

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
FERNANDO ANTONIO DE DAVID ANDRADE

PROJETO DE UM ROBÔ CATEGORIA SEGUIDOR DE LINHA

CASCAVEL - PR

2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FERNANDO ANTONIO DE DAVID ANDRADE

PROJETO DE UM ROBÔ CATEGORIA SEGUIDOR DE LINHA

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Me. Rosemar Cristiane Dal Ponte

Professor Coorientador: Eng. Mec. Me. Elizeu Avelino Zanella Junior

**CASCADEL - PR
2019**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e amigos, que me acompanharam nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

À minha família e amigos, que me apoiaram no decorrer do curso.

Aos professores e colegas, que me ajudaram neste trabalho; sem esse apoio, não seria possível realizá-lo.

RESUMO

Atualmente, as indústrias buscam cada vez mais o aumento da produção e a redução de custos. Por meio da utilização da automação no transporte de materiais, é possível reduzir o seu tempo de entrega, além de contribuir para a redução de esforços físicos e ergonômicos dos colaboradores. O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de um protótipo de robô, seguidor de linha industrial de pequenas dimensões, para transporte de cargas simples do dia a dia de uma indústria. O projeto do robô é de baixo custo, com uso de materiais comuns na indústria e de poucos processos de fabricação. Os componentes elétricos são de certa simplicidade, utilizando o sistema de código aberto Arduino como base para diferentes programações, de acordo com a necessidade de cada empresa. Para o dimensionamento do robô, foi considerada a capacidade de carga de 360kg, que, segundo ABNT, é equivalente à força máxima que uma pessoa pode realizar ao puxar para tirar uma carga da inércia. Um modelo desse robô foi construído para que sua programação e funcionalidade fossem testadas, a fim de efetivar futuras melhorias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arduino Uno, um dos modelos de placa Arduino.	16
Figura 2 - Robô Kiva e prateleira de armazenamento.	17
Figura 3 - modelo de suporte das rodas	22
Figura 4 - modelo do chassi.....	23
Figura 5 - montagem completa do robô.....	25
Figura 6 - gráfico de tensão no suporte para as rodas	26
Figura 7 - gráfico de tensão no chassi	27
Figura 8 - gráfico de tensão na montagem	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – capacidades de carga.....	18
--------------------------------------	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – diâmetro do eixo.....	19
Equação 2 – custo de produção.....	19
Equação 3 – momento fletor no eixo.....	21
Equação 4 – relação de redução.....	23
Equação 5 – velocidade estimada.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO GERAL	11
3. OBJETIVO ESPECÍFICO	11
4. JUSTIFICATIVA	12
5. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	13
6. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
7.1 O ARDUINO	15
7.2 AUTOMAÇÃO DA INDÚSTRIA	16
7.3 SISTEMA DE CONTROLE	17
7.4 NORMA BRASILEIRA	18
7.5 DIMENCIONAMENTO DE COMPONENTES	19
7.6 CUSTOS	19
8. METODOLOGIA	21
8.1 PROJETO	21
8.2 MODELO	22
8.3 COMPONENTES ELÉTRICOS	24
9. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
11. ANEXOS	31

1. INTRODUÇÃO

A indústria está se desenvolvendo rapidamente graças a utilização de tecnologias que visam facilitar a produção. Esse aumento de tecnologias causa alterações não somente na indústria como na sociedade. (COELHO, 2016).

Ano após ano, novas tecnologias são criadas e implementadas em diferentes setores da economia, as quais são focadas, principalmente, na eficiência da produção, diminuição de gastos e melhoria contínua de processos.

Neste trabalho, foi projetado um robô de categoria seguidor de linha, utilizando materiais acessíveis e de código aberto. Este foi um modelo reduzido de versões industriais construídas com um objetivo principal de transporte de cargas.

Será produzido um modelo de robô seguidor de linha, voltado para o estudo, que utilizará sensores e controladores, a fim de funcionar de maneira autônoma, por meio de sua programação em Arduino.

O robô será programado para realizar um trajeto e parar em uma área dentro desse trajeto, de maneira autônoma, para simular sua movimentação dentro de uma indústria.

Com base no modelo do robô, será possível, futuramente, realizar estudos da viabilidade de implementação em indústrias, armazéns e empresas locais.

A construção do robô foi baseada na plataforma Arduino, que servirá como a placa mãe do robô. Sensores de luz fazem a leitura do trajeto e os motores atuadores realizam a locomoção. Para o funcionamento integrado, foi inserido no Arduino uma programação, pois, sem ela, não poderia atingir seu objetivo.

Foram utilizadas fontes de pesquisa similares às escolhidas por equipes de robôs seguidores de linha de competição, entre escolas e universidades, por se tratar de um robô autônomo, com objetivos similares.

2. OBJETIVO GERAL

Projetar um robô categoria seguidor de linha, utilizando plataforma Arduino.

3. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Projetar a estrutura do robô em software de maneira atender às necessidades da indústria;
- Construir um modelo do robô;
- Realizar a montagem dos sensores e sua programação em Arduino.

4. JUSTIFICATIVA

O robô seguidor de linha é um exemplo de base do que pode ser feito com robôs autônomos, podendo ter diferentes aplicações, desde que preparado para tal, como as sondas lunares, enviadas pela NASA, equipamentos militares e robôs de resgate. No mundo real, esses robôs podem ser de grande uso na nova indústria, mas, para isso, é necessário que realizem bem suas funções e troquem informações com o sistema.

O uso do arduino nesse tipo de sistema pode ser implementado para baratear testes e experimentos, como no desenvolvimento de novos robôs autônomos antes de uma versão final de fato.

