

DESENVOLVIMENTO DE UM BRAÇO ROBÓTICO CONTROLADO POR ARDUINO

DEVELOPMENT OF A DIDACTICAL ROBOTIC ARM CONTROLLED BY ARDUINO

Data de entrega dos originais à redação em: 06/09/2015
e recebido para diagramação em: 26/05/2016

Dr. Márcio Mendonça ¹

Dr. Wagner Endo ²

Me. Marco Antônio Ferreira Finocchio ³

Ivan Rossato Chrun ⁴

Eduardo Lino ⁵

Este artigo consiste na apresentação de uma ferramenta didática de baixo custo, com alguns detalhes construtivos, de um manipulador robótico com quatro graus de liberdade. O controlador foi desenvolvido através de uma linguagem de programação nativa da série Arduino, semelhante a linguagem clássica C++, podendo manuseá-lo de forma simples. Tem como finalidade sua aplicação em trabalhos iniciais para laboratórios de robótica.

Palavras-chave: Braço Robótico. Manipulador. Arduino Microcontrolador.

This paper presents a low-cost didactical tool, with some constructive details, of a robotic manipulator with four degrees of freedom. The controller is developed through an Arduino native programming language, similar to the classic C++, allowing a simple handling of it. It aims at an application for initial work in robotic laboratory classes.

Keywords: Robotic Arm. Manipulator. Arduino Microcontroller.

1 INTRODUÇÃO

À medida que os computadores digitais assumiram a função de controle na robótica, o uso de linguagem de programação textual tornou-se um método necessário (GROOVER, 2011). Neste contexto, a complexidade cada vez maior de desempenhos dos robôs para realizar decisões e/ou tomadas de decisões sem a presença de humanos, em lugares inóspitos, tem sido a motivação de trabalhos na área de robótica, em especial a robótica autônoma, como por exemplos, o trabalho de Maki e colaboradores (MAKI et al., 2010).

A presente pesquisa objetiva a construção de manipuladores programáveis, para a construção de um braço robótico didático. Através do controlador "open source" para inserir pulsos nos motores dos elos. O tipo de controle dessa versão inicial, por simplicidade e ser de baixo custo, é em malha aberta.

O braço robótico é um manipulador capaz de realizar inúmeras tarefas de repetição. Entretanto, apesar de ser inspirado em braços robóticos industriais a linguagem de programação é diretamente feita no microcontrolador (Arduino). Seu objetivo principal é determinar uma trajetória para mover objetos, neste trabalho, de duas formas. A primeira proposta é de por meio de ângulos pré-determinados pela programação dos movimentos (ROSÁRIO, 2010), de modo específico, a cinemática dos graus de liberdade é feita via servomotores. A segunda proposta é via dois manipuladores do tipo alavanca, nos quais a movimentação dos elos é feita diretamente pelo operador.

De um modo geral a idéia de construção desse manipulador pode auxiliar em conceitos importantes correlatos a área de robótica, como por exemplo: lições relativas



Vídeo disponível em pdf: < <http://ojs.ifsp.edu.br> >. Testado com a última versão do Acrobat Reader 9 e Flash Player instalado.

a cinemática, dinâmica, planejamento de movimento e questões de controle, que devem ser acompanhadas de práticas de laboratório; como sugere o trabalho similar de (INDRI; LAZZERO; BONA, 2013). Os fundamentos desse braço permitem futuramente evoluir para funções como na fabricação industrial inteligente ou autônoma, indústria de jogos e o mais importante, robôs aplicados a cirurgia assistida (YAQOUB et al., 2014).

Observa-se que não é escopo desse trabalho apresentar a construção do manipulador, e sim a ideia e a possibilidade de se desenvolver uma ferramenta de baixo custo, somente com alguns aspectos, hardware e software. Este trabalho está dividido da seguinte forma: a Seção 2 aborda brevemente alguns fundamentos de manipuladores robóticos empregados no desenvolvimento da pesquisa. A Seção 3 mostra alguns aspectos construtivos, já a Seção 4 mostra o manipulador montado. E, finalmente a Seção 5 conclui, apresenta futuros trabalhos e encerra o artigo.

