

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**DIOGO ANPHILOQUIO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE  
ESTABILIDADE NA LINGUAGEM ARDUINO, APLICADO EM UM PROTÓTIPO DE  
CADEIRA DE RODAS**

**CRICIÚMA**

**2015**

**DIOGO ANPHILOQUIO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE ESTABILIDADE NA LINGUAGEM ARDUINO, APLICADO EM UM PROTÓTIPO DE CADEIRA DE RODAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Sergio Coral

**CRICIÚMA**

**2015**

**DIOGO ANPHILOQUIO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE ESTABILIDADE NA LINGUAGEM ARDUINO, APLICADO EM UM PROTÓTIPO DE CADEIRA DE RODAS**

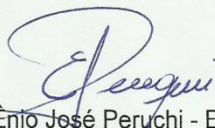
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em engenharia de software.

Criciúma, 22 de junho de 2015

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Sergio Coral - Especialista - (UNESC) - Orientador



Prof. Ênio José Peruchi - Especialista - (UNESC)



Prof. Rogério Antônio Casagrande - Mestre - (UNESC)

**Aos meus pais.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter iluminado meus caminhos no decorrer do curso. Agradeço também por me dar coragem, sabedoria e saúde para concluir o curso.

Agradeço ao meus pais Pedro Paulo Anphiloquio e Lurdes Terezinha Rampinelli Anphiloquio pelo apoio e auxílio durante todo o curso, principalmente pelos esforços realizados para que eu pudesse estudar.

Agradeço ao meu orientador Sergio Coral por ter depositado sua confiança em minha capacidade de desenvolver este projeto. Por todo auxílio e tempo empregado ao projeto, demonstrando-se sempre apto a ajudar.

Agradeço ao amigo e colega de curso Bruno de Mattia Amaral por toda ajuda e conhecimentos passados durante o curso, auxiliando e incentivando nos estudos que envolvem o Arduino.

Ao amigo e colega de trabalho Artur Dolzan Neto pelo conhecimento passado sobre o cálculo de ângulo através da equação do arco tangente.

Ao amigo e colega de curso Renato Mafioletti Macarini pela ajuda concedida durante o curso, e também o incentivo e ajuda no projeto final.

Ao professor Luciano Antunes, por todo conhecimento e ajuda passados durante o curso. Em especial os projetos de pesquisa que desenvolvemos juntos, o que proporcionou bolsas de estudos durante o período do curso.

Não poderia deixar de agradecer a todos os professores do curso de Ciência da Computação, pelo conhecimento passado durante o período do curso, o que proporcionou o desenvolvimento deste projeto.

**“A verdadeira deficiência é aquela que prende o ser humano por dentro e não por fora, pois até os incapacitados de andar podem ser livres para voar.”**

**Thaís Moraes**

## RESUMO

Nos dias atuais, está cada vez mais difícil a locomoção nas cidades para as pessoas deficientes físicas, que necessitam de uma cadeira de rodas para locomover-se. As dificuldades são as irregularidades nas calçadas, falta de rampas e transporte público. A acessibilidade surge neste contexto para possibilitar a qualquer pessoa usufruir todos os benefícios da vida em sociedade, dentre eles os problemas citados acima. Estima-se que mais de 7% da população brasileira possui algum tipo de deficiência motora, sendo necessário a criação de um produto que auxilie estes indivíduos no seu dia-a-dia, garantindo assim uma melhor qualidade de vida, a partir dos conceitos de acessibilidade. Com o desenvolvimento de um protótipo de cadeira de rodas que se estabilize automaticamente ao ser introduzida em um ambiente irregular ou em uma rampa, proporcionando um conforto para a pessoa que esteja utilizando. Para que seja possível realizar a estabilidade do protótipo da cadeira é necessário determinar o posicionamento da mesma no espaço em que está, por meio de estudos em sistemas de coordenadas X, Y e Z, pode-se realizar esta tarefa. Com os dados obtidos é necessário o cálculo dos ângulos X e Y para que com estes possa-se determinar a posição do protótipo para corrigi-lo. Na realização da correção do desnivelamento é necessário a utilização de atuadores lineares que exercem suas forças de estender e encolher no protótipo da cadeira até o nivelamento estar concluído. Para administrar e comandar as tecnologias citadas acima o microcontrolador Arduino surge como cérebro no desenvolvimento de um protótipo que realizará o nivelamento automático. Por traz de todo o hardware do projeto estará o software desenvolvido na linguagem do Arduino, onde neste estará presente toda logica de cálculo dos ângulos, necessário para que seja encaminhado aos atuadores lineares os devidos parâmetros para atuarem no nivelamento.

**Palavras-chave:** Arduino, Acessibilidade, Giroscópio, Atuadores lineares.

## ABSTRACT

Nowadays it is getting even harder for handicaps to travel around. The difficulties include the irregular sidewalks, the absence of ramps and adequate public transportation. The accessibility comes in this context to make it possible for anyone to enjoy the benefits of life in society. About 7% (seven percent) of Brazilian population has some kind of motor disability, being necessary to create a product that will make their life easier. With the development of a prototype of a wheelchair that stabilizes automatically when introduced to an irregular floor or ramp, comfort will be brought to the person using the wheelchair. To make it possible to conquer the stability of the prototype of the wheelchair, it is necessary to determinate the position of the same space, using the systems of the coordinators X, Y and Z. With the obtained data, it is also necessary to calculate the angles X and Y to determinate the position of the prototype to correct it. While correcting it, it is necessary to use linear actuators that will empower their forces to extend and shrink the wheelchair prototype until the leveling is complete. To manage and control these technologies, the Arduino microcontroller works as the development brain of a prototype that will work the leveling automatically. Behind all the developed hardware in the Arduino language, where the logic of the angles are, it is necessary to forward all the linear actuators for each parameter to act in the leveling.

**Keywords:** Arduino, Accessibility, Gyroscope, Linear Actuators.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dimensões de uma cadeira de rodas seguindo as normas ABNT. ....	20
Figura 2 – Atuador hidráulico. ....	23
Figura 3 – Atuador pneumático. ....	26
Figura 4 – Atuador elétrico. ....	28
Figura 5 – Esquemático do motor de corrente continua. ....	30
Figura 6 – Ligações elétricas do motor de corrente continua: paralela e série. ....	30
Figura 7 – Representações do reostato. ....	31
Figura 8 – O Giroscópio. ....	32
Figura 9 - Giroscópio de vibração de quartzo da empresa Systron Donner. ....	34
Figura 10 – Sistema de mola com dois graus de liberdade de um giroscópio. ....	36
Figura 11 – Giroscópio MPU-6050. ....	37
Figura 12 – Barramento I2C. ....	38
Figura 13 – Demonstração da estrutura e declaração da função Setup(). ....	41
Figura 14 – Demonstração da estrutura e declaração da função Loop(). ....	42
Figura 15 – IDE Arduino 1.0.5. ....	43
Figura 16 – Arduino Mega 2560. ....	44
Figura 17 - Arduino <i>Shield</i> – MegaShield. ....	46
Figura 18 – Pernas robóticas. ....	54
Figura 19 – Guincho de piscina. ....	55
Figura 20 – Cadeira de rodas movida a sopro. ....	55
Figura 21 – Motor DC 12v. ....	57
Figura 22 – <i>Shield</i> Motor L293D. ....	58
Figura 23 – Atuador linear construído. ....	59
Figura 24 – Eixos X, Y e Z do Giroscopio MPU-6050 ....	60
Figura 25 – Ligação entre giroscópio e microcontrolador. ....	62
Figura 26 – Função getMotion6. ....	65
Figura 27 – Função controle_x_y(double angulo_x, double angulo_y) ....	67
Figura 28 – Função aciona_motores_eixo_x(double angulo). ....	68
Figura 29 – Função controla_motor_direito_frente(int operacao). ....	69
Figura 30 – Aplicação do Filtro de Kalman. ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição da IDE do Arduino. ....	43
Tabela 2 – Características do Arduino Mega 2560. ....	45
Tabela 3 – Recursos utilizados na construção do hardware do protótipo .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARM	Advanced Risc Machine
cc	Corrente Continua
cm	Centímetro
cm <sup>3</sup> /r	Centímetro cúbico por raio
CSS	Cascading Style Sheet
ESC	Electronic Speed Control
gnd	Ground
GPS	Global Positioning System
HTML	HyperText Markup Language
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Integrated Development Environment
KB	Kilobytes
kg	Quilograma
kgf/cm <sup>2</sup>	Quilograma força por centímetro quadrado
kgf/cm	Quilograma força por centímetro
mA	Miliamperes
MEMS	Microelectromechanical Systems
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetros
PWM	Pulse Width Modulation
R\$	Reais
RPM	Rotações por minuto
USB	Universal Serial Bus
v	Volts
Wi-Fi	Wireless Fidelity

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA .....	16
<b>2 ACESSIBILIDADE</b> .....	<b>18</b>
2.1 CADEIRA DE RODAS .....	19
<b>2.1.1 Componentes da cadeira de rodas</b> .....	<b>20</b>
<b>3 ATUADORES LINEARES</b> .....	<b>22</b>
3.1 ATUADORES HIDRÁULICOS .....	22
<b>3.2.1 Bombas hidráulicas</b> .....	<b>23</b>
3.2 ATUADORES PNEUMÁTICOS .....	25
<b>3.2.1 Compressores</b> .....	<b>26</b>
3.3 ATUADORES ELÉTRICOS .....	27
<b>3.3.1 Motores corrente contínua</b> .....	<b>29</b>
<b>4 SENSOR E MICROCONTROLADOR</b> .....	<b>32</b>
4.1 ESTUDO E ESCOLHA DO SENSOR GIROSCÓPIO APROPRIADO .....	36
4.2 MICROCONTROLADORES .....	38
<b>4.2.1 Arduino</b> .....	<b>39</b>
<b>5 TRABALHOS CORRELATOS</b> .....	<b>47</b>
5.1 SISTEMA DE ELEVAÇÃO AUTOMÁTICO DE UM VEÍCULO TIPO CADEIRA DE RODAS .....	47
5.2 FERRAMENTA PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTE CONTROLADO UTILIZANDO MAPA DE SINAIS WIRELESS .....	48
5.3 UMA SOLUÇÃO COM ARDUINO PARA CONTROLAR E MONITORAR PROCESSOS INDUSTRIAIS .....	49
5.4 PROJETO, CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE UM PROTÓTIPO DE UM QUADRIRROTOR .....	50
5.5 SISTEMA DE DETECÇÃO DE BURACOS EM ESTRADAS .....	52
<b>6 TECNOLOGIA NO AUXÍLIO A CADEIRANTES</b> .....	<b>54</b>
6.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO .....	56

<b>6.1.1</b>	<b>Confecção dos atuadores lineares .....</b>	<b>56</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Sistema X, Y e Z.....</b>	<b>60</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Utilização do microcontrolador Arduino .....</b>	<b>62</b>
<b>6.2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO NO ARDUINO.....</b>	<b>63</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Filtro de Kalman .....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE(S).....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo censo realizado em 2010 pelo IBGE, 7% da população brasileira possui deficiência motora, onde na maioria dos casos necessitam locomover-se seja para o trabalho, escola, hospital ou mesmo em casa através de uma cadeira de rodas. Na maioria dos casos os cadeirantes não possuem uma boa infraestrutura para se locomover, mesmo em seus lares existem vários obstáculos que dificultam seu dia-a-dia, como degraus, escadas e desníveis. Outra situação levantada são as pessoas que vão envelhecendo e por causa de doenças da idade necessitam do uso da cadeira de rodas e enfrentam os mesmos problemas dos cadeirantes adicionando outras limitações que surgem com a idade avançada.

Pesquisas são realizadas em busca de aumentar a qualidade de vida de deficientes físicos. Com os avanços na tecnologia pôde-se criar as cadeiras de rodas, podendo ser movida manualmente ou eletricamente pelo ocupante ou empurrada por alguém. Foram inventadas com o intuito de ajudar pessoas, que possuem algum tipo de deficiência que as impeçam de se locomover (ARAKI, 2011).

Atualmente o uso de microcontroladores nas indústrias e nos próprios produtos que utilizamos no dia a dia vem crescendo e ganhando espaço no mercado. Um microcontrolador é um sistema micro processado encapsulado em um único chip, com memórias, *clock* e periféricos mais limitados que um computador. O uso desses circuitos integrados não somente reduz o custo da automação como também propicia mais flexibilidade. Dentre as plataformas de desenvolvimento que utilizam microcontroladores, o Arduino tem ganhado um grande destaque, seja por sua facilidade de utilização e por seu custo ser mais acessível que os demais (GOMES; TAVARES, 2013).

O Arduino em termos práticos, é um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. É uma plataforma de computação física/embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (MCROBERTS, 2011). É possível inserir novas funcionalidades à placa Arduino conectando placas adicionais chamadas *Shields*. Estas podem ser ligadas sobre a placa de circuito impresso do Arduino com a finalidade de expandir sua capacidade (GOMES; TAVARES, 2013).

O giroscópio foi popularizado por meio de aparelhos eletrônicos, mais especificamente nos videogames atuais e GPS. Seu princípio é medir a velocidade angular, conhecendo as condições iniciais, pode-se ter seu sinal integrado em relação ao tempo, com isso gera-se a orientação do sensor (BUENO; ROMANO, 2013).

Atuadores lineares são dispositivos mecânicos, com função de levantar, inclinar, empurrar ou puxar objetos numa trajetória linear, sendo utilizado uma força que pode ter como fonte a energia elétrica, pneumática ou hidráulica. Em termos práticos são dispositivos que giram em torno de seu próprio eixo, que quando submetido a uma força ele tende a mudar a orientação do eixo de rotação, fazendo que este eixo ao invés de mudar de direção, como faria normalmente um corpo que não girasse, ele muda sua orientação para uma direção perpendicular a direção intuitiva (SILVA FILHO; RUDIGER; NASCIMENTO, 2011).

Sendo assim este projeto visa o desenvolvimento de um software na linguagem Arduino que controle automaticamente a estabilidade em uma cadeira de rodas, facilitando e ajudando um cadeirante na sua locomoção seja para o trabalho, escola e hospital tornando o processo de locomoção mais confortável e prazeroso, além de ajudar nas adversidades encontradas nas ruas. A cadeira irá nivelar-se automaticamente para qualquer situação, seja uma subida, descida e um pequeno degrau. Sendo controlada e administrada pelo microcontrolador Arduino, utilizando o *Shield* giroscópio para manter a cadeira sempre nivelada de forma que mantenha o cadeirante sempre na posição mais confortável e ereta possível, preservando assim o contato visual e o bom funcionamento dos pulmões do cadeirante. Para estabilizar a cadeira de rodas, será usado atuadores lineares de 12 V que farão o trabalho de levantar ou abaixar dependendo da situação encontrado.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um software na linguagem Arduino que controle automaticamente a estabilidade, aplicado em uma cadeira de rodas.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Compreender e usufruir do funcionamento do hardware e da linguagem dos microcontroladores, tendo foco no microcontrolador Arduino;
- b) pesquisar e utilizar as funcionalidades do *Shield* giroscópio, necessárias para implementação deste trabalho onde será o responsável em buscar as coordenadas geográficas do protótipo da cadeira de rodas;
- c) analisar os atuadores lineares, tendo como parâmetros de estudos os atuadores que utilizam energia hidráulica, pneumática e elétrica para serem utilizados na realização dos movimentos de nivelamento do protótipo da cadeira de rodas;
- d) construir um protótipo de uma cadeira de rodas com ajuda de atuadores lineares elétricos controlados pelo microcontrolador Arduino que recebe os parâmetros de localização através do *Shield* giroscópio, para que possa realizar a estabilidade automática.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A acessibilidade é vista como um meio de possibilitar a participação das pessoas nas atividades cotidianas que ocorrem no espaço construído, com segurança, autonomia e conforto (MORAES, 2007).

A utilização da plataforma Arduino tem como maior vantagem a facilidade de sua utilização, sendo os elementos da plataforma: documentação, esquemas eletrônicos e software estão disponíveis de forma gratuita e são de código aberto. Outro aspecto favorável ao uso do Arduino é a grande comunidade de pessoas que compartilham códigos e diagramas de seus projetos para que mais desenvolvedores copiem, modifiquem ou utilizem parte de suas ideias disseminando ainda mais o uso da plataforma (GOMES; TAVARES, 2013).

Os giroscópios utilizam propriedades mecânicas para produzir estruturas dentro dos semicondutores para medir movimentos e detecção de movimento angular. Eles possuem sensores que possuem duas saídas separadas para cada eixo ao mesmo tempo, uma de valor de saída não amplificado para detectar o movimento angular, e outro valor com uma amplificação de 4 vezes para medidas de alta definição e altas frequências. É através destas medições que será possível a utilização do giroscópio que unido com o microcontrolador Arduino manterá a cadeira de rodas sempre na posição correta.

Os atuadores lineares estão inseridos em uma categoria de motores elétricos que, ao invés de produzir torque (rotação), produz uma força linear ao longo de um eixo. Dentre as inúmeras aplicações destacam-se portas de abertura automáticas, trens de levitação magnética, impressoras do tipo plotter e, até mesmo, a aceleração de automóveis durante testes de colisão (ANDRICH et al, 2012). Sua grande vantagem é não precisar de embreagem ou qualquer outro aparato para ter o movimento linear. Além de possuírem menos componentes mecânicos, menos inércia da parte móvel, menos fontes de perda e menor fadiga no mancal (POMPERMAIER, 2009).

Neste contexto, o trabalho se justifica por apresentar uma solução inovadora em uma área pouco explorada aliado com o baixo custo e flexibilidade dos componentes necessários para o controle dos processos que envolvem o protótipo da cadeira de rodas.

#### 1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

O primeiro capítulo trata da contextualização da pesquisa, apresentando a introdução, objetivo geral e os objetivos específicos, assim como a justificativa para a realização deste projeto.

O segundo capítulo aplica-se ao estudo da acessibilidade vivida pelas pessoas deficientes atualmente no Brasil, sendo estudado as tecnologias e pesquisa para a área que veem sendo desenvolvida.

O terceiro capítulo trata do estudo em atuadores lineares, realizando uma abordagem nos atuadores hidráulicos, pneumáticos e elétricos.

O quarto capítulo apresenta um estudo na linguagem e hardware do microcontrolador Arduino, sendo abrangido os componentes de ligação externos

(*Shields*), onde o *Shield* giroscópio será utilizado no trabalho.

No capítulo quinto são apresentados os trabalhos correlatos ao estudo desenvolvido.

No capítulo sexto é apresentado e descrito o desenvolvimento do trabalho que foi desenvolvido, sendo apresentado as formas e tecnologias utilizadas no desenvolvimento do software e hardware.

No capítulo sétimo são apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo oitavo são apresentadas as conclusões estabelecidas após a finalização do trabalho.

## 2 ACESSIBILIDADE

Em termos gerais indica a possibilidade de qualquer pessoa usufruir de todos os benefícios da vida em sociedade, entre eles, o uso da Internet, melhores acessos nas calçadas, rampas e melhorias no transporte público (ABNT, 1994; NICHOLL, 2001). De uma forma simplificada pode-se definir como acesso, porém este acesso às vezes se depara com as chamadas barreiras que impedem de se exercer o direito de acesso. Essas barreiras acabam gerando uma série de circunstâncias que dificultam as atividades dos cidadãos comuns, podendo ser exemplificado como cruzar uma avenida, utilização do transporte público e solicitação de serviço e informação (MOZOS; LÒPEZ, 2005).

Dentre as principais barreiras existem três tipos que chamam a atenção são elas, barreiras atitudinais que estão ligadas ao preconceito, onde são estabelecidas barreiras sociais nas limitações dos indivíduos, dificultando sua participação na sociedade. As barreiras físicas são as de modelos arquitetônicos que dificultam ou impedem a realização de atividades desejadas de uma forma independente. A terceira barreira é de informação onde está relacionada com comunicação e sinalização dos elementos de informação adicional, como placas, mapas, sinais sonoros e etc. Onde a falta dos mesmos reduz a possibilidade de obtenção da informação desejada (DISCHINGER et al, 2004).

Acessibilidade é considerada um problema em alguns casos especiais, dentre eles pode-se citar a situação das pessoas que utilizam cadeira de rodas para locomoção. Há anos a humanidade preocupa-se com esta questão, buscando projetar os ambientes de forma geral que se adaptem a necessidade das pessoas (NICHOLL, 2001). No Brasil as lutas dos movimentos sociais em prol de melhores condições para pessoas portadoras de deficiência remetem-se a menos de três décadas. Nesse período, houve avanços significativos que constituem um patamar mínimo de visibilidade social. Porém ainda existem muitos obstáculos que permanecem e mantêm a exclusão das pessoas portadoras de deficiência, em termos de uma vida independente, auto-sustentável e plena. De acordo com Brumer et al (2004, p. 320),

Considera-se acessibilidade a “possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia” especificamente dos espaços, mobiliários (objetos existentes nas vias e espaços públicos, tais como semáforos, postes de sinalização, cabines telefônicas, lixeiras) e equipamentos urbanos (componente das obras de urbanização, como pavimentação), das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação. Vale destacar que os parâmetros de acessibilidade são estabelecidos pela Associação

Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entidade privada que não disponibiliza suas normas à consulta gratuita, o que dificulta o acesso às informações e à fiscalização das normas estabelecidas.

Conforme o autor relatou a acessibilidade está ligada ao nosso dia-a-dia, estando em todos os lugares que nos cercam, tendo em vista que em muitos pontos necessitamos nos adequar para atender a necessidade de todos. Sendo esta necessidade nos lugares públicos ou privados, pois estes parâmetros foram estabelecidos pela ABNT, porém como se trata de uma entidade privada não é disponibilizada ao público em geral de forma clara e nem fiscalizada.

Segundo os conceitos de acessibilidade e mobilidade de Aguiar (2010), estes estão sendo confundidos pelo fato de aparecerem quase sempre relacionados um ao outro. Porém a acessibilidade está relacionada a questões estruturais de organização e produção do espaço seja no lar ou no perímetro urbano. Já o conceito de mobilidade refere propriamente ao indivíduo e suas condições de locomoção, interferindo nas questões referentes à acessibilidade. Nesse sentido, um ambiente planejado para todos tem influência direta na maneira em como ocorre a locomoção do indivíduo.

A luta é pela possibilidade de qualquer pessoa usufruir todos os benefícios da vida em sociedade. Visando esta ideia o Brasil desde os anos 2000, começou a fazer políticas públicas para possibilitar estes recursos aos deficientes, sendo possível pela promulgação das Leis Federais nº 10.048 (BRASIL, 2000) e nº 10.098 (BRASIL, 2000). A lei nº 10.048, de 8 de novembro de 2000, trata do atendimento prioritário à acessibilidade das pessoas com deficiência aos meios de transporte e a outros serviços comunitários. Já a lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000, estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade às pessoas com deficiência.

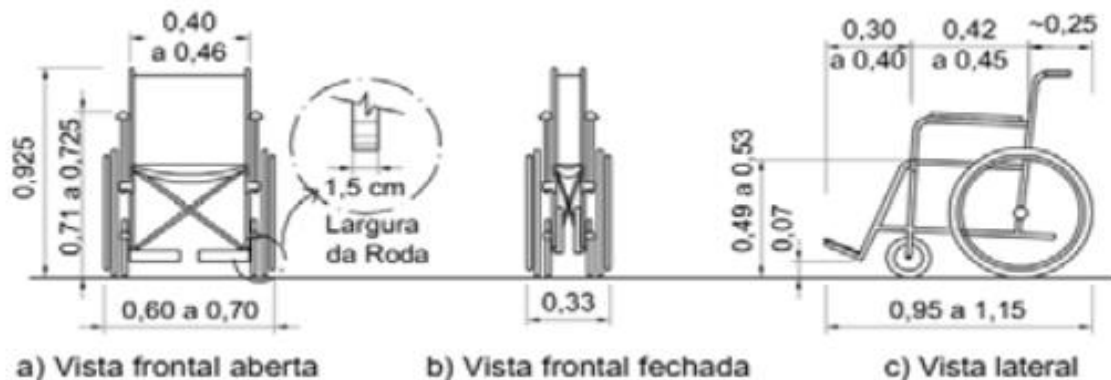
## 2.1 CADEIRA DE RODAS

Ao decorrer da história da humanidade, o homem tem criado ferramentas objetivando potencializar funções humanas. Tanto no caso da necessidade de aumento, quanto na substituição dessa, tendo como sentido o auxílio ao indivíduo para otimizar o desempenho de suas atividades. Uma das ferramentas criadas na

ajuda e substituição de funções motoras foi a cadeira de rodas, onde seu uso deve ser avaliado durante sua prescrição (MEDINA; COELHO, 2013).