O instituto de pesquisa Forrester prevê que até 2021 a tecnologia de automação robótica já substituirá 4,3 milhões de trabalhadores no mundo. Empresas de tecnologia estão começando a entrar nesse ramo, como a IBM e Microsoft, muitas em parceria com startups, o que torna o ramo de rápida expansão em diferentes segmentos da tecnologia.

O aumento da eficiência e produtividade é sempre buscado pelos diferentes setores da economia, seja em uma indústria ou em um centro de distribuição de produtos. Segundo Coelho (2016), atualmente a aplicação de tecnologia de ponta nas indústrias tem aumentado tanto que se fala em uma nova revolução industrial. O advento da indústria 4.0 com utilização de tecnologia amplia as distâncias econômicas entre diferentes indústrias e aumenta a competitividade cada vez mais.

Conforme a visão da indústria 4.0, esta busca além de desenvolver produtos inteligentes, o processo de produção e abastecimento também seguem esta filosofia. O seu impacto baseia-se na combinação de tecnologias, força as empresas a inovarem seu método de gestão para acompanharem o mercado, desde o desenvolvimento de um produto até o consumidor final.

Dentro desse contexto, percebe-se a necessidade da pesquisa em automação na área industrial, a fim de que as indústrias de países em desenvolvimento acompanhem empresas de países já desenvolvidos.

5. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente, nas plantas industriais mais especificamente em seus depósitos é comum termos várias pessoas trabalhando em transporte de cargas, armazenamento e limpeza.

Assim como são tarefas simples, sem a necessidade de pessoas qualificadas, os robôs podem ser utilizados para várias finalidades, tanto na execução de tarefas industriais quanto domésticas.

Como desenvolver um protótipo de robô seguidor de linha voltado para a indústria?

6. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Dimensionamento dos componentes do robô em escala para trabalhos simples que uma pessoa possa fazer. A construção de um modelo do robô. Realização da montagem dos componentes elétricos, sensores, motores e microcontroladores e a programação no Arduino.

7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

7.1 O ARDUINO

A Plataforma de Prototipagem Eletrônica de Código Aberto, de acordo com Banzi e Shiloh (2014), evidencia-se como o Arduino, que é uma plataforma de computação de código livre de hardware e software. Ela permite que as pessoas criem objetos, máquinas e aparelhos que interajam com o meio ambiente, de maneira simples. O arduino é uma pequena placa de circuitos simplificada para que pessoas sem um conhecimento de engenharia possam desenvolver esses objetos, utilizando a computação nessas obras, com ou sem o uso de um software para sua programação (BANZI e SHILOH, 2014).

Ainda segundo Banzi e Shiloh (2014), o hardware e software Arduino são de código livre, essa filosofia promove a uma comunidade a troca de conhecimento de diferentes níveis, em diferentes tipos de construção e programação. O projeto do Arduino foi desenvolvido em um ambiente educacional, por isso, é uma ferramenta educacional popular, possuindo a mesma filosofia do código livre, que proporciona uma generosa troca de informações. Além disso, também divide métodos de ensino, programas de estudo e outras informações que facilitam a discussão entre interessados em ensinar com e sobre o Arduino.

O software de programação do Arduino, o *Integrated Development Environment* (Ambiente de desenvolvimento integrado), (IDE), pode ser adquirido gratuitamente em seu site (www.arduino.cc); as placas possuem preço acessível dependendo do tipo de arduino escolhido o valor tem variações.

Algumas das placas arduino mais utilizadas são:

- Arduino Uno (representado na figura 1)
- Arduino Leonardo
- Arduino Mega
- Arduino Due
- Arduino Nano
- Arduino Pro Mini

Suas principais diferenças entre eles são tamanho, quantidade de memória e a quantidade de portas.

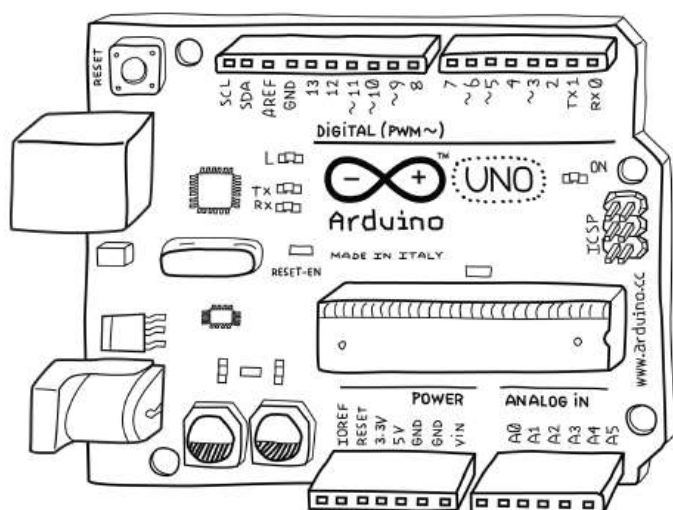


Figura 1 - Arduino Uno, um dos modelos de placa Arduino.

Fonte: BANZI e SHILOH, 2014

7.2 AUTOMAÇÃO DA INDÚSTRIA

Veículos autônomos são utilizados nas indústrias desde os anos 1950, porém, principalmente, no transporte de objetos grandes e pesados. Após anos de pesquisa em robótica, o custo e tamanho de componentes têm diminuído, enquanto suas capacidades têm aumentado. Nos últimos anos, o uso de veículos autônomos tem aumentado, como dispositivos militares e os robôs de exploração em marte, no ambiente doméstico, em alguns países, não é raro encontrar um robô aspirador de pó vagando pelas casas, assim como outras conveniências do mundo moderno (WURMAN, D'ANDREA e MOUNTZ, 2008).

