



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Projeto Integrador de Engenharias 2

## **Aspirador de pó autônomo**

Brasília, DF  
2016



Grupo 11

## **Aspirador de pó autônomo**

Projeto realizado durante a disciplina de Projeto Integrador 2 dos cursos de Engenharias da Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Prof. Dr. Rhander Viana

Prof. Dr. Sébastien Roland Marie Joseph Rondineau

Brasília, DF

2016

---

Grupo 11    Aspirador de pó autônomo/ Grupo 11. – Brasília, DF, 2016-      88  
p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.  
Orientador: Prof. Dr. Alex Reis  
Prof. Dr. Rhander Viana  
Prof. Dr. Sébastien Roland Marie Joseph Rondineau  
Relatório de Projeto de Engenharia – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2016.  
1. Robô. 2. Limpeza. I. Prof. Dr. Alex Reis  
Prof. Dr. Rhander Viana  
Prof. Dr. Sébastien Roland Marie Joseph Rondineau. II. Universidade de Brasília.  
III. Faculdade UnB Gama. IV. Aspirador de pó autônomo  
CDU 02:141:005.6

---

# **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Aspirador de Pó Compacto Home UP.	11
Figura 2 – Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35.	12
Figura 3 – Aspirador de pó robô Deboot 4.	12
Figura 4 – Aspirador Roomba 620 iRobot.	13
Figura 5 – Estrutura Analítica do Projeto do R2-PI2.	14
Figura 6 – Bateria de 14.4v.	20
Figura 7 – Bateria de 12.4v.	20
Figura 8 – Bateria de 18v.	21
Figura 9 – Rascunho da estrutura - Solução 1	23
Figura 10 – Kit motor redução.	24
Figura 11 – Roda do tipo esfera.	24
Figura 12 – Estrutura circular de integração dos subsistemas.	25
Figura 13 – Conectores magnético modelo Sony Xperia.	27
Figura 14 – Estrutura da base de recarga.	27
Figura 15 – Simulação do Ansys com o fluxo de massa de um cooler comercial.	29
Figura 16 – Modo de funcionamento do sensor de ultrassom.	30
Figura 17 – Posicionamento dos sensores de ultrassom no robô.	31
Figura 18 – Esquema de funcionamento do sensor de obstáculos por IR (infravermelho).	32
Figura 19 – Arquitetura do CI 4N25.	33
Figura 20 – Arduíno Mega.	34
Figura 21 – Módulo WiFi ESP8266	35
Figura 22 – Raspberry Pi 2 B.	35
Figura 23 – Diagrama de blocos do sistema de controle do R2-PI2. Fonte (MELLO, 2016).	36
Figura 24 – Configurações da Ponte H.	37
Figura 25 – Ponte H.	38
Figura 26 – Arquitetura de comunicação do sistema	40
Figura 27 – Interfaface Home.	42
Figura 28 – Interfaface Comando.	42
Figura 29 – Interfaface Histórico.	43
Figura 30 – Interfaface Programação.	43
Figura 31 – Tempo de resposta do servidor.	44
Figura 32 – Estratégia para identificação da direção da base.	46
Figura 33 – Estratégia para identificação da direção da base com pontos colineares.	46
Figura 34 – Kit motor redução.	47

Figura 35 – Roda do tipo esfera com dimensão. . . . .	48
Figura 36 – Vista isométrica e superior da montagem, onde os buracos representam a posição dos coolers. . . . .	49
Figura 37 – Montagem com cooler de 5 cm. . . . .	49
Figura 38 – Montagem com cooler de 14 cm. . . . .	50
Figura 39 – Protótipo com dois coolers de 14 cm. . . . .	50
Figura 40 – Hélices do ventilador centrífugo. . . . .	51
Figura 41 – Fluxo de ar em um ventilador de ar centrífugo. Republic Manufacturing	51
Figura 42 – Hélices construídas em alumínio. . . . .	52
Figura 43 – Vistas do protótipo feito com CD's. . . . .	52
Figura 44 – Motor de 52.8W instalado na estrutura de aspiração. . . . .	53
Figura 45 – Sistema de sucção com o compartimento de sujeira. . . . .	54
Figura 46 – Escova mágica conectada ao motor DC de 6V. . . . .	55
Figura 47 – Parte inferior da escova mágica com o tecido de contenção das partículas.	55
Figura 48 – Subsistema de sucção completo. . . . .	56
Figura 49 – Fluxograma do algoritmo de locomoção do R2-PI2, realizado pela equipe de eletrônica para testes iniciais. . . . .	57
Figura 50 – Aproximação das faixas de tensão apresentadas pelos LEDs. . . . .	58
Figura 51 – Divisor de tensão. . . . .	59
Figura 52 – Simulação do divisor de tensão. . . . .	60
Figura 53 – Simulação do divisor de tensão de 12.6V para 5V. . . . .	61
Figura 54 – Circuito do medidor de bateria. . . . .	62
Figura 55 – Circuito de proteção com acoplamento óptico. . . . .	62
Figura 56 – Circuito de locomoção do aspirador. . . . .	63
Figura 57 – Esquema de redução de ruído do motor. . . . .	64
Figura 58 – Circuito de controle dos motores. . . . .	64
Figura 59 – Esquemático do hardware implementado para realizar a comunicação entre os microprocessadores. . . . .	65
Figura 60 – Esquemático interno do CD4050.(Embarcados . . . . .	66
Figura 61 – Kit de desenvolvimento ESP8266 WiFi 802.11 B/g/n.(AF Eletrônica .	67
Figura 62 – Diagrama arquitetural do sistema R2-PI2. . . . .	70
Figura 63 – Estrutura analítica de riscos. . . . .	75
Figura 64 – Riscos identificados 1. . . . .	76
Figura 65 – Riscos identificados 2. . . . .	76
Figura 66 – Riscos identificados 3. . . . .	77
Figura 67 – Qualificação dos riscos. . . . .	78
Figura 68 – Processo geral de desenvolvimento da solução. . . . .	83
Figura 69 – Processo metodológico de desenvolvimento da solução. . . . .	85
Figura 70 – Cronograma do projeto . . . . .	87

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Descrição do Problema . . . . .	10
Tabela 2 – Equipe do projeto R2-PI2 . . . . .	16
Tabela 3 – Equipe - Áreas de atuação . . . . .	17
Tabela 4 – Requisitos do sistema . . . . .	19
Tabela 5 – Propriedades mecânicas do alumínio. Adaptado de Shockmetais . . . . .	24
Tabela 6 – Especificação motor de redução . . . . .	25
Tabela 7 – Especificações roda tracionada . . . . .	25
Tabela 8 – Valores de propriedades mecânicas do Acrílico . . . . .	26
Tabela 9 – Valores das propriedades mecânicas do PVC. . . . .	26
Tabela 10 – Dados do cooler . . . . .	48
Tabela 11 – Dados do motor DC 12 Volts. . . . .	52
Tabela 12 – Padrões de comunicação - Servidor-Robô . . . . .	68
Tabela 13 – Padrões de comunicação - Robô-Servidor . . . . .	68
Tabela 14 – Gems . . . . .	69
Tabela 15 – Matriz de probabilidade de riscos do R2-PI2. . . . .	73
Tabela 16 – Matriz de impacto de riscos. . . . .	73
Tabela 17 – Matriz de probabilidade e impacto. . . . .	74
Tabela 18 – Legenda matriz de probabilidade . . . . .	74
Tabela 19 – Resposta aos riscos. . . . .	79
Tabela 20 – Custos eletrônica. . . . .	80
Tabela 21 – Estrutura chassi - solução 1 . . . . .	81
Tabela 22 – Estrutura chassi - solução 2 . . . . .	81
Tabela 23 – Custos base. . . . .	82
Tabela 24 – Custos da alimentação do sistema . . . . .	82

# **Lista de abreviaturas e siglas**

EAP	Estrutura Analítica do Projeto
UnB	Universidade de Brasília
Ni-Mh	Níquel-hidreto Metálico
PVC	Policloreto de vinila
LED	Light Emitting Diodo
IR	Infravermelho
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CI	Circuito Integrado
Amp Op	Amplificador Operacional
I/O	Input/Output
PWM	Pulse Width Modulation
SRAM	Static Random Access Memory
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
CPU	Central Processing Unit
GPU	Graphics Processing Unit
USB	Universal Serial Bus
GPIO	General Purpose Input/Output
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
PAL	Phase Alternating Line
NTSC	National Television System Committee
LCD	liquid crystal display
DSI	Display Serial Interface
CSI	Camera Serial Interface
AES	Advanced Encryption Standard

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema Geral</b>	<b>10</b>
1.1.1	Problemas Específicos	10
<b>1.2</b>	<b>Pesquisa de Mercado</b>	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>Proposta</b>	<b>13</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>14</b>
1.4.1	Objetivos Específicos	15
<b>1.5</b>	<b>Equipe e Responsabilidades</b>	<b>15</b>
1.5.1	Política de Comunicação da Equipe	17
<b>1.6</b>	<b>Organização do Trabalho</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>SOLUÇÃO PROPOSTA</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Requisitos do sistema</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Alimentação</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Navegação</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Estrutura e Locomoção do robô</b>	<b>22</b>
2.4.1	Solução 1	22
2.4.2	Solução 2	23
<b>2.5</b>	<b>Estrutura da Base de Recarga</b>	<b>26</b>
2.5.1	Solução	26
<b>2.6</b>	<b>Sucção</b>	<b>27</b>
2.6.1	Solução	28
<b>2.7</b>	<b>Sensoriamento</b>	<b>29</b>
2.7.1	Contextualização	29
2.7.2	Instrumentação	29
2.7.2.1	Medição de distância	30
2.7.2.2	Medidor de Bateria	32
2.7.2.3	Proteção dos componentes	33
2.7.3	Hardware para Comunicação	33
2.7.3.1	ATMega 2560	33
2.7.3.2	Módulo de WiFi	34
2.7.3.3	Raspberry Pi	35
2.7.4	Controle	36
2.7.4.1	Sistema de Controle do R2-PI2	36
<b>2.8</b>	<b>Comunicação</b>	<b>39</b>

2.8.1	Base de recarga . . . . .	41
<b>2.9</b>	<b>Interface . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Navegação . . . . .</b>	<b>44</b>
3.1.1	Running . . . . .	45
3.1.2	De volta à base (Back) . . . . .	45
<b>3.2</b>	<b>Estrutura do Robô . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>3.3</b>	<b>Sucção . . . . .</b>	<b>48</b>
3.3.1	Metodologia de construção . . . . .	48
<b>3.4</b>	<b>Sensoriamento . . . . .</b>	<b>56</b>
3.4.1	Instrumentação . . . . .	56
3.4.1.1	Controle de distância . . . . .	56
3.4.1.2	Monitoramento da bateria . . . . .	58
3.4.1.3	Proteção dos componentes . . . . .	62
3.4.2	Controle . . . . .	63
<b>3.5</b>	<b>Comunicação . . . . .</b>	<b>65</b>
3.5.1	Hardware . . . . .	65
3.5.2	Software . . . . .	67
<b>3.6</b>	<b>Interface . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>3.7</b>	<b>Arquitetura do Sistema de Software . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>4</b>	<b>PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>4.1</b>	<b>Processo de Gerenciamento de Riscos . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>4.2</b>	<b>Responsabilidade dos Riscos da Equipe do Projeto . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>4.3</b>	<b>Probabilidade e Impacto de Riscos . . . . .</b>	<b>73</b>
4.3.1	Matriz de Risco e Probabilidade . . . . .	73
4.3.2	Matriz de Impacto dos Riscos . . . . .	73
<b>4.4</b>	<b>Planejamento de Resposta aos Riscos . . . . .</b>	<b>74</b>
<b>4.5</b>	<b>EAR (Estrutura Analítica de Riscos) . . . . .</b>	<b>74</b>
<b>4.6</b>	<b>Identificação dos Riscos . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>4.7</b>	<b>Análise Qualitativa dos Riscos . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>4.8</b>	<b>Controle e mudança de riscos . . . . .</b>	<b>78</b>
<b>4.9</b>	<b>Plano de Resposta aos Riscos . . . . .</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>PLANEJAMENTO FINANCEIRO . . . . .</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>83</b>
<b>6.1</b>	<b>Metodologia . . . . .</b>	<b>83</b>
6.1.1	Cronograma . . . . .	86



# 1 Introdução

A sujeira acumulada ao longo do dia nem sempre necessita de uma limpeza profunda, uma simples passada de vassoura ou um aspirador de pó resolve o problema. Porém muitas vezes há pouca disposição para executar esta tarefa ou até mesmo falta de tempo. Para evitar o acúmulo de poeira, manter o ambiente limpo e sem a interferência humana, será desenvolvido um mecanismo autônomo capaz de aspirar as impurezas: o R2-PI2. O equipamento será composto de um robô móvel que realizará a aspiração e uma base fixa. O robô voltará para a base quando a bateria estiver acabando o que permite que o usuário não tenha a necessidade de carregá-lo manualmente. O objetivo do aspirador robô é garantir a limpeza do ambiente de forma automática com o mínimo de interação com o usuário.