A figura 1 apresenta dimensões de referência de uma cadeira de rodas conforme (ABNT NBR 9050:2004), sendo utilizadas para as cadeiras de rodas manuais e motorizadas. Normalmente uma cadeira de rodas manual pesa entre 12 kg a 20 kg, enquanto as motorizadas chegam a 60 kg.

Figura 1 – Dimensões de uma cadeira de rodas seguindo as normas ABNT.



Fonte: ABNT (2004).

### 2.1.1 Componentes da cadeira de rodas

Para composição de uma cadeira de rodas pode-se citar três componentes principais, o assento que necessita ser de um tecido que não ceda facilmente, podendo utilizar fibras não-absorventes, um exemplo desta fibra é o nylon reforçado, proporcionando conforto com facilidade de limpeza e manutenção. Sua largura deve englobar a largura do paciente mais 2 cm de cada lado para que impeça a pressão lateral da cadeira sobre os trocanteres. Assentos largos geram instabilidade do tronco e maior esforço do paciente para alcançar e movimentar os aros. Sendo que o ângulo ideal para o assento e encosto deve ser entre 80 a 100 graus. O encosto deve apresentar as mesmas características do assento, sendo acrescentado espuma na forração para propiciar conforto. Se o paciente apresentar mobilidade, a altura do encosto deve proporcionar liberdade de ação da cintura escapular, medindo 3 cm abaixo do ângulo da escápula (MEDINA; COELHO, 2013).

Para finalizar as rodas são de fundamental escolha, onde para os adultos o tamanho ideal das rodas traseiras é 24 x 1<sup>3</sup>/<sub>8</sub> polegadas sendo convertido para centímetros são 61 x 3,5 cm, já para crianças são de 16 polegadas que em

centímetros são 40,640 cm. Sendo que podem utilizar 3 tipos de aros sendo eles: anel de propulsão, cubos de alumínio ou de aço e raios de aço, assim gerando um aumento na estabilidade e segurança na cadeira. Para os pneus que são sem câmara de ar e maciços há três opções: espuma, borracha sintética ou polipropileno e tubulares, onde devem priorizar os que possuem uma câmara de ar, por contribuir com amortecimento (MEDINA; COELHO, 2013).

### 3 ATUADORES LINEARES

São componentes que geram potências mecânicas aplicados geralmente em robôs industriais, através de energia elétrica, hidráulica ou pneumática. A potência mecânica é gerada através do sistema de transmissão onde é enviada para o elo, que ao receber a potência é movimentado. Não necessitam de embreagem ou qualquer aparato para realizar o movimento linear, além de possuir um número pequeno de componentes mecânicos, menos inércia da parte móvel, menos fontes de perda e menor fadiga do mancal (POMPERMAIER, 2009).

#### 3.1 ATUADORES HIDRÁULICOS

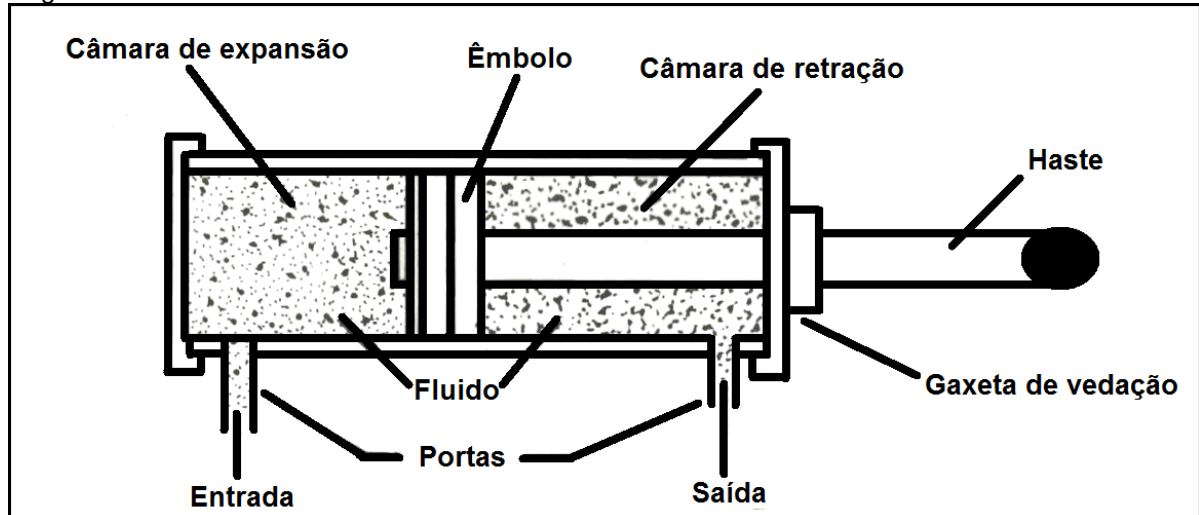
Os atuadores hidráulicos possuem em sua maioria forma de cilindros lineares, gerando movimentos lineares, porém existem versões com motores para proporcionar o deslocamento angular. Ambos são conectados em válvulas direcionais que gerenciam a direção do deslocamento do fluido nos atuadores, sendo administrado e controlado a partir de sinais vindos da unidade de comando. Permitem implementação do controle contínuo, posicionamento e velocidade devido ao fluido (óleo hidráulico), tendo como resultado uma elevação rígida e eficiente, porém pode tornar instável o controle de força. Possuem uma elevada relação entre potência mecânica e seu peso, possibilitando assim a construção de unidades compactas de alta potência. Para fornecimento do fluido (óleo hidráulico) do atuador hidráulico faz-se necessário uma bomba que controle, administre e encaminhe a quantidade de fluido através de válvulas direcionais (ROMANO; DUTRA, 2002).

Sua aplicação e utilização está concentrada em cargas da ordem de centenas de toneladas, como exemplo em tratores, guindastes, máquinas de usinagem de precisão e micromanipuladores (SILVA, 2011).

Pode-se citar como principais vantagens de utilização deste tipo de atuador o fato de possuir uma precisão de operação, onde o óleo (fluido) não é compressível e não há variação do volume ao variar a pressão, podendo manter um alto momento por um longo período de tempo parado, sendo possível manter a variação de velocidade. Pode-se citar também suas desvantagens que são em requererem de uma fonte de energia muito cara, tendo sua manutenção frequente com alto custo,

estando sujeito sempre a vazamentos de óleo (ROSÁRIO, 2010). A figura 2 demonstra um atuador hidráulico utilizado em máquinas pesadas como tratores.

Figura 2 – Atuador hidráulico.



Fonte: Do autor.

### 3.2.1 Bombas hidráulicas

Bombas são componentes utilizados para fornecerem o fluido aos atuadores lineares para movimentação de carga. O objetivo principal das bombas é provocar pressões elevadas sobre vazões baixas, sendo fornecida pressão que varia de 6 kgf/cm<sup>2</sup> até 700 kgf/cm<sup>2</sup>. Existem dois tipos de deslocamento para bombas hidráulicas, o positivo e o não positivo:

#### 3.2.1.1 Bombas de deslocamento não positivo

São bombas que possuem vedação mecânica entre a entrada e saída, gerando um pequeno aumento da pressão reduzindo a vazão de saída (CAMARGO, 2010). Seu funcionamento inicia pela entrada do fluido pelo bocal de entrada que irá alcançar o rotor. No rotor o fluido passa por canais formados pelas pás, recebendo a energia da bomba e sendo lançado ao caracol, que recebe e reúne o fluido vindo de todas as direções do rotor, conduzindo-o para o bocal da saída (SANTOS, 2007).

Algumas de suas características são possuir uma vazão uniforme, dimensões reduzidas, baixo custo de manutenção e baixo rendimento (60%). São

exemplos de bombas de desligamento não positivo: Centrífuga Radial, centrífuga helicoidal, centrífuga diagonal e axial (CAMARGO, 2010).

### 3.2.1.2 Bomba de deslocamento positivo

Em sua composição existem vedações mecânicas que separam a entrada da saída, impedindo assim vazamento interno, realizando o reaproveitamento do fluido. Onde o processo se inicia a partir da subida do pistão, gerando assim uma quantidade de óleo através da válvula de retenção que abre a entrada e fecha a saída. Quando o pistão desce se faz o processo ao contrário, assim despreza-se o volume morto dentro da bomba, sendo que no final será a mesma quantidade que entrou na bomba para gerar o ciclo (SANTOS, 2007).

Caracterizam-se pelo seu rendimento variar de 80 a 85%, gera pressão de 250 kgf/cm, deslocamento típico de 250 cm, compacta, baixo custo e manutenção (CAMARGO, 2010). Dentre as bombas de deslocamento positivo que são as mais utilizadas no mercado atual por ter um bom rendimento e ser de baixo custo, destacam-se dois tipos que atendem muito bem as necessidades.

#### 3.2.1.2.1 Bombas de engrenagem

São bombas de construção robusta sendo constituída de duas engrenagens com mesmos números de dentes, sendo uma motora e outra movida (SANTOS, 2007).

Ao se movimentar as engrenagens o fluido é conduzido da entrada para a saída pelos vãos formados pelos dentes das engrenagens junto as paredes internas da carcaça que compõe a bomba (CAMARGO, 2010).

#### 3.2.1.2.2 Bombas de palhetas

Possui mecanismo de bombeamento composto por um rotor, palhetas, anel, placas com aberturas de entrada e saída e mecanismos de ajuste da pressão e vazão (CAMARGO, 2010).

Ao acionar a bomba os rotores são lançados ao encontro da carcaça da bomba pela pressão do fluido e por forças centrífugas formando câmaras crescentes

na sucção e decrescente na saída do fluido. Tendo seu deslocamento fixo a vazão depende das dimensões, excentricidades e rotação da bomba (SANTOS, 2007).

Seu rendimento varia de 75 a 80%, tendo um deslocamento típico 100 cm<sup>3</sup>/r, pressão de trabalho é de 210 kgf/cm<sup>2</sup> para bombas de vazão fixa e 70 kgf/cm<sup>2</sup> para bombas de vazão variável, sua montagem é simples de baixo custo. Essas são algumas características de bombas de palhetas (CAMARGO, 2010).

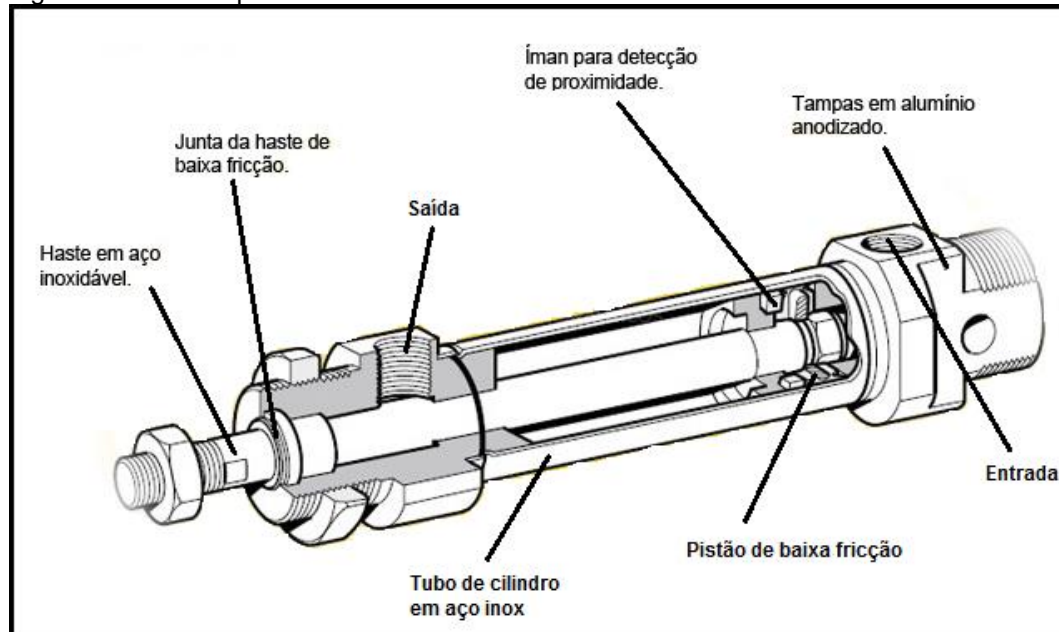
### 3.2 ATUADORES PNEUMÁTICOS

Os atuadores pneumáticos são utilizados para movimentação de cargas entre posições bem definidas limitadas por batentes mecânicos, o que caracteriza o movimento ponto-a-ponto. Sua baixa rigidez é devida a compressibilidade do fluido (ar comprimido), permitindo operações suaves, porém o torna impreciso quanto ao controle de posicionamento entre posições limites. Para sua alimentação e fornecimento do fluido (ar comprimido) é utilizado um compressor de ar comprimido, sendo encaminhado pelas válvulas direcionais. Para um melhor e mais eficiente funcionamento faz-se necessário a montagem de um sistema de preparação no circuito de ar comprimido antes das entradas das válvulas direcionais, sendo composto por filtro, dreno e regulador de pressão com manômetro (ROMANO; DUTRA, 2002).

São utilizados principalmente em sistemas automáticos de simples manipulação, sendo aplicados em movimentos de preensão como garras, porém pouco utilizados em robôs pela alta compressibilidade do fluido, pois este reduz a habilidade na realização de movimentos precisos. Algumas vantagens são que podem operar em velocidades altas, possuem um custo pequeno e de fácil manutenção e podem manter alto por longos períodos sem se danificar. Possuem algumas desvantagens também que são em não possuir uma alta precisão e estarem sujeito a vibrações quando o motor do pneumático é desligado (ROSÁRIO, 2010).

Sua utilização envolve cargas da ordem de até uma tonelada, tendo como aplicação máquinas de fixação ou transporte de peças, fresadoras pneumáticas e broca de dentista. A figura 3 ilustra os principais componentes de um atuador pneumático.

Figura 3 – Atuador pneumático.



Fonte: FLUIDPAC Componentes Hidráulicos (2014).

### 3.2.1 Compressores

O compressor é uma máquina que basicamente transforma energia mecânica ou elétrica em ar comprimido, através da compressão do ar atmosférico (SILVA, 2011). São utilizadas para manipulação dos fluidos em seu estado gasoso, elevando a pressão de sua capacidade a uma pressão de trabalho desejada (CAMARGO, 2010). Sendo dividido em três tipos: êmbolo, rotativo e turbo-compressor.

#### 3.2.1.1 Compressores de êmbolo

Este tipo de compressor é um dos mais utilizados por ser apropriado por ser capaz de trabalhar em todas as faixas de pressão, sendo elas baixa, média e alta. Podendo operar no campo de pressão que vai de um bar até milhares de bar (CAMARGO, 2010). Se caracterizam por possuírem um volume fixo de ar em cada ciclo, sendo composto num mecanismo de biela-manivela acionado por um motor elétrico ou de combustão. Onde o pistão aspira o ar com a válvula de aspiração e o comprime até atingir a pressão desejada quando aberta a válvula de pressão (SILVA, 2011).

### 3.2.1.2 Compressores rotativos

São máquinas de rotação de dois eixos, possuindo três tipos o de palhetas que trata de um rotor que gira no interior de uma carcaça com acionamento através de um motor elétrico ou de combustão. Já o tipo parafuso consiste em dois parafusos atrelados a um eixo de rotação sendo acionado por um motor elétrico ou a combustão. Para finalizar o tipo roots apresenta duas engrenagens que são movimentadas por um motor elétrico ou a combustão (SILVA, 2011).

Com a ausência das válvulas de admissão, descarga e forças mecânicas desbalanceadas, permite que este tipo de compressor opere em altas velocidades no eixo (CAMARGO, 2010).

### 3.2.1.3 Turbo-compressores

Caracterizam-se por comprimir o ar forçando o seu escoamento por um bocal, transformando sua energia em pressão. São divididos em dois tipos o axial e o radial. O axial consiste em que o ar passa pelas rodas giratórias atingindo altas velocidades, transformando energia cinética do fluxo do ar em pressão através do difusor. Para o radial o ar é conduzido no sentido radial para a saída, utilizando as mesmas características do axial (SILVA, 2011).

## 3.3 ATUADORES ELÉTRICOS

São dispositivos eletromecânicos que produzem movimentos curtos unidirecionais e bidirecionais através da transformação de energia elétrica em movimentos mecânicos (ANDRICH et al, 2012). Seu acoplamento é direto abrangendo a parte móvel do motor ao pistão, não havendo perdas como nos motores rotativos cujo acoplamento utiliza biela. Operam com o princípio de transporte magnético sendo composto por sistemas de excitações diferentes, são eles imãs permanentes no pistão de movimentação, imãs permanentes na armadura exterior, sistema de eletromagnetismo com enrolamentos e sistema com supercondutores (POMPERMAIER, 2009).

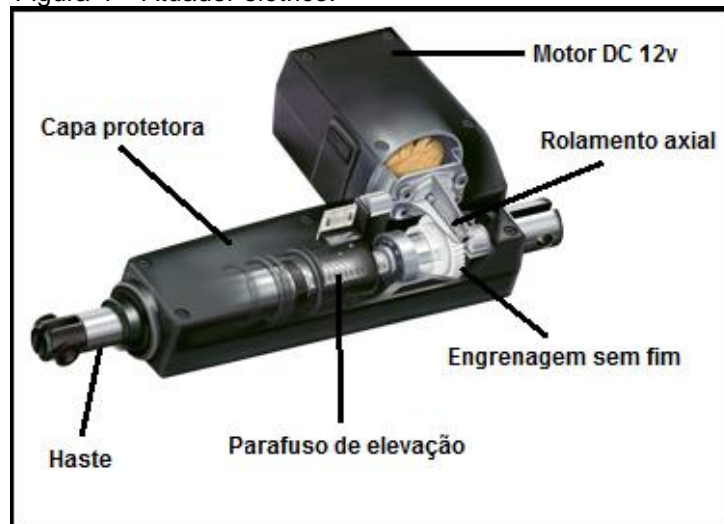
Possuem como principais vantagens a eficiência calculada e controle preciso, composto por uma estrutura simples de fácil manutenção com um custo baixo.

Suas desvantagens são em não manterem um momento constante nas trocas de velocidades, estão sujeitos a danos quando operam cargas pesadas e possuem baixa razão de potência na saída do motor em seu peso, assim necessita-se um motor muito grande no braço (ROSÁRIO, 2010).

Algumas aplicações do atuador linear elétrico podem ser vistas em esteiras de transporte de produtos, levantador de massas, catapulta eletromagnética, simular colisões de carros em paredes e principalmente em robôs, sendo utilizados motores de corrente contínua e de passo.

Na figura 4 pode-se visualizar os componentes internos que compõem um atuador elétrico.

Figura 4 – Atuador elétrico.



Fonte: Linak (2015).

Dentre os atuadores lineares escolhidos para estudo e implementação do trabalho pode-se destacar os hidráulicos, pneumáticos e elétricos. Para os hidráulicos pode-se extrair que o mesmo é utilizado em cargas de grande porte na casa das centenas de toneladas contendo alta precisão, porém seu custo benefício, flexibilidade e complexidade em montar o circuito abastecedor por necessitar de bomba hidráulica, o descarta para utilização no projeto. Os atuadores pneumáticos são mais flexíveis e com um custo relativamente baixo trabalhando em uma ordem de carga de até uma tonelada, porém com baixa precisão e uma complexidade em montar o circuito pneumático a partir de um compressor utilizando os filtros e mangueiras para alimentar o atuador, o tornam complexo para sua utilização. Assim foi escolhido para estudo os atuadores elétricos por possuírem uma fácil manipulação, ter uma alta precisão nos

movimentos e já estar inserido no mundo da robótica há anos o que facilita na pesquisa e implementação do projeto. Sua força e movimentos são gerados através do motor de corrente contínua que pode ser de 12 V a 24 V, sendo utilizado o de 12 V para pesquisa e implementação.

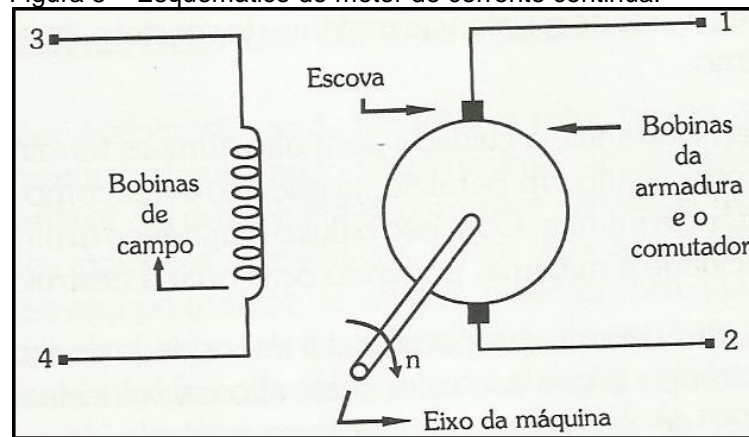
O motor é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação. É constituído essencialmente de duas peças: o estator que são os elementos fixados a carcaça da máquina e a armadura que são os elementos que ficam fixados em torno do eixo internamente no estator (BONACORSO; NOLL, 1997). Trabalham em todas as faixas de potência: micromotores, motores de potência fracionária, pequenas, médias e grandes. São utilizados em máquinas de lavar, secadoras de roupa, ventiladores, condicionadores de ar e na maioria das máquinas encontradas nas indústrias (GUSSOW, 1997).

### **3.3.1 Motores corrente contínua**

São motores compactos que mantêm o torque numa faixa constante para grandes variações de velocidade, porém necessitam de sensores de posição angular e velocidade (ROMANO; DUTRA, 2002). Seus componentes principais são a armadura, o comutador, escova e enrolamento de campo. A armadura é onde recebe a corrente vinda de uma fonte elétrica externa (fonte de alimentação), fazendo a armadura girar. Pode-se atribuir também o nome de rotor para armadura. O comutador em um motor cc serve para converter a corrente alternada passada pela armadura em corrente contínua sendo liberada através de seus terminais. As escovas são conectores que fazem o contato entre os enrolamentos da armadura e a carga externa, sendo montadas sobre molas que permitem que deslizem sobre o comutador do eixo da armadura. Sua composição pode ser de partículas de carbono ou misturas de grafita e cobre. Para finalizar os enrolamentos de campo são eletroímãs que produzem o fluxo interceptado pela armadura, sendo alimentado pela mesma corrente que é fornecida para armadura (GUSSOW, 1997).

Na figura 5 é demonstrado o esquemático de um motor cc, onde o estator é formado pelas bobinas de campo e escovas, enquanto o rotor é formado pela bobina da armadura e comutador.

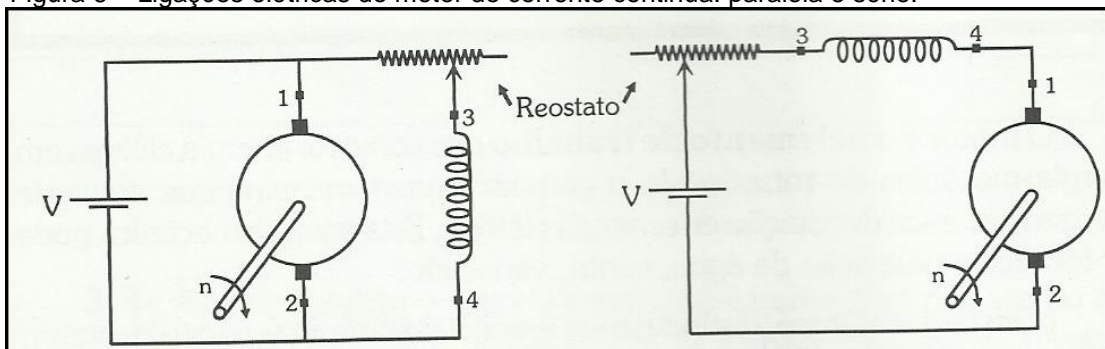
Figura 5 – Esquemático do motor de corrente contínua.



Fonte: Bonacorso e Noll (1997).

O princípio de funcionamento está na ação de forças magnéticas sobre a armadura, geradas pela interação magnética entre o estator e a armadura. Suas bobinas de campo possuem ligações em série ou paralelo conforme figura 6, onde independente da ligação mais baixa é obtida com a resistência zerada do reostato (resistor variável), gerando assim um grande fluxo magnético nas bobinas de campo. Porém a velocidade mais alta é limitada eletricamente pelo máximo valor do reostato, gerando um fluxo magnético mínimo (BONACORSO; NOLL, 1997).