Recentemente, uma empresa chamada Kiva Systems anunciou seu sistema automatizado, focado para empresas de logística e transporte de produtos. A grande inovação da Kiva é a aplicação de robôs autônomos de baixo custo, que se comunicam uns com os outros e são capazes de transportar prateleiras do estoque, como pode ser visto na figura 2, de maneira independente, até estações de trabalho, onde funcionários coletam os produtos e preparam para o transporte. Esse método leva o estoque até o funcionário ao invés do contrário, tornando o trabalho mais eficiente. Em testes realizados, a produtividade é pelo menos o dobro de quando não são utilizados os robôs. Uma instalação com esse sistema possui centenas de robôs em um grande armazém preparado para o seu uso; o retorno do investimento é estimado de um a três anos.



Figura 2 – Robô Kiva e prateleira de armazenamento.
Fonte: WURMAN, D'ANDREA e MOUNTZ, 2008

7.3 SISTEMA DE CONTROLE

Hoje, as teorias de controle comumente utilizadas são: a teoria de controle clássico, a teoria de controle moderno e a teoria de controle robusto.

O controle automático, ou seja a auto correção, é essencial em qualquer campo da engenharia e da ciência. O controle automático é um componente importante e intrínseco em sistemas de veículos espaciais, sistemas robóticos, modernos sistemas de manufatura e quaisquer operações industriais que envolvam o controle de temperatura, pressão, umidade, viscosidade, vazão etc. (OGATA, 2010).

Também, segundo Ogata (2010), algumas terminologias que serão utilizadas são: Variável controlada e variável manipuladora, em que são denominados respectivamente os sinais de entrada e saída; a condição do sistema é medida, passa pelo programa que verifica a necessidade de correção e manda para a saída, a qual aplica a alteração, se necessário. O sistema é a combinação de componentes utilizados para atingir um objetivo. Controle com realimentação é referente a um sistema que, na presença de distúrbios não previstos na operação, emite sinais para corrigir as diferenças da entrada e saída.

7.4 NORMA BRASILEIRA

A ABNT ISO 11228-2 é a que trata da ergonomia na movimentação manual, puxar e empurrar. Como pode ser visto na tabela 1, a massa de 360kg representa a força inicial que deve ser feita para tirar a massa a ser puxada da inércia, a qual é a maior carga descrita pela norma. A força máxima sustentada nessas mesmas condições é de 250kg.

Tendo em vista a utilização do robô para o transporte de carga, utilizaremos 360kg como a massa a ser transportada.

Altura do apoio das mãos		Ação de puxar com duas mãos – Força inicial máxima aceitável – 90 % da população N															
		Frequência da ação de puxar															
		10/min 0,166 7 Hz		5/min 0,083 3 Hz		4/min 0,066 7 Hz		2,5/min 0,042 Hz		1/min 0,016 7 Hz		1/2min 0,008 3 Hz		1/5min 0,003 3 Hz		1/8h 3,5×10 ⁻⁵ Hz	
cm		m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f
m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f
Distância da ação de puxar de 2 m																	
144	135	140	130	160	160					180	170			190	190	230	220
95	89	190	140	220	160					250	180			270	210	320	230
64	57	220	150	250	170					280	190			300	220	360	240
Distância da ação de puxar de 8 m																	
144	135					110	110			160	160			170	170	210	200
95	89					150	140			230	160			240	190	290	210
64	57					180	150			260	170			270	200	330	220
Distância da ação de puxar de 15 m																	
144	135							130	100	150	130			160	150	200	170
95	89							180	100	210	140			230	160	280	180
64	57							200	110	240	150			260	170	310	190
Distância da ação de puxar de 30 m																	
144	135									120	120			150	140	190	170
95	89									160	130			210	150	260	180
64	57									180	130			240	150	300	190
Distância da ação de puxar de 45 m																	
144	135									100	100			130	140	160	160
95	89									140	130			180	150	230	180
64	57									160	130			210	150	260	190
Distância da ação de puxar de 60 m																	
144	135											100	100	110	110	140	140
95	89											130	120	160	130	190	160
64	57											150	130	180	140	220	170
m	masculino																
f	feminino																
Para uma população trabalhadora só de homens, usar limites masculinos; para uma população só de mulheres ou mista de mulheres/homens usar limites femininos. Alturas baixas não são recomendadas para o apoio das mãos.																	

Tabela 1 – capacidades de carga
Fonte: ABNT ISO 11228-2

7.5 DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES

O material utilizado no robô é aço 1020 laminado a frio, resistência à tração 420Mpa e limite de escoamento 330Mpa. É um material conhecido e as cargas sobre ele podem ser controladas, portanto, segundo Juvinall e Marshek, (2013), pode ser utilizado o fator de segurança FS=2,0 a 2,5.

Ainda segundo Juvinall e Marshek, (2013), a equação utilizada para cálculo de eixo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32Mt}{\pi\sigma_{FS}}} \quad \text{eq.(1)}$$

Em que:

d: diâmetro do eixo

Mt: momento aplicado ao eixo

σ : limite de resistência à tração do material

FS: fator de segurança

7.6 CUSTOS

A diminuição do custo de produção gera maior lucratividade; para a constatação da efetividade de um robô transportador de carga em uma indústria, sendo necessário um estudo aprofundado.

O custo dos produtos vendidos tem relação direta com a obtenção de receita. É a somatória dos custos nos produtos vendidos durante determinado período. (SCHIER,2005)

O custo da produção é determinado pela equação:

$$CP = MD + MOD + CIF \quad \text{eq.(2)}$$

Em que:

CP: Custo de produção

MD: materiais diretos

MOD: mão de obra direta

CIF: custos indiretos de fabricação.

7.7 ELETRÔNICA

O motor utilizado é do tipo corrente contínua, que funciona como um gerador de corrente contínua com fluxo de potência invertido, transformando energia elétrica em energia mecânica.