1 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio. < mendonca@utfpr.edu.br >.

2 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio. < wendo@utfpr.edu.br >.

3 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio. < mafinocchio@utfpr.edu.br >.

4 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba. < ivanchrun@gmail.com >.

5 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio. < dulinocp@hotmail.com >.

2 FUNDAMENTOS DE MANIPULADORES NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O termo robô ("robot") veio da obra de ficção de Karel Capek em 1922, tendo origem na palavra tcheca robotnik, a idealização de uma interface "homem máquina" já era bem explícita nesta época, mesmo sendo uma ficção.

Por volta de 1940 o visionário Isaac Asimov em seu livro, "I, Robot" ("Eu, Robô"), apresentou as três leis da robótica, as quais ditam as regras básicas para que robôs e seres humanos convivam de forma pacífica.

2.1 Anatomias do Braço Robótico

A articulação de um braço robótico se baseia no movimento do corpo humano, cujo sistema de movimentação imita a morfologia de um braço humano em que cada articulação consiste em elos ligados ao outro (GROOVER, 2011). O número de elos determinará ao robô seus graus de liberdade, apresentados pela figura 1.

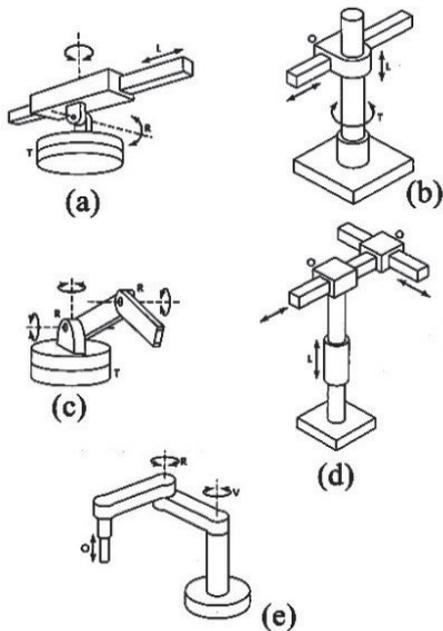


Figura 1 - Tipos de braços Robóticos

Existem basicamente, cinco configurações básicas de robôs:

- Polar - possui um braço deslizante em relação ao corpo, gira em torno de um eixo vertical, como também em horizontal;
- Cilíndrico - consiste em uma coluna vertical onde o braço move para cima e para baixo, direita e esquerda;
- Articulado - parecido com as movimentações de um braço humano, sua estrutura gira sobre uma base e suas articulações são comparadas ao ombro e cotovelo.
- Cartesiano - tem a direção da linha reta, é formado por três articuladores deslizante;
- Scara - similar ao robô articulado, exceto pelo ombro e o cotovelo que tem o movimento rotacional.

Dentre as formas de configuração, nesse projeto será utilizado o um braço robótico articulado, pois por ser um braço didático é interessante sua semelhança com um braço humano.

As peças abaixo compõem a parte estrutural do braço robótico. Construídas em alumínio e fixadas com parafusos.

O elo possui um formato de "U", o suporte apropriado para acomodar os Servomotores, os quais são fixados no final dos elos; há também vigas em "U" para a montagem da base.

A figura 2, caracteriza as peças:

- Suporte para o Servomotor;
- Elo;
- Viga da base.