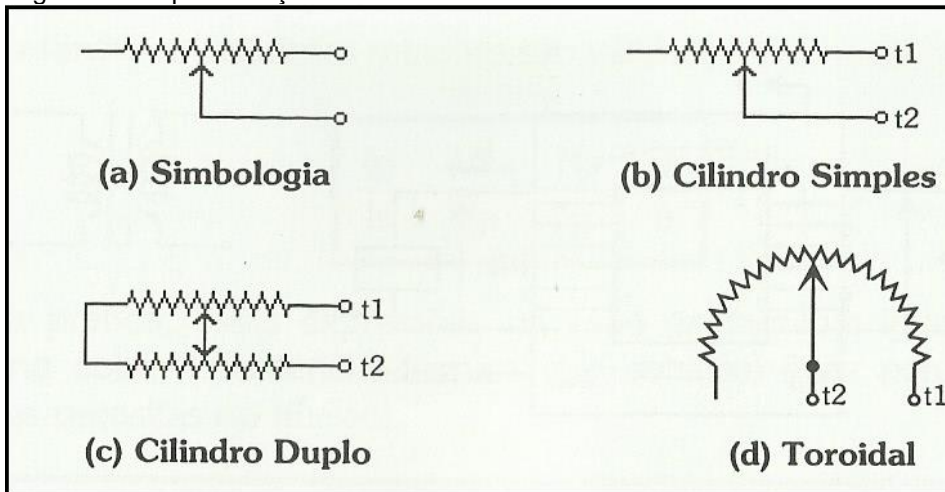
Figura 6 – Ligações elétricas do motor de corrente contínua: paralela e série.



Fonte: Bonacorso e Noll (1997).

Reostatos são componentes que servem para regular correntes de alta intensidade em circuitos elétricos. Na figura 7 demonstra-se as simbologias dos tipos de reostatos que são encontrados nos circuitos elétricos de motores (BONACORSO; NOLL, 1997).

Figura 7 – Representações do reostato.



Fonte: Bonacorso e Noll (1997).

Sua eficiência mecânica ocorre em velocidades elevadas, necessitando o uso de redutores de velocidade para que seja possível obter a redução da velocidade e conseqüentemente o aumento do torque na retomada de potência mecânica ao elemento movido. O torque é proporcional à intensidade do campo e à corrente da armadura. Atualmente o tipo mais utilizado é o sem escovas pelo seu baixo índice de manutenção, decorrentes de diminuição de desgastes e melhoria na dissipação térmica entre a armadura e o estator (ROMANO; DUTRA, 2002). Sua velocidade é dada através do número de rotações do eixo em relação ao tempo, sendo expressa em unidades de Rotações Por Minuto (RPM). Caso haja uma redução no fluxo do campo do motor acaba gerando um acréscimo na velocidade, se aumentar o fluxo diminui a velocidade do motor. Por esse fato emprega-se uma forma conveniente no controle de velocidade que consiste em variar o fluxo do campo através de ajustes de resistência no circuito do campo (GUSSOW, 1997).

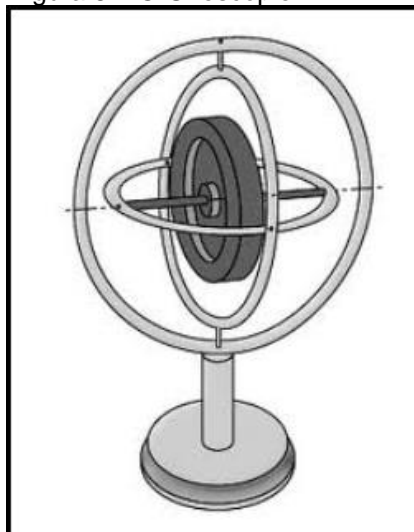
## 4 SENSOR E MICROCONTROLADOR

A palavra giroscópio é derivada do grego: *gyros* (giro) + *skopein* (ver). Este foi o nome adotado por seu criador Leon Foucault, em 1852 que o concebeu e executou com objetivo de demonstrar o movimento da rotação da terra (FONSECA, 1966).

Todo corpo rígido que gire em seu próprio eixo de simetria num espaço se caracteriza um giroscópio (BARCELOS NETO, 2004). Seu efeito tem uma grande aplicação, que vão desde sistemas inerciais para navegação, orientação e controle de aviões e naves (MOURA, 2001). Os sensores inerciais são transdutores que fornecem um sinal de saída, proporcionando à velocidade angular ou à aceleração, definindo seus ângulos de orientação no sistema de coordenadas global Z, Y e X como guinada, arfagem e rolagem.

É constituído essencialmente de um rotor balanceado que possa girar livremente em torno de seus eixos geométricos perpendiculares entre si que interceptem o centro de gravidade. Ao ser colocado em uma suspensão tipo cardan, pode adquirir qualquer orientação, porém seu centro de massa deve permanecer fixo no espaço. A agulha giroscópica demonstrada na figura 8 foi desenvolvida no início do século passado sendo um exemplo das primeiras aplicações formais do giroscópio (SOUZA JÚNIOR, 2014).

Figura 8 – O Giroscópio.



Fonte: Souza Júnior (2014).

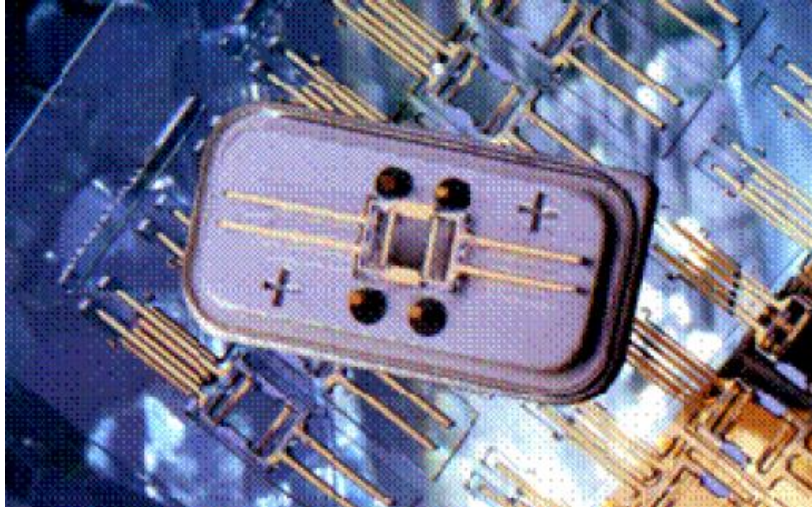
Estes dispositivos são amplamente usados também em sistemas robóticos e automobilísticos. Tendo um nicho de aplicação no mercado de consumo de dispositivos portáteis: GPS, estabilizadores em câmeras digitais e telefones celulares, periféricos de computadores, PDAs, notebooks, controles remotos, controladores de jogo e ferramentas para indústria biomédica (PATZELT, 2007). A medição da rotação de um corpo rígido depende da incerteza máxima permitida no seu resultado. Sendo que quanto menor for este erro, maior irá ser seu grau de desempenho, ou seja maior será o grau de sofisticação tecnológica do instrumento (FORHAN, 2010).

A tecnologia dos giroscópios é dividida em três gerações, sendo elas: a geração dos giroscópios mecânicos, seguido pelos giroscópios óticos e mais recentemente os giroscópios MEMS. Na primeira geração seu princípio de funcionamento eram as propriedades de um disco girante, onde os sensores apresentam maior exatidão, volume e custos, sendo utilizados em aplicações navais (DURÃO, 2009). Esta tecnologia permitiu ao final do século XIX e início do século XX que o alemão Herman Anschütz Kaempfe patenteasse uns dos primeiros giroscópios para utilização em navios.

A segunda geração que tem seu funcionamento baseado nas propriedades da luz, apresentando um menor custo, volume e exatidão, sendo utilizados em aplicações aeronáuticas. No ano de 1909 o inventor e empreendedor americano Elmer Sperry construiu o primeiro piloto automático para aeronaves utilizando giroscópios, que a partir de 1911 começou a comercializar bússolas giroscópicas nos EUA e Inglaterra. Nesta época começaram a surgir os primeiros sistemas de navegação inerciais utilizando três giroscópios e acelerômetros para medir a aceleração da gravidade. O grupo Peenemunde da Alemanha foi o pioneiro nesta área utilizando os sistemas de navegação inerciais em foguetes V -2 no final da segunda guerra mundial (MAY, 1993).

Sua terceira geração é formada pelos sensores baseados na tecnologia MEMS, apresentando os menores custo e volume, e a menor qualidade de medida dentre todas as tecnologias (DURÃO, 2009). Os primeiros giroscópios a utilizarem a tecnologia MEMS foram sensores piezoelétricos feitos em quartzo. Tendo como pioneira na década de 80 a empresa Systron Donner Inertial que comercializava os giroscópios de vibração de quartzo demonstrado na figura 9.

Figura 9 - Giroscópio de vibração de quartzo da empresa Systron Donner.



Fonte: Barbour e Schmidt (2001).

Seguindo este contexto, a tecnologia MEMS, fisicamente são dispositivos eletromecânicos inerciais de alta precisão, onde em comparação aos dispositivos convencionais (não MEMS). Esta vantagem é resultado de uma combinação do baixo custo de fabricação, tamanho compacto, pouco peso, baixo consumo, alta confiabilidade e inteligência aumentada. Com este levantamento e vantagens será estudado e aplicado neste trabalho esta tecnologia para obtenção das posições do protótipo em relação ao espaço.

É um sistema eletromecânico miniaturizado que apresenta três fundamentais componentes: o sensor, a interface analógica e o controle digital. O sensor recebe o sinal passando-o para interface digital onde está é responsável em amplificar e transmitir o sinal para o controle digital que fará o processamento numérico. O microssistema pode ser composto por duas formas: híbrida ou monolítica. Sendo híbrida quando a eletrônica está separada em um outro chip da parte que contém o sensor. Monolítica quando todas as partes do sistema se encontram integradas num mesmo chip. Os sistemas monolíticos apresentam maior desempenho por não necessitar de integração entre a interface e os circuitos pois os mesmos estão na mesma placa (FORHAN, 2010).

Desde seu primeiro modelo divulgado em 1991 pelo Drapper lab., foram muitas as pesquisas realizadas nesta área afim de desenvolver dispositivos inerciais com base na tecnologia MEMS (GREIFF; BOXENHOM; KING; NILES, 1991). São fabricados através da combinação de processos característicos de fabricação da microeletrônica, sendo que muitas foram utilizadas anteriormente na construção de

circuitos integrados. Técnicas como deposição, litografia UV e corrosão fazem boa parte do processo de obtenção destas microestruturas utilizadas na fabricação dos sensores MEMS (MADOU, 2001).

A autonomia e domínio destes processos tecnológicos na fabricação dos dispositivos inerciais MEMS apresenta-se como uma necessidade dos dias atuais para aplicação e utilização nas defesas aéreas e marítimas. Esta tecnologia MEMS é relativamente nova, tendo sua introdução ao mundo dos dispositivos micros represente um de seus maiores desafios. Nos laboratórios as pesquisas relacionadas encontram-se em pleno desenvolvimento e a comercialização de resultados não ocorre em grandes escalas. Isso se dá por ser um assunto que envolva conhecimentos de várias áreas da física sendo elas: mecânica de materiais, mecânica de fluido, transferência de calor, eletromagnetismo e osciladores mecânicos; podendo abranger outras áreas como engenharia química, elétrica e mecânica.

Aproximadamente mais de \$10 bilhões foram investidos na tecnologia MEMS no ano de 2011, sendo que atualmente estes números continuam crescendo. O mercado até 2017 aponta um investimento de até \$21.32 bilhões para dispositivos que possuem a tecnologia MEMS. Ressaltando que os micros sensores inerciais representam mais de 30% dos investimentos mencionados. Tendo uma estimativa de crescimento de 8.1% até o ano de 2017 nos investimentos na área dos sensores inerciais (PERLMUTTER; ROBIN, 2012).

O êxito comercial atingido pelos micros acelerômetros se deve pela aplicação no mercado automobilístico sendo focado nos *airbags* e sistemas de estabilidades, mercado de telecomunicação sendo utilizados nos micros espelhos para comutação de fibra ótica para internet e antenas inteligentes e possuem um grande mercado para entretenimento voltado aos smartphones, vídeo games da última geração (Nintendo Wii) (FERREIRA, 2013).

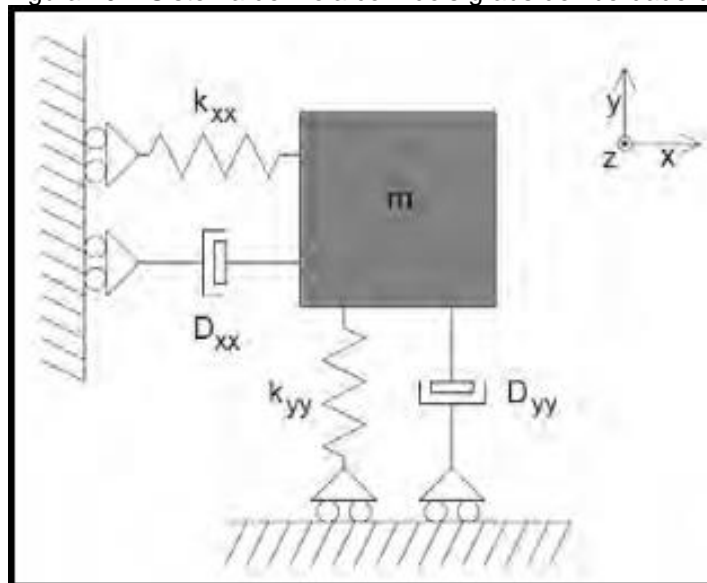
O giroscópio MEMS possui característica básica de um elemento mecânico vibrante que basicamente é um sistema mola com dois graus de liberdade, sendo composto por um mecanismo de atuação e detecção. O princípio fundamental de operação deste sistema mecânico é a possibilidade de medir a velocidade angular de um determinado corpo para uma determinada direção ao induzir a força de Coriolis. Este atua em uma massa de prova para detectar rotação angular, sendo que o elemento vibrante vibra na direção de  $v$ , ao rodar o giroscópio a massa de prova sofre

uma vibração adicional perpendicular a vibração original causada pela força de Coriolis (BENTO, 2010). A força de Coriolis é descrita pela equação abaixo:

$$F_c = 2m (v \times m)$$

A massa de prova é suspensa acima do substrato pelo sistema de molas formado por finas barras flexíveis excitada por uma força eletrostática ou eletromagnética externa acaba oscilando no modo principal de vibração numa frequência de ressonância, para que pudesse obter o máximo de ganho e como consequência a máxima sensibilidade. No momento de uma rotação a massa oscilante sofrerá a força e Coriolis que causa uma transferência de energia para o segundo modo de vibração chamado de sensor, onde o mesmo proporciona a velocidade angular da rotação (FORHAN, 2010). A figura 10 demonstra um sistema de mola com dois graus de liberdade.

Figura 10 – Sistema de mola com dois graus de liberdade de um giroscópio.



Fonte: Forhan (2010).

#### 4.1 ESTUDO E ESCOLHA DO SENSOR GIROSCÓPIO APROPRIADO

Com base nos fundamentos levantados nos estudos de giroscópios MEMS para utilização neste projeto com função única de estimar e calcular o ângulo em que o protótipo da cadeira de rodas se encontra sobre ambiente externo, permitindo assim a estabilidade do mesmo. O sensor giroscópio MPU6050 foi escolhido para esta

função por atender exigências de baixo consumo de potência, baixo custo e uma alta inteligência na medição dos ângulos. O sensor é fabricado pela empresa Invensense Inc. que foi fundada em 2003 e que atualmente está situada em na cidade de San Jose, Califórnia, com escritórios na China, Coréia, Japão, Eslováquia e Taiwan (INVENSENSE INC., 2014). O MPU-6050 contém um acelerômetro e giroscópio MEMS no mesmo chip, contendo para conversão digital de cada canal 16 bits analógicos de hardware. O canal capta posições X, Y e Z ao mesmo tempo, sendo utilizado o barramento I2C-bus para realizar a interface com o Arduino conforme figura 11 demonstrando o chip MPU-6050 (ARDUINO, 2014, tradução nossa).

Figura 11 – Giroscópio MPU-6050.



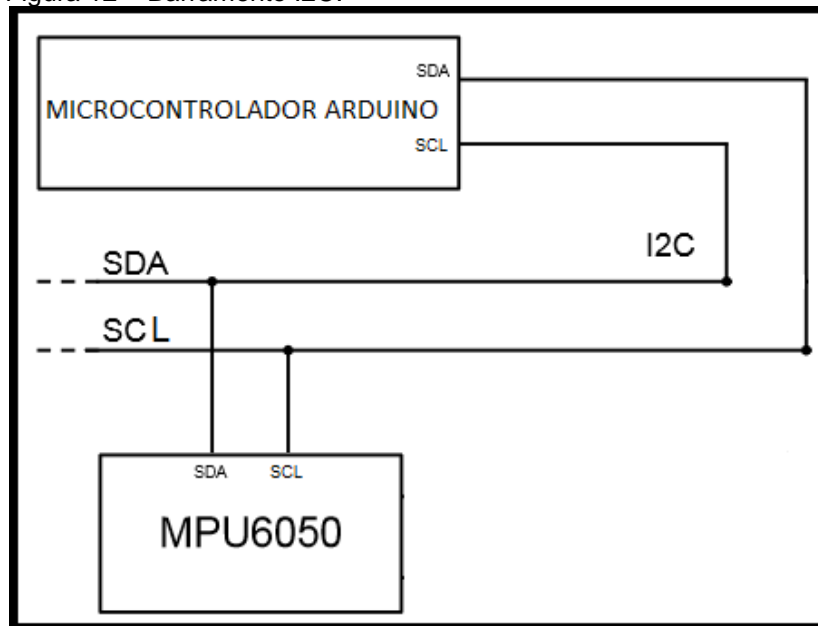
Fonte: Arduino (2014).

A família MPU6050 é a primeira de dispositivos de seis eixos, sendo projetada para rastreamento dos movimentos, integrado por um magnetômetro HMC5883L e um Barômetro MS5611-01BA01, que medem o campo magnético com precisão de 5 mGauss e a pressão atmosférica com precisão de até 10 cm ao nível do mar. O chip é composto pelos três eixos ortogonais do acelerômetro, três eixos ortogonais do giroscópio, três eixos ortogonais do magnetômetro e o barômetro (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013). O sensor sempre age como um escravo para o Arduino, ou seja, ele somente fornece os dados para Arduino processar e interpretar, sendo utilizado os pinos SDA e SCL ligados ao barramento I2C-bus.

O barramento I2C foi projetado no começo dos anos 80 pela Philips com objeto de ter uma comunicação mais fácil entre os componentes de uma mesma placa de circuitos. Tendo um início focado na lógica 5 V, porém com a especificação 2.0 liberada em 1998, sua tensão de referência foi reduzida para 2 V. Na comunicação cada dispositivo tem seu papel designado, sendo um mestre ou um escravo, estes termos se aplicam a velocidade do *clock* gerado pelo chip. Ao contrário da

comunicação RS232 a taxa de transmissão não é fixa a um valor constante, onde o dispositivo mestre gera o *clock* para cada bit transmitindo, ou seja, para cada bit tem uma faixa de tempo determinada que o dispositivo escravo deve estar sempre pronto para seguir a mesma velocidade para obter e processar a comunicação. Este processo é fácil de conseguir em um computador, porém para os micros controladores é difícil especialmente se estiver ocupado executando outras tarefas. Tendo como desafio sempre assegurar que independente do que estiver executando deve estar pronto para processar um pedido do mestre com velocidade permitida e no tempo estabelecido pelo *clock* (BUS, 2014, tradução nossa). A figura 12 demonstra o esquemático do barramento I2C que está composto na placa do giroscópio MPU-6050.

Figura 12 – Barramento I2C.



Fonte: Do autor.

## 4.2 MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador é um dispositivo semicondutor embutido em um circuito integrado, onde é composto pelas partes de um microcomputador que são: o microprocessador, as memórias não voláteis e voláteis e as portas de entrada e saída (GIMENEZ, 2005). São usados com frequência para tarefas específicas onde não exijam grande quantidade de processamento de dados, como um exemplo simples a automação residencial. Por serem de pequeno porte apresentam o melhor

custo/benefício dos dispositivos que envolvem eletrônica, onde internamente possuem todos os componentes necessários para seu funcionamento autônomo.

Caracterizam-se por incorporar no mesmo chip um microprocessador que tem como finalidade de interpretar as instruções do programa e processar os dados do mesmo, memória de programa responsável por armazenar os valores associados com as variáveis do programa, pinos de entrada/saída que realizam a comunicação do microcontrolador com o meio externo que podem ser sensores, motores e dispositivos, e para completar vários periféricos como temporizadores, controladores de interrupção, comunicação serial e geradores de modulação de pulso e PWM (MARTINS, 2005).

Neste contexto de microcontroladores, para estudo e utilização no trabalho foi escolhido o microcontrolador Arduino por ser uma plataforma multiplataforma, ou seja, pode ser executada nos principais sistemas operacionais Linux, Mac e Windows. Além disso é totalmente open-source abrangendo o software, hardware e documentação. Possui um microcontrolador da família AVR de fácil implementação, o que facilita a utilização do microcontrolador. Outro aspecto favorável ao uso do Arduino é a grande comunidade de desenvolvedores e hobbistas que compartilham seus conhecimentos e códigos seus para que outros desenvolvedores copiem, utilizem e modifiquem para que se possa cada vez mais disseminar o uso da plataforma. Além de possuir uma interface de software amigável de fácil utilização com bastante recursos a serem utilizados no desenvolvimento dos códigos a serem transferidos para o hardware do Arduino através de uma conexão USB na própria placa.

#### **4.2.1 Arduino**

O projeto original foi iniciado em 2005 e desde de lá já foram vendidas mais 150.000 placas Arduino em todo o mundo. Com o número de clones não oficiais esta marca pode superar mais de 500 mil placas e variantes (*Shields*) unidade vendidas. Sua popularidade cresce num ritmo grande, atraindo pessoas do mundo inteiro e de áreas de atuação distintas. Este crescimento se dá pelo fato de ser um projeto open-source tanto o hardware quanto a linguagem, que permitem criar projetos pequenos e grandes de uma forma rápida e fácil (MCROBERTS, 2011). Originalmente foi projetado para designers e artistas como uma forma de prototipagem para cursos de

design de interação, onde atualmente amadores e especialistas de todo mundo usam para criar seus próprios projetos. Permitindo voltar a construir microcomputadores de uma forma simples, o que não se conseguia desde 1980 quando se construía seu próprio computador. Com o Arduino fica mais fácil para o desenvolvedor projetar e prototipar seus projetos que podem ser simples ou sofisticados *gadgets*, sem necessitar de muita teoria em eletrônica e programação (SCHMIDT, 2011, tradução nossa).

Na prática o Arduino é um pequeno computador composto por um microprocessador da empresa ATMEL onde a linha utilizada é a ATmega que varia entre os modelos ATmega8, ATmega162 e ATmega328p, um cristal oscilador que é um relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada (*clock*) e um regulador linear de 5 volts. Seu funcionamento se baseia em receber um conjunto de instruções e armazená-las em sua memória, onde após o processamento irá executar estas instruções conforme programado, como exemplo acender uma luz ou acionar um motor. Estas instruções são chamadas de esboço ou *sketch*, que é onde fica a lista de processos e passos que o Arduino deve fazer, como fazer e como passar para os materiais que estão ligados a ele (KELLY; TIMMIS, 2013, tradução nossa).