Esse tipo de motor é frequentemente utilizado para trabalhos pesados na indústria, devido à sua flexibilidade e grau de controle, características que não são facilmente encontradas em outros dispositivos de conversão de energia, além de oferecer bom controle de velocidade e torque (Del Toro,2013).

8. METODOLOGIA

8.1 PROJETO

O robô foi dimensionado para realizar transporte de cargas que correspondem à máxima carga possível, em relação à maior parte da população, que possa ser puxada, segundo a ABNT ISO 11228-2.

Para o projeto, dimensionamento e simulação dos componentes, foi utilizado o software SolidWorks. (Desenhos e projetos em anexo). As peças foram projetadas visando facilitar o processo de fabricação, para tanto, foi utilizado Aço SAE 1020, laminado a frio, tendo sido considerado fator de segurança entre 2,0 e 2,5.

Para isso, após as peças serem desenhadas, foram feitas simulações estáticas no software. Verificaram-se os pontos de maiores concentrações de tensão; em seguida, foram removidos, redesenhando esses pontos do projeto. Foi feita, novamente, uma simulação e verificada a necessidade de novas alterações. Simulações e projetos em anexo.

A massa de 360kg será distribuída em cima do chassi, considerando o peso do robô de aproximadamente 14kg, e dividindo esse valor por 4 eixos das rodas, sendo então 93,5kg para cada uma delas, valor equivalente a aproximadamente 917N. Multiplicando pela metade da distância do mancal, temos o valor do momento de:

$$Mf = 917N \times 25mm = 22930Nmm \text{ eq.(3)}$$

Em que:

Mf: momento fletor

Aplicando a equação 2, o cálculo para acharmos o diâmetro mínimo do eixo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 22.930Nmm}{\pi \times \left(\frac{420N}{2,0a2,5}\right)}} \cong 10 \text{ a } 11mm$$

O eixo utilizado deve ser de pelo menos 10mm.

8.2 MODELO

Os suportes para as rodas foram construídos em escala real, porém, feitos de material plástico em impressora 3D e suas duas partes foram coladas como pode ser visto na figura 3.

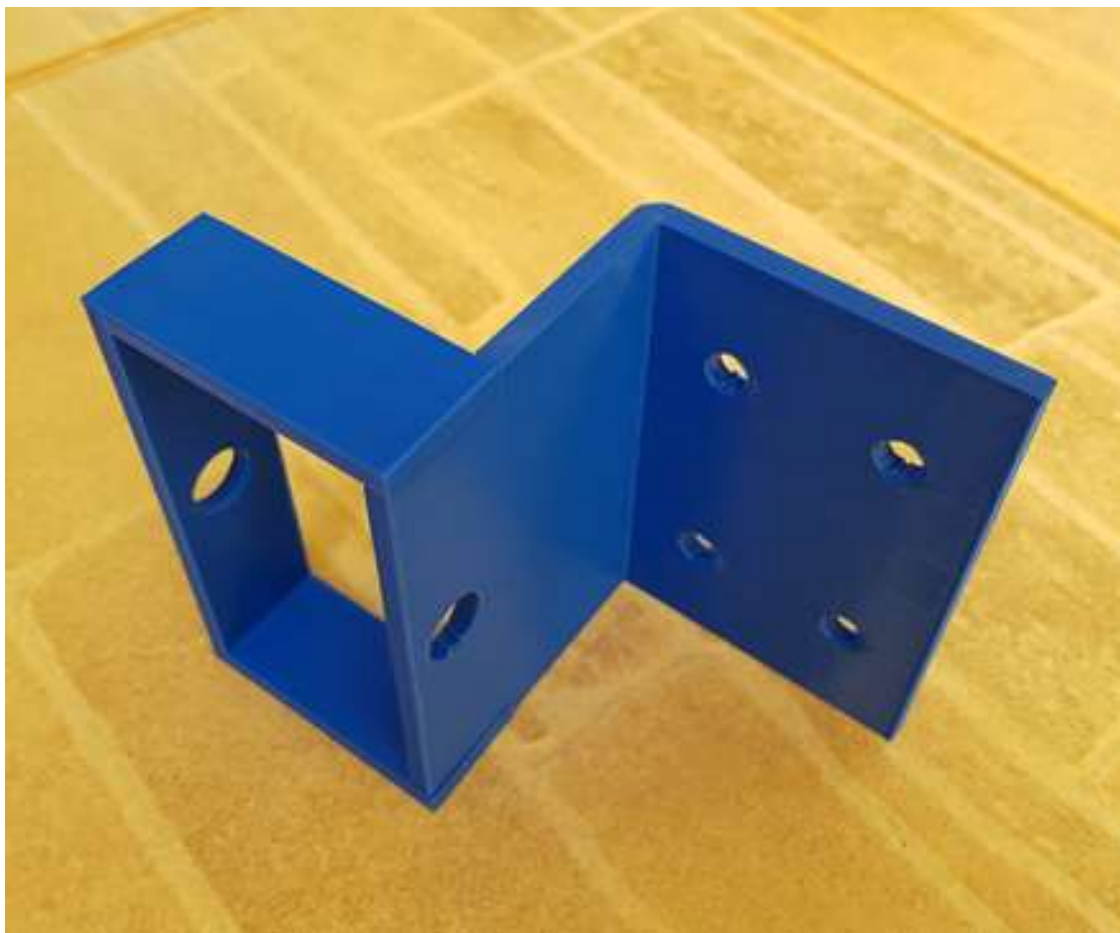


Figura 3 - modelo de suporte das rodas
Fonte: o autor

O chassi do modelo construído foi feito em chapa de aço com as mesmas dimensões do projeto, com exceção da espessura. No modelo, foi utilizada chapa de 2mm em sua fabricação como visto na figura 4.



