

# **BRAÇO ROBÓTICO MANIPULADO ATRAVÉS DE MOVIMENTOS REAIS DE UM BRAÇO HUMANO**

*Danillo Henrique Miguel Oliveira<sup>1</sup>*

*Rafael de Oliveira Silva<sup>2</sup>*

## **RESUMO**

O presente trabalho é o desenvolvimento de um sistema de controle ao qual usará movimentos reais de um braço humano para manipular um braço robótico utilizando um micro controlador ao qual recebe dados dos sensores na entrada tendo como saída o controle dos servos motores que irá movimentar as articulações e juntas do braço. Foram usados dois sensores flexíveis para controlar 2 graus de liberdade e sensores inerciais (giroscópio e acelerômetro), que irão controlar os 2 graus de liberdade restantes. Foi aplicado um filtro complementar no tratamento dos dados fornecidos pelos sensores inerciais no intuito de amenizar alguns efeitos indesejados que causariam instabilidade no controle do braço, o resultado do controle foi bastante satisfatório. A estrutura do braço robótico é de MDF sendo leve e de grande qualidade possui 4 graus de liberdade. Este trabalho teve como objetivo de orientar e auxiliar alunos das diversas áreas da engenharia que tem abordagens na área da mecatrônica e automação industrial, visto que na atualidade a robótica vem sendo aplicada em diversas áreas.

Palavras-chaves: Servo motor. Acelerômetro. Giroscópio. Micro controlador. Braço robótico.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Rio verde, Goiás.

<sup>2</sup> Orientador, Especialista em Instrumentação e controle de Processos Industriais.

# 1 INTRODUÇÃO

O termo robô pela Associação Internacional de Robótica (RIA) possui uma definição aceita, abrangendo as características de um braço humanoide que é um manipulador reprogramável multifuncional, sendo capaz de movimentar peças, materiais, ferramentas e dispositivos em diversas direções. Além disso, apresenta estrutura física com geometria variada, corpo rígido e articulações entre os mesmos com a finalidade de sustentar, direcionar e orientar a ferramenta terminal. É através de sua aplicabilidade ou atividade desenvolvida que o robô irá possuir uma especialidade na função em que vai assumir, no ambiente que será inserido (QUARESMA, 2012). Portanto, a definição mais simples de um robô, é um tipo de manipulador, que possui várias funções propositais, que poderá ser controlada manualmente através de controles e sensores inercias ou automáticos (FERREIRA e ALVES, 2013).

O robô é constituído de um corpo rígido formado por juntas rotativas e ou prismáticas proporcionando uma certa cadeia cinemática, possuindo vários graus de liberdade dependendo da necessidade, que lhe for atribuída. Uma extremidade do braço robótico encontra-se fixado em uma base e a outra extremidade possui um efetuador, que se movimenta livremente pelo espaço onde foi locado para efetuar a tarefa, que lhe foi atribuída (QUARESMA, 2012).

Nesses últimos anos, grandes empresas e pesquisadores vêm criando e inovando máquinas e equipamentos, que possuem o objetivo de “substituir a mão de obra humana direta” em algumas atividades, visando o aumento na eficiência, qualidade da produção e economia nos processos (COSTA, GADE, *et al.*, 2014).

Um dos manipuladores mais utilizados dentro das fábricas e montadoras são os robôs. São atribuídos diversos trabalhos para eles realizarem, que antes eram executados somente pelos humanos. A vantagem dos robôs é que podem trabalhar por várias horas sem necessidade de parar para o descanso e são mais precisos, embora precisam ser programados de maneira correta e efetiva (FERREIRA e ALVES, 2013).

Existe uma grande variedade de robôs, sendo encontrado modelos aquáticos e terrestres que realizam inúmeras tarefas, como exemplo, exploração em lugares que possui radiação, busca e manutenção (QUARESMA, 2012).

Devido a necessidade de utilizar ou manipular equipamentos em ambientes de difícil acesso foi desenvolvido os controladores remotos, com a finalidade de evitar o contato do

operador com objetos ou materiais radioativos, preservando a saúde e a integridade física dos operadores (COSTA, GADE, *et al.*, 2014).

O objetivo desse estudo é desenvolver sistema de manipulação de um braço robótico com 4 graus de liberdade incluindo a garra, que será colocado na extremidade, ao qual se encontrará livre, que será controlado através de movimentos reais de um braço humano, utilizando sensores inerciais e sensores flexíveis, que vão se comunicar por meio de fios com o micro controlador e o mesmo controlará os servos motores do braço, que irão deslocar as juntas conforme o deslocamento do braço do usuário.

## 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1.1 Sensores Inerciais

Atribuem-se aos sensores inerciais a Unidade de Medição Inercial (do inglês, Inertial Measurement Units – **IMUs**). São dispositivos micro eletromecânicos ao qual se enquadram os giroscópios, acelerômetros e os magnetômetros com o objetivo de medir velocidade, orientação e posição de um veículo, corpo ou qualquer outro objeto em qual o dispositivo esteja instalado. Estes sensores podem ser utilizados em várias aplicações, desde dispositivos complexos de navegações, como os GPS com tecnologia cinemática em tempo real (do inglês, Real Time Kinematic – **RTK**), até um simples dispositivo de equilíbrio automático (MOURA, 2013).