## 1.1 Problema Geral

Para a melhor compreensão do desenvolvimento do R2-PI2, foi elicitado com a equipe de desenvolvimento um problema principal que o robô irá solucionar. A tabela a seguir demonstra a descrição deste problema.

Tabela 1 – Descrição do Problema

<b>O problema de</b>	Sujeira acumulada nos cômodos da casa
<b>Afeta</b>	Residentes da moradia sem tempo pra limpezas
<b>Cujo impacto é</b>	Problemas de respiração e de saúde
<b>Uma solução seria</b>	Um aspirador de pó automatizado

### 1.1.1 Problemas Específicos

Para um melhor entendimento do problema, foram identificados os seguintes problemas específicos:

- Tempo perdido em limpeza da casa.
- Tempo perdido em remover os móveis para que o aspirador passe em todos os lugares.
- Carregar as baterias do aspirador de pó.
- Estar em casa para realizar a limpeza.

## 1.2 Pesquisa de Mercado

Atualmente, já existem outros robôs que também fazem limpeza automatizada. Para fins de pesquisa de mercado, foram encontrados os seguintes robôs ([TECHTUDO, 2016](#)):

- **Aspirador de Pó Compacto Home UP:**

O aspirador de pó inteligente tem um design compacto que permite entrar embaixo de sofás e camas, para remover a poeira. A opção tem armazenamento de até 400 ml com saco coletor e oferece escovas laterais. O aparelho funciona por bateria recarregável e está disponível na cor preto. A garantia do fornecedor é de 6 meses e ele tem dimensões de 400 x 345 x 135 mm, com peso de 2 Kg. O preço fica em torno de R\$ 819 em lojas online nacionais.



Figura 1 – Aspirador de Pó Compacto Home UP.

- **Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35:**

O modelo da Ecovacs é equipado com sensores para evitar quedas ou bater em objetos, por exemplo. O aspirador de pó tem filtro bactericida e há uma bateria interna que dura cerca de 1 hora. É possível programar para fazer uma limpeza automática durante o dia e a garantia é de 1 ano. O design compacto permite entrar em espaços com 6 cm de altura e nas dimensões ele tem 300 x 290 x 50 mm, com peso de 2,2 kg. O aspirador robô pode ser comprado com preço a partir de R\$ 954.



Figura 2 – Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35.

- **Aspirador de pó robô Deboot 4:**

Com uma configuração mais completa, o modelo Deboot 4 da Ecovacs tem função dupla de limpeza à vácuo e permite aspirar, varrer e até passar pano no piso da casa, com ações simultâneas. Por dentro está uma bateria recarregável e permite limpar embaixo os móveis ou nos cantos, com luzes indicadoras no painel. As funções programáveis permitem fazer limpezas automáticas, oferece sensores anti-choque e tem funcionamento por controle remoto. O preço é de R\$ 1.399 em lojas virtuais brasileiras.

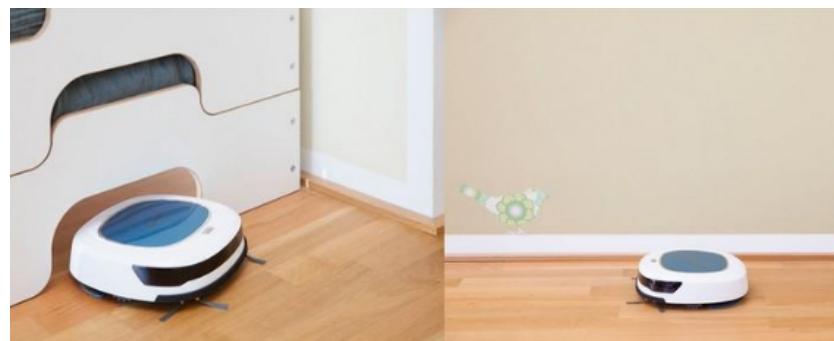


Figura 3 – Aspirador de pó robô Deboot 4.

- **Aspirador Roomba 620 iRobot:**

O modelo iRobot da Roomba permite ajustar funções smart e faz a limpeza em três etapas, de forma mais completa. A tecnologia AeroVac ajuda a recolher os resíduos durante o uso e a bateria dura cerca de 90 minutos. Estão disponíveis sensores para detectar poeira, o design tem laterais macias para não arranhar os móveis, além de identificar escadas. O aparelho pode ser usado em pisos de madeira, cerâmica e até carpetes. O tamanho é de 330,2 x 330,2 x 128 mm com peso de 3,6 kg e garantia de 12 meses. O preço fica em torno de R\$. 2.099 no Brasil, no modelo de cor branca.



Figura 4 – Aspirador Roomba 620 iRobot.

### 1.3 Proposta

O objetivo geral desse projeto é proporcionar ao usuário/cliente a oportunidade de limpar sua casa de forma cômoda e confortável para o mesmo. Este objetivo será alcançado através da remoção da poeira e/ou partículas de sujeira encontradas no cômodo da casa. A solução proposta neste projeto será a criação de um robô aspirador autônomo, que auxiliará na tarefa supracitada.

Tal robô terá capacidade de desviar os obstáculos encontrados durante seu percurso, além de ter autonomia de voltar à sua base quando necessário (ao término da tarefa ou quando sua bateria estiver prestes a acabar), a fim de se carregar.

Esta solução está organizada segundo a EAP (Estrutura analítica do projeto) apresentada na Figura 5, destacando os entregáveis e seus subsistemas ao longo de todo o projeto.

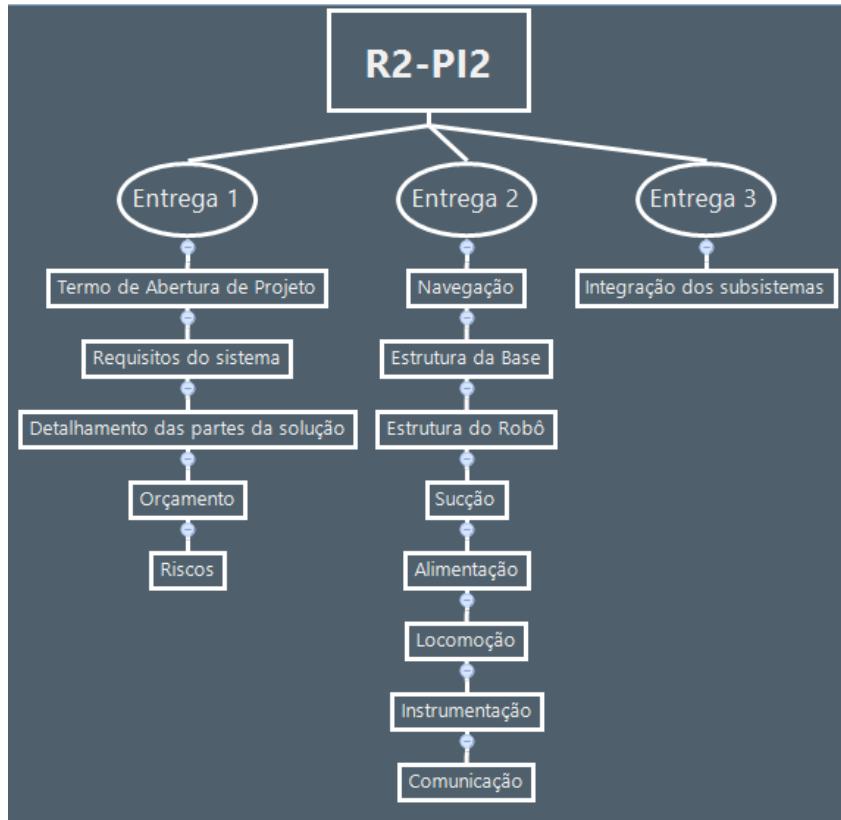


Figura 5 – Estrutura Analítica do Projeto do R2-PI2.

A primeira entrega trata basicamente do gerenciamento do projeto. Tal etapa é de suma importância para o andamento do projeto, visto que nela será definida a solução para o problema exposto, assim como os requisitos necessários para atingir tal objetivo com total eficiência.

Vale observar que, analisando a EAP, fica evidente como foi feita a separação dos subsistemas do produto final (a ser obtido na Entrega 3). O desmembramento facilita o trabalho ao longo do curso do projeto. Porém vale lembrar que os subsistemas, mesmo produzidos separadamente, devem andar em total harmonia, a fim de alcançar o objetivo final.

## 1.4 Objetivo Geral

Algumas pessoas costumam limpar suas residências de forma regular e outras que por motivos diversos só fazem isso esporadicamente. O desenvolvimento do R2-PI2 tem como alvo atender aos usuários que desejam manter o local limpo de modo automático e com o mínimo de intervenção humana. Alguns aspiradores robôs já fazem a limpeza do ambiente automaticamente, porém uma parcela deles necessita que o usuário tenha que procurá-los pela casa enquanto eles emitem um sinal sonoro indicando que a bateria está quase descarregada. O R2-PI2 será apto a voltar sozinho para a base e permanecer lá

até que a bateria seja carregada, além de manter-se inativo na base ele poderá voltar a efetuar a higienização do local quando programado pelo utilizador. Outros objetivos que devem ser atendidos pelo dispositivo aspirador, estão listados no item seguinte.

#### 1.4.1 Objetivos Específicos

- Controle a distância;
- Se locomover pelo cômodo e desviar de obstáculos;
- Comunicação entre o Robô e a central de processamento;
- Identificar e sinalizar status da bateria;
- Possuir sistema de acompanhamento do status do robô
- Conter acionamento de start/stop;
- Gerar relatório de atividades;
- Sistema de agendamento de limpezas.

### 1.5 Equipe e Responsabilidades

A equipe do projeto está distribuída de acordo com a Tabela 2. Ou seja, é uma equipe formada por 14 (catorze) estudantes, distribuídos em 5 (cinco) engenharias distintas, o que torna a gestão e distribuição do conhecimento uma tarefa bastante complicada.

Tabela 2 – Equipe do projeto R2-PI2

Nome	Matricula	Engenharia
Kaio Diego de Araujo Coelho	12/0123673	Eletrônica
Laryssa Lorrany Olinda Costa	12/0060973	Eletrônica
Mônica Damasceno Cavalcante Castelo Branco	10/0037097	Eletrônica
Rafael Fazzolino Pinto Barbosa	11/0136942	Software
Ricardo Gonçalves Teixeira	12/0021561	Software
João Paulo Siqueira Ribeiro	12/0014378	Software
Thais Soares Monteiro	11/0066561	Energia
Pedro Henrique de Queiroz Rocha	11/0083890	Energia
Jair Jorge Medeiros	11/0013760	Energia
Hildoglas Botelho Chaves	11/0121104	Energia
Luan de Oliveira Noleto	11/0128419	Energia
Rafael de Souza Freitas	11/0019300	Automotiva
Yago Henrique Melho Honda	12/0042840	Aeroespacial
Márcia Aline Ribeiro Silva	12/0017806	Aeroespacial

Como estamos trabalhando com áreas de conhecimento distintas, vê-se a necessidade de buscar maneiras que possam garantir maior equilíbrio de conhecimento na equipe, seja relacionado ao processo de desenvolvimento ou à áreas específicas de cada subsistema. Com este objetivo, adotamos o papel de *Scrum master* como um facilitador durante as *sprints* de desenvolvimento.

Entretanto, a simples adoção deste papel pode não garantir a distribuição do conhecimento pela equipe, desse modo optou-se por rotacionar o papel de *scrum master* entre os integrantes. Fazendo com que cada integrante tenha a oportunidade de vivenciar esta experiência pelo período de uma *sprint*, ou seja, 2 (duas) semanas.

A distribuição das responsabilidades em relação ao desenvolvimento da solução estão de acordo com a Tabela 3, onde estão destacados os subsistemas presentes na solução.

Tabela 3 – Equipe - Áreas de atuação

<b>Eletrônica</b>	Sensoriamento
	Comunicação
<b>Software</b>	Navegação
	Interface
<b>Energia</b>	Alimentação
<b>Automotiva e Aeroespacial</b>	Estrutura
	Locomoção
	Sucção

### 1.5.1 Política de Comunicação da Equipe

Para a comunicação do grupo foram escolhidas algumas ferramentas de comunicação para facilitar a organização do grupo. De maneira informal foi adotado o aplicativo *Whatsapp*. Como foi adotado o *Scrum*, para o gerenciamento do projeto, está sendo utilizado o *Trello*<sup>1</sup> para organizar todas as atividades a serem feitas e registrar as que já estão prontas, utilizando a técnica de Kanban. Para compartilhar e editar documentos para os pontos de controle foi criada uma pasta no *Google Drive*<sup>2</sup>.