Figura 4 - modelo do chassi

Fonte: o autor

Para transmitir a potência entre as polias, foram utilizados, no modelo, dois anéis de vedação de borracha para simular o uso de correias.

No modelo, para as rodas de tração e polia do motor, foram usados coxins emborrachados, adaptados para esse uso, encontrados em lojas de materiais industriais. A polia, acoplada ao motor, possui 48mm e, na roda, 75mm, então, sua relação é:

$$x = \frac{75}{48} = 1:1,56 \text{ eq.(4)}$$

Resulta, dessa forma, em uma rotação 1,56 vezes maior, sendo a rotação máxima é de 83 RPM no motor, passando para aproximadamente 130 RPM na roda. A parte da roda, que entra em contato com o solo possui 85mm, então, sua velocidade máxima estimada é:

$$V = \pi \times 85 \times \frac{130}{60} \cong \frac{578mm}{s} = 0,578m/s \text{ eq.(5)}$$

Em que:

V: velocidade

8.3 COMPONENTES ELÉTRICOS

Os motores escolhidos para o modelo do robô são dois Micro Motores DC com Caixa de Redução AK555/11.1 de 5W, da marca Akiyama, de tensão nominal 12V. Pelo fato da baixa velocidade, contornamos esse problema utilizando, uma relação de transmissão foi utilizada para aumentar a velocidade. Esse motor foi escolhido por já estar disponível; outra opção seria utilizar motores de vidro elétrico 12W, porém, em uma versão final do robô, é possível usar outras configurações de motores elétricos e transmissões.

A bateria selecionada para o modelo é uma Bateria selada Moura, para motos 6Ah 12V - MA6-D – selada AGM.

Utilizou-se como sensores e componentes de controle do robô, uma placa de sensores de luz com cinco sensores ópticos reflexivos, instalada na região frontal do robô para melhor direcionamento; uma placa Arduino Leonardo, selecionada por ser simples e diferente do Arduino uno, não precisando de conversores USB/serial para ser programada; para ligar essa placa, foi utilizado um regulador de tensão entre a bateria e a placa. Por último, dois módulos driver ponte H - 43a - Bts7960 - Ibt_2, que possui a capacidade necessária para controlar o motor utilizado, para conexão dos componentes foram utilizados cabos jumper macho/fêmea, macho/macho e uma protoboard, e por fim um interruptor foi instalado na parte frontal do robô.

Para que o robô de fato funcione, de maneira autônoma, a programação inicial foi feita com o software Arduino IDE, inserida no robô com base na entrada microUSB, testada no trajeto, assim foram analisados os pontos que podem ser melhorados e, após isso, foram feitas alterações na programação para eliminar falhas.

Para simular o trajeto de um robô em seu uso industrial, dentro de um galpão ou indústria, foi feito um trajeto de fita isolante preta sobre uma superfície de cor clara. O robô foi programado com o intuito de seguir esse trajeto de fita.

No funcionamento desses componentes o sensor detecta a linha e envia essa informação a placa Arduino, essa informação é processada com base na programação e enviada as duas ponte H que controlam os motores buscando manter o robô no centro da linha.