A IMU é o subsistema de um sistema inercial, que engloba os sensores inerciais em circuitos eletrônicos, que realizam a transformação dos sinais brutos dos dispositivos em informações de posicionamento (ALMEIDA, 2008).

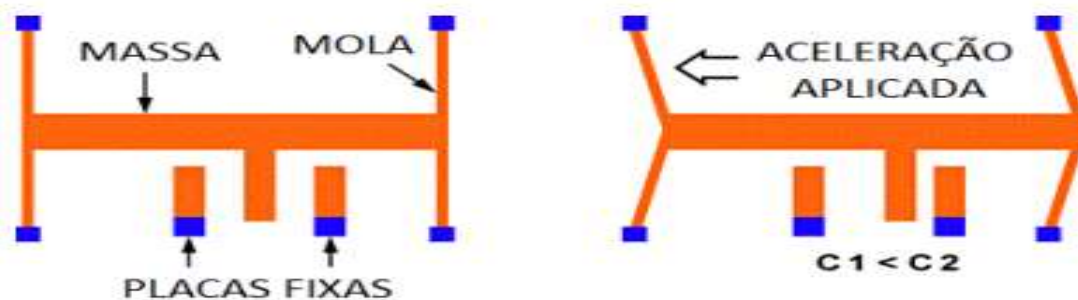
### 1.1.2 Acelerômetros

Acelerômetros são classificados como dispositivos eletromecânicos, construídos com o objetivo de medir as acelerações referente às alterações inerciais em que estará sujeito durante a sua aplicação (ECKELBERG, 2013). Eles são construídos através da tecnologia eletromecânica tendo este nome por possuir propriedades ópticas e mecânicas (ALMEIDA, 2008). Geralmente utiliza massas de prova, que será utilizada para comparação indireta de aceleração durante o seu comportamento (ECKELBERG, 2013).

Estes componentes são extremamente sensíveis a campos, que produzem alguma força, sejam elas gravitacionais ou eletromagnéticas, dependendo da forma em que será aplicado. São geralmente usados em situações, que é necessário obter valor de aceleração ou orientação pela ação da gravidade. Destaca-se, nas engenharias, avaliando as vibrações de estruturas, averiguando anormalidades em asas de aviões, testes de vibrações em motores, aplicado em alguns modelos de celulares e etc (ECKELBERG, 2013).

O princípio básico funcional do acelerômetro por capacitância baseia-se no deslocamento de uma massa, que se encontra elevada por molas, que existe entre as duas placas fixas na carcaça do sensor, fazendo com que as capacitâncias variem devido as distâncias entre a massa e as placas. Analisando a FIGURA 1 abaixo, observe que existe uma aceleração sentido ao lado esquerdo e as placas fixadas são deslocadas sentido ao lado esquerdo, como a massa se encontra elevada por molas em consequência de sua inércia, a massa de prova não é consequentemente movimentada. O efeito das placas, que não estão fixas faz com que a massa fique mais próxima da placa do lado direito, aumentando o valor de capacitância entre as mesmas (C2), e diminuindo a capacitância entre a massa e placa do lado esquerdo (C1). Essa diferença entre os dois valores de capacitâncias, assegura um  $\Delta C$  que é equivalente a aceleração aplicada (MOURA, 2013).

FIGURA 1 - Arranjo funcional de um acelerômetro capacitivo



Fonte: Rafael Santos Moura (2013).

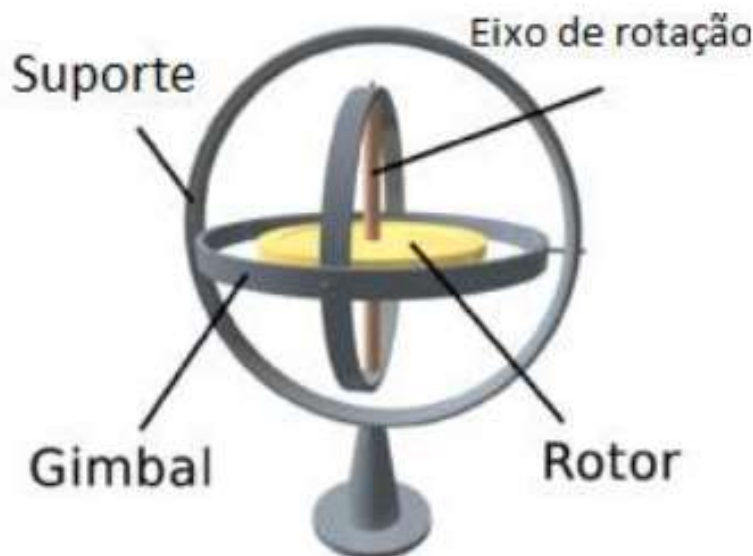
Em uma IMU, a função do acelerômetro é realizar leituras de movimentos a longo prazo, que medem, acelerações retilíneas e também medem as atribuições angulares de aceleração ao rotacionar o acelerômetro em volta do centro de sua massa (MOURA, 2013).