A última ferramenta para a comunicação do grupo é a plataforma *Slack*<sup>3</sup>, que funciona como um chat, podendo criar canais de comunicação que apenas os interessados no assunto entram no canal facilitando a troca de informações sobre determinado assunto ou sobre determinada parte do projeto. Além do canal geral com todos os integrantes onde ocorre a discussão com o grupo todo, um canal criado no *Slack* e bastante importante é o *daily*, onde cada um deve, diariamente, descrever o que fez no dia para o Projeto, para facilitar o controle do grupo.

## 1.6 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado de maneira a apresentar as sub divisões presentes no projeto, basicamente dividindo o sistema geral em diversos subsistemas independentes, que ao fim do projeto poderão ser integrados para o funcionamento ideal da solução. A solução está apresentada no capítulo 2.9, sub-dividida nas seções 2.1, onde são apresentados os requisitos do trabalho, 2.2, onde está apresentada a solução referente a sustentação energética do projeto, 2.3, onde são descritos os detalhes de navegação do robô, 2.4, onde são detalhadas as características da estrutura do robô e seu sistema de locomoção, 2.5,

<sup>1</sup> [www.trello.com](http://www.trello.com)

<sup>2</sup> [www.drive.google.com](http://www.drive.google.com)

<sup>3</sup> [www.slack.com](http://www.slack.com)

onde se encontram os detalhes referentes a estrutura da base, [2.6](#), o sistema de sucção, [2.7.2](#), onde estão detalhados os sensores utilizados, [2.7.3](#), onde se encontra o *hardware* para comunicação, [2.7.4](#), onde se encontra a solução relacionada ao controle do sistema, [2.8](#), possuindo a solução de comunicação do sistema e [3.6](#), possuindo os detalhes da interface do usuário.

Após a apresentação de toda a solução do projeto, é apresentado o plano de gerenciamento de riscos do projeto, na seção [4.9](#). Ao fim, é apresentado o processo de desenvolvimento do projeto, assim como a metodologia adotada pela equipe, na seção [6.1.1](#).

## 2 Solução Proposta

A proposta deste trabalho envolve a união dos cinco cursos de engenharia presentes no campus UnB - Gama, com o objetivo de solucionar os problemas apresentados acima. A proposta inicial de solução se baseia no desenvolvimento de um aspirador de pó autônomo, com capacidade de regarga de bateria automaticamente. A implementação desta proposta envolve diversas áreas de conhecimento e estará melhor detalhada nas seções seguintes.

A organização da apresentação da solução está baseada em subsistemas que integrados resultarão na solução como um todo.

### 2.1 Requisitos do sistema

Os requisitos do sistema estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Requisitos do sistema

<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Requisitos Específicos</b>
Limpar um cômodo	Aspirar o pó
	Se locomover pelo ambiente
	Responder a obstáculos no ambiente
	Se comunicar com a central de processamento
Se recarregar sozinho	Retornar a base
	Gerenciar status da bateria
	Recarregar a bateria
Possuir sistema de controle a distância	Possuir sistema de acompanhamento do status do robô
	Possuir sistema de agendamento de limpeza
	Possuir sistema de start/stop
	Gerar relatório de atividades

### 2.2 Alimentação

A equipe de engenharia de energia tem como meta desenvolver o sistema de alimentação para o funcionamento do robô aspirador. Existem diversas possibilidades de fornecer a energia necessária pra suprir a potência requerida pelo sistema, sendo que a mais usual seria a utilização de baterias, que podem ser sintetizadas como um conjunto de pilhas responsável por transformar energia química em energia elétrica, por meio de duas placas de composição diferente, chamadas eletrodos, sendo sempre um positivo e um negativo.

A fonte de alimentação ideal para o sistema segue alguns requisitos essenciais, como ter autonomia mínima de 30 minutos (tempo suficiente para aspirar um cômodo). Alguns parâmetros como tensão e corrente ainda não podem ser definidos nesta etapa do projeto. Buscando as alternativas disponíveis dentro desse universo nos deparamos com a opção das baterias NIMH, que apresenta uma gama com alguns modelos disponíveis e com valores variáveis de tensão e corrente.

A recarga dessas baterias varia de acordo com a potência fornecida por cada uma, no entanto alguns fabricantes produzem carregadores que retiram a tensão alternada de 220v, 60Hz para a tensão contínua da bateria escolhida. O manual do carregador informa o tempo máximo de recarga de 45 minutos para o modelo mais potente de bateria, número esse que pode ser de apenas 15 minutos em alguns casos. Dentre as opções disponíveis, estão dispostas três nas imagens abaixo (18v, 14.4v e 12.4v/ 3,3Ah e 2,6Ah).



Figura 6 – Bateria de 14.4v.



Figura 7 – Bateria de 12.4v.



Figura 8 – Bateria de 18v.

Uma outra alternativa para suprir a alimentação do aspirador seria o uso de supercapacitores. Tal opção oferece um valor consideravelmente maior de ciclos de carga (10 000 contra 400-6000), além um tempo de recarga muito reduzido se comparado com as baterias. Entre os fatores desfavoráveis pode-se citar a fragilidade, que acarreta em um maior cuidado no manuseio, o elevado custo de mercado além da falta de informações técnicas obtidas até o momento.

### 2.3 Navegação

A solução referente à navegação possui enfoque principal no algoritmo de controle que trabalhará a trajetória a ser percorrida, a identificação de obstáculos e replanejamento da trajetória e a lógica de controle para retorno à base. Diversas possibilidades foram estudadas e analisadas, desde o planejamento de rota partindo com formato espiral, até trajetórias aleatórias com simples desvios de obstáculos.

A partir e comparações e estudo de concorrentes, como o robô *Roomba*<sup>1</sup>, por exemplo, observou-se que na grande maioria, o sistema de navegação escolhido pelos fabricantes é baseado em trajetórias aleatórias. Segundo ([ABRANTES, 2015](#)), a utilização de navegação aleatória garante um bom desempenho, já que com o passar do tempo, o robô consegue acessar o cômodo como um todo. Dessa forma, optou-se pela utilização de um algoritmo de navegação baseado em trajetória aleatória para o desenvolvimento do sistema *R2-PI2*.

Um dos grandes problemas encontrados na navegação é referente a volta à base por parte do robô. Identificar onde a base se encontra e traçar uma rota até a mesma é uma tarefa que necessita de algumas ferramentas, como a utilização de sinais e sensores para comunicação entre a base e o robô. Para isso, optou-se pela utilização de 3 (três) sensores infra-vermelho emitidos pela base com uma angulação de 45° entre eles, fazendo com que o robô possa identificar o sinal e navegar até sua fonte, a base.

<sup>1</sup> <https://www.irobot.com.br/>

## 2.4 Estrutura e Locomoção do robô

O robô, de forma autônoma, deve percorrer todo o cômodo escolhido para limpá-lo para isso deve ser desenvolvido todo o sistema de locomoção dele, incluindo as rodas, motor, caixa de redução e todo o estudo dinâmico relacionado. Foram cogitadas duas soluções para a estrutura do robô e sua forma de locomoção, de forma que a segunda solução foi escolhida. A escolha da segunda solução se justifica com base nos requisitos do sistema de sensoriamento quanto a posição de sensores pela estrutura e devido ao maior erro propagado pela primeira solução na navegação inercial do sistema.

### 2.4.1 Solução 1

O robô seria composto de uma chapa retangular de alumínio de 400mm x 300mm x 5mm, que servirá como base para a distribuição e união dos componentes do projeto. Essa base retangular poderá ser usinada para outra forma caso haja necessidade de diminuição do tamanho do robô. O material escolhido para a base foi o alumínio pela sua leveza, resistência e preço. Sua área de superfície é capaz de abrigar todos os componentes do aspirador e ainda possui espaços para criar novas soluções ou até mesmo de componentes para a refrigeração dos subsistemas do robô.

O sistema de tração dessa base será feito por uma esteira tipo lagarta, muito utilizada em tanques de guerra. Esse sistema é bastante robusto e aguentaria o peso de todo a estrutura sem problemas. Isso tiraria a necessidade de colocar um sistema de suspensão.

A estrutura do aspirador e seus componentes:

- 2 motores com caixa de redução ligados a chapa de alumínio;
- Os eixos que ligaram as rodas a chapa de alumínio serão feitos com aço e serão usinados nas pontas para fazer roscas que irão fixar as rodas;
- 4 engrenagens grandes que serão utilizadas como rodas;
- 2 engrenagens menores que irão ser ligadas direto nos dois motores;
- Conectores múltiplos, do tipo que se usa em chuveiros para ligar os eixos na chapa de alumínio;
- Correntes de bicicleta que ligaram as engrenagens e farão o papel de esteira.

Entre esses dois sistemas foi escolhido o segundo pela sua construção ser mais robusta e suporta mais os esforços que será submetido o robô. Um grande problema do primeiro sistema é que a sustentação da estrutura se daria no próprio eixo do motor,

que é de plástico, o que poderia causar a quebra do sistema, já no segundo sistema a sustentação é feita nos eixos, que são feitos de aço.

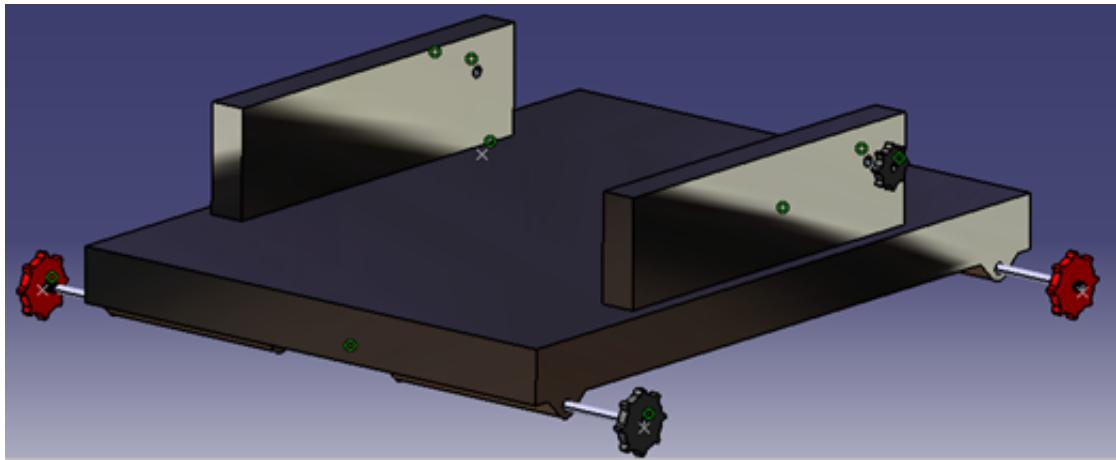


Figura 9 – Rascunho da estrutura - Solução 1

#### 2.4.2 Solução 2

O robô aspirador terá forma circular. Esse formato foi escolhido para facilitar as manobras de curvas, aumentando a área que ele irá percorrer. Outra vantagem que esse formato fornece é a questão do controle autônomo dele, assim facilita a distribuição dos sensores e o próprio controle do movimento do robô, pois resulta em menos erros. A estrutura do robô deve ser tal para suportar as cargas dos equipamentos do interior do robô como os sensores, motores, coolers e o sistema de sucção sem que sofra deformações. Além dessas forças deve-se também ser resistente à fadiga, já que estará sujeito a cargas contínuas e repetidas, e a impactos contra objetos ou paredes. Um material que já é utilizado em muitas aplicações pois apresenta boa propriedades é o Alumínio. A tabela 5 mostra alguns valores das propriedades mecânicas do alumínio.

Então será construída uma base circular de alumínio de 40 cm de diâmetro.

Com relação a movimentação do robô 3 rodas serão suficientes para garantir o equilíbrio. Duas rodas serão tracionadas uma livre. A roda livre é do tipo esfera e as outras duas serão de um kit motor redução, que junto à roda está montado o motor com uma caixa de redução para aumentar o torque. A mudança de direção e giro do robô é realizada alternando a potência fornecida em cada roda ou invertendo o sentido de rotação, por exemplo para fazer com que ele gire para a esquerda, deve diminuir a potência da roda esquerda e manter a potência da roda direita. As figuras seguintes ilustram as rodas e motores utilizados.