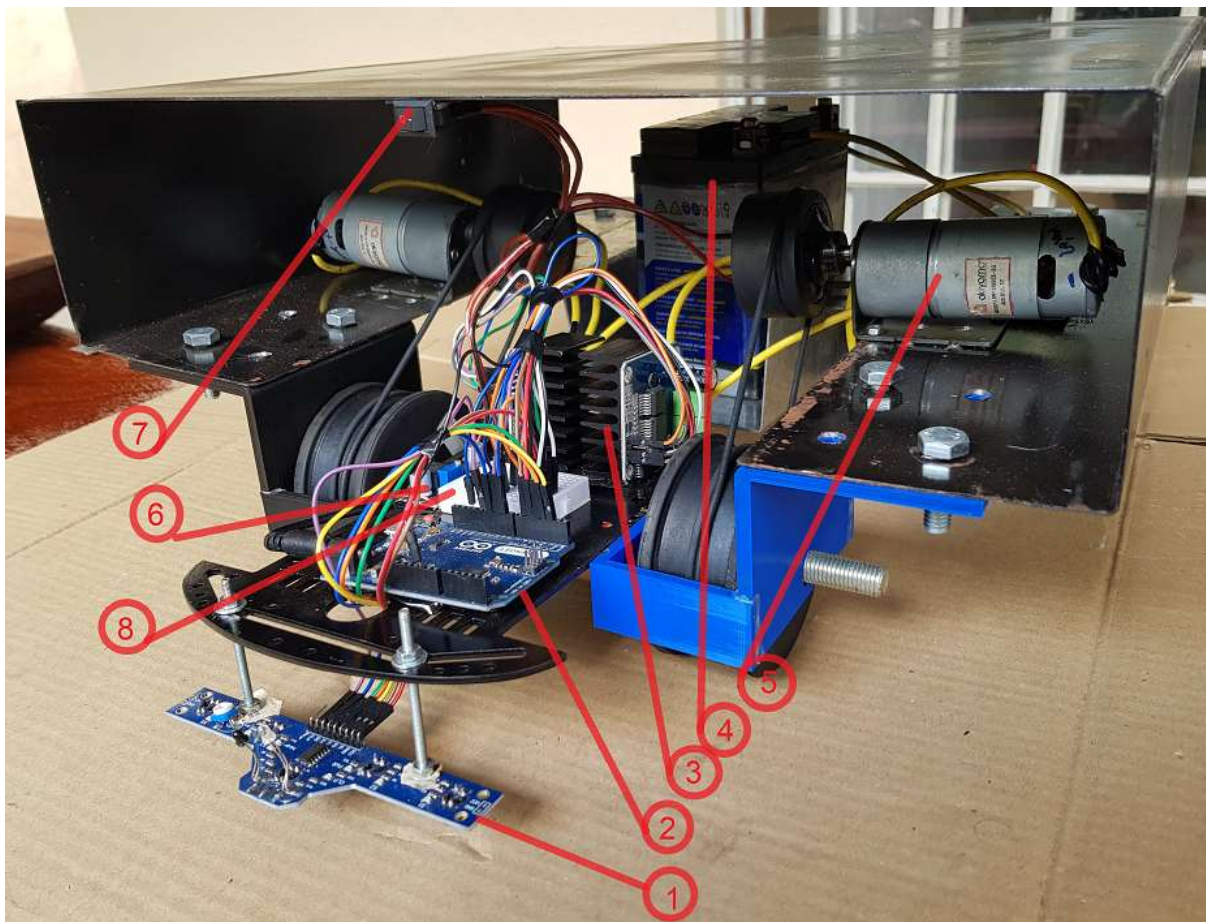


Figura 5 - montagem completa do robô
Fonte: o autor

Na figura 5 é possível identificar os componentes utilizados, são eles:

1. Placa de sensores
2. Arduino Leonardo
3. Ponte H
4. Bateria 12V
5. Motor
6. Regulador de tensão
7. Botão liga/desliga
8. Protoboard

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para simular a aplicação de carga sobre os componentes do robô, foi utilizado o software SolidWorks. A carga aplicada foi uma massa de 360kg, distribuída sobre a superfície superior do chassi. Como pontos de fixação entre o chassi e o suporte, foram usados os furos para uso de parafusos M8. Em relação à região que segura o eixo das rodas, foi utilizado como pontos fixos de apoio.

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Fator de segurança1	Automático	1.711 Nó: 1352	3.0 Nó: 1

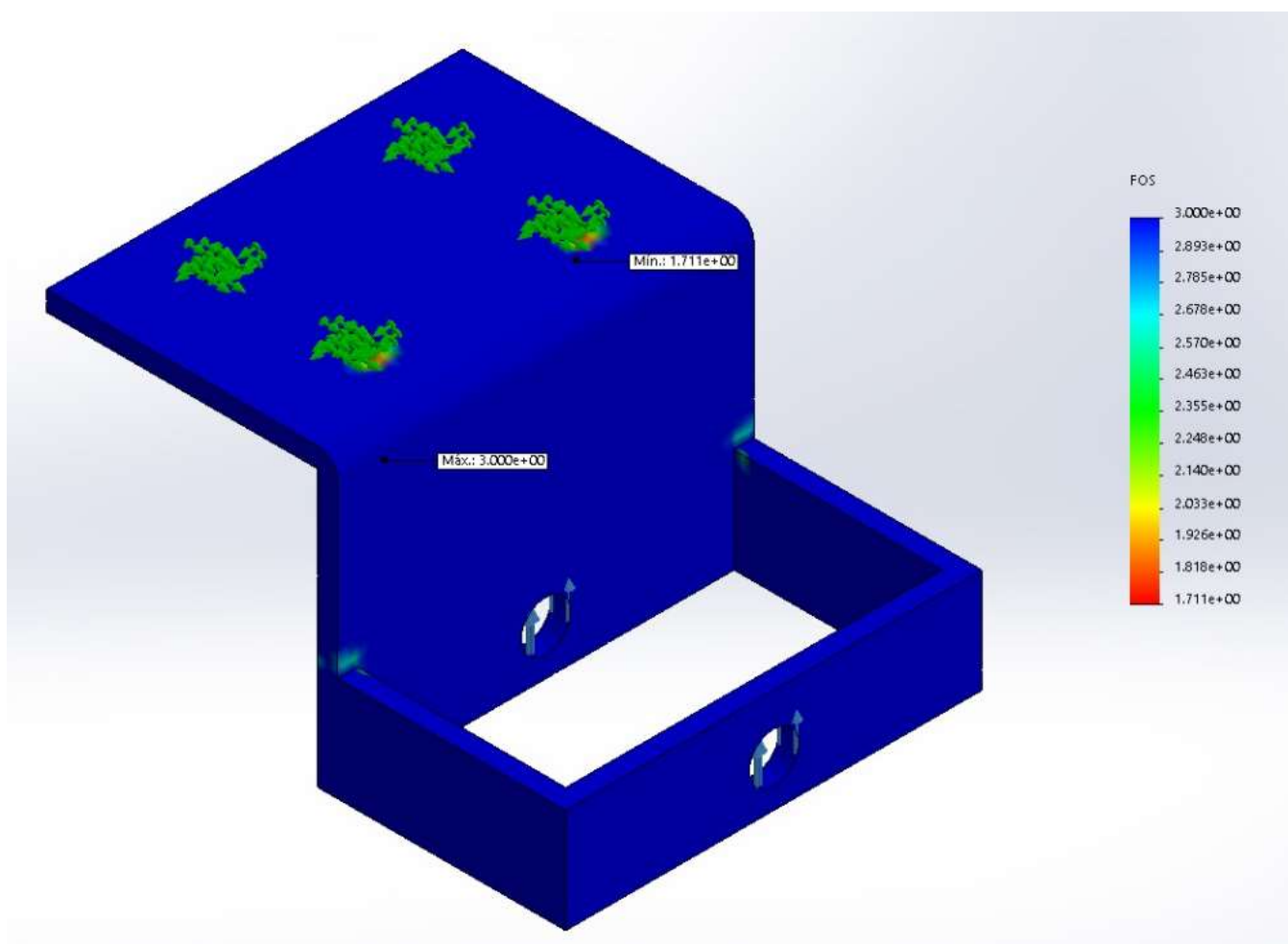


Figura 6 -gráfico de tensão no suporte para as rodas
Fonte: o autor

Na figura 6 está em azul as regiões de menos tensão, e pequenas regiões de maior tensão em vermelho, na região da fixação com parafuso, o ponto de máxima tensão de 204,60Mpa, equivalente a um fator de segurança mínimo de 1,71.