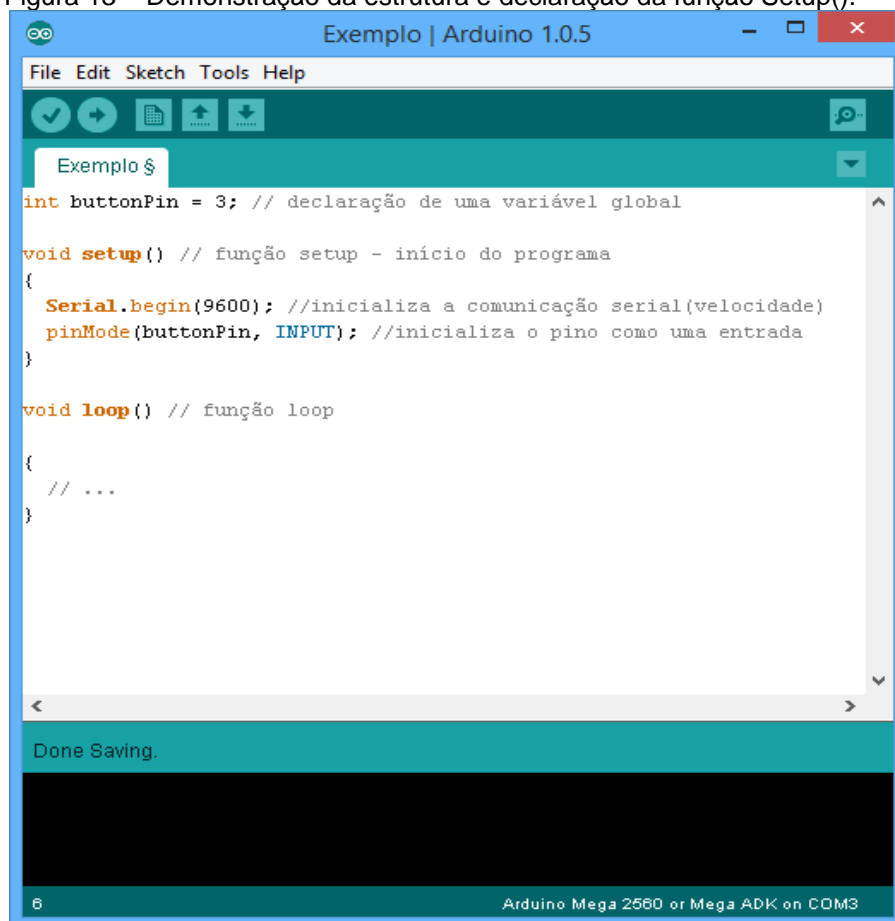
Atualmente existem 21 tipos de placas Arduino sendo fabricados que são: Arduino Uno, Leonardo, Due, Yún, Ter, Zero, Micro, Esplora, Mega ADK, Ethernet, Mega 2560, Robot, Mini, Nano, LilyPad Simple, LilyPad SimpleSnap, LilyPad, LilyPad USB, Pro Mini, Fio e Pro. A equipe de criação e desenvolvimento do Arduino é composta por: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis (ARDUINO, 2014, tradução nossa).

Para programar e passar o esboço que são as instruções é utilizado a IDE do Arduino que é um ambiente escrito em Java e baseado em *Processing*, *avr-gcc* e outros softwares de código aberto. A linguagem é baseada em C/C++, onde a maioria das bibliotecas e programas são escritas em C e C++. O C foi desenvolvido na década de 70 pelo cientista Dennis Ritchie, sendo usado pela primeira vez em um DEC PDP-11 rodando em um sistema UNIX. O C é uma linguagem de programação genérica utilizada para a criação de programas diversos como processadores de texto, sistemas operacionais, gerenciadores de bancos de dados e etc. É uma IDE muito simples de se utilizar e de estender bibliotecas que podem ser encontradas e estudadas

facilmente em artigos e sites especializados por serem open-source. Sua estrutura é dividida em basicamente em duas funções que são: a função *Setup()* e *Loop()*.

A função *Setup()* é chamada na iniciação do programa, onde é utilizada para inicialização das variáveis, definição dos modos de entrada ou saída dos pinos e indicar bibliotecas. Esta função é executada somente uma única vez quando o Arduino é inicializado ou resetado (ARDUINO, 2014, tradução nossa). Um exemplo pode ser visto na imagem 13 onde demonstra diretamente da IDE do Arduino um programa exemplo como é feita a declaração da função e inicialização de alguns componentes como a comunicação serial e a definição dos pinos que servirão de entrada ou saída.

Figura 13 – Demonstração da estrutura e declaração da função *Setup()*.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "Exemplo | Arduino 1.0.5". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for saving, running, and other functions. The main text area contains the following code:

```
Exemplo $
int buttonPin = 3; // declaração de uma variável global

void setup() // função setup - início do programa
{
  Serial.begin(9600); //inicializa a comunicação serial(velocidade)
  pinMode(buttonPin, INPUT); //inicializa o pino como uma entrada
}

void loop() // função loop
{
  // ...
}
```

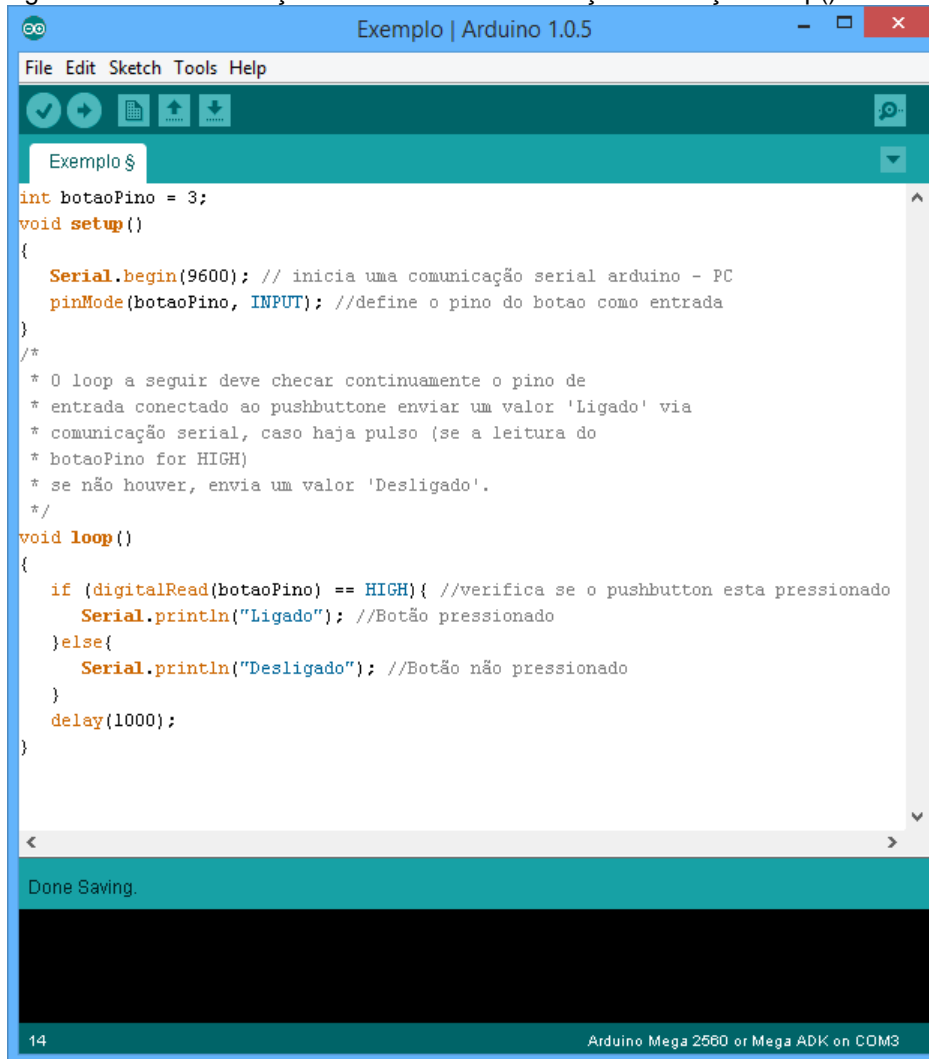
At the bottom of the IDE, there is a status bar that says "Done Saving." and "Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM3".

Fonte: Do autor.

Após a inicialização e execução da função *Setup()*, a função *Loop()* é chamada e repete-se continuamente até o desligamento do Arduino, permitindo que o programa funcione dinamicamente, é esta que controla de forma ativa a placa Arduino através de funções e da lógica empregada no programa para que o Arduino interprete e execute (ARDUINO, 2014, tradução nossa). A figura 14 mostra um

exemplo da estrutura e utilização da função onde nela é empregada a lógica para verificar se um determinado componente está ligado ou desligado, assim executando uma tarefa dependo da condicional.

Figura 14 – Demonstração da estrutura e declaração da função Loop().



```

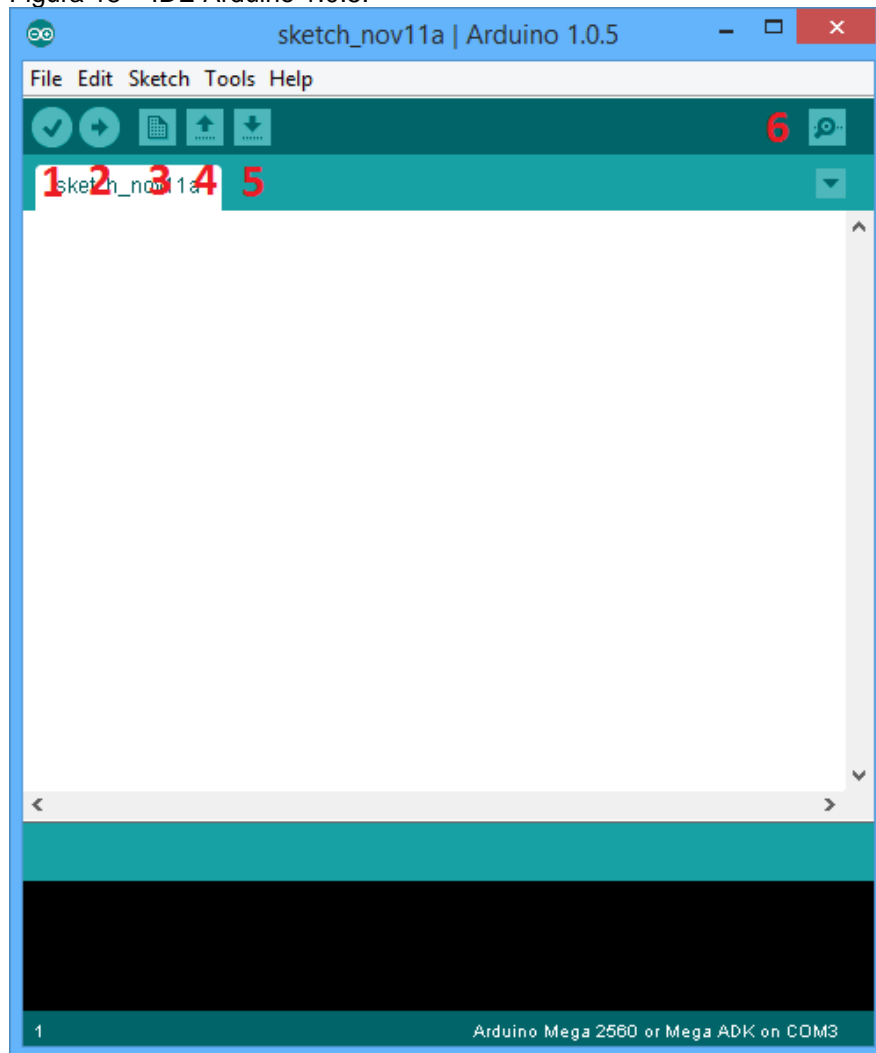
Exemplo | Arduino 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help
Exemplo $
int botaoPino = 3;
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // inicia uma comunicação serial arduino - PC
  pinMode(botaoPino, INPUT); //define o pino do botao como entrada
}
/*
 * O loop a seguir deve checar continuamente o pino de
 * entrada conectado ao pushbutton e enviar um valor 'Ligado' via
 * comunicação serial, caso haja pulso (se a leitura do
 * botaoPino for HIGH)
 * se não houver, envia um valor 'Desligado'.
 */
void loop()
{
  if (digitalRead(botaoPino) == HIGH){ //verifica se o pushbutton esta pressionado
    Serial.println("Ligado"); //Botão pressionado
  }else{
    Serial.println("Desligado"); //Botão não pressionado
  }
  delay(1000);
}
Done Saving.
14 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM3

```

Fonte: Do autor.

As funções da IDE se dividem em duas, onde a primeira é permitir o desenvolvimento de novos programas e envia-los para a placa Arduino através da conexão USB, onde o ambiente é responsável em converter o código fonte para o compilador avr-gcc, este converte o código do programa para a linguagem C que finalmente é traduzida em linguagem de máquina compreendida pelo microcontrolador. A figura 15 traz a interface do Arduino IDE sendo numerada pelo autor por meio da tabela 1.

Figura 15 – IDE Arduino 1.0.5.



Fonte: Do autor.

Tabela 1 – Descrição da IDE do Arduino.

Número	Nome	Descrição
1	<i>Verify</i>	Verifica e compila o código fonte
2	<i>Upload</i>	Compila o código e o transfere para a placa
3	<i>New</i>	Gera um novo programa ( <i>sketch</i> )
4	<i>Open</i>	Abri o programa ( <i>sketches</i> ) salvos
5	<i>Save</i>	Salva o programa ( <i>sketch</i> ) atual
6	<i>Serial Monitor</i>	Abre um monitor serial que simula a comunicação do computador com a placa

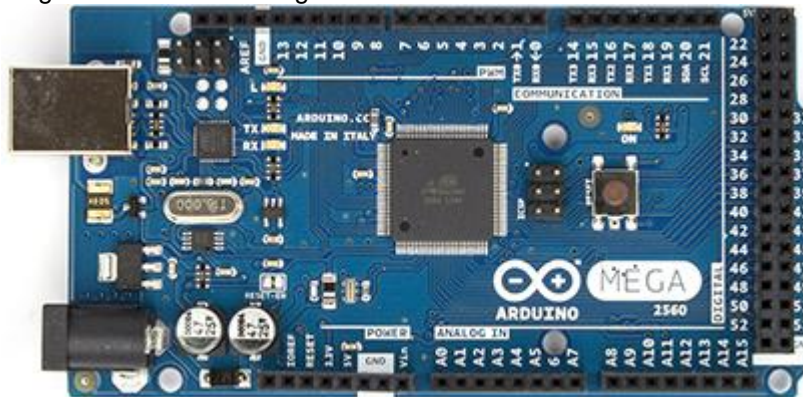
Fonte: Do autor.

#### 4.2.1.1 Arduino Mega 2560

O Arduino Mega 2560 foi escolhido para o desenvolvimento do projeto, por possuir um número de pinos de entrada/saída e memória superior ao demais modelos, pois o giroscópio e atuadores consumirão uma quantidade relativa de portas e

processamento o que em outros modelos poderiam não atender. A placa é apresentada na figura 16.

Figura 16 – Arduino Mega 2560.



Fonte: Arduino (2014).

É uma placa baseada no microcontrolador ATmega2560, que possui 54 pinos digitais de entrada/saída. Tendo estes 15 com possibilidade de uso como saída PWM, sendo elas (2 a 13 e 44 a 46). Possui 16 pinos analógicos, 4 USARTs que são portas seriais de hardware, um cristal oscilador de 16 MHz, uma entrada USB, uma entrada de alimentação, soquete de comunicação ICSP e um botão reset. Sua alimentação pode ser feita através do cabo USB, fonte de alimentação AC-DC ou bateria. É compatível com grande parte dos *Shields* projetados para a plataforma Arduino (ARDUINO, 2014, tradução nossa).

ATmega2560 é um microcontrolador de 8 bits desenvolvido e fabricado pela empresa Atmel, possuindo três memórias diferentes: flash com 256 KB que serve de armazenamento dos códigos, uma volátil SRAM de 8 KB e uma EEPROM de 4 KB. Sua arquitetura RISC possui um conjunto de 135 instruções trabalhando numa frequência de 16 MHz (ATMEL, 2010).

Na tabela 2 é detalhada as características do Arduino Mega 2560 descritas acima.

Tabela 2 – Características do Arduino Mega 2560.

Dimensões	5,3 cm x 10,2 cm x 1,0 cm
Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de operação	5 V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12 V
Tensão de entrada (limite)	6-20 V
Pinos de Entrada/Saída digitais	54, sendo que 15 oferecem saída PWM
Pinos de entrada analógicos	16
Corrente DC dos pinos de entrada/saída	40 mA
Corrente DC dos pinos 3.3 V	50 mA
Memória flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade de <i>Clock</i>	16 MHz

Fonte: Arduino (2014).

A placa opera com uma fonte de alimentação externa na fixa de 6 a 20 volts, sendo que se for utilizado uma voltagem menor de 5 V pode deixar a placa instável. Caso se utilize mais de 12 V, o regulador poderá superaquecer e danificar a placa, assim o intervalo mais recomendado de utilização é entre 7 e 12 volts. O Mega 2560 se difere das placas anteriores por não utilizar o chip controlador USB para serial FTDI, em vez deste é utilizado o ATmega 16U2 que é programado com um conversor USB para serial, este utilizado para transmissão de dados. Para proteção das portas USB do computador utilizado para carregar e transferir os programas à placa, o Mega 2560 possui um fusível chamado *polyfuse* para que se caso seja aplicado mais de 500 mA as portas USB o fusível irá romper automaticamente a conexão até o curto ou sobrecarga ser resolvida (ARDUINO, 2014, tradução nossa).

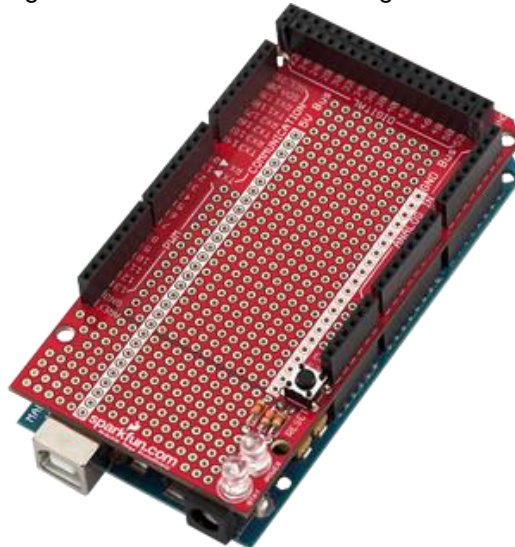
#### 4.2.1.2 Shields

O Arduino pode ser estendido pela utilização dos *Shields*, que são placas de circuitos impresso contendo outros dispositivos como exemplo: giroscópio, displays LCD, módulos Ethernet e etc. Onde através deste pode-se obter funcionalidades adicionais. Estendem os pinos até o topo de suas placas para que assim não perca o

acesso de todos os pinos. Podem ser utilizados também para desenvolvimento de projetos interativos independentes, ou ainda para ser conectados a outros projetos (ARDUINO, 2014, tradução nossa).

A figura 17 apresenta um exemplo de uma placa *Shield* MegaShield que se encaixa ao Arduino Mega 2560, fornecendo aos usuários uma grande área de prototipagem.

Figura 17 - Arduino *Shield* – MegaShield.



Fonte: Robocore (2014).

## 5 TRABALHOS CORRELATOS

Os trabalhos correlatos se fazem necessários para obtenção de conhecimento em tecnologias e metodologias utilizadas em outras experiências dentro da mesma área de pesquisa, tornando possível a comparação dos resultados obtidos.

São apresentados trabalhos que fazem parte das tecnologias estudadas e utilizadas na fundamentação teórica, metodologia e resultados obtidos nos projetos.

### 5.1 SISTEMA DE ELEVAÇÃO AUTOMÁTICO DE UM VEÍCULO TIPO CADEIRA DE RODAS

Este projeto é uma dissertação para obtenção de mestrado em Engenharia Mecânica, realizado na Universidade de Taubaté no ano de 2011. O projeto foi desenvolvido para proporcionar conforto e sentimento de bem-estar do usuário de cadeira de rodas, no ambiente familiar. Muitas campanhas vêm sendo desenvolvidas pelo mundo, procurando chamar a atenção para acessibilidade que afetam os cadeirantes (ARAKI, 2011).

O cadeirante enfrenta muitos obstáculos ao longo de sua trajetória e várias restrições de mobilidade. Assim uma cadeira de rodas que permita ao cadeirante ter acesso a objetos que esteja fora de seu alcance, especificamente na vertical com maior facilidade proporcionando conforto. Pesquisas foram realizadas em buscas de aumentar a qualidade de vida aos deficientes físicos. Com isso criaram-se as cadeiras de rodas podendo ser movidas manualmente ou eletricamente, onde basicamente são compostas de um assento, um encosto, duas rodas dianteiras, duas rodas traseiras e um descanso do pé (ARAKI, 2011).

Visando estes conceitos este trabalho tem como objetivo principal adaptar uma cadeira de rodas comum, com um sistema de elevação vertical em seu acento, o que permite ao cadeirante ficar com uma altura equivalente a altura média humana. Ao pensar em comodidade ao deficiente físico, é necessário desenvolver tecnologias de baixo custo, para que assim a grande maioria tenha acesso. Atualmente os sistemas de elevação que existem possuem um custo elevado, que não é coberto pelo plano de saúde. A cadeira de rodas com o sistema de elevação é composta por um macaco mecânico, acoplado ao assento da cadeira acionado por um motor elétrico

que move verticalmente o mesmo. O objetivo deste sistema é permitir acesso aos objetos que estejam fora do alcance vertical com maior facilidade e proporcionar maior conforto ao conversar com outras pessoas quando estiverem atrás de balcões ou outro tipo de obstáculo que dificulte o contato visual (ARAKI, 2011).

O cadeirante com o sistema de elevação vertical, poderá a qualquer momento realizar a elevação até aproximadamente 250 mm, onde este controle é feito pelo sistema do botão que eleva ou abaixa a estrutura. Para esta operação utiliza-se parafusos com rosca de perfil quadrado, como exemplo o macaco de veículos. O preço das peças necessárias e da cadeira ficam aproximadamente em 1.725,00 reais, não sendo considerado o lucro desta confecção (ARAKI, 2011).

Pode-se concluir que seu custo mesmo sem levar em consideração o cálculo de impostos é totalmente viável para atender a população de camada social mais baixa. Em relação aos cálculos, o motor e o sistema atendem a necessidade do funcionamento da elevação do deficiente físico. Para finalizar a relação com o bem-estar e conforto ao usuário da cadeira de rodas é de grande valor social, ao realizar uma melhor interação em diferentes ambientes familiar, social ou profissional (ARAKI, 2011).

## 5.2 FERRAMENTA PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTE CONTROLADO UTILIZANDO MAPA DE SINAIS WIRELESS

Este projeto é um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) para obtenção de grau em Ciência da Computação na Universidade do Extremo Sul Catarinense, sendo realizado no ano de 2013. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis que utilize o mapa de sinais wireless, para permitir a localização de pessoas com algum tipo de deficiência dentro de um ambiente controlado e mapeado. Assim proporcionando uma melhora a qualidade de vida das pessoas com algum tipo de deficiência e aumentar o acesso destes a bens e serviços, as tecnologias assistivas tem um grande destaque. As Tecnologias assistivas pertencem a uma área que busca uma melhor qualidade de vida, autonomia e inclusão social ao grupo de pessoas que possuem algum tipo de deficiência (FIERA, 2013).

Por meio de estudos do comportamento da potência de sinais Wi-fi captados através de *Acess Point* dispostos em lugares estratégicos em ambientes

controlados para obtenção de um mapa de sinais, é possível desenvolver uma ferramenta de acessibilidade que permita a pessoa com deficiência ter autonomia e se orientar dentro do ambiente fechado através da localização do dispositivo conectado ao ambiente (FIERA, 2013).

O projeto aprofundou-se nos conhecimentos de localização através de triangulação de sinais wireless e propôs uma aplicação baseada em um mapeamento prévio do ambiente, que permite orientação para atingir um determinado destino neste ambiente (FIERA, 2013).

No projeto foi desenvolvido um protótipo de um programa para localização por meio de triangulação de sinais Wi-Fi, a partir de modelos matemáticos utilizando os algoritmos de grafos como: Dijkstra, menor caminho, cacheiro viajante e inteligência artificial. Estes permitiram a orientação para deficientes visuais no ambiente previamente controlado.

A metodologia para desenvolvimento do projeto foi constituída no levantamento dos requisitos, baseado em entrevistas com um usuário deficiente visual e em seguida a implementação do algoritmo de Dijkstra para determinação do caminho dentro do ambiente mapeado, realizando a modelagem do banco de dados, o mapa dos sinais RSS, configurações e instalações dos APs, estudo no comportamento do sinal Wi-Fi, implementação do algoritmo KNN para determinação do ponto onde o usuário se encontra no ambiente e implementação da interface e mobile do protótipo (FIERA, 2013).

Os resultados obtidos com o levantamento de requisitos permitiram obter conhecimento das dificuldades encontrada na locomoção em ambientes fechados para as pessoas com deficiência, onde se percebeu a importância de ferramentas assistivas no auxílio e melhoria de vida aos mesmos. Neste contexto foi possível o desenvolvimento de uma solução que envolveu áreas como ciência da computação e matemática, resultando numa ferramenta objetiva e eficiente voltada a tecnologias assistivas (FIERA, 2013).