Tabela 5 – Propriedades mecânicas do alumínio. Adaptado de [Shockmetais](#)

Liga ABNT ASTM	1050
DIN	AI 99.5
Têmpera	O H14
Limite de Resistência à Tração Mpa(N/mm <sup>3</sup> )Min	55 95
Limite de Resistência à Tração Mpa(N/mm <sup>3</sup> )Max	95 130
Limite de Escoamento Mpa(N/mm <sup>3</sup> )Min	15 70
Alongamento Mínimo 50mm (%)	22 3
Dureza Brinnel (HB)	20 26



Figura 10 – Kit motor redução.

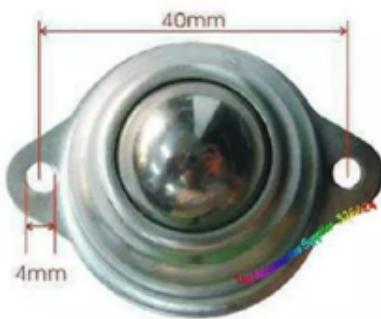


Figura 11 – Roda do tipo esfera.

As especificações da roda e do motor são mostradas na tabela 6:

Tabela 6 – Especificação motor de redução

Especificação Motor	
<i>Tamanho</i>	69x37x22,7mm
<i>Peso</i>	29g
<i>Formato</i>	90 graus
<i>Tensão de operação</i>	3 a 6V
<i>Relação de transmissão</i>	1:120
<i>Velocidade a 3V(sem carga)</i>	100 rpm
<i>Corrente a 3V(sem carga)</i>	60 mA
<i>Corrente a 3V(com carga)</i>	260 mA
<i>Torque a 3V</i>	1.20 kgf-cm
<i>Velocidade a 6V(sem carga)</i>	200 rpm
<i>Corrente a 6V(sem carga)</i>	71 mA
<i>Corrente a 6V(com carga)</i>	470 mA
<i>Torque a 6V</i>	1.92 kgf-cm
<i>Diâmetro externo do eixo</i>	5,4 mm "I"

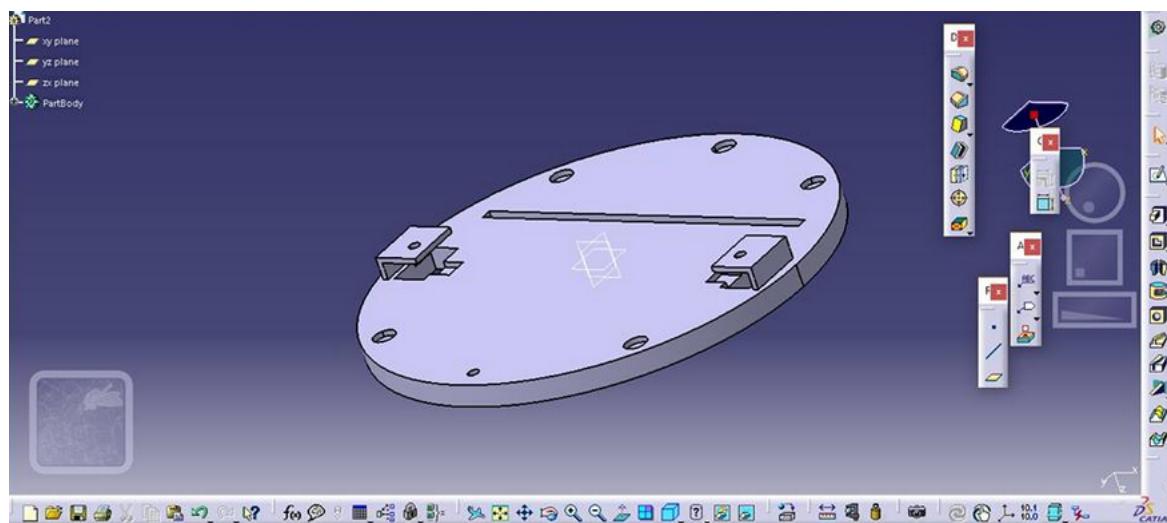


Figura 12 – Estrutura circular de integração dos subsistemas.

Tabela 7 – Especificações roda tracionada

Especificação da Roda	
<i>Material</i>	Roda plástica com pneu de borracha.
<i>Diâmetro externo</i>	65 mm
<i>Largura pneu</i>	26 mm
<i>Diâmetro interno para engate do eixo</i>	5,4 mm "I"

A parte superior da estrutura, ou seja, a tampa, será fabricada em PVC ou em acrílico. A escolha de um material plástico deve-se a facilidade de manuseio, facilitando moldá-lo à forma desejada. Deixa a estrutura mais leve, fazendo com que o motor realize menos trabalho, e pode suportar valores altos de cargas, resistindo a impactos. O material acrílico (METACRILATO DE METILA) possui (densidade relativa de 1.19 g/cm<sup>3</sup>), resistente a água e boa resistência segundo a Tabela 8:

Tabela 8 – Valores de propriedades mecânicas do Acrílico. Adaptado de Indac.

Mecânicas	Método de Ensaio	Unidade	Valores	Valores
			Chapas Cast	Extrusadas
Resistência à Tração	ISO 527	MPa	min 70	min 60
Resistência à Flexão	ISO 178	MPa	110	110 a 115
<i>Resistência ao impacto Charpy</i>	ISO 179/1fU	KJ/m <sup>2</sup>	min 13	min 8
Dureza Rockwell	ISO 2039-2	Escala M	100	90 a 95

Na tabela 9 são apresentados os valores referentes ao PVC.

Tabela 9 – Valores das propriedades mecânicas do PVC.

Materiais	Resistência a tração (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (kN/mm <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
PVC	55	3.5	1400

O PVC e o acrílico apresentam um modulo de elasticidade e resistência a tração compatíveis com as necessidades estruturais do projeto. O PVC possui um fácil manuseio, um preço compatível e é fácil de encontrar no mercado. O acrílico exige cuidados para a realização de usinagem, devido a alta fragilidade.

## 2.5 Estrutura da Base de Recarga

Uma base fixa é responsável por realizar a recarga do robô, além do carregador da bateria estará nessa estrutura a Raspberry Pi.

### 2.5.1 Solução

A base precisa armazenar o Raspberry Pi, o carregador do aspirador, o roteador Wireless e a fonte de energia para o Raspberry Pi. Para tal tarefa, a base terá uma carcaça retangular de dimensões 250x250x200mm. O material usado será o acrílico ou PVC pelos mesmos motivos explicitados anteriormente na seção da estrutura.

Para realizar o encaixe do carregador a estrutura do robô será usado um conector do tipo magnético, pois esse tipo de conector garante um encaixe mais preciso entre os conectores.



Figura 13 – Conectores magnético modelo Sony Xperia.

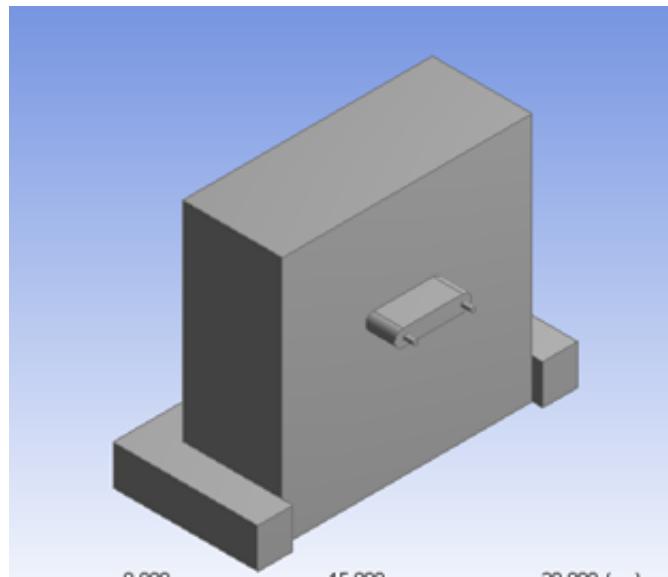


Figura 14 – Estrutura da base de recarga.

## 2.6 Sucção

O sistema de sucção tem a função de aspirar pequenas partículas de sujeira e restos de alimentos pequenos. Para tal objetivo, será construída uma bomba de ar que irá gerar uma diferença de pressão entre o exterior e o interior do sistema, fazendo com que se induza um fluxo de ar para dentro do sistema. Esse fluxo de ar precisará ter intensidade suficiente para puxar as partículas desejadas.

Dois modelos básicos foram estudados. Um deles utiliza hélices controladas por motores elétricos que induzem uma diferença de pressão pela quantidade de vazão de ar que o sistema pode expulsar. Um filtro é colocado para proteger o sistema de hélice e motor e para garantir o armazenamento das partículas aspiradas.

O outro modelo é chamado de ciclone, utilizando o mesmo princípio para gerar diferença de pressão. Esse modelo não necessita de um filtro, pois o ar é sugado em uma trajetória helicoidal em torno de um cone, gerando um efeito de força centrípeta que leva a poeira até as paredes do aspirador. Uma vez nas paredes, a poeira começa a se depositar no parte inferior do cone, enquanto o ar escapa pela parte superior do cone ([LAYTON, 2015](#)).

### 2.6.1 Solução

Para o projeto foi escolhido o primeiro modelo do ventilador com filtro, pois é uma solução com um custo menor e de fácil implementação se comparado ao sistema ciclone. Serão integradas nesse sistema escovas abaixo da linha de sucção, conhecidas como vassouras mágicas, que irão facilitar o transporte e direcionar a poeira para dentro do aspirador. Serão escolhidos dois coolers comerciais com uma vazão de ar por volta de  $160\text{ m}^3/\text{h}$ , que serão colocados lado a lado dentro de um sistema hermeticamente fechado.

A geometria do sistema busca diminuir a área de escoamento na ponta da sucção para aumentar a velocidade do fluído na entrada, utilizando o princípio de conservação do fluxo de massa do sistema. O sistema de vedação será construído utilizando acrílico colado e mangueiras sanfonadas. Também será utilizado um motor para o acionamento da escova. Para o armazenamento do pó, será projetada uma caixa retangular de plástico com tampa. No momento da limpeza do depositório, o proprietário do aspirador deve apenas desencaixar a parte móvel, retirar as impurezas e encaixar novamente na tampa.

Os dados relativos ao fluxo de massa e potência dos coolers comerciais é muito limitado. Assim o dimensionamento do sistema será realizado utilizando uma simulação de base no Ansys em conjunto com experimentos empíricos em protótipos simplificados. Para primeira análise, foi realizada uma simulação com as condições de contorno definidas pelo fluxo de massa constante na entrada e na saída, com um valor de  $0,026\text{Kg/s}$ , dados fornecidos por fabricantes de coolers. A simulação mostrou uma velocidade de saída do escoamento de  $5\text{ m/s}$  e a velocidade de entrada do ar de  $19\text{ m/s}$ .

A analise do fluxo de massa realizada no software *Ansys* está apresentada na Figura 15.

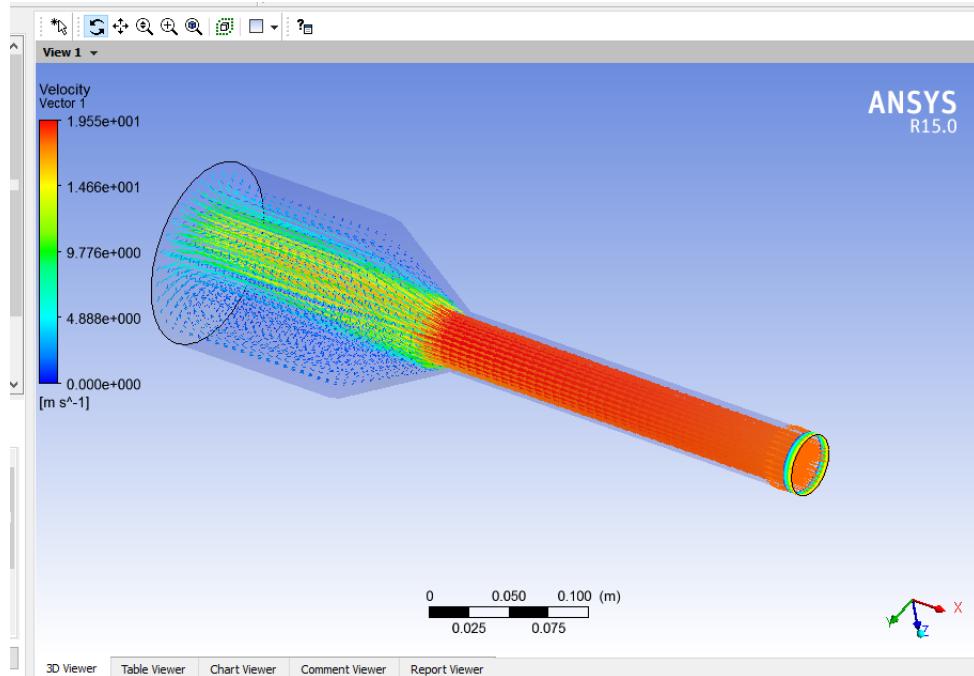


Figura 15 – Simulação do Ansys com o fluxo de massa de um cooler comercial.