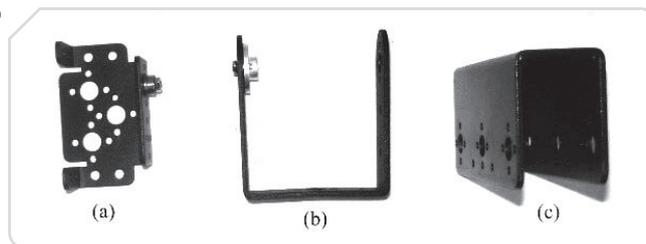


Figura 2 - Conjunto estrutural do robô

2.2 Atuadores

Os atuadores são responsáveis por mover as articulações do braço robótico. Existem três tipos de sistema de movimentação, de acordo com o projeto do braço robótico: elétrico, hidráulico e pneumático (GROOVER, 2011). Para o projeto utilizaremos o elétrico, através de Servomotores. De modo geral, os atuadores elétricos permitem mais velocidade e precisão. Dependendo do tipo de motor utilizado existem variações, entretanto não é escopo desse trabalho, e desse modo será abordado de forma introdutória.

O Servomotor utilizado nesse projeto é um atuador de posição controlada de pequeno porte, porém consegue ter força devidos aos sistemas de redução das suas engrenagens internas (DINIZ; MONTEIRO, 2001).

Esses motores trabalham com um range em graus, posicionando de acordo com pulso fornecido pela entrada. Em geral esses motores, como os motores utilizados nessa pesquisa, possuem 3 fios de entradas, onde o fio vermelho é alimentação de +5 volts, o fio preto que é GND (terra) e o laranja (em alguns Servomotores branco) é responsável pelo controle de posição através de um sinal de PWM (Modulação por pulso). A figura 3 apresenta os servomotores utilizado neste projeto.

Seu controle interno é um sistema em malha fechada, com um motor DC, um potenciômetro como sensor de posição, engrenagens (reductor) e uma placa contendo um driver em ponte H que chaveia e posiciona o motor.

No projeto, os servomotores são responsáveis por mover as articulações do braço e o movimento da pinça de abre e fecha em um ângulo específico, de acordo com a restrição física de abertura da pinça.



Figura 3 - Servomotores

2.3 Efetuadores

Os braços robóticos são desenvolvidos para fazer uma determinada função, para isto, na sua extremidade terminal é fixado a um manipulador mecânico, sendo este componente conhecido como efetuator.

Os efetutores são divididos em dois tipos: ferramentas especiais e garras mecânicas. Cada tipo é utilizado especificamente para uma ação ou trabalho de que foi projetado. (ROSÁRIO, 2010)

Neste projeto foi utilizada a garra de dois dedos, como pode ser visualizada na figura 4, com movimento rotativo. Este modelo possui um range limitado na abertura entre os dedos.

A garra em formato de pinça serve como ferramenta de pegar e segurar objetos, possuindo movimento de abrir e fechar. Essa ferramenta atua com um range de abertura equivalente a 1/3 do giro total do servo motor, fazendo-se necessário definir um range de funcionamento do servomotor devido a esta limitação através da linguagem de programação, ou seja, calcular uma duração de pulso menor que a abertura total dos dedos da garra, o limite físico imposto pelas engrenagens e a capacidade de abertura máxima da mesma. Além das restrições citadas, não existe nenhuma outra limitação mecânica da pinça, conforme mostra a figura 4.



Figura 4 - Vista lateral da garra

2.4 Unidade de Controle

Atualmente, as unidades de controle são baseadas em microprocessadores utilizados como hardware de um sistema de controle, que através de uma linguagem

de programação faz com que o braço robótico realize de maneira coordenada os movimentos desejados. (GROOVER, 2011).

O controle pode ser executado em dois tipos: malha fechada e malha aberta.

O sistema de malha aberta não possui sistema realimentação, ou seja, durante o processo de funcionamento dos atuadores não há amostragem de resultados, devido à falta de sensores em comunicação à unidade de controle.

O sistema de malha fechada possui realimentação da saída do atuador, oriundo de um sensor que envia informação à unidade de controle, onde é comparada e reenviada ao atuador de forma corrida.

Para o projeto será utilizado o controlador Arduino. O Controlador Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, possuindo a parte hardware e software. Surgiu em 2005 na Itália pelo professor Massimo Banzi, que queria ensinar eletrônica e linguagem de programação aos seus alunos. (MCROBERTS, 2011).