### 1.1.3 Giroscópios

Os giroscópios são classificados como dispositivos eletromecânicos, que se fundamentam em relação ao momento angular, estão aptos a realizarem leituras de orientação espacial de um corpo (MOURA, 2013).

Na versão mais usual do giroscópio, observado na FIGURA 2, é constituído por um disco fixado em uma base, onde a mesma obtém 3 graus de liberdade, de forma que o disco gire livre em volta dos seus eixos. Ao girar, o disco segue na mesma direção da estrutura, girando praticamente sem depender de seu próprio suporte, sendo possível obter o ângulo entre os arcos externos e o eixo de rotação, determinando a quantidade que a estrutura deslocou ou girou em relação a sua posição original (MOURA, 2013).

**FIGURA 2** - Ilustração de um giroscópio mecânico clássico



Fonte: Rafael Santos Moura (2013).

Na IMU a função do giroscópio é realizar leituras de movimentos de curto prazo, a sua resposta é mais rápida que a dos acelerômetros, medindo a velocidade da rotação do objeto, oferecendo os valores de velocidade angular (MOURA, 2013).

#### 1.1.4 Micro Controlador

O micro controlador é um circuito integrado, capaz de desenvolver processos lógicos com grande velocidade e eficácia. A vantagem deste dispositivo é a facilidade de programação, o que se torna adaptável a aplicação desejada, possibilitando seu ajuste com relação a função em que será programada (ASSIS, 2004).

A definição de um micro controlador é um pequeno componente eletrônico, que possui inteligência programável empregada no controle dos processos lógicos. O gerenciamento pode ser compreendido como controle de periféricos, como exemplo: sensores, displays de cristal líquido (LCD), Led's e dentre outros (ASSIS, 2004).

#### 1.1.5 Arduino

Arduino é um modelo de micro controlador que possui hardware livre e software colaborativo, o que o torna de fácil uso, permitindo criar uma grande diversidade de projetos (OLIVEIRA e CARVALHO, 2014). Ele pode receber várias informações de uma multiplicidade de sensores eletrônicos, utilizando estas informações para controlar servos, leds e etc (SMIDT, 2013).

A acessibilidade de inúmeras bibliotecas com uma gama de funções já implementadas para o Arduino facilita o desenvolvimento de grandes projetos com uma maior rapidez (SMIDT, 2013).

Em um termo mais simples, Arduino pode ser definido como um minicomputador programável para processar suas saídas e entradas entre componentes externos e os dispositivos que estão conectados ao mesmo, sendo utilizado para criar sistemas interativos independentes (MCROBERTS, 2011).

#### 1.1.6 Servo Motor

O Servo motor é um dispositivo eletromecânico que apresenta movimento proporcional ao comando desejado, ao invés de realizar movimentos livremente. Com um diferencial de outros motores, os servos motores são dispositivos, que possuem controles retroativos

rejeitando perturbações externas, diferentes dos sinais de comando e analisam a referência de sua posição no mesmo instante de acordo com o comando atuam indo para direção que foi designada. Comparados com os motores de classe contínuos, que giram sem ter um controle, o servo contém uma liberdade aproximada em 180°, sendo precisos em relação a posição. Os mesmos possuem três elementos básicos para realizar funções descritas, sistema atuador, sensor e circuito de controle estas serão sendo descritas a seguir: (FERREIRA e ALVES, 2013).

Sistema Atuador: é formado por motor elétrico, a grande maioria utiliza motor de corrente contínua, sendo encontrado também motores de corrente alternada faz parte de um conjunto formado por engrenagens tornando um tipo de caixa de redução com relação entre entrada e saída que pode ampliar o seu torque. Ele tem como características: torque, velocidade, material que constitui as engrenagens, liberdade do giro e eixo são importantes para a classificação dos servos motores (FERREIRA e ALVES, 2013).

Sensor: geralmente possui um potenciômetro acoplado no eixo rotacional do servo, ao qual o valor de sua resistência se altera quando o motor gira, indicando a sua posição angular. A qualidade do sinal dessa informação está associada a precisão, vida útil e estabilidade do servo. (FERREIRA e ALVES, 2013).

Circuito de controle: é constituído pelos componentes eletrônicos e circuitos integrados, que na maioria das vezes é composto por oscilador e controle PID (proporcional integrativo derivativo), que recebe um sinal enviado pelo sensor (posição atual em relação ao eixo), o sinal, que aciona o motor irá para o sentido necessário até que se encontre a posição desejada (FERREIRA e ALVES, 2013).

### 1.1.7 Graus de Liberdade

A expressão graus de liberdade na área da mecânica é usada para definir um valor independentemente dos parâmetros que limitam uma certa configuração. Aplicando aos manipuladores robóticos obtemos os graus de liberdade que são os delimitadores de movimentos do braço ou manipulador robótico em um espaço tridimensional ou bidimensional (LAZZARIM, 2012).