### 5.3 UMA SOLUÇÃO COM ARDUINO PARA CONTROLAR E MONITORAR PROCESSOS INDUSTRIAIS

O projeto é um artigo para a Inatel Competence Center, sendo desenvolvido no ano de 2013. O projeto aborda a tecnologia Arduino sendo utilizada

em automação industrial que ultimamente passou por inúmeras transformações ao longo do tempo, onde anteriormente a pneumática e eletrônica eram as tecnologias mais utilizadas e ajudaram no crescimento e desenvolvimento (GOMES; TAVARES, 2013).

O uso de circuitos integrados reduz o custo da automação, propiciando mais flexibilidade, o que com o crescimento da plataforma Arduino ganha destaque nesta área, por seu custo, aplicabilidade e fácil utilização. Com este contexto levantado o projeto propõe um protótipo que controle um processo industrial utilizando arquitetura Arduino. O mesmo fará o controle através de uma página web, que localizará na rede o microcontrolador, sendo enviado os comandos para o mesmo interpretar e executar. O recebimento dos comandos será através de um servidor que fará a intermediação entre o Arduino e a página web (GOMES; TAVARES, 2013).

A página fornecerá opções de controle e monitoramento de várias placas de microcontrolador espalhados pela planta industrial. Para a construção da página foi utilizado a tecnologia *cliente-side*, sendo desenvolvidas em HTML, CSS, JavaScript, estas dependem apenas de um navegador para serem executadas. A comunicação da página com cada microcontrolador será pela notação JSON, que trata-se de um formato de troca de dados eficiente, leve, de fácil manipulação e geração. Ao ser utilizado o JSON, envia os dados em formato *string* (texto) com pares chave-valor, assim o processamento limitado do Arduino é otimizado, criando a aplicação servidora que apenas recebe, manipula e envia os dados relevantes via JSON (GOMES; TAVARES, 2013).

Tem-se como conclusão para o projeto que a solução proposta é possível ser realizar o controle sobre processos industriais, sendo controlados por microcontroladores Arduino e páginas web. As tecnologias utilizadas possibilitaram o desenvolvimento de uma solução de baixo custo, uma vez que tanto o Arduino quanto as ferramentas web são open-source (GOMES; TAVARES, 2013).

#### 5.4 PROJETO, CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE UM PROTÓTIPO DE UM QUADRIRROTOR

Este projeto é um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) para obtenção de grau na Universidade Federal do Rio de Janeiro, no ano de 2013. O projeto trata do desenvolvimento de um protótipo de quadrrorotor sendo utilizado uma eletrônica

embarcada, mecânica e modelagem do sistema. Foi desenvolvido um simulador para verificar a viabilidade de utilizar estratégias de controle PD (proporcional derivativo), assim ser possível controlar a orientação e posição do quadricóptero (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013).

O projeto aborda uma classe específica de veículos aéreos que possuem inúmeras aplicações nos dias atuais que são os veículos aéreos não tripulados (VANTs). Assim o protótipo será dotado de uma estrutura física particularmente vantajosa e estável. Quadricópteros são aeronaves que possuem quatro asas rotativas, onde os propulsores ficam nas extremidades no formato de uma cruz, sendo posicionado numa forma que o empuxo seja gerado na mesma direção. Este tipo de estrutura permite voos verticais de baixa velocidade e algumas manobras (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013).

Para estimar o desempenho dos motores e tempo de voo foi utilizado o programa *xcopterCalc*. O principal componente de inteligência embarcada consiste no microprocessador, sendo adotado para este projeto a arquitetura ARM, onde são atualmente utilizados em grandes escalas em dispositivos e periféricos de computador. O modelo utilizado foi o ARM LM4F120 devido ao custo baixo, alto poder computacional e uma memória de 32 KB. Para a orientação e posicionamento foi escolhido o giroscópio MPU-6050 que também é responsável em medir a velocidade angular e aceleração linear. O giroscópio utiliza um barramento chamado I2C na conexão com o microcontrolador, onde este facilita a elaboração do circuito que conecta os dispositivos, uma vez que é necessário somente os barramentos SDA e SCL, responsáveis pelo envio de dados e *clock* respectivamente (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013).

A estrutura do protótipo consiste em formato de X em que em cada extremidade possui um motor com hélice, para as hélices possuem comprimento entre 11 e 12 polegadas e passo 3,8,4 e 5 polegadas que se encontram dentro das limitações do motor adotado. Onde o motor utilizado é do tipo BLDC sem sensor, trifásico de corrente contínua que para seu funcionamento depende do componente ESC. São bem similares aos motores de corrente contínua tradicionais *outrunner*, porém não possuem as estruturas de escovas na comutação. O ESC é um controlador de velocidade eletrônico utilizado em motores trifásicos *outrunner*, que fornece três sinais trapezoidais ao motor com defasagem de 120° entre si, sendo responsável em definir o nível de alimentação do motor, conseqüentemente controlando sua

velocidade de rotação. A fonte de alimentação utilizada é constituída por três células de polímero de lítio em serie com 37 V de tensão nominal cada, totalizando 111 V (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013).

O funcionamento do protótipo é feito através do microprocessador que é responsável em controlar os ESC, motores e hélice. Onde os comandos são enviados ao ESC através do sinal PWM e aciona os motores. Tendo sua posição e orientação estimadas pelo giroscópio, onde a comunicação entres estes blocos é feita pelo barramento I2C (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013).

Como conclusão pode-se chegar que o uso de todas essas tecnologias em conjunto é viável, e pode-se obter resultados significantes. Os motores tiveram um desempenho abaixo do que o fabricante estipula, mas mostrou-se fisicamente capaz de sustentar o quadrirrotor no ar. O microcontrolador cumpriu seu papel de gerenciar o projeto e com ajuda do giroscópio pode-se estabilizar o e posicionar o protótipo (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013).

## 5.5 SISTEMA DE DETECÇÃO DE BURACOS EM ESTRADAS

O projeto é uma Monografia para o projeto da disciplina Oficina de Integração II, do curso de Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no ano de 2013. O projeto tem como objetivo produzir um sistema capaz de detectar buracos em estradas ou rodovias, por meio de análise de variações sofridas por meio de um acelerômetro acoplado ao veículo. Além que com este sistema poderá haver a possibilidade de ajudar as empresas de manutenção de estrada na identificação mais rápida dos pontos críticos, assim a mesma poderá realizar as operações de manutenção mais eficiente e rápida (MOREIRA et al, 2013).

Para desenvolvimento do protótipo utilizou-se um sensor capaz de detectar a variação da aceleração sofrida ao passar pelos buracos, o modelo utilizado é o ADXL 345 que possui métodos de operação configuráveis, sendo utilizado o barramento I2C para toda comunicação entre os dispositivos. Em conjunto foi utilizado um software de computador que pudesse interpretar esses valores fornecidos, onde é coletado estas informações pelo microcontrolador Arduino através do barramento I2C, que faz o controle dos sensores, interpretando-os e executando. A resposta do software é através de uma informação sobre a passagem no buraco. O modelo de

microcontrolador utilizado foi o Arduino Mega por ter uma capacidade computacional maior (MOREIRA et al, 2013).

O software do projeto utiliza a biblioteca RXTX Java Library para obtenção dos dados fornecidos pelo Arduino, sendo utilizada a variação no eixo Z, que permite a aproximação do sentido de deslocamento do protótipo no eixo vertical, que é utilizado para obter a profundidade do buraco analisado. O algoritmo para identificação do buraco consiste em armazenar os valores do eixo Z obtidos pelo sensor num vetor com N posições, onde caso a posição atual for maior que a posição atual menos um indica que passou por um buraco (MOREIRA et al, 2013).

O processo de simulação aconteceu durante todo o período de desenvolvimento do protótipo para que assim pudesse fazer os devidos ajustes. Os testes se deram em uma bicicleta devido ao seu tamanho, pode-se simular em buracos similares ao encontrados em estradas, o que aumenta os valores da aceleração facilitando a análise (MOREIRA et al, 2013).

Pode-se concluir que o sistema funciona de forma satisfatória, tendo sido capaz de identificar os buracos pelos quais o sistema passou nos testes. Tendo em vista que este sistema é um protótipo e que da base para implementações futuras em veículos onde o desenvolvimento seja mais complexo e conte com a localização do buraco via GPS dos buracos reportando para o sistema de controle de estradas e rodovias (MOREIRA et al, 2013).

## 6 TECNOLOGIA NO AUXÍLIO A CADEIRANTES

Com o avanço tecnológico na área de robótica pode-se desenvolver equipamentos que auxiliem os deficientes físicos em suas tarefas diárias. Esta tecnologia está em constante evolução para tornar em geral a vida destas pessoas mais agradável e fácil possível. Neste mercado pode-se destacar poucas empresas nacionais, tendo um domínio nas empresas internacionais. Dentre os produtos se destacam pernas robóticas que ajudam pessoas paraplégicas a se locomover, guincho de piscina projetado para facilitar o deslocamento do cadeirante para a piscina e uma cadeira de rodas movida a sopro que foi desenvolvida para pessoas que perderam todos os movimentos dos membros, assim podem guiar a cadeira através de movimento da cabeça e pelo sopro. A figura 18 ilustra as pernas robóticas que auxiliam as pessoas deficientes físicas a andar novamente, sendo desenvolvida pela empresa Rex Bionics situada na Nova Zelândia.

Figura 18 – Pernas robóticas.



Fonte: Rex Bionics (2015).

A figura 19 demonstra o funcionamento do guincho de piscina desenvolvido e comercializado pela Cajumoro, empresa brasileira situada em São Paulo.

Figura 19 – Guincho de piscina.



Fonte: Cajumoro (2015).

Na figura 20 é ilustrado a cadeira de rodas movida a sopro que foi desenvolvida pela Universidade Estadual de Londrina, pelos docentes Silvia Galvão de Souza, Walter Germanovix e Ruberlei Gaino. Tendo uma participação do aluno Cláudio Lima Lopes Ferreira no desenvolvimento do protótipo.

Figura 20 – Cadeira de rodas movida a sopro.



Fonte: Souza, Germanovix e Gaino (2008).

Dentro deste contexto pôde-se obter experiências, métodos e conhecimentos necessários para o desenvolvimento do protótipo proposto neste projeto de pesquisa. Com estes conhecimentos foi possível construir o protótipo de uma cadeira de rodas através de etapas que envolvem deste a construção do

esqueleto da cadeira, passando pelo controle e construção dos atuadores até o microcontrolador que faz a análise dos dados e executa-os conforme resultado obtido.

## 6.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Foi determinado que para elaboração da estrutura do protótipo da cadeira de rodas fosse utilizado duas placas de acrílico com dimensões de 30 x 30cm com 4mm de espessura, assim estas serão sustentadas pelos atuadores que aplicarão os deslocamentos na placa superior conforme parâmetros do giroscópio. Em cada canto da placa inferior ficará as rodas que darão facilidade na locomoção do protótipo. Com a plataforma montada, outras etapas surgem para complementar o protótipo, dentre elas são o controle e confecção dos atuadores lineares, aperfeiçoamento no sensoriamento das coordenadas, visando uma diminuição nos erros de amostragem obtidos.

### 6.1.1 Confecção dos atuadores lineares

Inicialmente foi analisado e realizado testes em um modelo de atuador industrial que tem as características ideais para o projeto, pois exercia uma força que suportaria 90 kg. Porém com valor de mercado no Brasil em torno de R\$ 670,00 reais ficou descartado sua utilização para projeto. Com isso optou-se pelos testes em atuadores utilizados para trava de portas automotivas, mas novamente não se obteve êxito, onde a incapacidade de controle do motor do dispositivo impediu sua utilização. Assim foi definido para o projeto a necessidade do desenvolvimento de um próprio atuador linear. O objetivo da construção do atuador foi pelo baixo custo em comparação com os preços práticos no mercado e a flexibilidade de adaptação deste para o projeto. Assim foi necessário um motor de corrente contínua de 12v possuindo 80RPM com caixa de redução, sendo que este último componente é necessário para controle de velocidade do motor. Este pode ser visto na figura 21, onde a parte frontal possui o eixo de 4mm de diâmetro com 9,5 de comprimento total, sendo que a caixa de redução está acoplada na parte traseira do motor.

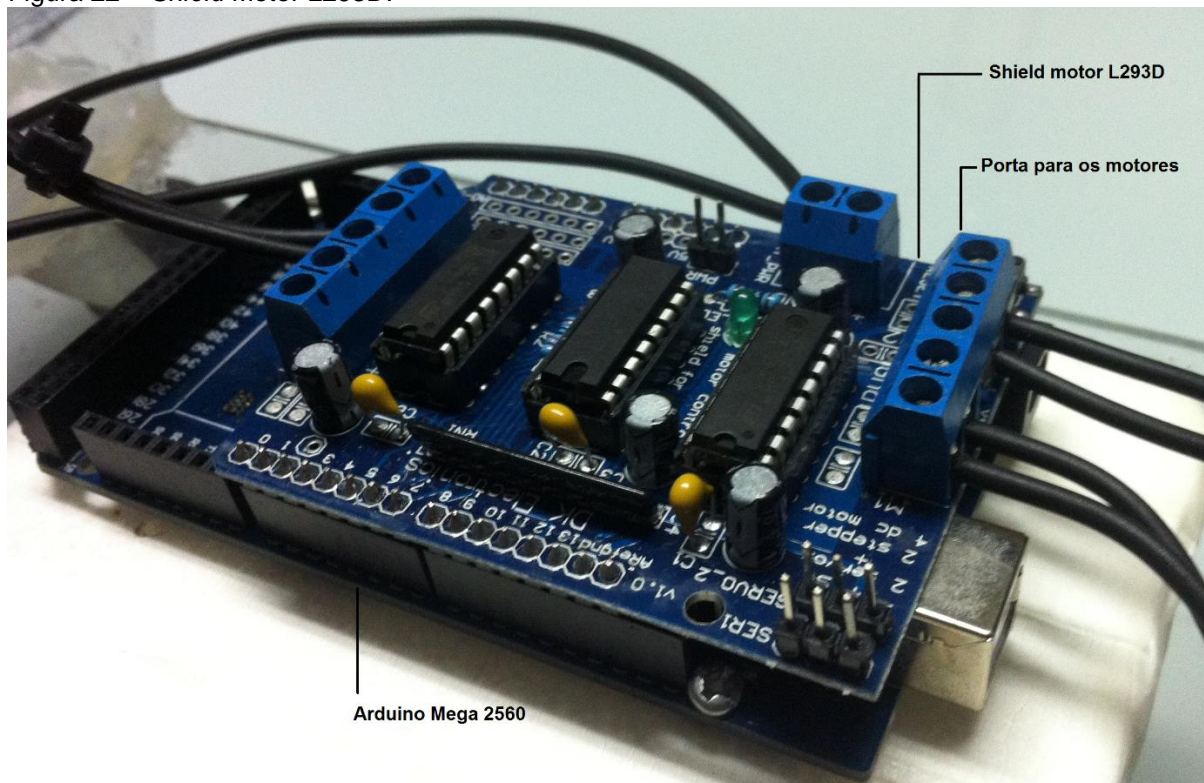
Figura 21 – Motor DC 12v.



Fonte: Felipeflop (2015).

Como o projeto demanda quatro atuadores, necessitou-se a utilização de um controlador de motor que fosse responsável pelo controle e distribuição de tensão para os quatro motores dos atuadores. Assim o *Shield* Motor L293D, foi escolhido para realizar esta tarefa, pois suporta até quatro motores DC, atendendo em tensões superiores a 36v, o que no projeto não será necessário, pois a tensão chegará no máximo a 12v. Este controlador possui o chip L293D que é conhecido como Ponte H, que é um circuito que permite uma tensão ser aplicada à uma carga em qualquer direção, ou seja, ao ser aplicado a tensão de 12v nos motores irão girar no sentido horário, e basta inverter a polaridade através de comandos, que o sentido do motor irá ser ao contrário (sentido anti-horário). Além disso é compatível com o microcontrolador Arduino, que foi utilizado neste projeto para gerenciar e comandar este projeto. Para que o Arduino o controle é necessário a utilização da biblioteca AFMotor.h, sendo disponibilizada gratuitamente na internet pelo fabricante, por meio desta é possível comandar os motores, sendo utilizados comandos específicos da biblioteca para isso. Na figura 22 é ilustrado o *Shield* descrito acima já acoplado no Arduino.

Figura 22 – Shield Motor L293D.

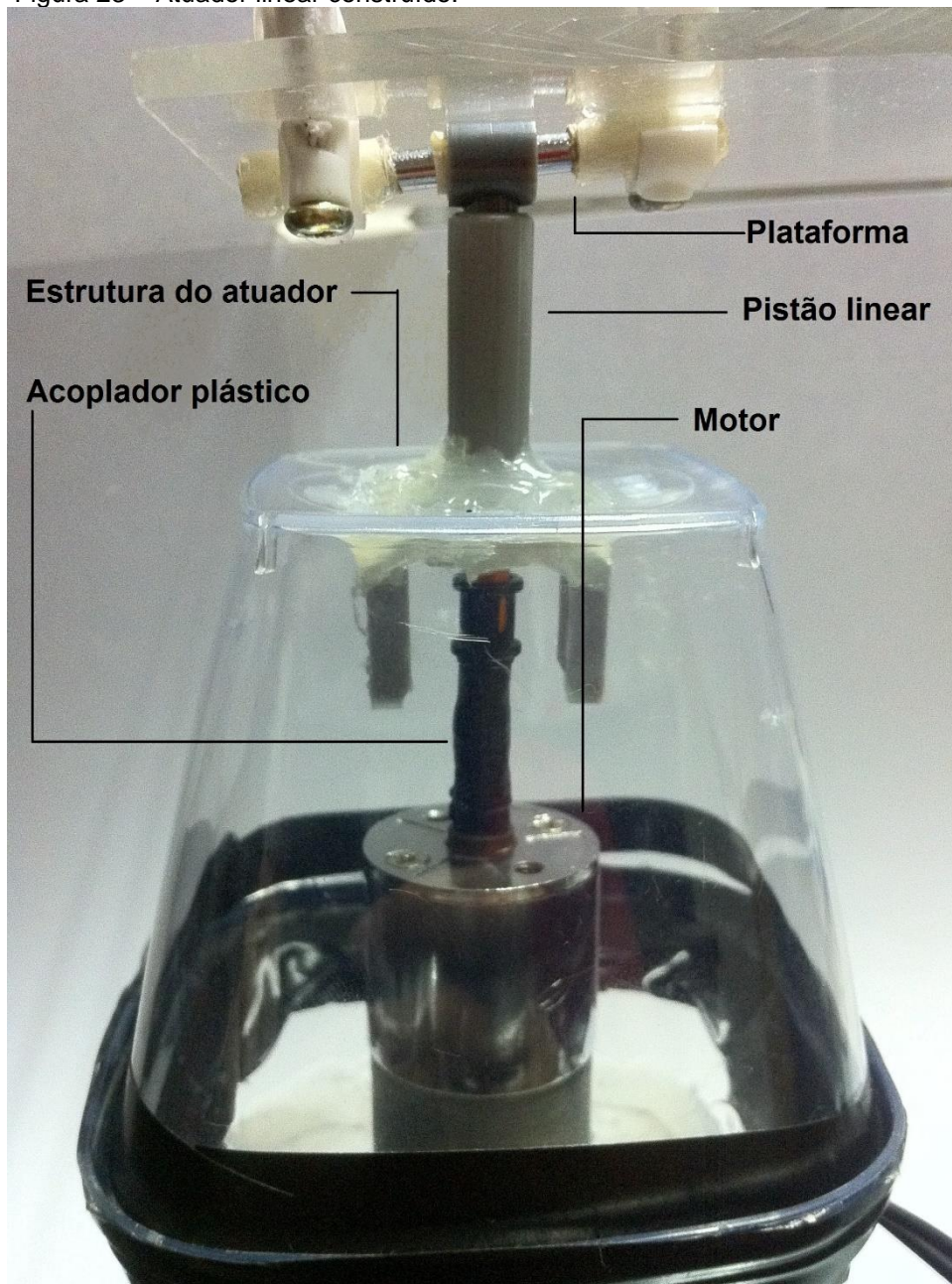


Fonte: Do autor.

Passadas estas etapas, restava adicionar a haste que exercesse as funções de estender e recolher, ou seja, quando necessário levante ou abaixe a plataforma onde a haste está sendo apoiada. Seguindo esta linha escolheu-se um pistão linear da linha Tecnológica da Lego<sup>1</sup>, medindo aproximadamente 55mm com a haste recolhida e aproximadamente 80mm com a haste totalmente estendida. O próximo passo foi realizar a ligação do pistão com o motor, pois é o motor quem faz com que a haste seja estendida e recolhida. Para a saída do motor tem-se um eixo em forma circular, já para a entrada do pistão é em forma de cruz, necessitando algum mecanismo que para o lado do motor fosse em uma forma circular, sendo no mesmo diâmetro do eixo pois caso fosse maior poderia rodar em falso. Já para o lado do atuador teria que ser em forma de cruz. Para que isso fosse possível necessitou-se a utilização de acopladores plásticos, na figura 23 é demonstrado o atuador linear construído a partir dos componentes citados acima.

<sup>1</sup> A Lego foi fundada em 1932 por Ole Kirk Kristiansen. É uma empresa que trabalha no segmento de brinquedos de montar. A linha tecnológica da Lego, foi criada para possibilitar a construção de veículos, robôs e máquinas, com ênfase no movimento à base de engrenagens, polias e pistões.

Figura 23 – Atuador linear construído.



Fonte: Do autor.

Os atuadores são administrados pelo microcontrolador Arduino, onde este manda os comandos para o *Shield* Motor L293D para que ligue ou desligue os motores dos atuadores, sendo enviado o sentido da rotação. Ao ser enviado o comando para o *Shield* Motor L293D, este passa tensão para os motores para que liguem e realizem rotações conforme sentido recebido. Com isso ao receber o comando para que o atuador se estenda, o *Shield* liga os motores em sentido anti-horário até que atinjam o curso final, e para encolhê-lo é ligado os motores em sentido horário. Neste projeto os atuadores realizam suas tarefas de erguer e encolher a partir de parâmetros vindos

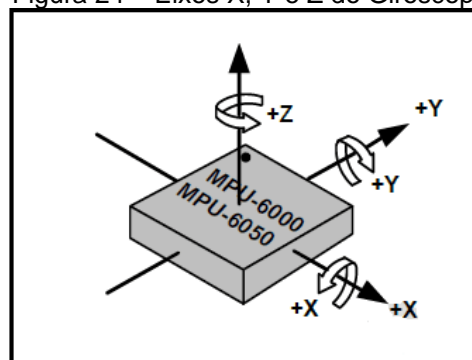
do giroscópio, que obtém as coordenadas X, Y e Z necessários para o cálculo do ângulo, onde este ângulo é interpretado pelo microcontrolador e enviado aos atuadores para exercer as funções de equilíbrio proposta neste projeto.

### 6.1.2 Sistema X, Y e Z

Na teoria é um sistema que permite identificar objetos em um universo real, onde tudo começa com um ponto de origem zero sobre uma linha reta horizontal, sendo cruzada por uma linha reta vertical. Para cada ponto traçado a direita do ponto origem se considera que este ponto é positivo (+), e para cada ponto a esquerda é considerado negativo (-). Neste projeto foi utilizado o sistema em três dimensões, ou seja, através deste é possível localizar um objeto que esteja acima ou abaixo (eixo Z), além de para frente ou para atrás (eixo Y) e além da direita e esquerda (eixo X). No projeto o objetivo não é localizar um objeto e sim por meio destes pontos que são coordenadas, poder realizar o cálculo do ângulo em que o protótipo da cadeira está ao ser movimentado.

Estas coordenadas são obtidas através do *Shield* Giroscópio MPU-6050, que foi utilizado neste projeto por possuir em sua composição 6 eixos sendo 3 para o acelerômetro e 3 para o giroscópio. Este giroscópio foi escolhido para o projeto justamente por possuir estas configurações em uma única placa, o que o torna mais robusto e confiável em sua utilização. Além de seu custo benefício ser maior que outros produtos disponibilizados no mercado. Como o *Shield* proporciona a obtenção em três dimensões foi necessário implementar o cálculo dos ângulos através das coordenadas obtidas nos eixos X, Y e Z. Na figura 24 é ilustrado as três dimensões que o giroscópio oferece.

Figura 24 – Eixos X, Y e Z do Giroscopio MPU-6050



Fonte: Souza (2015).