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Fator de segurança	Automático	1,735 Nó: 91	3,000 Nó: 1

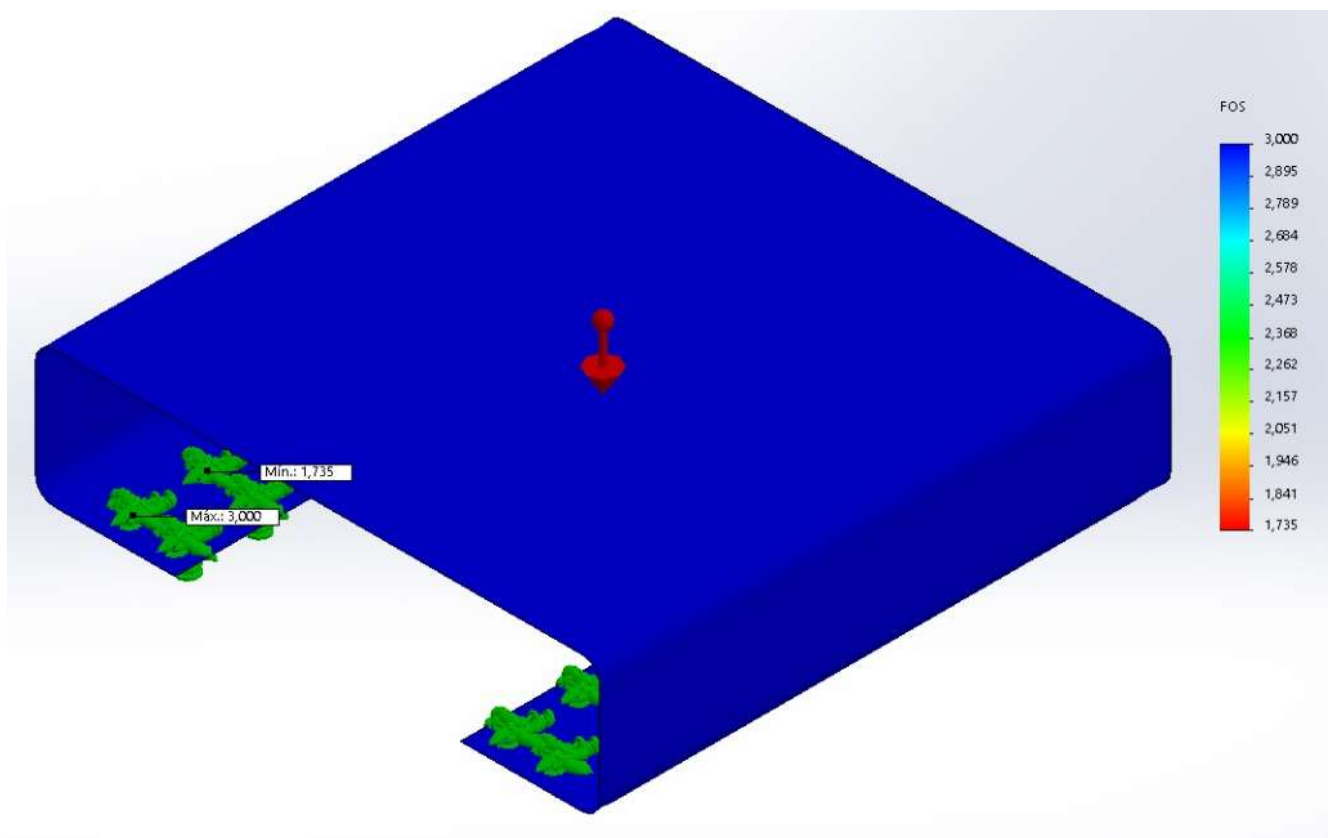


Figura 7 - gráfico de tensão no chassi

Fonte: o autor

Assim como na figura 6 na figura 7 está representado os pontos de menor tensão em azul e os de maior quase imperceptíveis devido ao tamanho reduzido em vermelho, estes estão na região da fixação com parafuso, o ponto de máxima tensão de 201,69Mpa, equivalente a um fator de segurança mínimo de 1,73.

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Fator de segurança	Automático	2,562 Nó: 7307	3,000 Nó: 14630