Contamos os graus de liberdade do manipulador de acordo com as caracterizações de configurações de suas juntas. Os manipuladores convencionais contêm aproximado 6 graus de

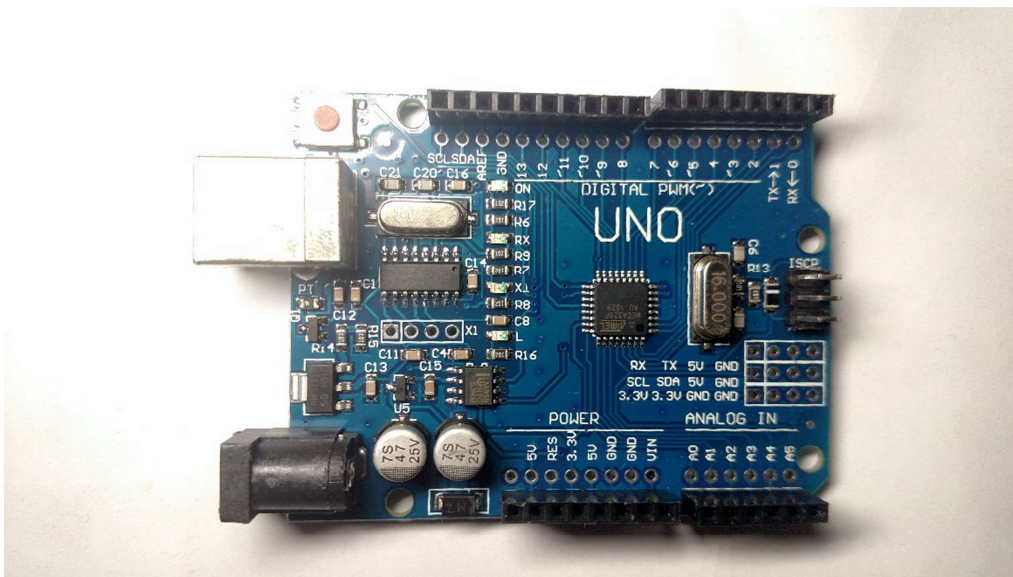
liberdade, 3 em relação do punho e seu espaço de trabalho os 3 restantes são da movimentação restante do manipulador (LAZZARIM, 2012).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Micro controlador

Será utilizado no braço robótico uma placa eletrônica baseada no arduino uno r3 com o processador ch340, pois é um produto de fonte aberta e possui facilidade de sua utilização, pessoas que não atuam na área podem rapidamente aprender o básico e criar seus projetos em um período curto de tempo (MCROBERTS, 2011).

**FIGURA 3** - Placa do micro controlador CH340



Fonte: Prix Ars Electronica.

### 2.2 Micro Servo Motor

Na utilização do manipulador robótico foi definido o uso de 04 (quatro) micros servos Tower Pro SG90, possui rotação contínua e engrenagens de nylon, o mesmo possui um movimento 180 graus sendo 90 graus para direita e 90 graus para esquerda (Filipeflop).



**FIGURA 4 - Micro Servo Motor Tower Pro SG90**



Fonte: (Filipeflop).

**TABELA I – Especificações Técnicas do Micro Servo Motor Tower Pro SG90**

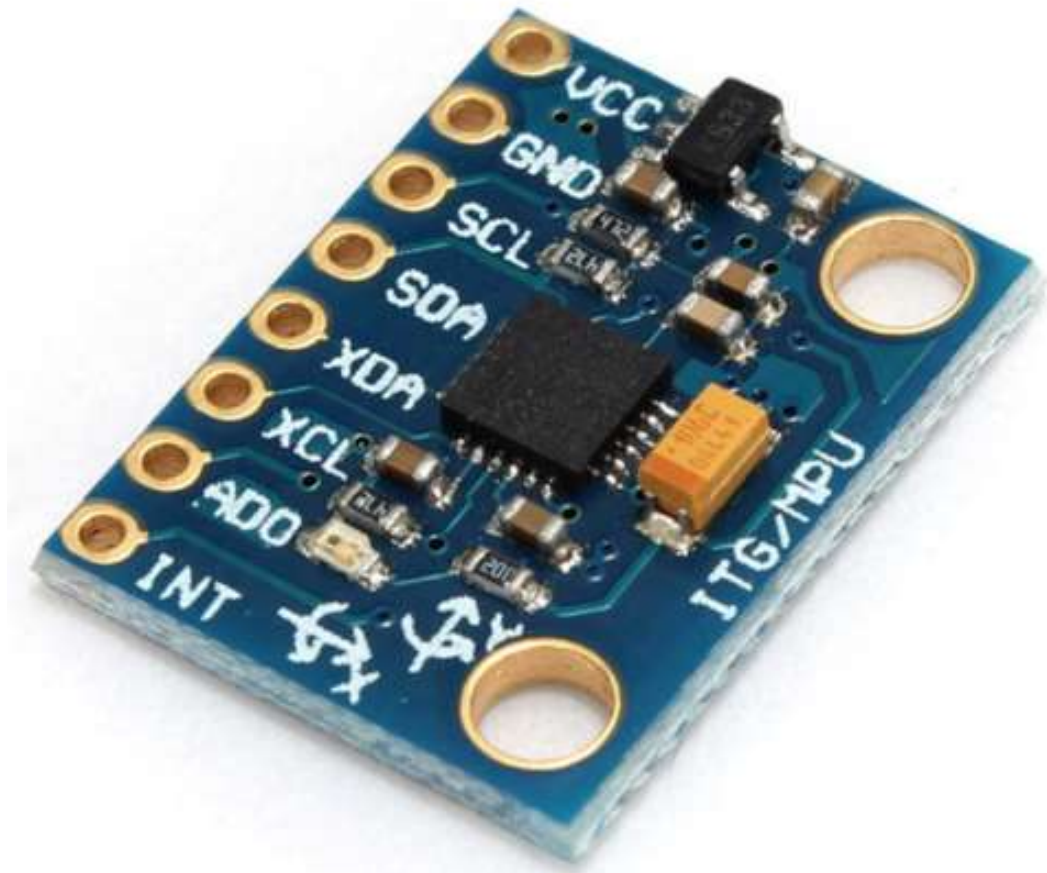
<b>Características</b>	<b>Dados</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Voltagem	3,0 – 7,2	(V)
Ângulo de Rotação	180	(Graus)
Velocidade de Trabalho	0,12/60	(seg/graus)
Torque	1,2 – 1,6	(kgf.cm)
Temperatura de Operação	-30 a +60	(°C)
Tamanho do Cabo	245	(mm)
Dimensões	32 x 30 x 12	(mm)
Peso	9	(g)