Atualmente é utilizado em projetos pedagógicos e em hobbies, como por exemplo aeromodelismo, entre outros.

As vantagens de utilizar o Arduino é o seu baixo custo, *software* para várias plataformas operacionais de computador, tais como Windows, Linux, entre outros, linguagem amigável e flexível; e seu software é *open source*. A versão do Arduino utilizado nesse projeto foi o Mega 2560, entretanto, devido ao número de entradas e saídas, versões mais simplificadas, como o Arduino Uno poderiam ser empregadas.

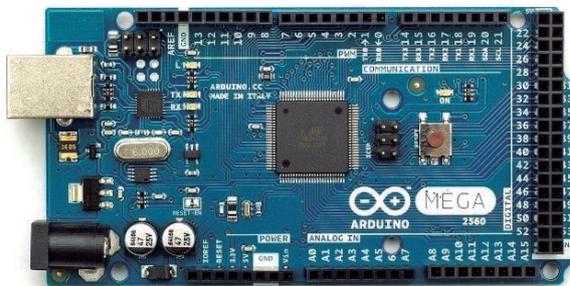


Figura 5 - Arduino Mega 2560

3 ASPECTOS CONSTRUTIVOS PARA A MONTAGEM DO MANIPULADOR ROBÓTICO.

3.1 Montagem Elétrica

A montagem do manipulador é iniciado pela base, na qual um suporte de Servomotor é fixado para acomodação do mesmo. Fixou-se mais três vigas entre si, formando um quadrado de apoio para as próximas peças. A tampa é feita através de um pedaço de plástico cortado e furado, para a saída e fixação do eixo do Servomotor nas vigas através de parafusos. Utilizou-se também um plástico em formato de cantoneira que foi fixado na parte inferior da viga com o objetivo de parafusar na plataforma de madeira. A figura 6 apresenta a base montada.

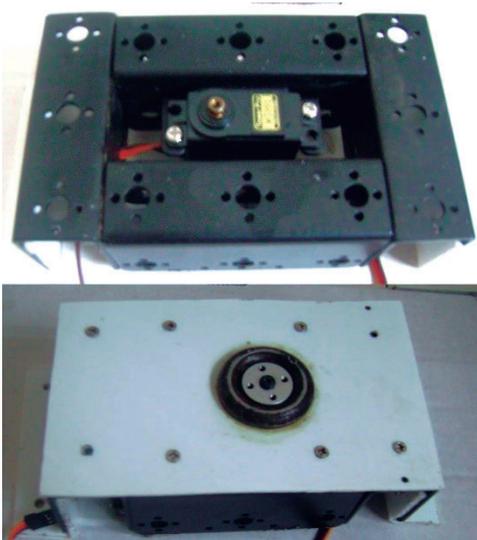


Figura 6 - Base do braço robótico

Com a finalização da base o próximo passo é a montagem dos elos e a fixação de mais um Servomotor através do seu suporte no rolamento da base, no qual são coladas duas hastes em oposição uma a outra, formando-se um "H" (Figura 7).

Com a instalação do primeiro elo, o braço robótico adquiriu a capacidade de movimento rotativo da base, o primeiro grau de liberdade.



Figura 7 - Instalação do primeiro elo

Na figura 8 o braço robótico já possui seus primeiros 3 graus de liberdade, como (movimento giro da base, o antebraço e o cotovelo), entretanto ainda falta o último grau de liberdade, a pinça ou ferramenta manipuladora que executa o movimento de abertura e fechamento para segurar e soltar objetos.

