

## MANIPULADOR ROBÓTICO AUTÔNOMO EMPREGANDO SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTELIGENTES

### Autonomous Robotic Manipulator applying Intelligent computational systems

#### RESUMO

**Mateus Cabral dos Santos**  
[mateuscabralmc@hotmail.com](mailto:mateuscabralmc@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**Marcio Mendonça**  
[mendonca@utfpr.edu.br](mailto:mendonca@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um braço manipulador autônomo aplicando visão computacional e redes neurais artificiais, com fundamentos da robótica, como cinemática direta e inversa, planejamento de trajetória e sistemas microcontrolados. Os subsistemas desenvolvidos neste trabalho serão integrados. Assim, deverá ter-se um sistema capaz de localizar um objeto no espaço tridimensional e move-lo para um ponto pré-selecionado. Neste contexto, utilizam-se redes neurais artificiais para calibração de câmera e solução da cinemática inversa e método de Denavit-Hartenberg para a solução da cinemática direta. O software MatLab® e suas extensões serão utilizados para desenvolver os subsistemas citados. Os resultados apresentados são simulações e testes dos subsistemas individuais e comprovam a viabilidade do sistema em desenvolvimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Robótica, Rede Neural Artificial, Visão Computacional.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

THIS PAPER PROPOSES THE DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS MANIPULATOR ARM APPLYING COMPUTATIONAL VISION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, WITH NOTIONS OF ROBOTICS SUCH AS DIRECT AND INVERSE KINEMATICS, PATH PLANNING AND MICROCONTROLLER SYSTEMS. THE SUBSYSTEMS DEVELOPED IN THIS PAPER WILL BE INTEGRATED. THUS, IT MUST HAVE A SYSTEM CAPABLE OF LOCATING AN OBJECT IN THREE-DIMENSIONAL SPACE AND MOVING TO A PRE-SELECTED POINT. IN THIS CONTEXT, ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS ARE USED FOR CAMERA CALIBRATION AND INVERSE KINEMATICS SOLUTION AND DENAVIT-HARTENBERG METHOD FOR THE SOLUTION OF DIRECT KINEMATICS. MATLAB® SOFTWARE WAS THEN USED FOR THE DEVELOPMENT OF SUBSYSTEMS MENTIONED. THE RESULTS PRESENTED ARE SIMULATIONS AND TESTS OF THE INDIVIDUAL SUBSYSTEMS AND PROVE THE VIABILITY OF THE SYSTEM UNDER DEVELOPMENT.

**KEYWORDS:** Robotics. Artificial Neural Networks. Computer Vision .

## INTRODUÇÃO

A robótica é uma das áreas de pesquisas que mais cresce, e envolve assuntos multidisciplinares das engenharias mecânica, elétrica, eletrônica, ciência da computação, biologia e outras áreas (NIKU, 2011). Após os seus primeiros passos na década de 1960, a robótica chamou a atenção do setor industrial, com a promessa de aumentar a produtividade e diminuir os custos (ROSARIO, 2005).

Para a montagem de um manipulador autônomo, inicialmente é necessário o reconhecimento de um objeto por meio de visão computacional (calibração de câmera e reconhecimento de um objeto), localizando um alvo no espaço tridimensional. Posteriormente é necessário a solução da cinemática inversa, um vetor de ângulos para que o braço atinja uma determinada posição no espaço. A solução da cinemática inversa não é trivial devido ao clássico problema das múltiplas soluções, no qual conforme o aumento do número de graus de liberdade, mais soluções podem ser aplicadas para um mesmo objetivo (NUNES, 2016).

Para a solução do problema da cinemática inversa, algumas considerações devem ser consideradas, por exemplo, a posição de descanso do braço manipulador é fixa, ou seja, inicia a trajetória sempre do mesmo ponto inicial. Desse modo, é preciso reconhecer a posição do alvo no espaço para determinar apenas a posição final da trajetória.

Outra etapa fundamental do desenvolvimento é o planejamento da trajetória, de outro modo, determinar características cinemáticas, como aceleração e velocidade de cruzeiro do manipulador (MENDONÇA et al., 2018). O problema do planejamento de trajetória pode ser solucionado através diferentes técnicas, como aplicação de rampas e utilização de polinômios.

A etapa final do desenvolvimento do sistema é o acionamento dos atuadores, conforme o planejamento de trajetória realizado anteriormente. Tal acionamento depende dos aspectos construtivos do manipulador, como tipo dos atuadores e o controlador utilizado.

## MATERIAIS E METODOS

O trabalho desenvolvido se divide em cinco etapas principais: Captação da Imagem, Processamento de Imagem, Solução da Cinemática Inversa, Cálculo da Trajetória e Execução de Movimentos.

Na etapa de Captação de Imagem é utilizado um sistema de visão computacional estéreo utilizando duas câmeras Logitech® C270. As câmeras capturam uma imagem da área de atuação do robô e as envia para a segunda etapa, processamento de Imagem.