Fonte: (Filipeflop)

### 2.3 Sensor Inercial

A manipulação dinâmica será feita através do MPU-6050, o mesmo possui na mesma board um acelerômetro de 3 eixos, giroscópio de 3 eixos e um sensor de temperatura, sendo ao todo 6 graus de liberdade. É um sensor de alta precisão, tipo de comunicação com protocolo I2C. O sensor será fixado em uma luva (Filipeflop).

**FIGURA 5** – Sensor MPU-6050



Fonte: (Filipeflop).

**TABELA II** – Informações Técnicas do chip MPU-6050

<b>Características</b>	<b>Dados</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Tensão de Operação	3,0 – 5,0	(V)
Conversor AD	16	(bits)
Faixa do Giroscópio	$\pm 250$ , $\pm 500$ , $\pm 1000$ e $\pm 2000$	( $^{\circ}$ /s)
Faixa do Acelerômetro	$\pm 2$ , $\pm 4$ , $\pm 8$ e $\pm 16$	(g)
Dimensões	20 x 16 x 1	(mm)

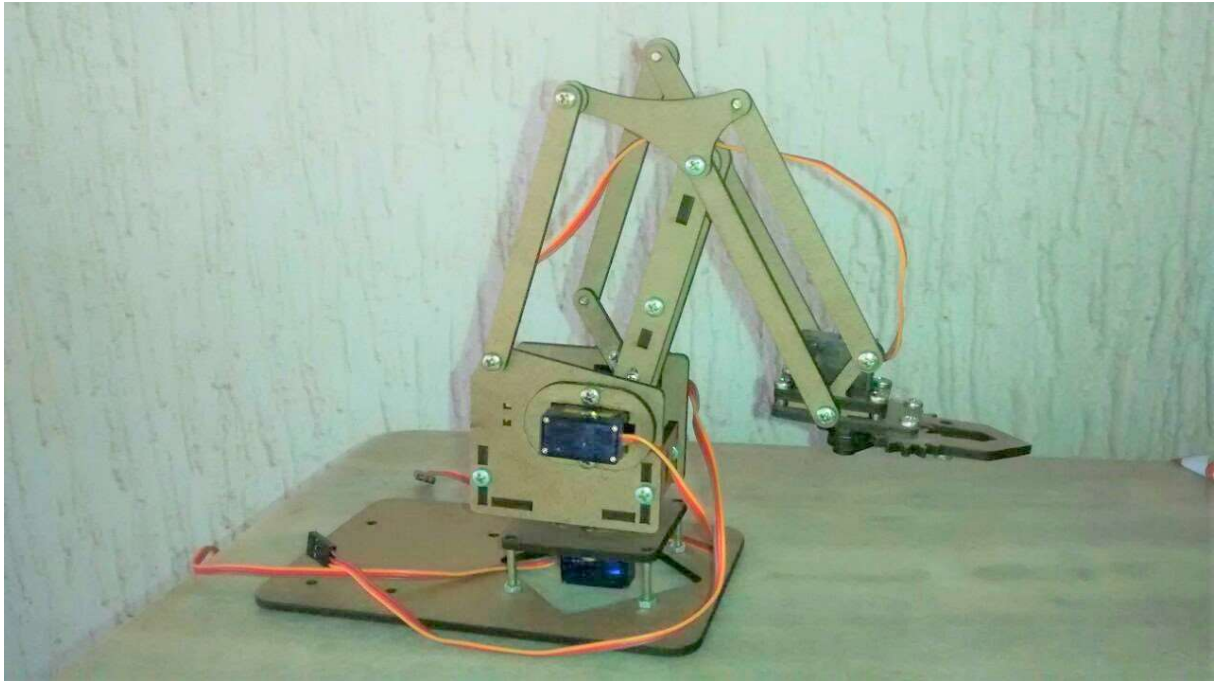
Fonte: (Filipeflop)