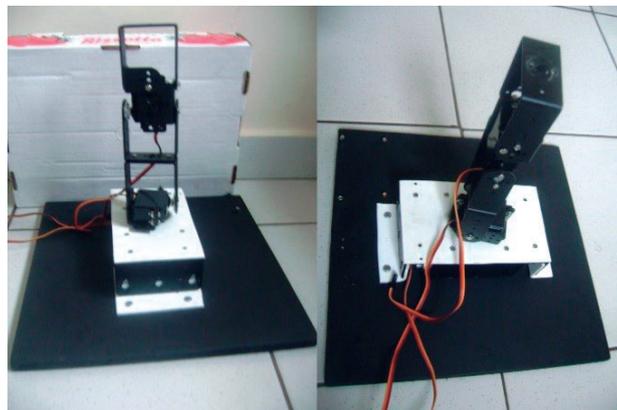


Figura 8 - Instalação do segundo elo

Já a figura 9 mostra o braço após sua montagem, com os 4 graus de liberdade detalhados, inclusa à ferramenta manipuladora. Na garra, como já mencionado possui uma restrição de range de operação via software, a instalação do último Servomotor para movimentar os dedos é feita, sendo está o passo final de construção do manipulador. De forma resumida o manipulador possui um servo para cada grau de liberdade, totalizando 4.

Para melhor compreensão de cada elo e articulação nomeamos algumas partes como as do braço humano, facilitando para linguagem de programação e até mesmo a própria estrutura (Figura 9).

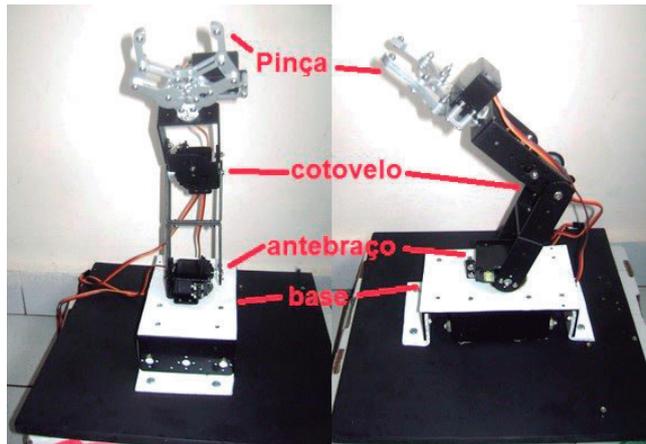


Figura 9 - Característica mecânica Braço robótico

3.2 Montagem Elétrica

Com o simulador (software Fritzing) plotou-se o esquema elétrico do braço robótico a fim de melhorar a visualização, na figura 10 é apresentada a ligação do comando dos Servomotores (fio amarelo), ligado aos pinos de PWM do Arduino. A alimentação dos Servomotores (fio preto 0 volts e fio vermelho +5 volts) vem de uma fonte externa, apesar do Arduino fornecer a tensão, este não suporta a corrente de dois ou mais servomotores ligados simultaneamente.

3.3 Aspectos da Programação

Os códigos ou sketches utilizados foram desenvolvidos originalmente na plataforma Arduino 1.6.5 na linguagem de programação própria do microcontrolador, semelhante a linguagem C++. A princípio duas rotinas foram desenvolvidas.

A rotina principal que o braço robótico determina toda a trajetória e movimentação do braço, a qual é executada de forma serial. Ou seja, cada servo tem seus movimentos determinados pelos pulsos na rotina do código, como mostra a introdução do mesmo na figura 11.