Para realizar a captura das imagens foi utilizado a *toolbox Image Acquisition*, disponível para o software Matlab®. Utilizando o par de Imagem obtido pelas câmeras, as imagens são utilizadas para identificar o objeto de trabalho.

O processamento de imagens é dividido em três etapas sequenciais. Em um primeiro momento, as imagens de entrada são pré-processadas, onde são removidas as distorções causadas pela lente das câmeras.

A segunda etapa do processo é a identificação do objeto de trabalho. Nesse trabalho o objeto utilizado foi um disco com raio de 3 centímetros. Os discos são identificados utilizando um algoritmo da Transformada Circular de Hough, utilizado para localizar formas geométricas em imagens (LESTRIANDOKO *et al.*, 2016). O algoritmo retorna um par de coordenadas do objeto em pixels (U, V, W). A terceira etapa do processamento de imagem realiza a transformação das coordenadas de câmera (U, V, W) em coordenadas globais (X, Y, Z), utilizada no subsistema seguinte.

A solução da cinemática inversa e o problema das múltiplas soluções são desafios clássicos da robótica, e podem ser solucionados de diversas formas. Nesse trabalho foi utilizada uma Rede Neural Artificial (RNA) que recebe as coordenadas globais do objeto como entrada e retorna os ângulos de controle finais dos atuadores. Neste trabalho foi desenvolvida uma Rede Neural Artificial do tipo Perceptron Multicamadas.

Outro problema constante na robótica é o planejamento da trajetória, necessário para garantir uma maior estabilidade no movimento e prevenir desgastes desnecessários nos atuadores. Percurso é uma construção espacial, uma localidade no espaço que conduz de uma posição inicial para uma posição final. A trajetória é um percurso com limitações temporais (CORKE, 2018). Para o planejamento da trajetória foi adotado um polinômio de quinta ordem que descreve o movimento do atuador em um determinado período de tempo. O polinômio da equação (1) foi retirado do livro Introdução à Robótica, de Saeed Niku (2001).

$$\theta(t) = c_0 + c_1t + c_2t^2 + c_3t^3 + c_4t^4 + c_5t^5 \quad (1)$$

Uma vez realizado o planejamento de trajetória, os parâmetros são enviados ao microcontrolador Arduino Uno, responsável pelo acionamento dos atuadores. A Figura 1 representa o manipulador utilizado, que possui 3 Graus de Liberdade e utiliza atuadores do tipo servo-motores, acionados por pulsos PWM.

Figura 1 – Manipulador Robótico



Fonte: Própria Autoria.

## RESULTADOS

Os resultados apresentados nessa seção foram obtidos através de simulações e testes dos subsistemas individuais. Em uma próxima etapa do trabalho, os subsistemas serão integrados.

### *Captura de Imagens*

Na Figura 2 é possível ver um exemplo de par de imagens obtidas pelo conjunto de câmeras montado para o sistema de Visão Computacional.

Figura 2 – Imagens de Entrada

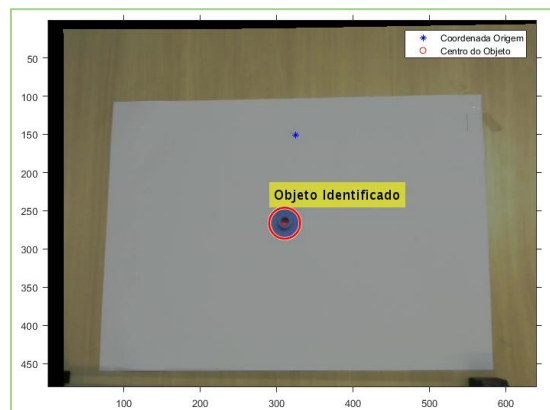


Fonte: Própria Autoria.

### *Processamento de Imagens*

Após a aplicação dos processos de pré-processamento, o objeto circular é localizado. A Figura 3 exibe o resultado final da identificação do objeto de trabalho, destacando a posição do objeto.

Figura 3 – Identificação do Objeto



Fonte: Própria Autoria.

### *Solução da cinemática Inversa*

Utilizando um processo de validação cruzada, foi encontrado a melhor topologia para a rede desenvolvida. A Tabela 1 exibe uma comparação entre algumas das topologias testadas.