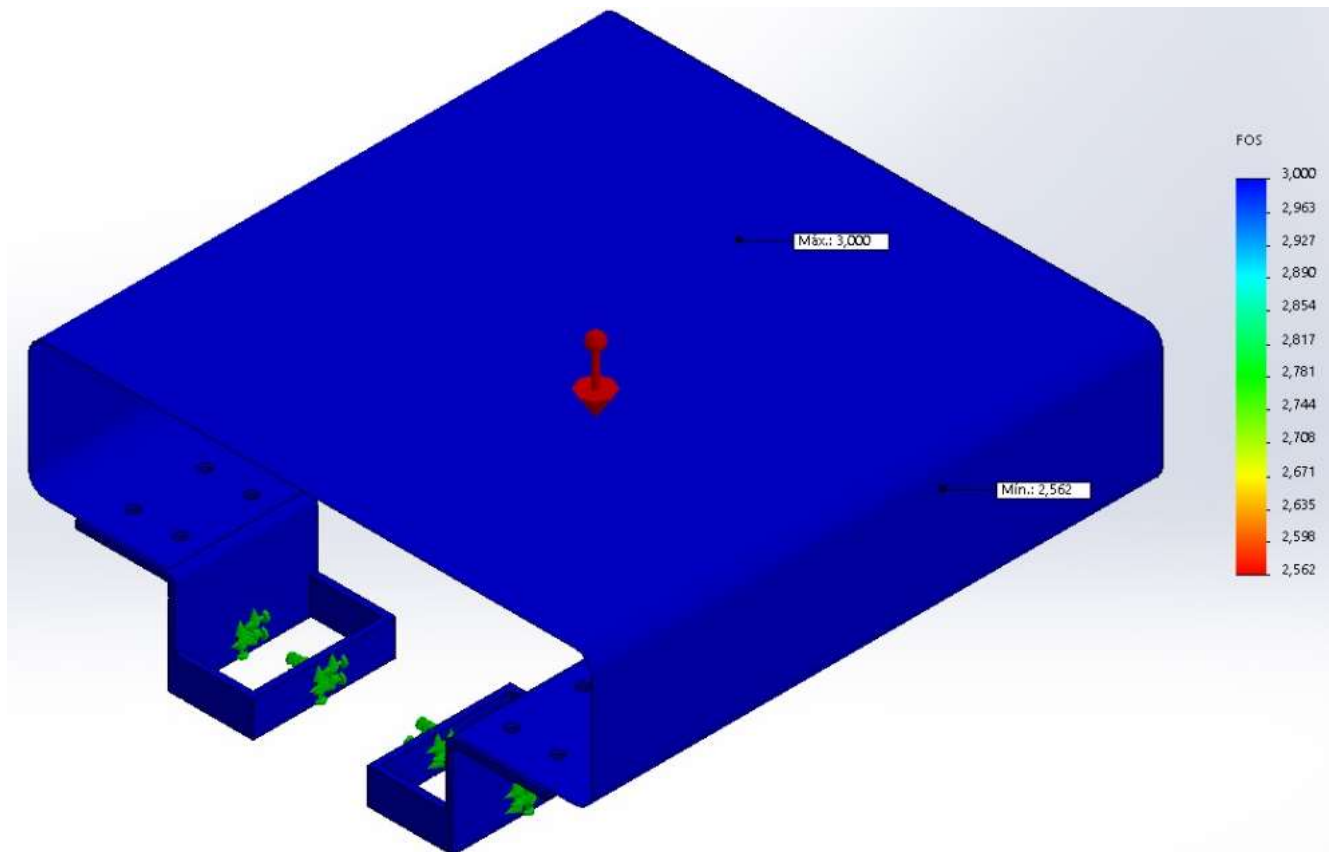


Figura 8 - gráfico de tensão na montagem
Fonte: o autor

Como nas figuras anteriores o mesmo ocorre da figura 8, a cor azul representa regiões de baixa tensão e o vermelho a região de máxima tensão, está se encontra na região de fixação do chassi com o suporte da roda.

Embora nas peças isoladas a tensão de segurança tenha sido superior a 200MPa, na simulação da montagem das peças, esse valor foi 136,63MPa.

Ambos, chassi e o suporte das rodas, em testes isolados, tiveram fator de segurança mínimo de pouco mais de 1,7, porém, em uma análise com chassi e suportes montados, esse fator foi de 2,56, portanto, atende às necessidades de carga de 360kg, considerada equivalente à força máxima que uma pessoa realiza ao puxar uma carga.

O modelo do robô foi produzido com materiais acessíveis sendo que a montagem dos componentes pode ser reproduzido em diferentes escalas variando a necessidade. Conforme testes realizados, o robô apresentou comportamento instável, sobre superfícies de cor não tão contrastantes; com a fita isolante utilizada, o robô evidenciou dificuldades para a leitura do

trajeto. O robô apresentou dificuldades ao realizar curvas, devido a grande demanda de potência do motor do lado externo a curva e a falta de potência dos motores utilizados. Dessa maneira, modificações devem ser feitas, como substituição dos sensores por sensores mais adequados à cor do chão, onde será aplicado, também podem ser utilizados outros tipos de marcas no chão, para orientação do robô, a bitola entre as rodas que deve ser aumentada para maior estabilidade. Em um novo sistema de locomoção com um motor de maior potência e velocidade, para melhor funcionamento, o motor e a roda motora devem estar ligados pelo eixo do motor, uma bateria mais adequada ao tipo de uso com carregamento mais rápido; essas devem ser as modificações a efetivar para a fabricação de um protótipo.

Futuros trabalhos podem utilizar esse protótipo como base, para temas relacionados e melhorias como:

- Melhorias no sistemas de locomoção;
- Robô para transporte de pallet;
- Estudo de viabilidade de um robô de transporte de maiores cargas em uma indústria.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11228-2: Ergonomia-movimentação manual Parte 2: Empurrar e puxar**. Rio de Janeiro. 2017.

BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. **Getting Started with Arduino 3ed**. Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA: Maker Media, 2014.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. 2016. Dissertação (Mestre em Engenharia e gestão Industrial) - Faculdade de ciencias e tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em: 20 abr. 2019.

DEL TORO, Vincent. Fundamentos de maquinas elétricas. 1ed. - [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013, 574p. ISBN 9788521611844.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 500 p. ISBN 9788521615781.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

SCHIER, Carlos Ubiratan da Costa. Custos Industriais. Curitiba: Ibplex, 2005.

WURMAN, Peter R.; D’ANDREA, Raffaello; MOUNTZ, Mick. Coordinating Hundreds of Cooperative Autonomous Vehicles in Warehouses. **AI Magazine**, [S. l.], p. 9-20, 2008.

11. ANEXOS