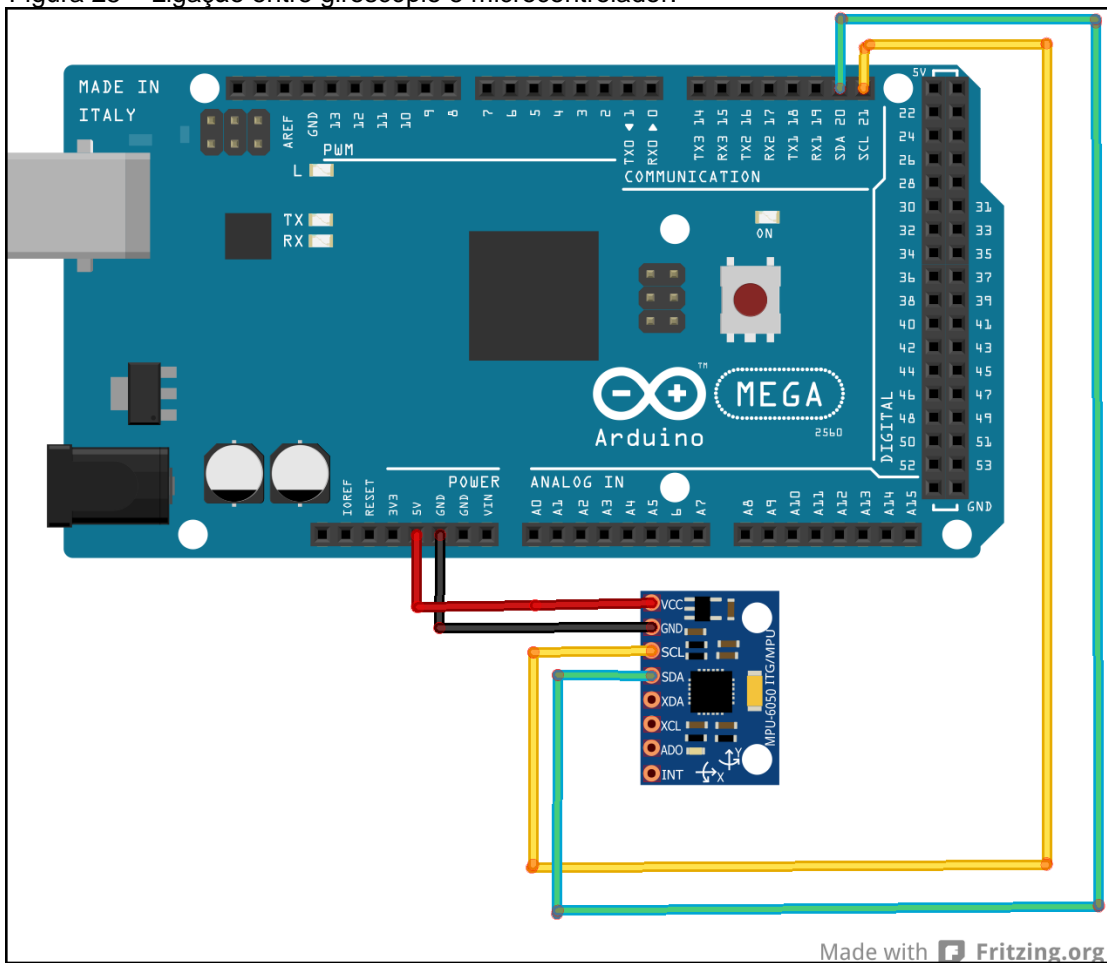
Estas coordenadas são enviadas ao microcontrolador para que este processe-as e realize o cálculo do ângulo em que o protótipo está ao ser movimentado. O *Shield* fica obtendo a todo momento as coordenadas nos eixos, mesmo se o protótipo estiver parado, assim o microcontrolador fica recebendo e processando estes dados, calculando a todo momento o ângulo que o protótipo está no momento, sendo encaminhado aos atuadores para realizar o nivelamento através deste ângulo. O giroscópio foi posicionado no centro da placa acrílica superior, para que sua medição seja precisa, caso contrário poderia haver desnivelamento por causa do mal posicionamento do giroscópio.

A ligação com o microcontrolador é realizada por meio de fios denominados *jumpers*, estes realizam a ligação dos componentes sem necessitar soldá-los, o que facilita caso necessite mudar de posição. O giroscópio necessita para alimentação que seja ligado a um pino 5v e um neutro (gnd), para a comunicação com o microcontrolador é utilizado o protocolo I2C, com isso é necessário utilizar os pinos SCL e SDA. Onde o pino SCL é responsável em enviar um sinal de *clock* e o pino SDA transmite os dados via serial data. O esquemático elétrico pode ser visto na figura 25, onde foi utilizado o software open-source *Fritzing 0.8.3*<sup>2</sup> para demonstrar a ligação entre o giroscópio MPU-6050 e o microcontrolador que no caso do projeto foi utilizado o Arduino.

---

<sup>2</sup> Fritzing 0.8.3: software open-source distribuído pela Friends-of-Fritzing, com finalidade de projeção de protótipos de circuitos eletrônicos, podendo visualizar o circuito em esquema ou em forma de placa de circuito impresso (PCB).

Figura 25 – Ligação entre giroscópio e microcontrolador.



Fonte: Do autor.

### 6.1.3 Utilização do microcontrolador Arduino

Os Microcontroladores são o cérebro por trás dos dispositivos eletrônicos disponíveis no mercado, estando presente em qualquer dispositivo que contenha um Display por exemplo. Com o avanço da eletrônica, hoje em dia os microcontroladores estão presentes em carros para administrar freios, velocidades e dispositivos de segurança. Pela limitação de memória e processamento, são dedicados a executarem um único programa específico, ao contrário de um computador que pode-se estar interagindo e utilizando vários programas ao mesmo tempo, então se o microcontrolador for projetado para mostrar as horas em um display, este se dedicará a executar esta tarefa, sendo impossível executar outro programa ao mesmo tempo. No passado o desenvolvimento para microcontroladores exigia possuir um grande conhecimento dos envolvidos no projeto, sendo necessário o conhecimento na arquitetura do microcontrolador, em linguagens de programação de baixo nível e

realizar operações diretamente nos registradores. Atualmente esta realidade mudou por meio das constantes evoluções dos microcontroladores, que foram sendo aperfeiçoados e criados novos produtos que atendessem também a todos.

Seguindo neste contexto, surgiu a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, que foi desenvolvida com um microcontrolador ATMEL AVR com uma linguagem de programação própria com origem em Wiring e C/C++. O Arduino tem como objetivo facilitar a utilização de microcontroladores, sendo uma ferramenta de baixo custo, flexível e de fácil utilização. Possuindo como público alvo os artistas em geral que utilizam para realizar interações rápidas para suas obras de arte, cientistas e engenheiros para pesquisas e prototipagem de projetos e as pessoas que não são da área, mas por sua facilidade conseguem construir projetos próprios. Não é necessário possuir um conhecimento aprofundado em microcontroladores e linguagens de baixo nível para utilizá-lo, o que se tornou essencial neste projeto para o processamento dos dados e administração dos atuadores e giroscópio. Foi escolhido o microcontrolador Arduino Mega 2560 Rev 3, para realizar as tarefas de administrar os quatro atuadores lineares do projeto e receber as informações de coordenadas pelo *Shield* giroscópio, onde depois de processá-las e realizar o cálculo do ângulo, ele envia comando aos atuadores para executarem o que deve ser feito para manter o nivelamento do protótipo.

Com o microcontrolador em mãos o próximo passo foi o desenvolvimento do algoritmo que realize o nivelamento do protótipo, onde este é alimentado pela obtenção das informações de coordenadas do *Shield* giroscópio, tendo que interpretá-las e transforma-las em ângulos através de cálculo. Com o resultado deste cálculo é que o Arduino aciona os atuadores para manter o nivelamento do protótipo.

## 6.2 DESENVOLVIMENTO NO ARDUINO

Com a confecção do protótipo terminada, foi iniciado o desenvolvimento do algoritmo que realizasse o nivelamento do protótipo da cadeira de rodas. Este algoritmo foi escrito na linguagem do Arduino. Para isso primeiramente foi realizado um estudo em cálculo de ângulo, chegando como resultado a utilização do cálculo do arco tangente, representado pelas equações abaixo já convertidas para a linguagem do Arduino:

$$\begin{aligned} \text{angulo\_Y} &= (\text{atan2}(y,z) + \text{PI}) * \text{RAD\_TO\_DEG} \\ \text{angulo\_X} &= (\text{atan2}(x,z) + \text{PI}) * \text{RAD\_TO\_DEG} \end{aligned}$$

A partir da primeira equação acima pode-se calcular o ângulo do eixo Y, onde a função atan2 retorna como resultado o ângulo em radianos, sendo que 1 radiano equivale a cerca de aproximadamente 57°. Como o retorno é em radianos é necessário a realização da soma pelo  $\pi$  que equivale a 3.14, multiplicado pela variável RAD\_TO\_DEG que equivale a 57.29577951308, esta multiplicação converte o valor do ângulo que foi obtido pela função atan2 em radianos em um valor em graus. A variável z presente na equação acima representa a medição em três eixos o que proporciona uma melhor precisão ao medir a inclinação, assim o eixo Z é responsável pela medição de profundidade, necessário juntamente com o outro eixo x ou y para a função atan2 resultar no ângulo.

Para utilização da função atan2 foi necessário utilizar a biblioteca Math.h escrita em C e C++. Além desta foi utilizado para o desenvolvimento as bibliotecas Wire.h, responsável pela comunicação I2C, a biblioteca I2Cdev.h que realiza a inicialização da comunicação e a biblioteca MPU6050.h, que opera diretamente com o giroscópio utilizado no protótipo. Estas bibliotecas são disponibilizadas gratuitamente pela internet.

Baseado nas equações acima foi elaborado um algoritmo que foi transformado em um software na linguagem do Arduino, seu funcionamento se dá em basicamente receber as informações de locação do sensor giroscópio MPU-6050 transformando-as em ângulos conforme as equações acima. A obtenção das informações do *Shield* é simplificada com o uso da biblioteca MPU6050.h, porém os valores obtidos não correspondem a nenhuma grandeza física. Assim para utilização destas informações foi necessário realizar manipulações para que sejam transformadas em valores físicos. As manipulações ocorreram dentro da equação dos ângulos onde a função atan2 lê estas informações como veem do sensor, porém já retornam o valor em grandeza física, no caso em radianos. A obtenção das informações do sensor foi por meio do comando getMotion6 que realiza a leituras dos eixos de aceleração X, Y e Z além dos eixos de giroscópio GX, GY e GZ. Na figura 26 é demonstrado o trecho do código escrito na linguagem do Arduino, onde pode ser visualizado a função getMotion6 responsável da obtenção dos valores e estes sendo utilizados na equação do cálculo de ângulo.

Figura 26 – Função getMotion6.

```

89 //realiza a busca e setas os valores de aceleração e giro
90 giroscopio.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);
91
92 //calcula o ângulo do eixo X
93 angulo_X = (atan2(ax, az) + PI) * RAD_TO_DEG;
94
95 //calcula o ângulo do eixo Y
96 angulo_Y = (atan2(ay, az) + PI) * RAD_TO_DEG;

```

Fonte: Do autor.

Com os ângulos dos eixos X e Y devidamente calculados, o próximo passo no desenvolvimento foi realizar a montagem de procedimentos responsáveis em acionar os atuadores lineares para nivelar a chapa superior onde se localiza o sensor giroscópio, pois é esta que representa o acento em uma cadeira de rodas. Para isso foi montado uma função que receba os ângulos e os verifica em qual quadrante o mesmo se encontra, ou seja, caso o ângulo do eixo X esteja com valor de  $149^\circ$  e o eixo Y com  $360^\circ$ , o algoritmo entenderá que o protótipo está em ambiente com elevação na horizontal. O mesmo vale para o eixo Y, onde se caso seu valor for diferente de  $360^\circ$  ou  $0^\circ$  significa que este sofreu alteração e está em um ambiente com elevação ou declive na vertical. Com isso os atuadores irão aplicar suas forças de elevação e recolhimento da haste para que mantenha a chapa superior sempre nivelada, até que a chapa fique nos ângulos de  $360^\circ$  ou  $0^\circ$  nos eixos X e Y.

A função responsável em controlar os atuadores é a `controle_x_y(double angulo_x, double angulo_y)`, sendo que para utilização da função é necessário passar os ângulos X e Y, representados acima entre os parênteses, que em linguagem de programação são os parâmetros passados para a função. Estes são passados para a função quando a mesma necessita de alguma informação vinda dos procedimentos do software. No corpo da função são realizadas verificações nos ângulos passados por parâmetro para que acione os atuadores lineares por meio das funções `aciona_motores_eixo_x (double angulo)` e `aciona_motores_eixo_y (double angulo)`, que necessitam também que seja passado por parâmetro os ângulos X e Y respectivamente para cada função. A função `aciona_motores_eixo_x (double angulo)` só é executada quando o ângulo x for maior que  $0^\circ$  e menor  $360^\circ$ , pois significa que o eixo X sofreu alteração, assim o protótipo deve ser nivelado, o mesmo vale para o eixo Y. Caso o protótipo esteja em um ambiente que os eixos X e Y foram alterados ao mesmo tempo, a função de controle irá executar o acionamento dos motores por meio

da função `aciona_motores_eixo_x_y(angulo_x, angulo_y)`. Esta função possui a mesma lógica das `aciona_motores_eixo_x (double angulo)` e `aciona_motores_eixo_y (double angulo)`, porém foi implementada para executar junto o nivelamento nos eixos X e Y.

As funções irão primeiramente verificar o quadrante do ângulo recebido, para que acione os atuadores conforme quadrante obtido. Com o quadrante definido a função executa diferentes acionamentos para cada atuador, sendo que separado para cada atuador uma função que execute o acionamento de estender, recolher e desligar o atuador. Estas funções são `controla_motor_direito_frente (int operacao)` responsável pelo atuador localizado na frente do protótipo do lado direito, já para o lado esquerdo foi definido a função `controla_motor_esquerdo_frente (int operacao)`. Para a parte de trás do protótipo foi definido a função `controla_motor_direito_atras (int operacao)` para o lado direito e a função `controla_motor_esquerdo_atras (int operacao)` para o lado esquerdo. Estas funções necessitam de um parâmetro para indicar a operação do atuador, assim caso for passado o parâmetro *FORWARD*, o motor do atuador irá girar no sentido horário, o que faz com que a haste do atuador se recolha, ou seja, irá descer a chapa superior. Se for passado o parâmetro *BACKWARD*, o motor do atuador irá girar em sentido anti-horário, realizando assim a elevação da haste que por consequência levanta a chapa superior. Para desligar o motor do atuador é utilizado o parâmetro *RELEASE*.

Com a organização do código em funções facilitou no desenvolvimento e testes do algoritmo, para ajustes realizados, pois ao receber os ângulos X e Y a função `controle_x_y(double angulo_x, double angulo_y)` somente realiza alguns ajustes e executa a função de acionamento dos atuadores, que por sua vez é responsável em verificar o quadrante do ângulo e passar para as funções de controle dos atuadores a operação que os mesmos deveriam executar, sendo estender, encolher ou desligar.

Na figura 27 pode-se visualizar o trecho no código da função citada acima, na figura é demonstrado o código diretamente da IDE de desenvolvimento do Arduino.

Figura 27 – Função controle\_x\_y(double angulo\_x, double angulo\_y)

```
// Função de controle dos angulos
195 void controle_x_y(double angulo_x, double angulo_y) {
196
197     if (angulo_x < 360) {
198
199         if (angulo_y > 0 && angulo_y < 360) {
200             aciona_motores_eixo_x_y(angulo_x, angulo_y);
201         }
202
203         aciona_motores_eixo_x(angulo_x);
204     }
205
206     if (angulo_y < 360) {
207
208         if (angulo_x > 0 && angulo_x < 360) {
209             aciona_motores_eixo_x_y(angulo_x, angulo_y);
210         }
211
212         aciona_motores_eixo_y(angulo_y);
213     }
214
215 }
```

Fonte: Do autor.

Um trecho da função `aciona_motores_eixo_x(double angulo)` é representada na figura 28, onde a função executa até que o ângulo seja 360°, isso significa que o protótipo está nivelado no eixo X, dentro do laço de repetição é verificado o quadrante que o ângulo está para que seja realizado o nivelamento, por meio do acionamento dos atuadores. A mesma lógica foi aplicada para o eixo Y, por meio da função `aciona_motores_eixo_y(double angulo)`.

Figura 28 – Função aciona\_motores\_eixo\_x(double angulo).

```

// Função de acionamento e verificação do quadrante do angulo X
217 void aciona_motores_eixo_x(double angulo) {
218
219     double angulo_x = 0;
220     int     interacoes = 0;
221
222     while (angulo < 360) {
223
224
225         if (angulo > 0 && angulo <= 180.99) {
226             controla_motor_direito_frente(FORWARD);
227             controla_motor_direito_atras(FORWARD);
228
229             controla_motor_esquerdo_frente(BACKWARD);
230             controla_motor_esquerdo_atras(BACKWARD);
231         } else {
232             controla_motor_esquerdo_atras(FORWARD);
233             controla_motor_esquerdo_frente(FORWARD);
234
235             controla_motor_direito_frente(BACKWARD);
236             controla_motor_direito_atras(BACKWARD);
237         }

```

Fonte: Do autor.

Como visto acima na figura 28 a função `controla_motor_direito_frente(int operacao)` está presente no corpo da função `aciona_motores_eixo_x(int operacao)`, para que controle a operação do atuador conforme o quadrante do ângulo, o mesmo vale para as funções `controla_motor_esquerdo_frente(int operacao)`, `controla_motor_direito_atras(int operacao)` e `controla_motor_esquerdo_atras(int operacao)`. Na figura 29 é demonstrado apenas a função `controla_motor_direito_frente(int operacao)`, pois as outras seguem a mesma lógica mudando apenas o atuador.

Figura 29 – Função controla\_motor\_direito\_frente(int operacao).

```

//Função de controle das operações do atuador frontal do lado direito
370 void controla_motor_direito_frente(int operacao) {
371     //BACKWARD - Gira o motor sentido anti-horario
372     //FORWARD  - Gira o motor sentido horario
373     //RELEASE  - Desliga o motor
374
375     motor_dirfrente.run(operacao);
376
377 }

```

Fonte: Do autor.

Com o protótipo da cadeira de rodas finalizado e o software desenvolvido para o Arduino, iniciou-se os testes na busca de melhorias no código e no protótipo. Logo se percebeu que os ângulos obtidos não estavam precisos, tendo bastante discrepância. Assim buscou-se soluções e visto que para refinar e diminuir os erros amostrais era necessário aplicar o Filtro de Kalman.

### 6.2.1 Filtro de Kalman

O criador do filtro de kalman foi Rudolph E. Kalman que em 1960 apresentou através da publicação do artigo "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems" uma solução recursiva para os problemas de filtragem de dados discretos em um sistema linear. Seguindo este contexto, o Filtro de Kalman foi utilizado neste projeto para resolver o problema das medições do giroscópio com ruído, o que estava provocando no cálculo de ângulo discrepância de valores. A implementação do filtro possibilitou combinar as medições do acelerômetro e giroscópio, presentes no mesmo sensor MPU6050 utilizado neste projeto. Com esta combinação de medição foi possível obter uma resposta mais precisa do ângulo em comparação as medições anteriores onde não era aplicado o filtro de Kalman.

Para aplicação do Filtro de Kalman no software desenvolvido é necessário a utilização da biblioteca Kalman.h, onde está fornece todos os cálculos necessários. Assim inicialmente feito a declaração das variáveis específicas da biblioteca para os ângulos X e Y, estas variáveis são do tipo Kalman, exemplo Kalman ângulo\_x. Com a declaração das variáveis feitas, bastou adicionar nas funções do software que calculavam os ângulos a formula do Filtro de Kalman, que podem ser visualizadas na figura 30.

Figura 30 – Aplicação do Filtro de Kalman.

```

89 //realiza a busca e setas os valores de aceleração e giro
90 giroscopio.getMotion6(&sax, &say, &az, &gx, &gy, &gz);
91
92 //calcula o ângulo do eixo X
93 angulo_X = (atan2(ax, az) + PI) * RAD_TO_DEG;
94
95 //calcula o ângulo do eixo Y
96 angulo_Y = (atan2(ay, az) + PI) * RAD_TO_DEG;
97
98 //Obtém o valor da medição do giroscópio no eixo X
99 double gyroXang = (double)gx / 131.0;
100
101 //Obtém o valor da medição do giroscópio no eixo X
102 double gyroYang = -((double)gy / 131.0);
103
104 //Calcula o angulo do eixo X aplicando a união entre a medição do acelerometro e giroscópio
105 kalAngulo_X = kalman_X.getAngle(angulo_X, gyroXang, (double)(micros() - timer) / 1000000);
106
107 //Calcula o angulo do eixo X aplicando a união entre a medição do acelerometro e giroscópio
108 kalAngulo_Y = kalman_Y.getAngle(angulo_Y, gyroYang, (double)(micros() - timer) / 1000000);

```

Fonte: Do autor.

Com a aplicação do Filtro de Kalman iniciaram-se novos testes, com intuito de verificar o funcionamento e eficiência do algoritmo aprimorado. Os resultados dos novos testes pode-se obter medições mais precisas, como consequência o protótipo se nivelou com mais precisão e com mais eficiência em comparação sem utilização do Filtro de Kalman. Demais testes e aprimoramentos foram realizados no hardware do protótipo, sendo realizados uma análise e inspeção nos atuadores para verificar possíveis falhas de montagem, assim como nas ligações entre o *Shield* giroscópio com o Arduino. Entretanto não foi encontrado nenhuma falha que comprometesse a integridade do hardware e estrutura do protótipo.

Na finalização do protótipo foi adicionado uma fonte de 12v necessária para alimentação dos atuadores, com ela foi adicionado outra fonte de 9v para alimentação do Arduino. Os recursos eletrônicos e mecânicos utilizados neste projeto foram obtidos por meio de compra do autor, sendo demonstrados na tabela 3, contendo cada parte do projeto.

Tabela 3 – Recursos utilizados na construção do hardware do protótipo

Componente	Fornecedor	Qnt	Preço Unid.	Preço total
Arduino MEGA	ALL ELECTRONICS	1	29,38	29,38
Giroscópio MPU6050	FILIPEFLOP	1	24,90	24,90
<i>Shield</i> motor L293D	FILIPEFLOP	1	34,90	34,90
Motor DC 12v	FILIPEFLOP	4	39,90	159,60
Atuador Linear Lego	GUEDES	4	18,00	72,00
Acopladores plásticos	GUEDES	4	0,66	2,64
Chapa acrílica 30 x 30	HPLASTICOS	2	19,00	38,00
Resistor 10k Ohms	KEYAN	2	0,02	0,04
Resistor 300 Ohms	KEYAN	2	0,02	0,04
LED 5mm Vermelho	ROBOCORE	1	0,90	0,90
LED 5mm Verde	ROBOCORE	1	0,90	0,90
Botões (push Button)	ROBOCORE	2	0,22	0,44
Bateria 12v	INFORSEC	1	55,00	55,00
Bateria 9v	GIASSI	1	11,00	11,00
Cabo bateria 9v	ROBOCORE	1	9,00	9,00
			<b>TOTAL (R\$):</b>	<b>438,74</b>

Fonte: Do autor.

## 7 RESULTADOS OBTIDOS

O levantamento e estudo inicial permitiu conhecer e identificar as dificuldades encontradas no dia-a-dia de um cidadão portador de deficiência motora, que necessita do uso da cadeira de rodas para se locomover. Neste sentido percebeu-se a importância de estudar e desenvolver uma solução para proporcionar um conforto maior para estas pessoas. Estudos foram realizados envolvendo as áreas da Ciência da Computação, matemática e robótica para que fosse possível desenvolver a solução apresentada neste projeto, que foi a criação de um protótipo de cadeira de rodas que se auto estabilize conforme situações encontradas no dia-a-dia.