## 2.7 Sensoriamento

### 2.7.1 Contextualização

Diante do projeto proposto, a equipe de eletrônica a princípio se propõe a desenvolver parte da automação e do controle do aspirador de pó, para isso o projeto eletrônico foi dividido em 3 partes, sendo elas:

- Instrumentação.
- Comunicação.
- Controle.

### 2.7.2 Instrumentação

Na robótica móvel um dos tipos mais importantes de sensores são os que medem distância (Brauml, 2006)(inserir referência). A parte de instrumentação do robô tem como principais objetivos auxiliar na navegação, solucionando o problema de colisão indesejada com a parede e outros móveis presentes na casa, e monitorar elementos vitais para certificar o funcionamento do mesmo.

Para isso, o robô do *R2-PI2* será equipado com dois tipos de sensores de distância, apresentados na sessão 2.7.2.1, bem como um circuito medidor de bateria, apresentado na sessão 2.7.2.2

### 2.7.2.1 Medição de distância

Os sensores de distância escolhidos para equipar o robô do *R2-PI2* são apresentados a seguir.

#### 1. Sensor de distância por ultrassom:

Os sensores que medem distância por meio de ondas de ultrassom (acima de 20kHz para não ser percebido pela audição humana) tem como princípio de funcionamento a emissão de um sinal acústico que em um determinado intervalo de tempo, ao encontrar um obstáculo, retorna ao local de origem. Se o sinal retornar dentro de um tempo limite (determinado pelo sensor escolhido), significa que um objeto foi detectado e a distância do sensor ao obstáculo é calculada com base na velocidade de propagação da onda sonora (340 m/s) e o tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal.

$$Distância = \frac{tempo\ de\ ida\ e\ volta\ do\ sinal * velocidade\ do\ som}{2} \quad (2.1)$$

O sensor de ultrassom escolhido para o robô R2-PI2 foi o HC-SR04 que envia um sinal com duração de 10 microsegundos e envia 8 pulsos de 40KHz para aguardar o retorno do sinal pelo receptor. Esse sensor mede distâncias entre 2 centímetros e 4 metros, datasheet disponível em ([FREAKS](#), ). A escolha deste sensor foi motivada pela facilidade de acesso ao componente e pela faixa que ele mede. Para desviar com segurança dos obstáculos estima-se que ele deverá ser detectado a 10 centímetros de distância do robô permitindo que sejam executados movimentos que desviam do objeto com segurança.

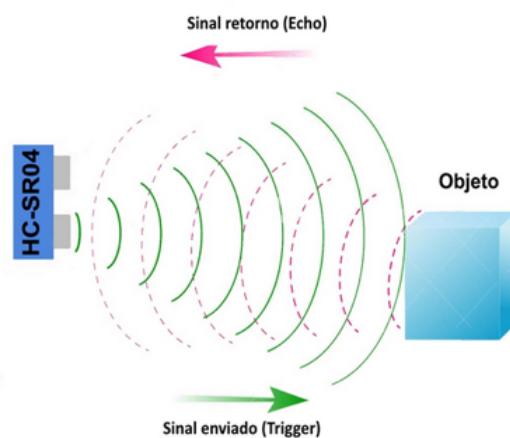


Figura 16 – Modo de funcionamento do sensor de ultrassom.

Além de detectar os objetos que estão a frente do caminho percorrido pelo robô, é importante que seja possível saber qual o menor caminho de retorno do robô a

base. Isso significa que muitas vezes o robô deverá saber em qual dos lados há um obstáculo mais longe (direito ou esquerdo). Para facilitar essa tomada de decisão, o robô terá, além do sensor frontal, dois sensores laterais (um no lado direito e outro no lado esquerdo). Adicionalmente, será instalado um sensor na parte traseira do robô que facilitará a entrada dele na base de recarregamento. O sistemas de navegação será explorado melhor posteriormente.

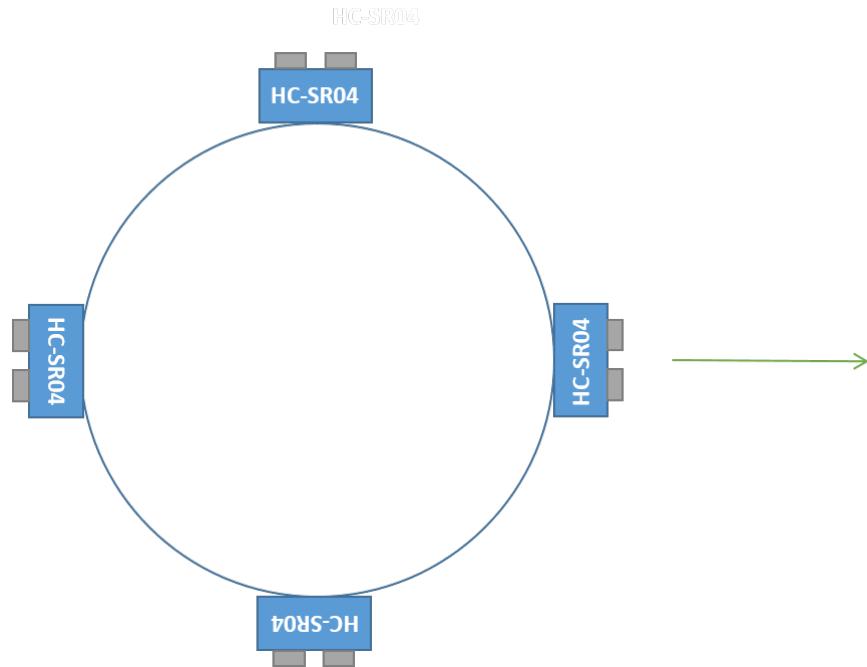


Figura 17 – Posicionamento dos sensores de ultrassom no robô.

Portanto, o robô terá quatro sensores ultrassom instalados na sua estrutura evitando o choque com obstáculos e permitindo a navegação dele no cômodo que será limpado.

## 2. Sensor de distância por infravermelho

O sensor infravermelho (IR) não utiliza o mesmo princípio de funcionamento do sensor ultrassom porque o tempo que um fóton leva para ir de um lugar a outro é muito pequeno. Ela também se baseia na emissão e detecção de um luz a uma determinada frequência. No entanto, ao invés de medir o tempo que isso leva, os sensores de IR medem o ângulo de detecção e a quantidade de luz refletida que varia de acordo com a distância entre o sensor e o objeto que refletiu a luz (Embedded Robotics). Assim, é possível utilizar um par formado por um LED emissor e um receptor de infravermelho para a detecção de obstáculos em robótica, como descrito por Lee e Chong (2011). Essa solução será adotada no presente projeto para a detecção de desníveis ou degraus no percurso do robô a fim de garantir a segurança do protótipo. (LEE, 2007)

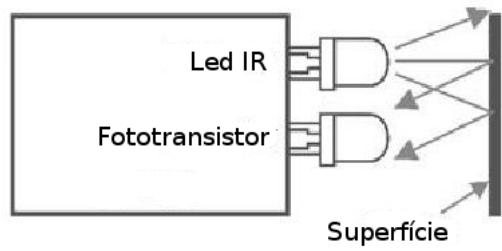


Figura 18 – Esquema de funcionamento do sensor de obstáculos por IR (infravermelho).

A luz infravermelha gerada pelo LED emissor é refletida pelo objeto onde ela incide e atinge o fototransistor receptor que entra na sua zona de condução. Dependendo da quantidade de luz refletida de volta para o fototransistor, ele detecta o objeto a frente.

O sensor de IR escolhido foi o TCRT5000 devido a facilidade de obtenção e baixo custo, além da possibilidade de projetar o sensor ao invés de realizar a compra do módulo pronto, diminuindo ainda os custos de produção do robô aspirador. Esse sensor mede até 2.5 centímetros, datasheet disponível em ([VISHAY](#), ), por isso, caso o sensor detecte que a distância entre ele e o chão supera 2.5 centímetros, o robô irá parar e recalcular sua rota.

#### 2.7.2.2 Medidor de Bateria

Um dos requisitos específicos do projeto é o gerenciamento do status da bateria permitindo que o robô retorne à base antes da sua bateria descarregar.

Para fazer esse gerenciamento será utilizado um circuito comparador de tensões com amplificadores operacionais. Apesar dessa solução retornar o nível da bateria de maneira discreta, serão projetados cinco intervalos que permitam uma boa análise da bateria.

Para verificar em qual das faixas a bateria está, optou-se por utilizar o CI TL084 que possui quatro amplificadores operacionais. Os amplificadores operacionais que operam sem realimentação comparam os sinais das entradas positivas ou não inversora (+) e negativa ou inversora (-). Caso o sinal da entrada não inversora seja maior do que o sinal da inversora, a saída do amplificador é nível lógico alto. Quando o sinal da entrada não inversora for menor do que o sinal da entrada inversora, o sinal é nível baixo.

Assim, se for montado um circuito tendo a tensão bateria nas entradas não inversoras (+), as saídas do divisor de tensão (tensão de referência) nas entradas inversoras (-) e LEDs nas saídas dos amplificadores, será possível ver por meio dos LEDs acenos ou apagados qual o nível de tensão da bateria

Além de acender ou não os LEDs, cada saída do comparador vai enviar um sinal para o controlador informando o nível da bateria para que ele possa interromper o ciclo de limpeza e enviar o robô para base.

### 2.7.2.3 Proteção dos componentes

Os optoacopladores são compostos por um LED e um fototransistor encapsulados em um CI, tem como uma das suas finalidades isolar eletricamente duas partes de um circuito e, por isso, podem ser utilizados para proteger uma porção do circuito. A parte do circuito responsável por controlar a outra irá acender o LED interno do optoacoplador e, assim que o fototransistor captar a luz, irá ativar o sinal de saída.

Foi escolhido o CI4N25 pelo baixo custo e por isolar atender os requisitos de proteção do circuito, pois isola bem o arduino (corrente máxima 500mA) do circuito do motor (corrente máxima 8800mA). A arquitetura interna do CI pode ser observada na figura 19.

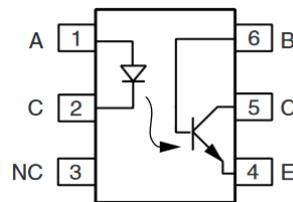


Figura 19 – Arquitetura do CI 4N25.

### 2.7.3 Hardware para Comunicação

A parte de comunicação tem como objetivo coletar informações vindas dos sensores já apresentados, interpreta-las e envia-las para a base onde é feito o interfaceamento com o usuário através de um aplicativo para celular. Para essa comunicação serão utilizados 2 microprocessadores, são eles:

#### 2.7.3.1 ATMega 2560

Para controlar corretamente as informações obtidas por todos os sensores da parte de instrumentação do projeto é necessário um processador com uma grande quantidade de portas analógicas e digitais, sendo assim utilizaremos o ATMega 2560, que possui as seguintes características:

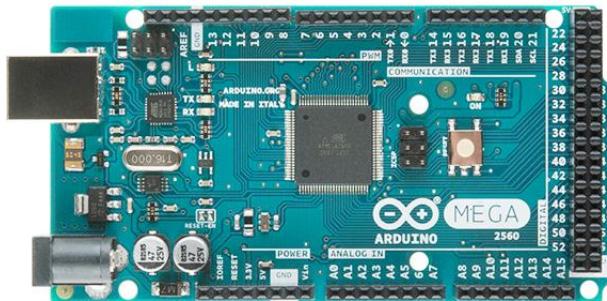


Figura 20 – Arduíno Mega.

### Características:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltagem de Alimentação: 5V
- Voltagem de entrada (recomendada): 7-12V
- Voltagem de entrada (limites): 6-20V
- Pinos digitais I/O: 54 (dos quais 14 podem ser saídas PWM)
- Pinos de entrada analógica: 16
- Corrente contínua por pino I/O: 40 mA
- Corrente contínua para o pino 3.3V: 50 mA
- Memória flash: 256 KB com 4 KB usado para bootloader
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidade de Clock: 16Mhz

#### 2.7.3.2 Módulo de WiFi

Para que o Arduíno possa enviar as informações coletadas para a base é necessário que o mesmo se conecte à rede sem fio, para isso utilizaremos o módulo WiFi ESP8266, ilustrado na figura 21.