## 2.4 Braço Robótico

O braço robótico foi adquirido em uma loja virtual, o mesmo foi produzido totalmente em placa de fibra de média densidade (do inglês, Medium Density Fiberboard – **MDF**) de alta resistência. Suas juntas articuladas realizam movimentos de aproximadamente  $180^{\circ}$  pequeno,

porém com uma grande eficiência. Possui 4 graus de liberdade sendo eles, giro em torno da base, avanço e recuo, elevação e depressão e o movimento de abre e fecha da pinça (Usinainfo).

**FIGURA 6** – Braço Robótico de MDF



Fonte: Autor Próprio.

**TABELA III** – Especificações Técnicas do braço robótico

<b>Características</b>	<b>Dados</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Altura Total	~18	(cm)
Largura Média do Braço	40	(mm)
Abertura Máxima da Garra	55	(mm)
Peso	84	(g)
Dimensões do Braço (C x L x A)	14,5 x 9,5 x 29	(cm)
Espessura do MDF	~3	(mm)

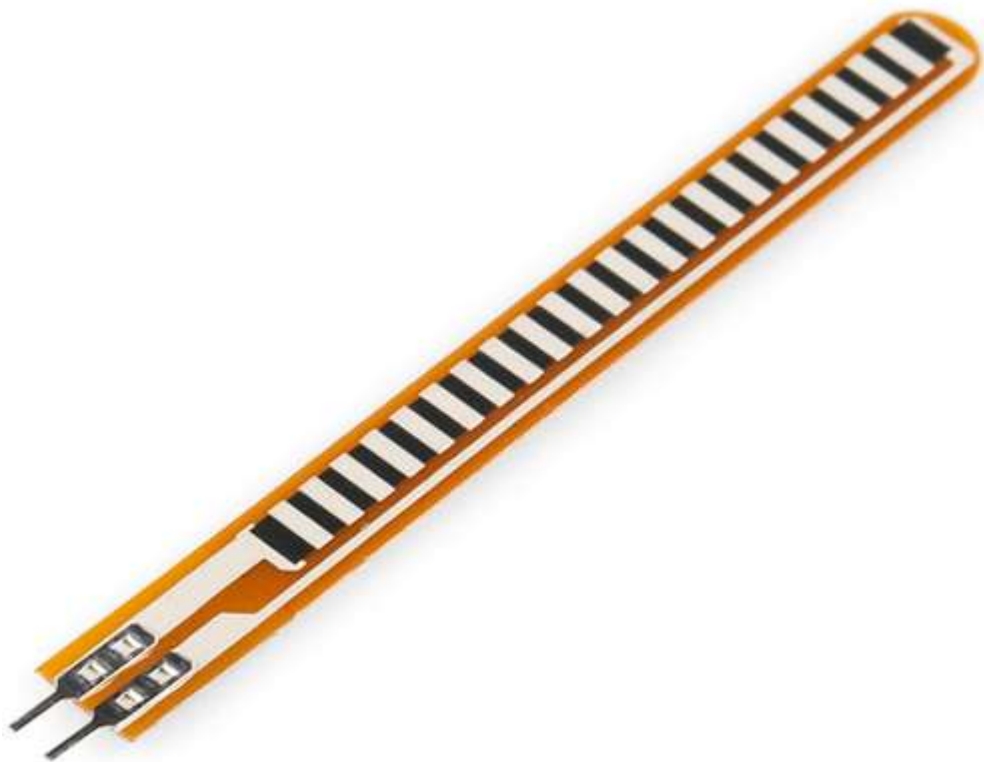
Fonte: (Usinainfo).

## 2.5 Sensor Flex

Sensor Flex possui como parâmetro movimentos de flexões nas dobras que estão presentes em sua longa estrutura. Tem capacidade de obter valores de flexões através de variações na resistência conforme o movimento sendo esse movimento bidirecional perpendicular às dobras (Vinitronica). Geralmente empregado em luvas e até roupas com o

intuito de reproduzir movimentos articuláveis (Multilogica-shop). Através de sua aplicação será implantado 02 sensores na luva que irá manipular o braço robótico.

**FIGURA 7** – Sensor Flex



Fonte: (Multilogica-shop).