A criação do protótipo da cadeira de rodas foi completada como proposto, necessitando de algumas adaptações e ajustes na busca de melhorá-lo e torná-lo mais eficiente. Como exemplo foi a decisão de utilizar atuadores elétricos que são mais flexíveis e mais eficientes em suas funções, sendo realizado com êxito a construção dos próprios atuadores lineares elétricos o que de certa forma ajudou no entendimento de funcionamento destes mecanismos. Aliado ao hardware do protótipo foi realizado o desenvolvimento de um software na linguagem do Arduino que representa a funcionalidade mais interessante do projeto, pois é este que possui e distribui toda lógica ao hardware do protótipo. Por meio do algoritmo do Filtro de Kalman pode-se obter um conhecimento mais aprofundado em sistemas lineares, o que proporcionou um melhor estudo em sua lógica, que foi passada ao software desenvolvido para garantir que as medições dos ângulos fossem mais refinadas, obtendo um resultado mais confiável, passando a ter um bom desempenho no projeto como um todo.

Com a construção do protótipo da cadeira de rodas aliado ao software desenvolvido na linguagem do Arduino que o gerencia, pode-se alcançar os resultados esperados que atingiram os objetivos propostos a nível acadêmico. Sendo testado uma carga de peso de dois quilos, onde acima disso os atuadores não suportam o peso, por sua composição ser plástica. Para utilização da solução em proporções reais necessitaria um investimento maior, sendo necessário aprimoramentos no hardware do protótipo, necessitando um estudo mais abrangente nos atuadores para suportar uma carga de peso maior, tendo que realizar as suas funções com o peso de uma pessoa sobre sua estrutura, não podendo afetar sua integridade.

## 8 CONCLUSÃO

Por meio do trabalho de conclusão de curso pode-se conhecer a área da eletrônica, proporcionando conhecer melhor os fundamentos que envolvem a tecnologia a fim de sua utilização. O conhecimento adquirido ajudou no entendimento e aprimoramento da integração entre o hardware e software na confecção do projeto como um todo.

A construção do hardware do protótipo foi um desafio por abranger áreas como eletrônica e mecânica, o que foram superados com estudos aprofundados nos conceitos de cada tecnologia, para aproveitar o máximo de cada tecnologia e passar isso para o protótipo, sendo necessário ajustes na estrutura para que se chegasse ao resultado final esperado. A confecção dos atuadores lineares foi o maior desafio por serem necessários testes com várias tecnologias e abordagens até chegar ao resultado final que foi a confecção por meio de motores de corrente contínua de 12v sendo acoplados a um pistão linear de lego. Isso deve-se a pesquisa realizada na área e a necessidade de solucionar os desafios apresentados no decorrer do projeto.

Por trás do hardware confeccionado no protótipo está o software desenvolvido que possui toda lógica necessária para administrá-lo. O software aliado ao hardware desenvolvido, podem criar uma solução voltada para as pessoas que detém alguma deficiência motora, garantindo as estas pessoas uma melhor qualidade de vida, auxiliando-as na luta por mais acessibilidade nos ambientes encontrados no dia-a-dia.

Na continuidade deste projeto pode-se pesquisar para trabalhos futuros a implementação em proporções reais de uma cadeira de rodas, permitindo desenvolver um produto que seja capaz de suportar o peso de uma pessoa, com isso teria melhores parâmetros e resultados. Outra área que pode sofrer futuras modificações é a eletrônica, sendo que realizado a substituição do Arduino mega que tem um custo relativamente baixo para prototipação mais relativamente alto para sua produção em massa. Assim com o desenvolvimento da própria placa utilizando apenas o microcontrolador tornaria o custo mais baixo.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma ABNT NBR 9050/2004 - Acess. Edificações e mobiliários.** 2004. Disponível em: <<http://pfdc.pgr.mpf.br/atuacao-e-conteudos-de-apoio/legislacao/pessoa-deficiencia/norma-abnt-NBR-9050/view>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

AGUIAR, F. de O. **Acessibilidade relativa dos espaços urbanos pedestres com restrições de mobilidade.** São Carlos, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ANDRICH, Roberto, NOGUEIRA, Antônio Flávio Licarião, COUTO, Eduardo H. et al. **Cálculo de Força em Atuadores Lineares pelos Métodos do Trabalho Virtual e Tensor de Maxwell.** 2012. [joinville].

ARAKI, Sergio Yoshinobu. **Sistema De Elevação Automático De Um Veículo Tipo Cadeira De Rodas.** 2011. 59 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2011. Disponível em: <[http://www.btdt.unitau.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/5/TDE-2012-09-26T183134Z-255/Publico/Sergio\\_Yoshinobu\\_Araki.pdf](http://www.btdt.unitau.br/tesesimplificado/tde_arquivos/5/TDE-2012-09-26T183134Z-255/Publico/Sergio_Yoshinobu_Araki.pdf)>. Acesso em: 16 agosto 2014.

ARDUINO. **Arduino Mega 2560.** 2014. Site do fabricante. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Loop().** 2014. Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/Referencia/Loop>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **MPU-6050 Accelerometer + Gyro.** Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050#info>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Products.** 2014. Site do fabricante. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/Products>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Setup().** 2014. Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/Referencia/Setup>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Shields.** 2014. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoShields>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

ATMEL. **ATmega2560 Preliminary Summary.** San Jose: 2010. 38p. Disponível em: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/2549S.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2549S.pdf)> Acesso em: 15 nov. 2014.

BARCELOS NETO, João. **Mecânica: Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

BARBOUR, N; SCHMIDT, G. **Inertial sensor technology trends**. IEEE Sensors Journal, Vol. 1, ed. 4, Dec. 2001, pp 332-339.

BENTO, Ricardo Manuel Castro Portugal Granja. **Desenvolvimento de um Sistema de Medida Inercial para a equipa CAMBADA**. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrônica e Telecomunicações, Departamento de Departamento de Eletrônica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Portugal, 2010. Disponível em: <[http://www.more.ufsc.br/tese\\_dissert/insert\\_tese\\_dissert](http://www.more.ufsc.br/tese_dissert/insert_tese_dissert)>. Acesso em: 15 out. 2014.

BOLDEA, Ion, NASAR, Syed A. **Linear Electric Actuators and Generators**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

BONACORSO, Nelso Gauze; NOLL, Valdir. **Automação Eletropneumática**. 4. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 1997. 137 p.

BRASIL. Lei nº 10.048, de 8 de novembro de 2000. **Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l10048.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10048.htm) >. Acesso em: 17 ago. 2014.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. **Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l10098.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm) >. Acesso em: 17 ago. 2014.

BRUMER, Anita et al. **Saindo da “escuridão”: perspectivas da inclusão social, econômica, cultural e política dos portadores de deficiência visual em Porto Alegre**. Porto Alegre, 2004. 327 p. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/soc/n11/n11a13>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

BUENO, Aline Grotewold, ROMANO, Rodrigo Alvite. **Filtro complementar aplicado a medida de inclinação de plataformas móveis**. [2010]. Mauá. Disponível em: <<http://www.maua.br/pesquisas/filtro-complementar-aplicado-a-medida-de-inclinacao-de-plataformas-moveis> >. Acesso em: 24 ago. 2014.

BUS, I2c. **I2C Primer**. 2014. Disponível em: <<http://www.i2c-bus.org/i2c-primer/>>. Acesso em: 23 nov. 2014.

CAJUMORO. **Guincho ou Elevador de Piscina**. 014. Disponível em: <[http://www.cajumoro.com.br/equipamentos/guinchos\\_piscina.html](http://www.cajumoro.com.br/equipamentos/guinchos_piscina.html)>. Acesso em: 02 maio 2015.

CAMARGO, Guilherme de Oliveira. **Comandos hidráulicos e pneumáticos**. Florianópolis: SENAI/SC, 2010. 113 p. Disponível em: <<http://www.sc.senai.br/admin/documentos/pda/SENAISC-SaoBentodoSul2011020416050605comhidpneu.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2014.

DISCHINGER, Marta; JACKSON, José Marçal. **Which future scenarios can we help to construct for our cities?: LIFE IN THE URBAN LANDSCAPE**. International conference for integrating urban knowledge & practice. Gothenburg, Suíça. mai. 2005. Disponível em: <[http://accesibilidad.artmedialabs.com/accesibilidad/tribuna/I\\_PLAN\\_NACIONAL\\_DE\\_ACCESIBI.PDF](http://accesibilidad.artmedialabs.com/accesibilidad/tribuna/I_PLAN_NACIONAL_DE_ACCESIBI.PDF)>. Acesso em: 05 out. 2014.

DISCHINGER, Marta; ELY, Vera Helena Moro Bins; MACHADO, Rosângela; SILVA, Rosali Mariade Souza; PADARATZ, Rejane; ANTONINI, Camile; DAUFENBACH, Karine; SOUZA, Thiago Romano Mondini de. **Desenho universal nas escolas: acessibilidade na rede municipal de ensino de Florianópolis**. Florianópolis: Grupo PET Arquitetura e Urbanismo, UFSC & Prefeitura Municipal de Florianópolis. 2004.

DURÃO, Carlos Renato Caputo. **Utilização de Unidades de Medidas Inerciais Baseadas em Sistemas Microeletromecânicos em Navegadores Integrados**. 2009. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2009120401.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2014.

FIERA, Luiz Ricardo. **Ferramenta Para Localização Em Ambiente Controlado Utilizando Mapa De Sinais Wireless**. 2013. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

FELIPEFLOP (Florianópolis). **Motor DC 12v 80 RPM com Caixa de Redução**. 2015. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b80f-motor-dc-12v-80-rpm-com-caixa-de-reducao.html?ct=41d95&p=1&s=1>>. Acesso em: 03 maio 2015.

SILVA FILHO, Gerson Luis, RUDIGER, Gustavo Teixeira, NASCIMENTO, Jonathan Pontes Moraes do. **Quadricoptero**. 2011. 33 p. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia de Computação, Universidade tecnológica federal do paraná. Curitiba. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/msergio/portuguese/ensino-de-fisica/oficina-de-integracao-ii/oficina-de-integracao-ii/Monog-11-2-Quadricoptero.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

FONSECA, Adhemar. **Curso de Mecânica Vol. 4 Dinâmica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Técnica Dragão, 1966. 448 p.

FORHAN, Neisy Amparo Escobar. **GIROSCÓPIOS MEMS**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, 2010. Disponível em: <<http://mtc>

m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.25.18.42/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 26 out. 2014.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051**. 1ª Ed. São Paulo: Pearson, 2005.

GOMES, Evandro Luís Brandão, TAVARES, Luís Antônio. **Uma solução com Arduino para controlar e monitorar processos industriais**. 2013. 4 f. Curso de Engenharia de Sistemas Eletroeletrônicos, Automação e Controle Industrial, Instituto Nacional de Telecomunicações, Minas Gerais, 2013. Disponível em: <[Http://www.inatel.br/pos/index.php/downloads/doc\\_download/26-luis-tavares-arduino](http://www.inatel.br/pos/index.php/downloads/doc_download/26-luis-tavares-arduino)>. Acesso em: 16 ago. 2014.

GREIFF, P.; BOXENHOM, B.; KING, T.; NILES, L. **Silicon monolithic micromechanical gyroscope**. In: TECH. DIG.INT. CONF. SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS IEEE Transducers'91, 6. ed. San Francisco: IEEE, 1991. 966p.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade básica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1997. 639 p. Tradução Aracy Mendes da Costa.

HIDRÁULICOS, Fluidpac Componentes. **Cilindros Pneumáticos**. 2014. Disponível em: <<http://www.fluidpac.pt/pneumatica/cilindros-pneumaticos>>. Acesso em: 23 nov. 2014.

INVENSENSE INC. (San Jose). **InvenSense**. Fabricante do sensor giroscópio MPU-6050. Disponível em: <<http://www.invensense.com/mems/about.html>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

LINAK. **Atuador linear elétrico**. São Paulo, 2015. Fabricante de atuadores linear elétricos. Disponível em: <<http://www.linak.com.br/about/?id3=5603>>. Acesso em: 09 maio 2015.

KELLY, James Floyd; TIMMIS, Harold. **Arduino Adventures: Escape from Gemini Station**. New York: Apress, 2013. 308 p.

MADOU, M. **Fundamentals of Microfabrication: the science of miniaturization**. 2ª. ed. [S.l.]: Boca Raton, 2002. 723 p.

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados**. 1ª Ed. São Paulo: Novatec, 2005.

MAY, M. B. **Inertial Navigation and GPS**. GPS WORLD, p. 56-57, September 1993.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora Ltda., 2011. Tradução Rafael Zanolli.

MEDINA, Aline Gomes; COELHO, Daniel Boari. **Aspectos biomecânicos e funcionais na prescrição de cadeira de rodas**. São Paulo, 6 f, 2013. Disponível em: <[http://www2.rc.unesp.br/eventos/educacao\\_fisica/biomecanica2007/upload/\\_\\_\\_157-1-A-ArtigoCBB2007.pdf](http://www2.rc.unesp.br/eventos/educacao_fisica/biomecanica2007/upload/___157-1-A-ArtigoCBB2007.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2014.

MORAES, Miguel Correia. **Acessibilidade no Brasil: Análise da NBR 9050**. 175f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2007.

MOREIRA, Allyson dos Reis; HOLANDA, Hadryel; SOUTO, Lucas Minto Maia; MONTEIRO, Thainã; WREZINSKI, Vanessa Bragança. **Sistema De Detecção De Buracos Em Estradas**. 2013. 44 f. Monografia - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/msergio/portuguese/ensino-de-fisica/oficina-de-integracao-ii/oficina-de-integracao-ii/Relatorio Final - Buracos.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

MOURA, Egnilson Miranda de. **Uma contribuição ao Estudo de Sistemas Dinâmicos Giroscópicos Não-Lineares**. 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000218943>>. Acesso em: 26 out. 2014.

MOZOS, Elisa Sala; LÓPEZ, Fernando Alonso. **La accesibilidad universal en los municipios: guía para una política integral de promoción y gestión**. Instituto Universitário de Estudos Europeus. Universidade Autônoma de Barcelona. Barcelona, 2005. Disponível em: <<http://www.segsocial.es/imsero/dependencia/guiaaccesmuni.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

NICHOLL, A. R. J. **O ambiente que promove a inclusão: conceitos de acessibilidade e usabilidade**. Revista Assentamentos Humanos, Marília, v.3, n. 2, p. 49-60, dez. 2001.

PATZELT, Julia. **Inertial sensor technology moves consumer electronics**. MINAPIM news, 2007. Disponível em: <<http://www.suframa.gov.br/minapim/news/buscaConc.cfm?idArt=423&lang=EN>>. Acesso em: 26 out. 2014.

PERLMUTTER, M.; ROBIN, L. **High-Performance, Low cost Inertial MEMS: a Market in motion! Position Location and Navigation Symposium(PLANS), IEEE/ION**, p.225-229, Abril 2012. ISSN 978-1-4673-0385-9.

POMPERMAIER, Cristóvão. **Otimização De Um Atuador Linear Com Ímã Permanente E Alta Frequência De Ressonância Aplicado A Sistemas De Refrigeração**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93084/275393.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 set. 2014.

ROBOCORE. **Arduino shield - Megashield kit**. São Paulo, 2014. Disponível em: <[http://https://www.robocore.net/modules.php?name=gr\\_lojavirtual&prod=283](http://https://www.robocore.net/modules.php?name=gr_lojavirtual&prod=283)>. Acesso em: 09 maio 2015.

ROMANO, vitor ferreira; DUTRA, max suell. Introdução à robótica industrial. In: ROMANO, vitor ferreira. **ROBÓTICA INDUSTRIAL: aplicação na indústria de manufatura e de processos**. Nbgghg: Edgard Blücher Ltda, 2002. Cap. 1. P. 1-21.

ROSÁRIO, João Maurício. **Robótico Industrial I: Modelagem, utilização e programação**. São Paulo: Baraúna, 2010.

REX BIONICS (Nova Zelândia). 2014. Disponível em: <<http://www.rexbionics.com/products/rex/who-can-use-rex/>>. Acesso em: 02 maio 2015.

SANTOS, Sérgio Lopes dos. **Bombas & instalações hidráulicas**. São Paulo: LCTE Editora, 2007. 252 p.

SCHMIDT, Maik. **Arduino: A Quick-Start Guide**. Dallas: Pragmatic Bookshelf, 2011. 265 p.

SILVA, Emílio Carlos Nelli. **PMR 248 1 - Sistemas Fluidomecânicos: Apostila de Pneumática**. São Paulo: Escola Politécnica da Usp, 2011. 121 p. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/Apostpmr2481.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2014.

SOUZA, Fábio. **Arduino - Interface com acelerômetro e giroscópio**. 2015. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/arduino-acelerometro-giroscopio/>>. Acesso em: 09 maio 2015.

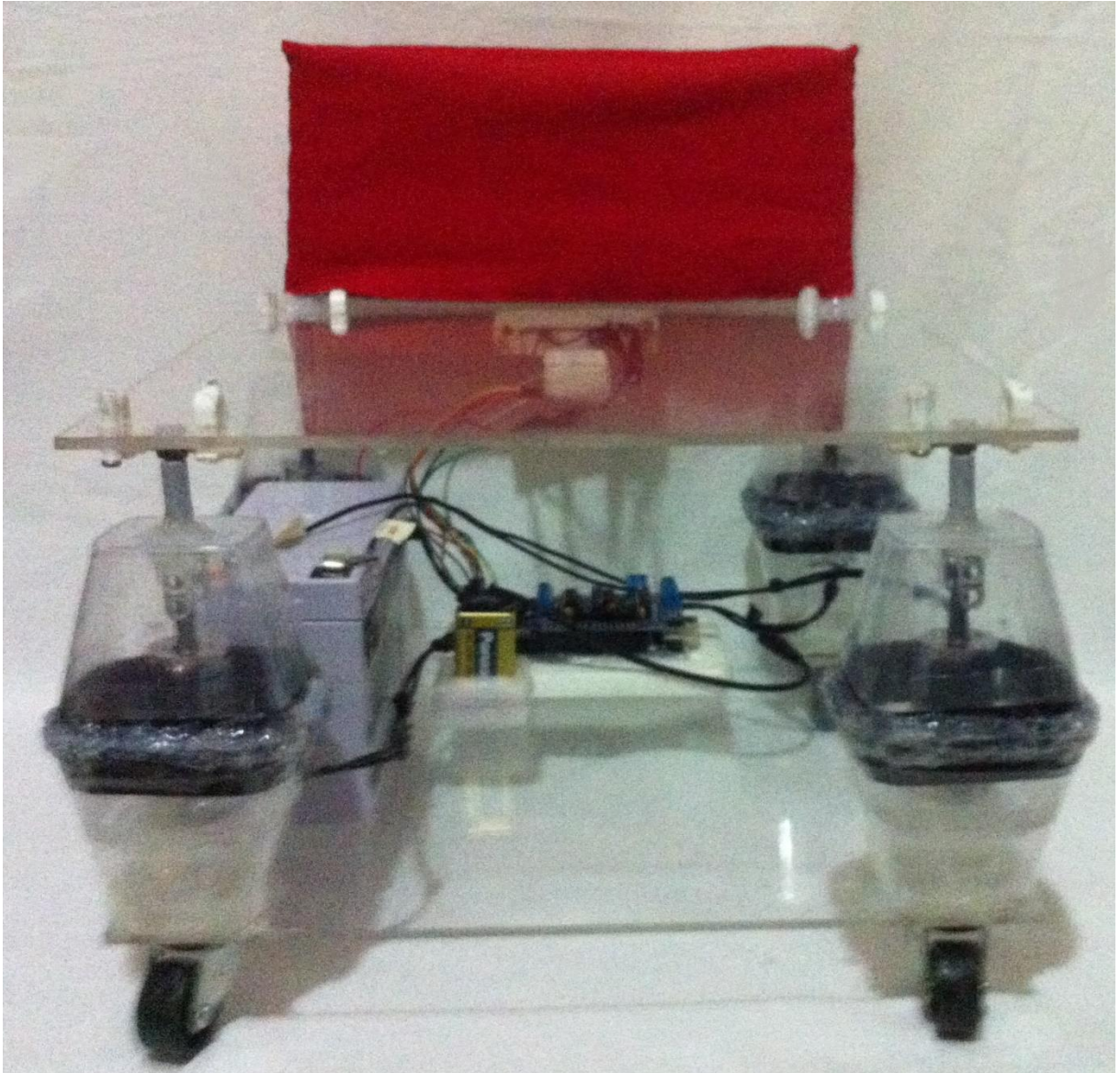
SOUZA JÚNIOR, Helemberg Cubiça de. **Modelagem, simulação e controle de um giroscópio**. 2014. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Engenharia de Controle e Automação, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010609.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2014.

SOUZA, Sílvia Galvão de; GERMANOVIX, Walter; GAINO, Ruberlei. **Cadeira de Rodas**. 2008. Disponível em: <[http://www.uel.br/pessoal/silvia/?page\\_id=29](http://www.uel.br/pessoal/silvia/?page_id=29)>. Acesso em: 02 maio 2015.

VASCONCELLOS, Camila Simões da Costa Cunha; CATUNDA, Paulo Roberto Yamasaki. **Projeto, Construção e Controle de um Protótipo de um Quadrrrotor.** 2013. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Escola Politécnica, Departamento de Departamento de Eletrônica e de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006598.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

**APÊNDICE(S)**

Apêndice A – Protótipo da cadeira de rodas



Apêndice B – Protótipo da cadeira de rodas, sendo aplicado nivelamento no eixo X



Apêndice C – Protótipo da cadeira de rodas, sendo aplicado nivelamento no eixo Y



Apêndice D – Artigo

## DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE ESTABILIDADE NA LINGUAGEM ARDUINO, APLICADO EM UM PROTÓTIPO DE CADEIRA DE RODAS

**Diogo Anphiloquio<sup>1</sup>, Sergio Coral<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Ciência da Computação – Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias (UnaCET) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)  
Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário – Criciúma – SC – Brasil

<sup>2</sup>Professor do Curso de Ciência da Computação – Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias (UnaCET) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)  
Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário – Criciúma – SC – Brasil

guinho\_ra@hotmail.com, sergiocoral@unesc.net

**Abstract.** *Nowadays , it is increasingly difficult to travel in cities for physical disabilities who need a wheelchair to get around . The difficulties are irregularities on the sidewalks , lack of ramps and public transport. Accessibility arises in this context to enable anyone to enjoy all the benefits of life in society , including the above mentioned problems. This article describes the construction of wheelchair prototype that automatically stabilizes to be introduced in an irregular environment or into a chute , providing comfort for the person who is using.*

**Resumo.** *Nos dias atuais, está cada vez mais difícil a locomoção nas cidades para as pessoas deficientes físicas, que necessitam de uma cadeira de rodas para locomover-se. As dificuldades são as irregularidades nas calçadas, falta de rampas e transporte público. A acessibilidade surge neste contexto para possibilitar a qualquer pessoa usufruir todos os benefícios da vida em sociedade, dentre eles os problemas citados acima. Este artigo descreve a construção do protótipo de cadeira de rodas que se estabilize automaticamente ao ser introduzida em um ambiente irregular ou em uma rampa, proporcionando um conforto para a pessoa que esteja utilizando.*

### 1. Introdução

Na maioria dos casos os cadeirantes não possuem uma boa infraestrutura para se locomover, mesmo em seus lares existem vários obstáculos que dificultam seu dia-a-dia, como degraus, escadas e desníveis. O avanço da informática associado às políticas públicas e aos incentivos mundiais às tecnologias assistivas, têm direcionado uma série de trabalhos científicos que visam a aplicação da tecnologia computacional à melhoria de vida da população com algum tipo de deficiência.

A partir do desenvolvimento de um software que controle automaticamente a estabilidade de uma cadeira de rodas, pode facilitar e ajudar um cadeirante na sua locomoção seja para o trabalho, escola e hospital tornando o processo de locomoção mais confortável e prazeroso, além de ajudar nas adversidades encontradas nas ruas.

A constante evolução dos microcontroladores unido ao software, possibilitou a criação de uma solução voltada para as pessoas que detém alguma deficiência motora, garantindo as estas

peçoas uma melhor qualidade de vida, auxiliando-as na luta por mais acessibilidade nos ambientes encontrados no dia-a-dia.

## 2. Acessibilidade e cadeira de rodas

Em termos gerais indica a possibilidade de qualquer pessoa usufruir de todos os benefícios da vida em sociedade, entre eles, o uso da Internet, melhores acessos nas calçadas, rampas e melhorias no transporte público (ABNT, 1994; NICHOLL, 2001).

Segundo os conceitos de acessibilidade e mobilidade de Aguiar (2010), estes estão sendo confundidos pelo fato de aparecerem quase sempre relacionados um ao outro. Porém a acessibilidade está relacionada a questões estruturais de organização e produção do espaço seja no lar ou no perímetro urbano. Já o conceito de mobilidade refere propriamente ao indivíduo e suas condições de locomoção, interferindo nas questões referentes à acessibilidade. Nesse sentido, um ambiente planejado para todos tem influência direta na maneira em como ocorre a locomoção do indivíduo.