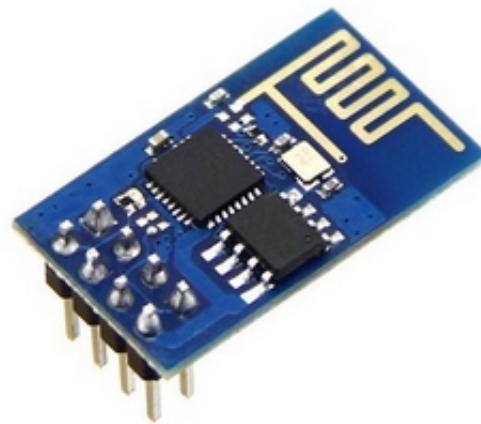


Figura 21 – Módulo WiFi ESP8266

#### 2.7.3.3 Raspberry Pi

Na base para o tráfego de dados, a placa escolhida foi a Raspberry Pi 2 modelo B, este modelo apresenta:



Figura 22 – Raspberry Pi 2 B.

#### Especificações:

- Chip: Broadcom BCM2836 SoC
- Arquitetura: Quad-core ARM Cortex-7
- CPU: 900Mhz
- Memória RAM: 1GB
- GPU Broadcom VideoCore IV
- Tensão de operação: Micro USB socket 5V/2<sup>a</sup>

- Dimensões: 85 x 56 x 17 mm

Com este modelo, é possível realizar conexões com a internet e enviar informações ao usuário ou a um banco de dados, por exemplo.

## 2.7.4 Controle

### 2.7.4.1 Sistema de Controle do R2-PI2

A parte de controle tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de monitorar e controlar a movimentação do aspirador para garantir que os motores sejam devidamente alimentados e juntamente com a parte de instrumentação e comunicação possa garantir a locomoção do robô durante a limpeza sem riscos de colisão com obstáculos.

O controlador por ora escolhido, ATMega 2560, irá controlar o funcionamento dos motores carrinho e dos sensores. A figura 23 apresenta o diagrama de blocos para o sistema em malha fechada do controle do R2-P12.

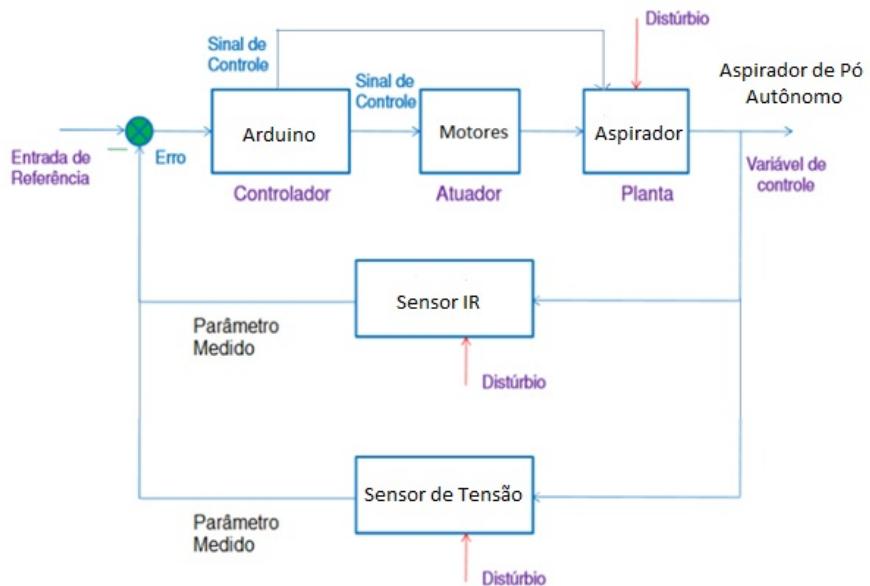


Figura 23 – Diagrama de blocos do sistema de controle do R2-PI2. Fonte ([MELLO, 2016](#)).

Como mostrado no diagrama, o controlador irá enviar sinais para os motores permitindo que eles sejam ligados ou desligados, fazendo o carrinho se movimentar de acordo com os parâmetros medidos pelos sensores infravermelhos (IR).

Serão utilizados também sensores de ultrassom configurados como detectores de proximidade, na parte frontal, lateral e traseira do aspirador, evitando possíveis colisões com obstáculos em seu caminho, e embaixo dele os sensores IR serão utilizados para evitar vãos como escadas e impedir a queda do robô. Encoderes serão utilizados como controle

de posição e também no auxílio da movimentação das rodas quando o aspirador girar para desviar de obstáculos. O monitoramento será contínuo, portanto sempre que houver algum obstáculo ao alcance dos sensores , o controlador enviará um sinal para os motores, impedindo que ocorra choques com objetos no caminho.

Será monitorado também, o nível de bateria do robô, quando ele estiver abaixo de um limite que será estabelecido, o controlador enviará um sinal para que o robô possa então retornar para a base e carregar sua bateria. Os componentes envolvidos nessa área são apresentados a seguir.

### 1. Ponte H:

Para que se possa controlar a direção e a velocidade dos motores , é necessário que a corrente elétrica possa fluir nas duas direções dentro de sua bobina com intuito de gerar campos magnéticos com intensidade e sentidos opostos. A configuração mais utilizada para controlar a corrente nesse projeto é um driver em ponte H (INOUE e OSUKA, 2004).

O circuito da Ponte H é constituído por quatro transistores que atuam como chave e que, dependendo da configuração do chaveamento, determinam o sentido de rotação dos motores, como pode ser observado na Figura 24.

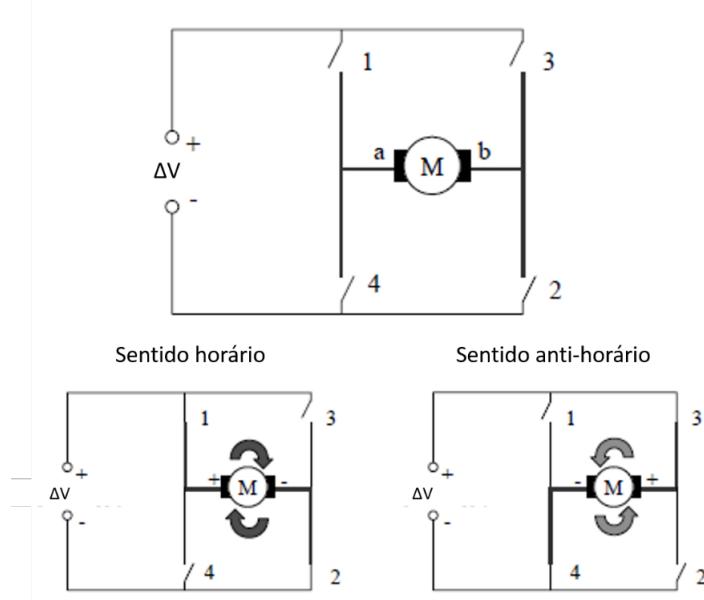


Figura 24 – Configurações da Ponte H.

A princípio a ponte H escolhida segue o modelo apresentado na Figura 25.

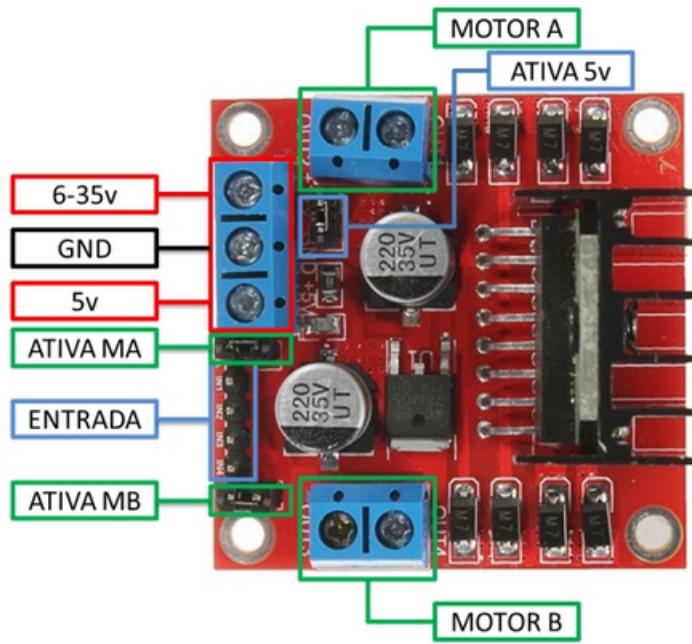


Figura 25 – Ponte H.

A escolha foi feita baseando-se na compatibilidade do drive com os motores que devem ser utilizados na movimentação do aspirador.

## 2. PWM:

O controle das velocidades dos motores será feito por meio de chaveamento em frequência constante, gerado pelas saídas digitais do controlador. Para isso utilize-se o conceito de Pulse-Width Modulation (Modulação por largura de pulso), ou PWM. Com uma onda quadrada com frequência constante e razão cíclica (duty cycle) ajustável, é possível transferir uma determinada quantidade de potência desejável através do valor médio de tensão do sinal (AHMEDI, 2006).

Segundo (AHMEDI, 2006), a tensão média de saída é dada por

$$V_0 = \frac{T_{on} \cdot v_i}{T} \quad (2.2)$$

Onde  $V_0$  é a tensão média de saída,  $T_{on}$  é o período em segundos em que o sinal fica em nível alto,  $T$  o período total do sinal e  $v_i$  a tensão de nível alto.

A potência de saída do sinal pode ser descrita como:

$$P = V_0 \cdot I_0 \quad (2.3)$$

Sendo P a potência de saída, V<sub>0</sub> a tensão de saída e I<sub>0</sub> a corrente de saída. Portanto a partir das equações anteriores pode-se afirmar que:

$$V_0 = Vi.d \quad (2.4)$$

onde:

$$d = \frac{T_{on}}{T}$$

sendo o duty cycle. A partir da lei de Ohm tem-se então que :

$$I_0 = \frac{d.Vi}{R} \quad (2.5)$$

E P<sub>0</sub> a potência de saída é dada por:

$$P_0 = \frac{(D.Vi)^2}{R} \quad (2.6)$$

Considerando uma carga totalmente resistiva, é possível controlar a potência entregue de maneira proporcional à largura de pulso ao quadrado.

Para a frequência de trabalho não ultrapassar os limites de hardware de potência na presença de cargas indutivas, como motores, é necessário pulsar um frequência que faça corrente estável para uma mesma largura de pulso, suavizando o movimento do motor.

## 2.8 Comunicação

De acordo com o apresentado nesta documentação de projeto, a solução proposta envolve diversos módulos funcionais, como o robô em si, a base fixa, e o sistema de controle. A partir de uma visão de alto nível do projeto, como a apresentada na Figura 26, é possível observar de maneira clara os módulos que deverão se comunicar para garantir o funcionamento do sistema como um todo.

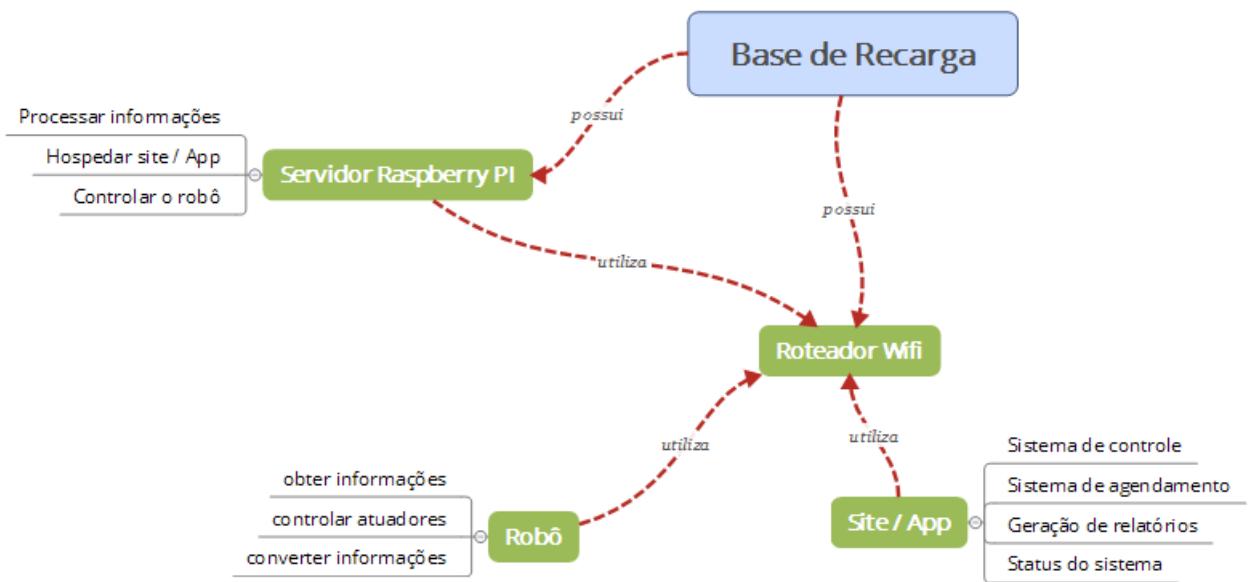


Figura 26 – Arquitetura de comunicação do sistema

Com o objetivo de garantir que a solução seja confiável e resistente a situações críticas, como a falta de internet, por exemplo, o sistema foi planejado para disponibilizar uma sub-rede interna, tendo como fonte a base de recarga do robô. Cada módulo que necessita de comunicação deverá se conectar a rede, viabilizando o funcionamento do sistema mesmo em momentos com falha de internet, já que todos os envolvidos compartilham o mesmo ambiente.