**TABELA IV** – Informações técnicas do sensor flexível

<b>Características</b>	<b>Dados</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Comprimento	56	(mm) sem os pinos
Resistência Média Inicial	10k	( $\Omega$ )
Tolerância	$\pm 30$	(%)
Potência Contínua	0,5	(W)
Potência de Pico	1	(W)
Temperatura de Operação	-35 a 80	( $^{\circ}\text{C}$ )
Peso	0,2	(g)

Fonte: (Vinitronica)

## 2.6 Fusão de Dados

O Sensor giroscópio presente na board MPU6050 proporciona velocidade angular ( em cada um de seus eixos) possui uma precisão de aproximadamente  $0,03^{\circ}/\text{s}$ , neste caso essa velocidade é integrada para obter o valor angular. A integral gera erro acumulativo através da

inércia do sensor, que mesmo que a IMU esteja em repouso o disco presente no giroscópio continua a se deslizar, resultando um efeito indesejado conhecido por “drift” (VASCONSELOS, 2013).

O acelerômetro localizado na IMU MPU6050 oferece valor da aceleração em torno de seus três eixos, precisão de 0,06g, porém quando o sensor não está sofrendo aceleração o mesmo indicará apenas direção do vetor que sofre aceleração gravitacional. No entanto o acelerômetro detecta tanto acelerações lineares quanto angulares, pela ação da gravidade na massa presente no sensor que pode prejudicar durante a manipulação do braço (VASCONSELOS, 2013).

### Equação 1

$$\begin{cases} \theta_{ax} = \text{atan}(y_{raw}/\sqrt{z_{raw}^2 + x_{raw}^2}) \\ \theta_{ay} = \text{atan}(-x_{raw}/\sqrt{z_{raw}^2 + y_{raw}^2}) \end{cases}$$

Através da equação 1 se pode obter uma estimativa angular dos movimentos realizados com a IMU no eixo x e y. As variáveis  $x_{raw}$ ,  $y_{raw}$  e  $z_{raw}$  são os valores lidos correspondente de cada eixo fornecido pelo acelerômetro que pertence a MPU-6050, essas variáveis são projeções dos vetores que sofrem aceleração gravitacional de cada eixo (VASCONSELOS, 2013).

Devido aos erros inerciais apresentados em cada sensor, o giroscópio ou acelerômetro sozinho não será capaz de fornecer informação de orientação correta dos três eixos aos servos motores localizado no braço robótico. Nele será necessário parear os valores fornecidos pelo acelerômetro e giroscópio obtendo assim uma estimativa confiável e estabilização do braço robótico, este processo é chamado de fusão de dados sendo essencial para fornecer a orientação correta do braço (VASCONSELOS, 2013).

Existem várias formas de obter a fusão de dados. A forma com melhor desempenho é a aplicação do Filtro de Kalman, este filtro possui uma grande complexidade computacional. Devido a este fator, foi adotado a aplicação do Filtro Complementar (VASCONSELOS, 2013).

A implementação do filtro complementar mais simplificada é através da soma ponderada entre os valores de posição angular do acelerômetro ( $\theta_a[n]$ ) com os valores da velocidade angular do giroscópio ( $\omega_g[n]$ ). O valor do ângulo  $\theta[n]$  pela fusão dos dois é fornecido pela equação:

### Equação 2

$$\theta [n] = \alpha (\theta[n - 1] + T \cdot \omega_g[n]) + (1 - \alpha) \theta_a[n]$$

e o ( $\alpha$ ) representa a constante do peso (VASCONSELOS, 2013).

## 2.8 Implementação do Controle

Toda a implementação, desde as leituras dos dados brutos de entrada dos sensores e tratamento desses dados utilizando o Filtro Complementar, comandos dos micros servos na saída e o monitoramento angular em tempo real dos micros servos foram produzido em linguagem C utilizando a ferramenta do Arduino IDE.

O controle será realizado por meio de uma luva ao qual estará fixado uma IMU MPU-6050 com o objetivo de fazer leitura de movimentos angulares e dois sensores flexíveis que vão fazer leitura das articulações, ambos sensores irá atribuir valores angulares aos micros servos localizados no braço robótico.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados brutos extraídos através da MPU-6050 foram fornecidos com bastante ruído através disso ocorria uma enorme instabilidade no braço dificultando o controle do mesmo. Através do filtro complementar que nada mais é que a fusão de dois sensores sendo eles o giroscópio e o acelerômetro pertencentes à IMU tornando possível obter uma estabilidade angular satisfatória, o filtro foi usado apenas nos eixos X e Y.

No início, houve a tentativa de controlar todos os 4 graus de liberdade usando apenas a MPU-6050, porém isso tornou possível somente se movimentasse um grau de liberdade de cada vez, já que o objetivo era poder controlar vários graus de liberdade foi inserido no projeto o sensor flexível.

A manipulação do braço se mostrou bastante estável, usando a IMU sendo possível controlar apenas 2 graus de liberdade sendo eles eixo X e Y, eixo X representando o giro do braço em torno de sua base e o eixo Y atuando no sentido vertical sendo os movimentos elevação e depressão. O eixo Z da IMU ficou instável ocorrendo o efeito “drift” citado no trabalho, futuramente para conseguir amenizar este efeito de um modo que não influencie no controle do braço sendo necessário implementar um magnetômetro junto com a MPU-6050.

