os comandos de forma contínua e sem erros. O módulo educacional foi concluído com os conteúdos embarcados no projeto até então, envolvendo os conceitos de transformação de coordenadas, notação de *Denavit-Hartenberg* e cinemática direta.

Por fim foi realizada uma breve avaliação dos custos envolvidos no projeto, onde a Tab. 2 apresenta com mais detalhes os custos com material para elaboração do projeto desenvolvido, o valor do serviço de usinagem das chapas de alumínio foi estimado em R\$500,00, porém não foi incluído na tabela abaixo pois foi executado com máquina e ferramentas próprias. A Tabela 3 traz uma breve comparação com um modelo já conhecido no mercado (Dobot 1.0), onde o fabricante alega ter uso educacional, porém seu produto é apenas para interação e controle do manipulador, sem reforçar qualquer conceito, seja teórico ou matemático.

Tabela 2. Custos envolvidos no projeto.

Item	Unidade	Valor (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Motor de Passo com redução planetária 5:1	unid.	82,50	3	247,50
Chapa de Alumínio 5mm	cm ²	0,078	3230	251,94
Placa de Desenvolvimento Nucleo f446re	unid.	76,80	1	76,80
CNC Shield	unid.	11,50	1	11,50
Driver DRV8825	kit com 4	23,10	1	23,10
Fonte 24v 10A	unid.	67,90	1	67,90
Tarugo de alumínio para fabricação das engrenagens	unid.	28,00	1	28,00
Itens de Fixação e Rolamentos	vb.	200,00	1	200,00
Total Geral (R\$)				906,74

Tabela 3. Comparação de custos com manipulador semelhante.

Manipulador Robótico	Custo (R\$)
Dobot 1.0	3.296,70
Manipulador Robótico Desenvolvido	906,74

4. CONCLUSÃO

O projeto do robô manipulador paletizador foi executado de maneira satisfatória e seu desenvolvimento vem tendo bom desempenho dentro dos objetivos propostos neste trabalho. A execução englobou as áreas de mecânica, eletrônica e software, de forma individual no início e posterior integração entre os módulos, se tornando um sistema mecatrônico.

A proposta de se construir um manipulador robótico para uso educacional com custo reduzido foi cumprida, porém não é possível fazer um comparativo mais completo devido à falta de produtos com este objetivo e características no mercado. Na pesquisa realizada, não foram encontradas soluções com abordagem semelhante para que haja uma comparação mais justa.

Além disto, o módulo educacional destaca-se como uma solução relevante para o ensino de robótica nos cursos de engenharia, diante das dificuldades enfrentadas pelos professores e alunos no processo de ensino-aprendizagem. Também foi possível aferir que são necessárias mais pesquisas sobre metodologia no ensino de robótica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL) pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho e ao Centro Universitário Tiradentes (UNIT-AL) pelo apoio à pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- ABB, 2015, Irb460. Disponível em: <<http://new.abb.com/products/robotics/pt/robos-industriais/irb-460>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Autodesk, 2017, Inventor Professional. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acesso em: 21 nov. 2017.
- Cabral, E.L.L., 2016, “Notas de Aula da Disciplina de Elementos de Robótica”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Esposito, J.M., 2017, “The state of robotics education: Proposed goals for positively transforming robotics education at postsecondary institutions”, IEEE Robotics & Automation Magazine, IEEE, Vol. 24, n. 3, pp. 157–164.
- Garcia, R.V., 2013, “Projeto de Robô Manipulador com Cinco Graus de Liberdade Controlados via Interface Gráfica e Comunicação Serial”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- PROTONEER, Arduino CNC Shield, 2015. Disponível em: <<https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- PROTONEER, 2015, Arduino CNC Shield. Disponível em: <<https://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Sciavicco, L., Siciliano, B., 2000, “Modelling and Control of Robot Manipulators”, Springer,
- STMicroelectronics, 2017, Nucleo-f446re. Disponível em: <<http://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f446re.html>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores Rodrigo Fontan Arruda Cedrim e José Moraes Gurgel Neto são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A ROBOT MANIPULATOR FOR EDUCATIONAL USE

Rodrigo Fontan Arruda Cedrim, rodrigocedrim@gmail.com¹

José Moraes Gurgel Neto, neto.gurgel.moraes@gmail.com²

¹Federal Institute of Alagoas, Maceió Campus, Av. do Ferroviário, N° 530 – Centro, Maceió-AL, 57020-600.

²Tiradentes University Center, Av. Comendador Gustavo Paiva, N° 5017 – Cruz das Almas, Maceió-AL, 57038-000.

Abstract. *The use of robots in engineering grows every year, this way the robotics subjects in undergraduate programs become increasingly important in all universities of the country. Although it is a common subject to different courses of engineering, the universities still have difficulty in acquire robotic manipulators due to its high cost, putting the academy at a lower level than the industries. This work aims to develop a robotic manipulator made of durable materials, low cost and made for teaching, using a software built to teach the user the theoretical and mathematical concepts of robotics, being relevant in the actual scenario for bringing an alternative in the teaching of robotics.*

Keywords: *Educational Robotics, Robotics Manipulators, Teaching.*