Ao decorrer da história da humanidade, o homem tem criado ferramentas objetivando potencializar funções humanas. Tanto no caso da necessidade de aumento, quanto na substituição dessa, tendo como sentido o auxílio ao indivíduo para otimizar o desempenho de suas atividades. Uma das ferramentas criadas na ajuda e substituição de funções motoras foi a cadeira de rodas, onde seu uso deve ser avaliado durante sua prescrição (MEDINA; COELHO, 2013).

Para composição de uma cadeira de rodas pode-se citar três componentes principais, o assento que necessita ser de um tecido que não ceda facilmente, podendo utilizar fibras não-absorventes. O encosto deve apresentar as mesmas características do assento, sendo acrescentado espuma na forração para propiciar conforto. Para finalizar as rodas são de fundamental escolha, onde para os adultos o tamanho ideal das rodas traseiras é 24 x 1<sup>3</sup>/<sub>8</sub> polegadas sendo convertido para centímetros são 61 x 3,5 cm, já para crianças são de 16 polegadas que em centímetros são 40,640 cm (MEDINA; COELHO, 2013).

Seguindo este contexto foi determinado a construção de um protótipo que simule uma cadeira de rodas, por meio de duas placas de acrílico com dimensões de 30 x 30cm com 4mm de espessura, assim estas serão sustentadas pelos atuadores que aplicarão os deslocamentos na placa superior conforme parâmetros do giroscópio. Em cada canto da placa inferior ficará as rodas que darão facilidade na locomoção do protótipo.

## 3. Tecnologia no auxílio a cadeirantes

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho envolveu:

- a) estudo no funcionamento do hardware e na linguagem dos microcontroladores, tendo foco no microcontrolador Arduino;
- b) pesquisa no *Shield* giroscópio, necessárias para implementação deste trabalho onde será o responsável em buscar as coordenadas geográficas;
- c) análise nos atuadores lineares, tendo como parâmetros de estudos os atuadores que utilizam energia hidráulica, pneumática e elétrica para serem utilizados na realização dos movimentos de nivelamento;
- d) construir um protótipo de uma cadeira de rodas com ajuda de atuadores lineares elétricos controlados pelo microcontrolador Arduino que recebe os parâmetros de localização através do *Shield* giroscópio, para que possa realizar a estabilidade automática.
- e) validação do protótipo.

### 3.1 Atuadores lineares

São componentes que geram potências mecânicas aplicados geralmente em robôs industriais, através de energia elétrica, hidráulica ou pneumática. A potência mecânica é gerada através do sistema de transmissão onde é enviada para o elo, que ao receber a potência é movimentado. Não necessitam de embreagem ou qualquer aparato para realizar o movimento linear, além de possuir um número pequeno de componentes mecânicos, menos inércia da parte móvel, menos fontes de perda e menor fadiga do mancal (POMPERMAIER, 2009).

Dentre os atuadores lineares escolhidos para estudo e implementação do trabalho pode-se destacar os hidráulicos, pneumáticos e elétricos. Para os hidráulicos pode-se extrair que o mesmo é utilizado em cargas de grande porte na casa das centenas de toneladas contendo alta precisão, porém seu custo benefício, flexibilidade e complexidade em montar o circuito abastecedor por necessitar de bomba hidráulica, o descarta para utilização no projeto. Os atuadores pneumáticos são mais flexíveis e com um custo relativamente baixo trabalhando em uma ordem de carga de até uma tonelada, porém com baixa precisão e uma complexidade em montar o circuito pneumático a partir de um compressor utilizando os filtros e mangueiras para alimentar o atuador, o tornam complexo para sua utilização. Assim foi escolhido para estudo os atuadores elétricos por possuírem uma fácil manipulação, ter uma alta precisão nos movimentos e já estar inserido no mundo da robótica há anos o que facilita na pesquisa e implementação do projeto. Sua força e movimentos são gerados através do motor de corrente contínua que pode ser de 12 V a 24 V, sendo utilizado o de 12 V para pesquisa e implementação. Os motores de corrente contínua são compactos e mantêm o torque numa faixa constante para grandes variações de velocidade, porém necessitam de sensores de posição angular e velocidade (ROMANO; DUTRA, 2002).

Foi definido para o trabalho a necessidade do desenvolvimento de um próprio atuador linear. O objetivo da construção do atuador foi pelo baixo custo em comparação com os preços práticos no mercado e a flexibilidade de adaptação deste para o projeto. Assim foi necessário um motor de corrente contínua de 12v possuindo 80RPM com caixa de redução, sendo que este último componente é necessário para controle de velocidade do motor. Como o trabalho demanda quatro atuadores, necessitou-se a utilização de um controlador de motor que fosse responsável pelo controle e distribuição de tensão para os quatro motores dos atuadores. Assim o *Shield Motor L293D*, foi escolhido e adquirido para realizar esta tarefa, pois suporta até quatro motores DC, atendendo em tensões superiores a 36v, o que no projeto não será necessário, pois a tensão chegará no máximo a 12v. Este controlador possui o chip L293D que é conhecido como Ponte H, que é um circuito que permite uma tensão ser aplicada à uma carga em qualquer direção, ou seja, ao ser aplicado a tensão de 12v nos motores irão girar no sentido horário, e basta inverter a polaridade através de comandos, que o sentido do motor irá ser ao contrário (sentido anti-horário). Passadas estas etapas, restava adicionar a haste que exercesse as funções de estender e recolher, ou seja, quando necessário levante ou abaixe a plataforma onde a haste está sendo apoiada. Seguindo esta linha escolheu-se um pistão linear da linha Tecnológica da Lego<sup>3</sup>, medindo aproximadamente 55mm com a haste recolhida e aproximadamente 80mm com a haste totalmente estendida. O próximo passo foi realizar a ligação do pistão com o motor, pois é o motor quem faz com que a haste seja estendida e recolhida. Para a saída do motor tem-se um eixo em forma circular, já para a entrada do pistão é em forma de cruz, necessitando algum

---

<sup>3</sup> A Lego foi fundada em 1932 por Ole Kirk Kristiansen. É uma empresa que trabalha no segmento de brinquedos de montar. A linha tecnológica da Lego, foi criada para possibilitar a construção de veículos, robôs e máquinas, com ênfase no movimento à base de engrenagens, polias e pistões.

mecanismo que para o lado do motor fosse em uma forma circular, sendo no mesmo diâmetro do eixo pois caso fosse maior poderia rodar em falso. Já para o lado do atuador teria que ser em forma de cruz. Para que isso fosse possível necessitou-se a utilização de acopladores plásticos. Neste trabalho os atuadores realizam suas tarefas de erguer e encolher a partir de parâmetros vindos do giroscópio, que obtém as coordenadas X, Y e Z necessários para o cálculo do ângulo, onde este ângulo é interpretado pelo microcontrolador e enviado aos atuadores para exercer as funções de equilíbrio proposta neste projeto. Na figura 1 é demonstrado o atuador linear construído a partir dos componentes citados acima.

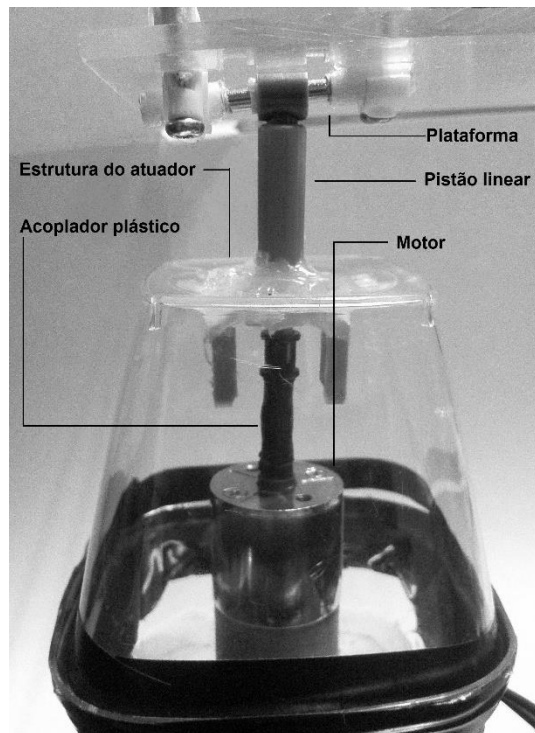


Figura 1 – atuador linear construído.

### 3.2 Giroscópio

Todo corpo rígido que gire em seu próprio eixo de simetria num espaço se caracteriza um giroscópio (BARCELOS NETO, 2004). Seu efeito tem uma grande aplicação, que vão desde sistemas inerciais para navegação, orientação e controle de aviões e naves (MOURA, 2001). Os sensores inerciais são transdutores que fornecem um sinal de saída, proporcionando à velocidade angular ou à aceleração, definindo seus ângulos de orientação no sistema de coordenadas global Z, Y e X como guinada, arfagem e rolagem.

Estes dispositivos são amplamente usados também em sistemas robóticos e automobilísticos. Tendo um nicho de aplicação no mercado de consumo de dispositivos portáteis: GPS, estabilizadores em câmeras digitais e telefones celulares, periféricos de computadores, PDAs, notebooks, controles remotos, controladores de jogo e ferramentas para indústria biomédica (PATZELT, 2007).

Para estudos e utilização no trabalho foi determinado a utilização da tecnologia MEMS, que fisicamente são dispositivos eletromecânicos inerciais de alta precisão, onde em comparação aos dispositivos convencionais (não MEMS), possuem grande vantagem. Esta vantagem é resultado de uma combinação do baixo custo de fabricação, tamanho compacto, pouco peso, baixo consumo, alta confiabilidade e inteligência aumentada. Com este levantamento e

vantagens será estudado e aplicado neste trabalho esta tecnologia para obtenção das posições do protótipo em relação ao espaço. É um sistema eletromecânico miniaturizado que apresenta três fundamentais componentes: o sensor, a interface analógica e o controle digital. O sensor recebe o sinal passando-o para interface digital onde está é responsável em amplificar e transmitir o sinal para o controle digital que fará o processamento numérico (FORHAN, 2010).

Com base nos fundamentos levantados nos estudos de giroscópios MEMS para utilização neste trabalho com função única de estimar e calcular o ângulo em que o protótipo da cadeira de rodas se encontra sobre ambiente externo, permitindo assim a estabilidade do mesmo. Foi adquirido o sensor giroscópio MPU6050 para esta função por atender exigências de baixo consumo de potência, baixo custo e uma alta inteligência na medição dos ângulos.

A família MPU6050 é a primeira de dispositivos de seis eixos, sendo projetada para rastreamento dos movimentos, integrado por um magnetômetro HMC5883L e um Barômetro MS5611-01BA01, que medem o campo magnético com precisão de 5 mGauss e a pressão atmosférica com precisão de até 10 cm ao nível do mar. O chip é composto pelos três eixos ortogonais do acelerômetro, três eixos ortogonais do giroscópio, três eixos ortogonais do magnetômetro e o barômetro (VASCONCELLOS; CATUNDA, 2013). O sensor sempre age como um escravo para o Arduino, ou seja, ele somente fornece os dados para Arduino processar e interpretar, sendo utilizado os pinos SDA e SCL ligados ao barramento I2C-bus.

Estas informações são enviadas ao microcontrolador Arduino em forma de coordenadas para que este processe-as e realize o cálculo do ângulo em que o protótipo está ao ser movimentado. O *Shield* fica obtendo a todo momento as coordenadas nos eixos X, Y e Z, mesmo se o protótipo estiver parado, assim o microcontrolador fica recebendo e processando estes dados, calculando a todo momento o ângulo que o protótipo está no momento, sendo encaminhado aos atuadores para realizar o nivelamento através deste ângulo.

### 3.1. Microcontrolador Arduino

Um microcontrolador é um dispositivo semicondutor embutido em um circuito integrado, onde é composto pelas partes de um microcomputador que são: o microprocessador, as memórias não voláteis e voláteis e as portas de entrada e saída (GIMENEZ, 2005).

Caracterizam-se por incorporar no mesmo chip um microprocessador que tem como finalidade de interpretar as instruções do programa e processar os dados do mesmo, memória de programa responsável por armazenar os valores associados com as variáveis do programa, pinos de entrada/saída que realizam a comunicação do microcontrolador com o meio externo que podem ser sensores, motores e dispositivos, e para completar vários periféricos como temporizadores, controladores de interrupção, comunicação serial e geradores de modulação de pulso e PWM (MARTINS, 2005).

Seguindo neste contexto, surgiu a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, que foi desenvolvida com um microcontrolador ATMEL AVR com uma linguagem de programação própria com origem em Wiring e C/C++. O Arduino tem como objetivo facilitar a utilização de microcontroladores, sendo uma ferramenta de baixo custo, flexível e de fácil utilização. Na prática o Arduino é um pequeno computador composto por um microprocessador da empresa ATMEL onde a linha utilizada é a ATmega que varia entre os modelos ATmega8, ATmega162 e ATmega328p, um cristal oscilador que é um relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada (*clock*) e um regulador linear de 5 volts. Seu funcionamento se baseia em receber um conjunto de instruções e armazena-las em sua memória, onde após o processamento irá executar estas instruções conforme programado, como exemplo acender uma luz ou acionar um motor. Estas instruções são chamadas de esboço ou *sketch*, que é onde fica a

lista de processos e passos que o Arduino deve fazer, como fazer e como passar para os materiais que estão ligados a ele (KELLY; TIMMIS, 2013, tradução nossa).

Assim foi necessário adquirir o microcontrolador Arduino Mega 2560 Rev 3, para realizar as tarefas de administrar os quatro atuadores lineares do projeto e receber as informações de coordenadas pelo *Shield* giroscópio, onde depois de processa-las e realizar o cálculo do ângulo, ele envia comando aos atuadores para executarem o que deve ser feito para manter o nivelamento do protótipo.

### 3.4 Desenvolvimento no Arduino

O algoritmo de nivelamento automático foi desenvolvido na linguagem do Arduino. Sendo que primeiramente foi realizado um estudo em cálculo de ângulo, chegando como resultado a utilização do cálculo do arco tangente, representado pelas equações abaixo já convertidas para a linguagem do Arduino:

$$\text{angulo}_Y = (\text{atan2}(y,z) + \text{PI}) * \text{RAD\_TO\_DEG}$$

$$\text{angulo}_X = (\text{atan2}(x,z) + \text{PI}) * \text{RAD\_TO\_DEG}$$

A partir da primeira equação acima pode-se calcular o ângulo do eixo Y, onde a função `atan2` retorna como resultado o ângulo em radianos, sendo que 1 radiano equivale a cerca de aproximadamente 57°. Como o retorno é em radianos é necessário a realização da soma pelo  $\pi$  que equivale a 3.14, multiplicado pela variável `RAD_TO_DEG` que equivale a 57.29577951308, esta multiplicação converte o valor do ângulo que foi obtido pela função `atan2` em radianos em um valor em graus. A variável `z` presente na equação acima representa a medição em três eixos o que proporciona uma melhor precisão ao medir a inclinação, assim o eixo `Z` é responsável pela medição de profundidade, necessário juntamente com o outro eixo `x` ou `y` para a função `atan2` resultar no ângulo. Baseado nas equações acima foi elaborado um algoritmo que foi transformado em um software na linguagem do Arduino, seu funcionamento se dá em basicamente receber as informações de locação do sensor giroscópio MPU-6050 transformando-as em ângulos conforme as equações acima. A obtenção das informações do *Shield* é simplificada com o uso da biblioteca `MPU6050.h`, porém os valores obtidos não correspondem a nenhuma grandeza física. Assim para utilização destas informações foi necessário realizar manipulações para que sejam transformadas em valores físicos. As manipulações ocorreram dentro da equação dos ângulos onde a função `atan2` lê estas informações como veem do sensor, porém já retornam o valor em grandeza física, no caso em radianos. A obtenção das informações do sensor foi por meio do comando `getMotion6` que realiza a leituras dos eixos de aceleração `X`, `Y` e `Z` além dos eixos de giroscópio `GX`, `GY` e `GZ`.

Com os ângulos dos eixos `X` e `Y` devidamente calculados, foi realizado a montagem de procedimentos responsáveis em acionar os atuadores lineares para nivelar a chapa superior onde se localiza o sensor giroscópio, pois é esta que representa o acento em uma cadeira de rodas. Para isso foi montado uma função que receba os ângulos e os verifica em qual quadrante o mesmo se encontra, ou seja, caso o ângulo do eixo `X` esteja com valor de 149° e o eixo `Y` com 360°, o algoritmo entenderá que o protótipo está em ambiente com elevação na horizontal. O mesmo vale para o eixo `Y`, onde se caso seu valor for diferente de 360° ou 0° significa que este sofreu alteração e está em um ambiente com elevação ou declive na vertical. Com isso os atuadores irão aplicar suas forças de elevação e recolhimento da haste para que mantenha a chapa superior sempre nivelada, até que a chapa fique nos ângulos de 360° ou 0° nos eixos `X` e `Y`.

### 3.4.1 Aplicação do Filtro de Kalman

O Filtro de Kalman foi utilizado neste projeto para resolver o problema das medições do giroscópio com ruído, o que estava provocando no cálculo de ângulo discrepância de valores. A implementação do filtro possibilitou combinar as medições do acelerômetro e giroscópio, presentes no mesmo sensor MPU6050 utilizado neste trabalho. Com esta combinação de medição foi possível obter uma resposta mais precisa do ângulo em comparação as medições anteriores onde não era aplicado o filtro de Kalman.

Para aplicação do Filtro de Kalman no software desenvolvido é necessário a utilização da biblioteca Kalman.h, onde está fornece todos os cálculos necessários. Assim inicialmente feito a declaração das variáveis específicas da biblioteca para os ângulos X e Y, estas variáveis são do tipo Kalman, exemplo Kalman ângulo\_x. Com a declaração das variáveis feitas, bastou adicionar nas funções do software que calculavam os ângulos a formula do Filtro de Kalman.

A figura 2 pode-se visualizar o resultado final do desenvolvimento do protótipo da cadeira de rodas, já sendo colocado em pratica o software desenvolvido para nivelamento.

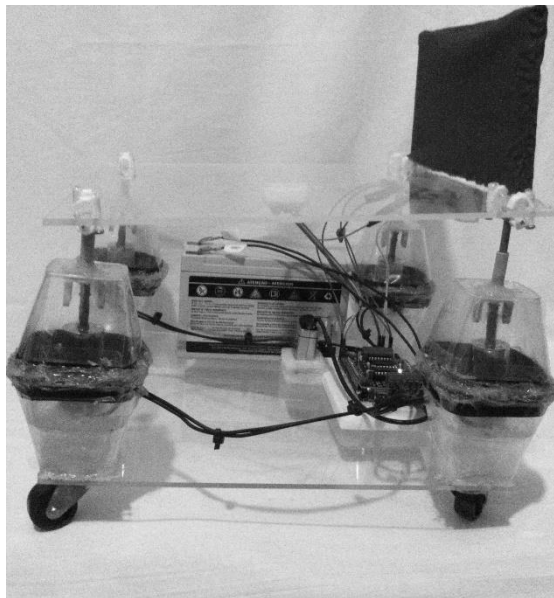


Figura 2 – Protótipo da cadeira de rodas.

## 4. Resultados

O levantamento e estudo inicial permitiu conhecer e identificar as dificuldades encontradas no dia-a-dia de um cidadão portador de deficiência motora, que necessita do uso da cadeira de rodas para se locomover. Neste sentido percebeu-se a importância de estudar e desenvolver uma solução para proporcionar um conforto maior para estas pessoas. Estudos foram realizados envolvendo as áreas da Ciência da Computação, matemática e robótica para que fosse possível desenvolver a solução apresentada neste projeto, que foi a criação de um protótipo de cadeira de rodas que se auto estabilize conforme situações encontradas no dia-a-dia.

A criação do protótipo da cadeira de rodas foi completada como proposto, necessitando de algumas adaptações e ajustes na busca de melhorá-lo e torná-lo mais eficiente. Como exemplo foi a decisão de utilizar atuadores elétricos que são mais flexíveis e mais eficientes em suas funções, sendo realizado com êxito a construção dos próprios atuadores lineares elétricos o que de certa forma ajudou no entendimento de funcionamento destes mecanismos. Aliado ao hardware do protótipo foi realizado o desenvolvimento de um software na linguagem do Arduino que representa a funcionalidade mais interessante do projeto, pois é este que possui e

distribui toda lógica ao hardware do protótipo. Por meio do algoritmo do Filtro de Kalman pode-se obter um conhecimento mais aprofundado em sistemas lineares, o que proporcionou um melhor estudo em sua lógica, que foi passada ao software desenvolvido para garantir que as medições dos ângulos fossem mais refinadas, obtendo um resultado mais confiável, passando a ter um bom desempenho no projeto como um todo.

Com a construção do protótipo da cadeira de rodas aliado ao software desenvolvido na linguagem do Arduino que o gerencia, pode-se alcançar os resultados esperados que atingiram os objetivos propostos a nível acadêmico. Sendo testado uma carga de peso de dois quilos, onde acima disso os atuadores não suportam o peso, por sua composição ser plástica. Para utilização da solução em proporções reais necessitaria um investimento maior, sendo necessário aprimoramentos no hardware do protótipo, necessitando um estudo mais abrangente nos atuadores para suportar uma carga de peso maior, tendo que realizar as suas funções com o peso de uma pessoa sobre sua estrutura, não podendo afetar sua integridade.

Na continuidade deste projeto pode-se pesquisar para trabalhos futuros a implementação em proporções reais de uma cadeira de rodas, permitindo desenvolver um produto que seja capaz de suportar o peso de uma pessoa, com isso teria melhores parâmetros e resultados. Outra área que pode sofrer futuras modificações é a eletrônica, sendo que realizado a substituição do Arduino mega que tem um custo relativamente baixo para prototipação mais relativamente alto para sua produção em massa. Assim com o desenvolvimento da própria placa utilizando apenas o microcontrolador tornaria o custo mais baixo.

### Referências

BARCELOS NETO, João. **Mecânica: Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

FORHAN, Neisy Amparo Escobar. **GIROSCÓPIOS MEMS**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, 2010. Disponível em: <<http://mtc.m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.25.18.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2014.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051**. 1ª Ed. São Paulo: Pearson, 2005.

KELLY, James Floyd; TIMMIS, Harold. **Arduino Adventures: Escape from Gemini Station**. New York: Apress, 2013. 308 p.

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas Microcontrolados**. 1ª Ed. São Paulo: Novatec, 2005.

MEDINA, Aline Gomes; COELHO, Daniel Boari. **Aspectos biomecânicos e funcionais na prescrição de cadeira de rodas**. São Paulo, 6 f, 2013. Disponível em: <[http://www2.rc.unesp.br/eventos/educacao\\_fisica/biomecanica2007/upload/\\_157-1-A-ArtigoCBB2007.pdf](http://www2.rc.unesp.br/eventos/educacao_fisica/biomecanica2007/upload/_157-1-A-ArtigoCBB2007.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2014.

MOURA, Egnilson Miranda de. **Uma contribuição ao Estudo de Sistemas Dinâmicos Giroscópicos Não-Lineares**. 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000218943>>. Acesso em: 26 out. 2014.

NICHOLL, A. R. J. **O ambiente que promove a inclusão: conceitos de acessibilidade e usabilidade**. Revista Assentamentos Humanos, Marília, v.3, n. 2, p. 49-60, dez. 2001.

PATZELT, Julia. Inertial sensor technology moves consumer electronics. MINAPIM news, 2007. Disponível em:

<<http://www.suframa.gov.br/minapim/news/buscaConc.cfm?idArt=423&lang=EN>>. Acesso em: 26 out. 2014.

POMPERMAIER, Cristóforo. **Otimização De Um Atuador Linear Com Ímã Permanente E Alta Frequência De Ressonância Aplicado A Sistemas De Refrigeração**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93084/275393.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 set. 2014.

ROMANO, vitor ferreira; DUTRA, max suell. Introdução à robótica industrial. In: ROMANO, vitor ferreira. **ROBÓTICA INDUSTRIAL: aplicação na indústria de manufatura e de processos**. Nbggh: Edgard Blücher Ltda, 2002. Cap. 1. P. 1-21.

VASCONCELLOS, Camila Simões da Costa Cunha; CATUNDA, Paulo Roberto Yamasaki. **Projeto, Construção e Controle de um Protótipo de um Quadrirrotor**. 2013. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Escola Politécnica, Departamento de Departamento de Eletrônica e de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006598.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2014.