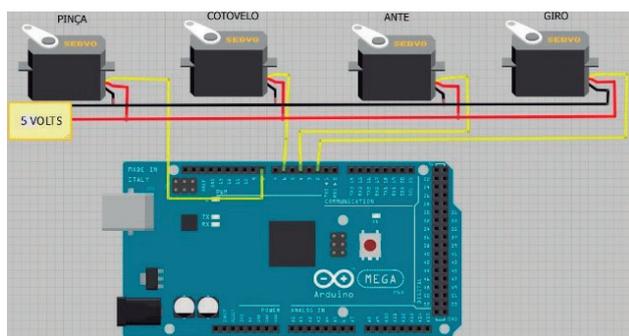


Figura 10 - Diagrama de ligação Arduino-Servomotor via simulador

```
liga_rotina | Arduino 1.6.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

liga_rotina
#include <Servo.h>

Servo base;
Servo ante;
Servo cut;
Servo pinca;
int x=0;
int led=13;
int bot=10;
int var=0;
int var2=0;
int estado=0;

void setup()
{
  pinMode(led,OUTPUT); //declara o Led como saída
  pinMode(bot,INPUT); //declara o botão como entrada
  base.attach(2); //servo da base na porta 2 do arduino
  ante.attach(4); //servo antebraço na porta 4 do arduino
  cut.attach(6); //servo do cotuvelo na porta 6 do arduino
  pinca.attach(8); //servo da pinca na porta 8 do arduino
}

void loop()
{
  // ##### inicializacao da rotina #####
}
```

Figura 11 - Parte inicial do código da rotina principal

```
controle_manual | Arduino 1.6.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

controle_manual
#include <Servo.h> //biblioteca do servo motor

const int ft1 = 1; // identifica o pino frente atrás do joystick 1
const int ed1 = 2; // identifica o pino esquerda direita do joystick1
const int ed2 = 3; // identifica o pino esquerda direita do joystick2
const int ft2 = 4; // identifica o pino frente atrás do joystick 2
Servo base; // variavel que identifica o servo
Servo ante; // variavel que identifica o servo
Servo cut; // variavel que identifica o servo
Servo pinca; // variavel que identifica o servo

int angulo1 = 90; // variavel que guarda a posição do servo base
int angulo2 = 90; // variavel que guarda a posição do servo ante
int angulo3 = 90; // variavel que guarda a posição do servo cut
int angulo4 = 90; // variavel que guarda a posição do servo pinca

void setup() {
  base.attach(2); // conecta o motor ao pino de controle
  ante.attach(4); // conecta o motor ao pino de controle
  cut.attach(6); // conecta o motor ao pino de controle
  pinca.attach(8); // conecta o motor ao pino de controle
}
}
```

Figura 12 - Parte inicial do código do controle manual

Observa-se que: caso necessite alguma modificação na trajetória do braço um novo código deve ser gerado. Neste contexto, o planejamento das trajetórias programadas as durações dos pulsos. As mesmas foram cuidadosamente analisadas devido a necessidade de aceleração e desaceleração durante a trajetória do braço (NIKU, 2013).

Já o segundo modo de funcionamento, o código recebe os comandos manuais via alavancas (*joysticks*) e os converte em sequencias de pulsos aos servo-motores do braço, como mostra a introdução do código na figura 12. Em ambos os códigos a biblioteca servo foi inclusa.

4 RESULTADOS

Figura 13 mostra o resultado após a montagem mecânica e elétrica do braço robótico e os componentes instalados.

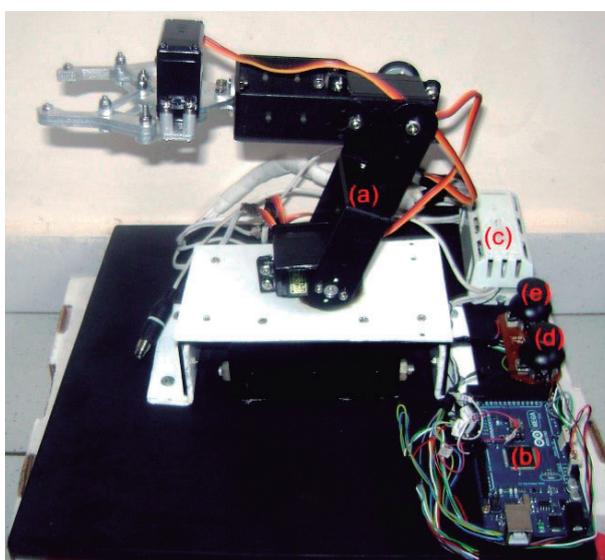


Figura 13 - Braço robótico completo e seus componentes: a) Braço mecânico; b) Arduino Mega 2560; c) Caixa de acoplamento da fiação; d) Alavanca 1 Interface de manual (Joystick); e) Alavanca 2 Interface de manual (Joystick)

O manipulador, em sua versão inicial, pode operar de dois modos, sendo o primeiro o modo programado, em que sua trajetória é programada diretamente no código do Arduino.