A comunicação entre o robô (*arduino*) e a base (*raspberry*) fará uso desta rede wifi, a partir da utilização de um módulo wifi, o *arduino* poderá acessar a rede, possibilitando a comunicação via tcp/ip. Já a *raspberry* se conectará a rede via cabo *ethernet*.

O roteador utilizado é da família D-link, seguindo o protocolo de certificação WPA2, que utiliza o EAS (Advanced Encryption Standard), como sistema de encriptação. Segundo (KUMKAR et al., 2003), este protocolo possui uma confiabilidade bem maior que a encontrada em seu antecessor, WPA. Ainda de acordo com (KUMKAR et al., 2003), este sistema de segurança envolve um algoritmo de criptografia robusto, utilizando chaves de 128 a 256 bits maximizando a segurança da rede.

O núcleo da rede, ou seja, o ponto central da comunicação do sistema se encontra na base de recarga do robô, que está detalhada no tópico a seguir.

### 2.8.1 Base de recarga

A base de recarga do robô sustentará todo o sistema de inteligência da solução, assim como a sub-rede que possibilitará a comunicação entre os módulos. Será utilizada uma *raspberry PI* como servidor central do sistema, processando e controlando toda a solução. O servidor será implementado utilizando a tecnologia Ruby on Rails, no sistema operacional *Raspbian* (Debian).

Além da sustentação da *raspberry*, é necessário sustentar um roteador D-link 524 para implementação e sustentação da rede wifi que será utilizada como meio de comunicação do sistema, e 3 (três) emissores infra-vermelho, utilizados para retorno do robô à base.

## 2.9 Interface

A interface de usuário é onde ocorre a interação entre humanos e máquinas, o objetivo desta interação é a operação e controle efetivos da máquina pelo usuário e o feedback desta, que auxilia o operador na tomada de decisões operacionais.

Tendo em vista isso o aspirador terá uma plataforma web que contará com uma interface amigável e intuitiva facilitando o acesso à diferentes dados e funções. Essa plataforma será responsiva, isto é, se adaptará automaticamente à largura de tela do dispositivo no qual ele estará sendo visualizado. Assim o sistema se comportará como ponte entre o usuário e o aspirador.

Para essa primeira entrega foi construído um protótipo de médica fidelidade com a ferramenta [Justmind](#). As figuras abaixo mostram os primeiros protótipos:



Figura 27 – Interfaface Home.

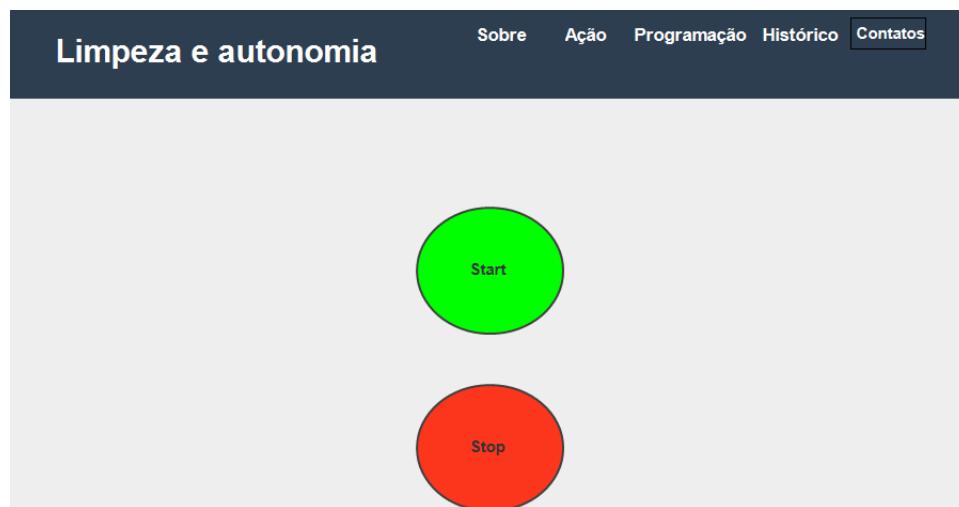


Figura 28 – Interfaface Comando.

## Limpeza e autonomia

Sobre Ação Programação Histórico Contato

### Histórico de atividades



Figura 29 – Interfaface Histórico.

## Limpeza e autonomia

Sobre Ação Programação Histórico Contatos

### Programação de limpezas



Figura 30 – Interfaface Programação.

# 3 Implementação da Solução

Este capítulo tem como objetivo apresentar o detalhamento da implementação dos subsistemas do *r2-pi2*. Ao longo do capítulo será possível analisar estratégias de solução, equipamentos utilizados, tecnologias incorporadas e o resultado obtido durante a segunda fase de desenvolvimento do projeto R2-PI2.

## 3.1 Navegação

Como o processamento de todas as informações obtidas durante a navegação ocorrerá na base, sabe-se que o tempo de resposta do servidor é uma variável importante quando se refere a um sistema de tempo real, como o proposto pelo projeto. Dessa maneira, fez-se necessária a implantação do *patch rt\_preempt* no kernel do linux presente na *raspberry*. Para isso, utilizamos como fonte de conhecimento a wiki oficial do projeto *RT\_preempt*, disponível [aqui](#).

Com a configuração e recompilação do kernel com este *patch*, obtivemos um tempo de resposta aproximado de 19 micro segundos, o que foi considerado bom pela equipe do projeto. Uma análise foi feita utilizando o *script cyclictest*, da mesma equipe *RT\_preempt*, para calcular o tempo mínimo, médio e máximo de resposta. Na simulação foi utilizado um processo com prioridade 80, com 100.000 (cem mil) *loops* a um intervalo de 500 micro segundos, obtendo o resultado apresentado na Figura 31.

```
pi@raspberrypi:~/rt-tests$ sudo ./cyclictest -m -t1 -p 80 -n -i 500 -l 100000
# /dev/cpu_dma_latency set to 0us
policy: fifo: loadavg: 1.09 0.45 0.22 2/221 3940
T: 0 ( 3858) P:80 I:500 C: 100000 Min:    13 Act:   21 Avg:   19 Max:   115
```

Figura 31 – Tempo de resposta do servidor.

Após a implantação deste requisito de tempo real, buscou-se definir uma estratégia de navegação que contemple os requisitos iniciais do projeto. Para isso, o sistema de navegação foi dividido em 2 contextos. A navegação pode estar no contexto de *running*, onde estará rodando pelo ambiente de maneira aleatória, ou *back*, no qual o robô deverá retornar para base.

Nos sub-tópicos a seguir estão detalhadas as estratégias de navegação nos dois contextos.

### 3.1.1 Running

O algoritmo de navegação utilizado durante este contexto é bastante simples, o qual envolve uma estratégia de navegação aleatória. Basicamente, o robô sempre tenderá a andar para frente, quando for encontrado um obstáculo, o servidor enviará uma ordem para desviar daquele obstáculo, levando em consideração as distâncias laterais do robô. Para isso, o robô utiliza 3 sonares, um apontado para a frente, e os outros dois apontados um para cada lado do robô.

Esta navegação aleatória ocorre até que seja determinado o recuo à base, seja por falta de bateria ou por entrada *stop* por parte do usuário.

A utilização de *encoders* é necessária para minimizar a margem de erro na angularização de curvas e distâncias percorridas. Porém, sua utilização está suspensa durante esta segunda fase do projeto, sendo implementado apenas na terceira etapa, fase de integração dos subsistemas.

### 3.1.2 De volta à base (Back)

O retorno à base deve levar em consideração o tempo disponível de bateria, ou seja, o caminho para base deve ser razoavelmente eficiente. Porém, a utilização da potência de sinal do *wifi* gerou problemas relacionados a precisão destes dados. Por este motivo, o retorno a base também se encontra em estado de implementação.

De acordo com o apresentado no plano de gerenciamento de risco, disposto no capítulo 4.9, foi identificado um risco que afeta todo o planejamento inicial para retorno a base. Este risco está ligado a precisão dos resultados obtidos com o uso da potência do sinal wifi para retorno a base. A partir de diversos testes, foi observado que a margem de erro deste sinal é muito elevada para utilização em um algoritmo de navegação. Desse modo, sua implementação foi deixada para a terceira etapa do projeto, onde serão utilizados outros meios, seja para calibrar o erro deste sinal, ou para substituir esta estratégia.

Durante esta etapa do trabalho, a estratégia para retorno a base envolve a utilização de um emissor na base, com um receptor no robô identificando a distância do emissor. Com esta informação, é possível navegar pelo ambiente realizando comparações de resultados para traçar uma direção até a base. De acordo com análises experimentais, é possível identificar a direção da base utilizando apenas 3 pontos distintos no ambiente. Estes pontos devem estar separados a uma distância inversamente proporcional a precisão deste sinal analisado.

Visualizando cada distância como um raio de uma circunferência, com 3 pontos obtidos pode-se analisar 3 circunferências que deverão possuir um ponto de intersecção, o qual deverá apontar para a base. Com o objetivo de simplificar a explicação, a Figura 32 apresenta uma simulação da estratégia de retorno a base.

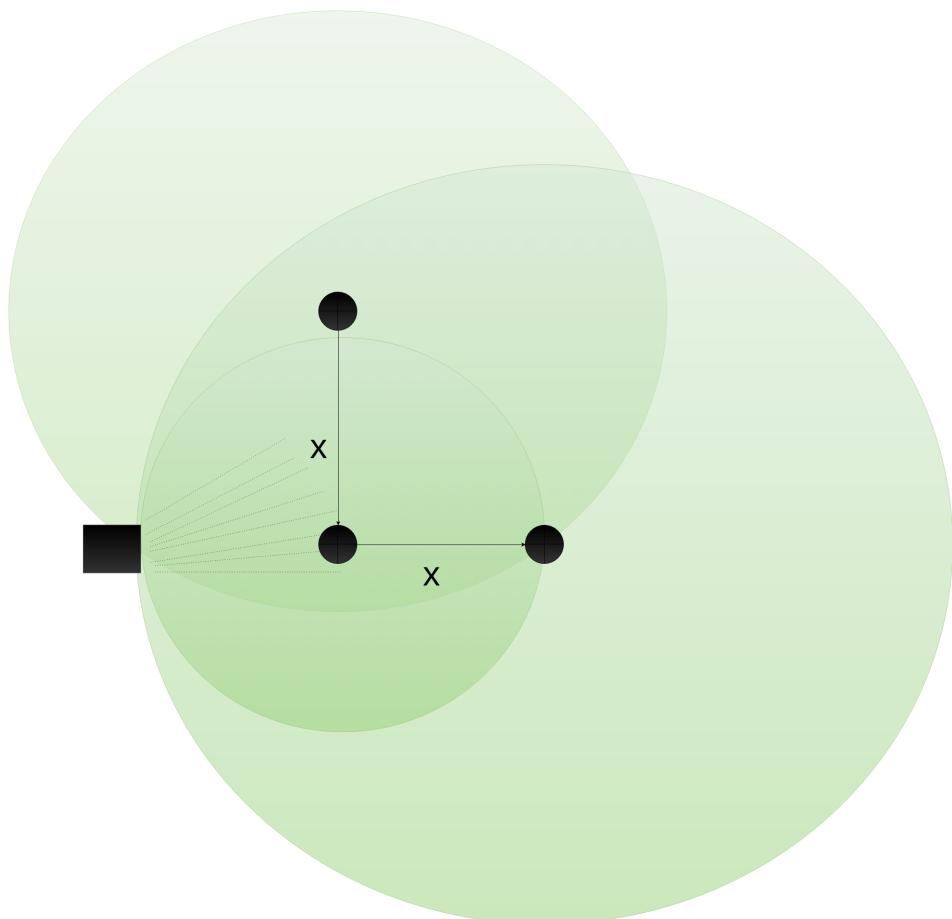


Figura 32 – Estratégia para identificação da direção da base.