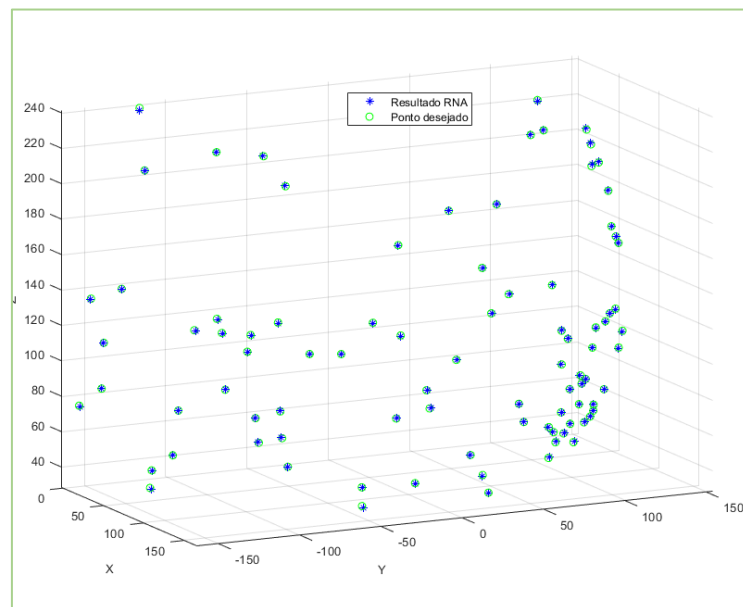
Tabela 1 – Topologias de Rede

Topologia	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Épocas	Taxa Aprendizado	Performance
1	12	12	12	191	0,01	9,61E-06
2	10	10	10	213	0,01	9,93E-06
3	15	15	15	118	0,01	9,95E-06
4	20	20	20	72	0,01	9,82E-06
5	20	15	10	161	0,01	9,68E-06
6	10	15	20	213	0,01	9,94E-06
7	5	5	5	3000	0,01	1,90E-04
8	10	13	15	159	0,01	9,47E-06
9	15	13	10	191	0,01	9,96E-06
10	13	14	15	117	0,01	9,90E-06

Fonte: Própria Autoria.

Após o treinamento, foi realizado um teste de validação. A Figura 4 mostra um comparativo entre os pontos desejados e o obtido.

Figura 4 – Validação da Rede

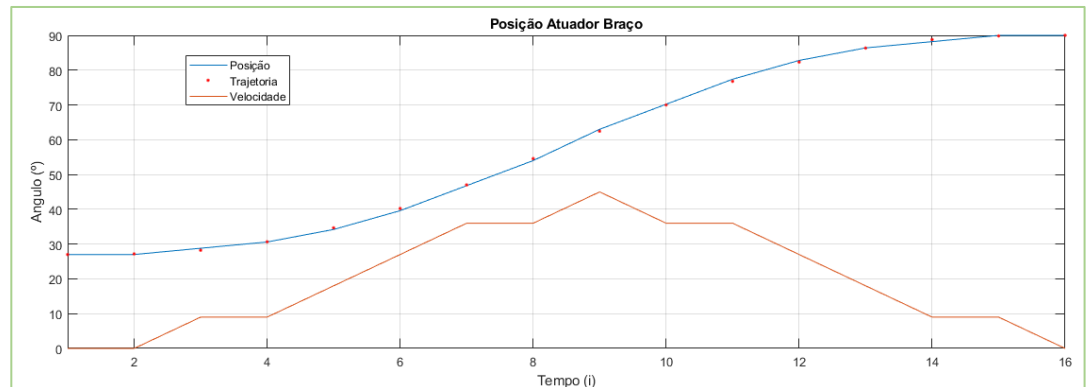


Fonte: Autoria própria.

### Acionamento dos Atuadores

A comunicação entre o software Matlab® e o microcontrolador Arduino Uno é realizada via comunicação serial. Os atuadores do robô são acionados seguindo o planejamento de trajetória realizado na etapa anterior. Devido as características construtivas dos servo-motores, para realizar o controle de velocidade do movimento é necessário discretizar a trajetória calculada. A Figura 5 exibe o movimento de um atuador e compara com a posição desejada. Também é exibido a velocidade realizada pelo atuador, obtida através da relação entre a posição do atuador e o instante do movimento.

Figura 5 – Gráfico de Movimento do Atuador



Fonte: Própria Autoria.

## CONCLUSÃO

Esse artigo apresentou resultados obtidos a partir de testes e simulações individuais. Os dados obtidos confirmam a viabilidade do sistema em desenvolvimento.

Em uma próxima etapa, será realizado a integração dos subsistemas desenvolvidos, um processo de calibração do sistema final e melhorias nas etapas de processamento de imagem e acionamento dos atuadores.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Laboratório de Robótica e Automação Avançada por apoiar e financiar esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

CORKE, P. Robótica, **Visão e Controle: Algoritmos Fundamentais no MATLAB**, Springer-Verlag, 2018

Mendonça, M; Souza, L.B.; Soares, P.P.; Barros, R.V.D.; Santos, M.C.; **Visão Computacional e Redes Neurais Artificiais aplicadas à solução da cinemática inversa de um manipulador robótico**. In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2017, Ponta Grossa. Artigos Anais CONBREP 2017, 2017. p. 0-6

NIKU, S. B. Introdução à robótica: análise, controle, aplicações. 2ª edição, LTC, 2013.

LESTRIANDOKO, N. H.; SADIKIN, R.; Circle Detection Based on Hough Transform and Mexican Hat Filter. In: International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications, 2016.