Já o segundo modo de atuação do braço robótico, duas alavancas de joystick são usadas para manipular as juntas e a base do braço robótico (figura 14).

Resultados iniciais foram obtidos nos dois modos, como por exemplo, pegar pequenos objetos na região de ação do mesmo, como mostram os ângulos das trajetórias nas tabelas 1, 2 e 3 desde o ponto inicial até pegar um objeto e colocá-lo em outra posição, uma manobra frequentemente utilizada na indústria, como por exemplo, em robôs classificadores. Observa-se que no modo manual as trajetórias são geradas pelo usuário sem nenhum planejamento. Desse modo, não foram coletados dados de operação.



Figura 14 - Comandos dobra robótico por meio das alavancas

Os dados das tabelas a seguir foram feitos no modo programado.

A tabela 1 mostra os ângulos dos movimentos do ponto inicial até o ponto final, ou seja, ao objeto:

Já a tabela 2 mostra os ângulos aplicados para a trajetória de movimentação do objeto, que é feita após a pinça pegá-lo, e leva-lo a outro local determinado.

Na tabela 3 é demonstrado o trajeto de retorno do braço robótico para o ponto inicial, fechando assim o ciclo de ações e trajetórias.

Tabela 1 - Trajetória inicial, ação inicial

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
0%	90°	90	90°	90°
3.125%	90.94°	88.4	87.81°	-
6.25%	91.88°	86.88	85.63°	-
12.5%	93.75°	83.75	83.75°	-
25%	97.5°	77.5	72.5°	-
50%	105°	65	55°	-
75%	112.5°	52.5°	37.5°	-
87.50%	116.25°	46.25°	28.75°	-
93.75%	118.12°	43.1°	24.38°	-
96.875%	119.06°	41.6°	22.19°	-
100%	120°	40°	20°	43°

Tabela 2 - Trajetória de deslocamento do objeto, ação 2

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
0%	120°	40°	20°	43°
3.125%	118.12°	40.62°	21.56°	-
6.25%	116.25°	41.25°	23.12°	-
12.5%	112.5°	42.5°	26.25°	-
25%	105°	45°	31.5°	-
0%	90°	50°	45°	-
75%	75°	45°	31.5°	-
87.5%	67.5°	42.5°	26.25°	-
93.75%	63.75°	41.25°	23.12°	-
96.875%	61.87°	40.62°	21.56°	-
100%	60°	40°	20°	90°

A estimativa dos ângulos de trajetória foi cuidadosamente observada de acordo com o comportamento dinâmico do motor com acelerações e desacelerações suaves, com velocidade aproximadamente constante entre as mesmas. Nos primeiros testes ocorreu a queima de dois

motores devido alto aquecimento provenientes de desacelerações bruscas.

Uma proposta de futuros trabalhos de forma detalhada, em fase de desenvolvimento, é à otimização da trajetória através de sistemas computacionais inteligentes, em especial com Mapas Cognitivos *Fuzzy*, do inglês *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM), embarcados na plataforma Arduino.

Tabela 3 - Retorno do braço a base, posição inicial (90° com a base)

Referência	Base	Antebraço	Cotovelo	Pinça
0%	60°	40°	20°	90°
3.125%	60.93°	41.6°	22.19°	-
6.25%	61.87°	43.1°	24.38°	-
12.5%	63.75°	46.25°	28.75°	-
25%	67.5°	52.5°	37.5°	-
50%	75°	65°	55°	-
75%	82.5°	77.5°	72.5°	-
87.50%	86.25°	83.75°	83.75°	-
93.75%	88.13°	86.88°	85.63°	-
96.875%	89.08°	88.4°	87.81°	-
100%	90°	90°	90°	90°