Para os demais movimentos abrir e fechar a pinça, avançar e recuar foi usado 2 sensores flex, um para cada grau de liberdade, mostrou-se bastante satisfatório visto que através de articulações podem ser controlados estes dois movimentos.

As comunicações dos sensores com o micro controlador foram feitas através de fios, futuramente poderão ser substituídos os fios por comunicação sem fio via Bluetooth.

## **4 CONCLUSÃO**

O controle desenvolvido mostrou-se bastante satisfatório em transporte de pequenos objetos visto que o braço robótico é pequeno e de baixo custo, possibilitando um controle estável do mesmo. O trabalho específico consiste como modelo para projetos maiores e de alta precisão, podendo ser aplicado em áreas onde necessitam de alta confiabilidade e minuciosidade por exemplo em cirurgias na área da medicina.

O sistema aplicado na manipulação mostrou-se capaz de realizar a leitura através dos movimentos reais do braço humano e aplicar o controle realizando os movimentos desejados, podendo favorecer o desenvolvimento de projetos futuros com maior complexidade computacional e um sistema mais complexo que possam ser utilizados em ambientes e situações de risco em que os seres humanos se encontram expostos, na área da medicina e automações industriais ao qual os robôs vêm sendo bastante explorados.

*ROBOTIC ARM MANIPULATED THROUGH ACTUAL MOVEMENTS OF A  
HUMAN ARM*

**ABSTRACT**

This work is about the project and execution of a controlled system that uses actual movements of a human arm to manipulate a robotic arm by a micro controller, which receives data from sensors in the input and has an working output as the control of servomotors that will move the joints of the arm. They used two flexible sensors to control two degrees of freedom and inertial sensors (gyroscope and accelerometer), which will control the remaining two degrees of freedom. An additional filter in the processing of data provided by the inertial sensors aims to soothes some unwanted effects that would cause instability in the arm control, the control results were very satisfactory. The structure of the robotic arm is made of MDF wood, material that is lightweight and has high quality and also 4 degrees of freedom. This study aimed to guide and assist students in various areas of engineering that are related to mechatronics and industrial automation, since the robotics subject has been used in several areas nowadays.

Keywords: Servomotor. Accelerometer. Gyroscope. Micro Controller. Robotic Arm.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. R. D. **Sensores inerciais fotônicos para aplicação aeroespaciais: nível de maturidade tecnológica**, 05 Setembro 2008.
- ASSIS, P. D. K. B. D. **Microcontrolador**, Barbacena, Dezembro 2004.
- COSTA, L. C. et al. **Controle de um braço mecânico por meio de movimentos reais de um braço humano**, 2014.
- ECKELBERG, R. C. **Desenvolvimento de um acelerômetro de bolha de sensibilidade variável**, 2013.
- FERREIRA, E. D. P.; ALVES, N. D. L. A. **Braço articulado com controle proporcional de movimento comandado via bluetooth por um aplicativo desenvolvido para plataformas android**, São José dos Campos - SP, Novembro 2013.
- FILIFEFLOP. **FILIFEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS EIRELI - EPP**. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-10fd9f-acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-6-dof-mpu-6050.html>>. Acesso em: 29 Outubro 2016.
- FILIFEFLOP. **FILIFEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS EIRELI - EPP**. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-71590-micro-servo-9g-sg90-towerpro.html>>. Acesso em: 29 Outubro 2016.
- LAZZARIM, J. C. **Construção de um manipulador robótico de baixo custo para ensino**, Cascavel, 2012.
- MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. [S.l.]: Novatec, 2011.
- MOURA, R. S. **Desenvolvimento de um sistema de orientação espacial inercial**, São Carlos, 2013.
- MULTILOGICA-SHOP. **Multilógica Comércio de Materiais Elétricos e Serviços**. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/sensor-flex-55cm>>. Acesso em: 29 Outubro 2016.
- OLIVEIRA, A. A.; CARVALHO, F. K. **Um jogo de console utilizando a plataforma Arduino**, Agosto 2014.
- QUARESMA, B. J. C. **Projeto mecânico para construção de um manipulador robótico articulado de baixo custo para fins didáticos**. 1-2.
- SMIDT, A. C. G. **Implementação de uma plataforma robótica controlada remotamente utilizando o Arduino**, São Carlos, Junho 2013.

USINAINFO. **Usina Ind. Comércio e Importação**. Disponível em: <<http://www.usinainfo.com.br/mini-bracos-roboticos/braco-robotico-em-mdf-para-arduino-manual-de-montagem-3597.html>>. Acesso em: 29 Outubro 2016.

VASCONSELOS, C. S. D. C. C. **Projeto, Construção e Controle de um Protótipo de um Quadrirrotor**, Rio de Janeiro, Março 2013.

VINITRONICA. **VINITRONICA**. Disponível em: <<http://www.vinitronica.com.br/pd-241b8f-sensor-flex-4-5-arduino.html>>. Acesso em: 29 Outubro 2016.

# APÊNDICE – Desenho Simplificado Das Ligações Dos Componentes