Nesse contexto, pode-se citar o trabalho de Matsumoto e colaboradores (MATSUMOTO, et al., 2013), que utilizaram um controle de um misturador industrial utilizando um Arduino. E também, trabalhos que utilizam sistemas computacionais inteligentes, como por exemplo, o trabalho de Asuni e colaboradores (ASUNI, et al., 2003) que utilizou Redes Neurais Artificiais para controlar manipuladores industriais. Outro exemplo, pode-se citar o trabalho de (SHHEIBIA, 2001) que se utiliza de combinação de técnicas computacionais inteligentes, Agentes Inteligentes e Lógica *Fuzzy*, aplicados a um manipulador robótico para jogo de xadrez.

5 CONCLUSÃO

O braço manipulador robótico desenvolvido satisfaz aos objetivos iniciais do projeto, a construção de um robô didático de baixo custo financeiro e computacional.

Os resultados apresentados ainda são preliminares, porém pode-se controlar com um controlador *Open Source*, programado ou manualmente, por duas alavancas, utilizando-se uma linguagem baseada na linguagem nativa dos microcontroladores da série Arduino, semelhante (C++).

Espera-se que esta ferramenta de baixo custo e construção acessíveis possa contribuir para a difusão do conhecimento em disciplinas introdutórias de robótica.

Futuros trabalhos endereçam desenvolver uma interface HM (homem máquina), para facilitar a construção de trajetória do manipulador por meio de uma gráfico e comandos básicos por meio de um diagrama de blocos para aulas introdutórias de robótica dos conceitos de trajetórias de braços de robôs.

E finalmente, pretende-se utilizar uma câmera para reconhecimento da garra e de objetos no espaço. Com a execução dessa capacidade de reconhecimento, pretende-se desenvolver um controle autônomo, com a inclusão de uma técnica computacional inteligente, como por exemplo, Redes Neurais Artificiais.

REFERÊNCIAS

- ASUNI, G.; Leoni, F.; Guglielmelli, E.; Starita, A.; Dario, P., **A neuro-controller for robotic manipulators based on biologically-inspired visuo-motor coordination neural models, in Neural Engineering**. 2003. Conference Proceedings. First International IEEE EMBS Conference on, vol., n.º., pp.450-453, 20-22 March 2003.
- DINIZ, Gabriel; Monteiro, Nuno. **Controlo de um servo-motor**. 2001.5f. Artigo académico- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), Vila Real.
- GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistema de manufatura**. 3º ed. São Paulo: PEARSON, 2011.
- INDRI, M.; Lazzero, I.; Bona, B., **Robotics education: Proposals for laboratory practices about manipulators**, in Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2013 IEEE 18th Conference on, vol., no., pp.1-8, 10-13 Sept. 2013
- MAKI, T.; Kume, A.; Ura, T.; Sakamaki, T. And Suzuki, H., **Autonomous detection and volume determination of tubeworm colonies from underwater robotic surveys**, OCEANS 2010. IEEE - Sydney, pp.1,8, 24-27 May. 2010.
- MATSUMOTO, D. E.; Mendonça, M.; Arruda, L. V. R. And Papageorgiou, E. **Embedded Dynamic fuzzy cognitive maps applied to the control of industrial mixer**. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente – XI SBAI. 2013.
- MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: NOVATEC EDITORA, 2011.
- ROSÁRIO, João Mauricio. **Robótica industrial I: Modelagem, utilização e progamação**. São Paulo: BARAÚNA, 2010.
- SHHEIBIA, Tarig Ali Abdurrahman El. **Controle de um Braço Robótico Utilizando uma Abordagem de Agentes Inteligentes**. 2001. 84f. Tese de mestrado - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- YAQOOB, M.; Qaisrani, S.R.; Waqas, M.; Ayaz, Y.; Iqbal, S.; Nisar, S., **Control of robotic arm manipulator with haptic feedback using programmable system on chip**, Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE), 2014 International Conference on, vol., no., pp.300,305, 22-24 April 2014.