É importante ressaltar que para que a estratégia funcione, os 3 pontos não podem ser colineares, pois se forem o resultado das leituras pode acabar gerando dois pontos possíveis de intersecção, como mostrados no exemplo da figura 33

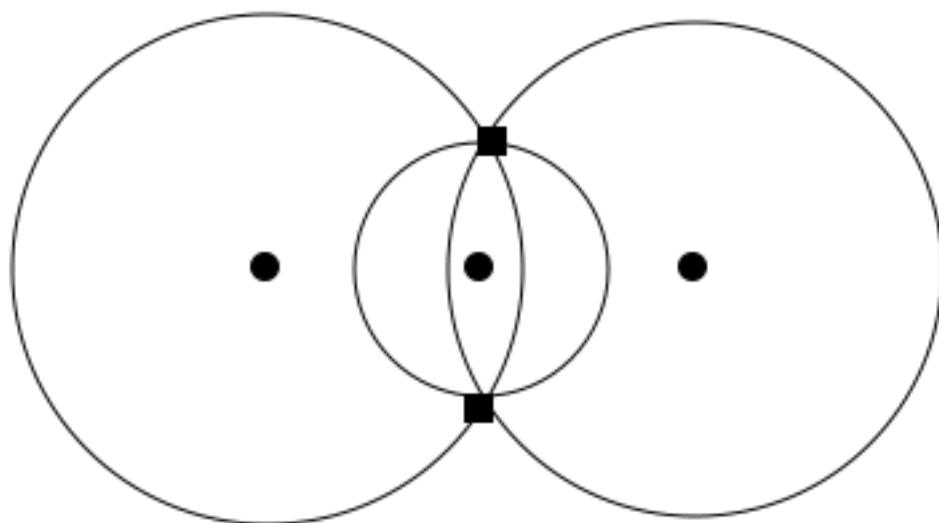


Figura 33 – Estratégia para identificação da direção da base com pontos colineares.

## 3.2 Estrutura do Robô

O robô aspirador terá forma circular. Esse formato foi escolhido para facilitar as manobras de curvas, aumentando a área que ele irá percorrer. Outra vantagem que esse formato fornece é a questão de seu controle autônomo, assim facilita a distribuição dos sensores e o próprio controle do movimento do robô, pois resulta em menos erros. A estrutura do robô deve ser tal para suportar as cargas dos equipamentos do interior do robô como os sensores, motores, coolers e o sistema de sucção sem que sofra deformações. Além dessas forças deve também ser resistente à fadiga, já que estará sujeito a cargas contínuas e repetidas, e a impactos contra objetos ou paredes. Ocorreram durante o processo de fabricação da base mudanças relacionadas ao material empregado, a princípio seria utilizado uma chapa de alumínio, porém foi verificado que a chapa de alumínio, além de possuir algumas dificuldades para serem usinadas e soldadas, deveria possuir uma espessura um pouco maior para não vibrar muito com a ação do sistema de sucção. Por esse motivo, o alumínio foi substituído por uma chapa de aço de 2mm de espessura. A base construída possui 40cm de diâmetro e uma área útil de  $1100 \text{ cm}^2$ , espaço suficiente para alocar todos os componentes do robô.

Em relação a movimentação do robô, três rodas estão sendo usadas para garantir o equilíbrio da estrutura, duas com tração e uma livre, podendo ser adicionada uma segunda roda livre caso a disposição final dos componentes desequilibre o sistema. A roda livre possui um giro de  $360^\circ$  facilitando o deslocamento, enquanto as outras duas rodas utilizam um kit motor-caixa de redução. A mudança de direção e giro do robô é realizada alternando a potência fornecida em cada roda ou invertendo o sentido de rotação, por exemplo para fazer com que ele gire para a esquerda, deve diminuir a potência da roda esquerda e manter a potência da roda direita. As figuras seguintes ilustram as rodas e motores utilizados.



Figura 34 – Kit motor redução.



Figura 35 – Roda do tipo esfera com dimensão.

Na tabela abaixo estão apresentadas as especificações do motor utilizado.

TABELA ERRADA, SEM INFORMAÇÕES.

Verificar esta seção.. tudo bugado.

### 3.3 Sucção

Essa sessão visa documentar o método de construção do sistema de sucção do robô, descrevendo a construção dos protótipos e as decisões tomadas com base em testes realizados em cada protótipo.

#### 3.3.1 Metodologia de construção

Para a execução do projeto proposto foram adquiridos três coolers comerciais de 14 cm com as especificações apresentadas na tabela 10.

Tabela 10 – Dados do cooler

Potencia	1.44 W
Voltagem	12 V
Velocidade	1200+-10% RPM
Fluxo de ar	1.36 m <sup>3</sup> /min (48 CFM)

O projeto baseava-se em apenas dois coolers, mas foram adquiridos três caso o resultado com dois não retornasse uma boa sucção. A montagem consiste em os cooler ligados lado a lado dentro de uma caixa hermeticamente fechada. Utilizando os três coolers, foram feitos os primeiros testes para medir a eficiência dessa montagem. Foi feito um furo de pequeno diâmetro na parte oposta à dos coolers, por onde deve entrar o ar.

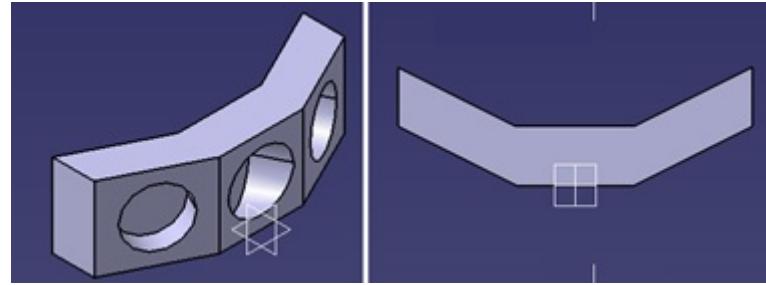


Figura 36 – Vista isométrica e superior da montagem, onde os buracos representam a posição dos coolers.

Os coolers foram ligados à voltagem de 12V com corrente de 1.5 A, mas o resultado não foi satisfatório, pois não houve nenhuma sucção mesmo alterando o diâmetro do buraco e sua posição. Foi suposto que o problema seriam os coolers, então foi planejada uma montagem com um deles para verificar seu funcionamento isolado.

Foi realizado um teste simples, utilizando um cooler menor de 5 cm para verificar o funcionamento do modelo de construção. A figura 37 mostra o sistema construído.



Figura 37 – Montagem com cooler de 5 cm.

O sistema foi ligado na fonte e este protótipo apresentou resultados positivos, apesar da sucção fraca por conta da voltagem e corrente do cooler serem baixos. O mesmo

modelo foi construído em maior escala para utilizar o cooler maior. A figura 38 mostra outro modelo construído.



Figura 38 – Montagem com cooler de 14 cm.

Foi fornecido a tensão de 12V e corrente de 1.5 A ao sistema, mas apresentou-se uma eficiência muito baixa, com sucção quase imperceptível. Então, utilizando uma fonte de tensão, foi-se elevando a tensão até que ele indicasse uma melhora. Foi observado que enquanto a tensão era modificando, as hélices passavam a girar com maior velocidade passando a sugar com maior força. Ao fornecer o valor de tensão de 30 V, foi que o sistema alcançou um resultado que seria ótimo para o projeto. Mas seria inviável a fabricação do robô com uma bateria que fornecesse tal tensão.

O último teste utilizando estes coolers, consistiu em aumentar a potência do sistema construindo-o com dois coolers utilizando o mesmo esquema de construção, visando uma alimentação de menor tensão para os motores. Foi reduzida a altura do sistema, a fim de reduzir perdas de carga, e adicionado um cooler em uma das paredes, ao final obteve o protótipo mostrado na figura 39.



Figura 39 – Protótipo com dois coolers de 14 cm.

Era esperado que com essa nova montagem, a eficiência fosse aumentada ao dobrar a potência do sistema, mas o resultado foi negativo, pois não apresentou mudanças com relação ao modelo com um cooler. Com os resultados obtidos com as montagens mostradas, o grupo chegou à conclusão de que os coolers não seriam utilizados, pois não mostraram resultados bons que fossem viáveis ao projeto. Os motores elétricos dos coolers possuíam uma potência incompatível com o tipo e o tamanho da hélice do mesmo, gerando um fluxo de massa baixo, menor que o indicado pelos fabricantes.

Diante dos problemas, foram feitas pesquisas a respeito de novos modelos de construção que fossem eficientes, apresentando uma sucção forte, dentro dos limites de tensão possíveis no projeto. As hélices são um tipo de “ventilador axial”, que força o ar a passar por elas, gerando um fluxo de ar segue transversal à direção do cooler. Existe também outro tipo de ventilador, conhecido como “ventilador centrífugo”, onde suas hélices são dispostas de forma diferente, como mostra a figura 40.



Figura 40 – Hélices do ventilador centrífugo.

O “ventilador centrífugo” acelera o ar radialmente, fazendo com que a energia cinética da rotação das hélices aumente a pressão do ar, resultando em um fluxo de alta velocidade na saída. Foi escolhida essa hélice para a construção de novos protótipos.

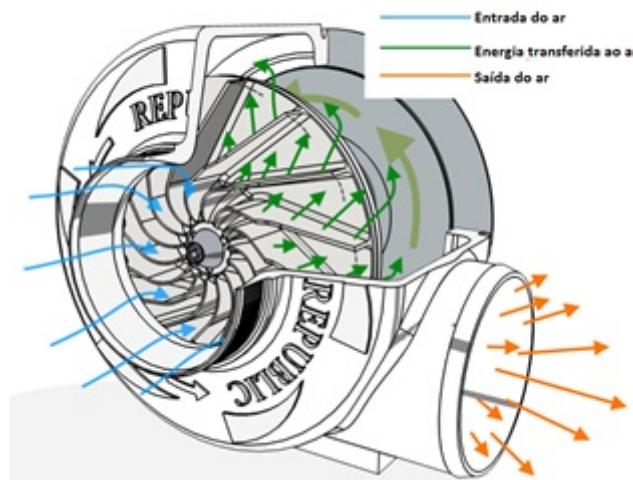


Figura 41 – Fluxo de ar em um ventilador de ar centrífugo.[Republic Manufacturing](#)

Para evitar o problema de falta de potência, foi escolhido um motor com maior potência e rotação nominal se comparado ao motor do cooler. Foi escolhido um motor DC 12V com as especificações apresentadas na tabela 11.

Tabela 11 – Dados do motor DC 12 Volts.

Potencia	40.55W
Voltagem	13.5 V
Velocidade	28086+-10% RPM
Torque	55.19 mN.m

As hélices foram construídas em alumínio e grudadas em uma pequena base com furo para encaixar o eixo do motor (figura 42).



Figura 42 – Hélices construídas em alumínio.

Utilizando CD's, papelão, plástico em formato cilíndrico a estrutura final desse protótipo é mostrada na figura 43.

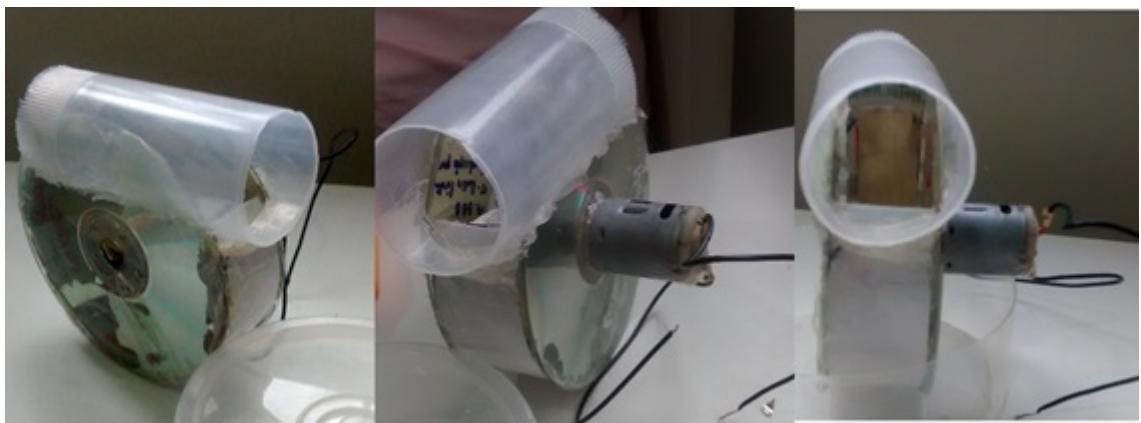


Figura 43 – Vistas do protótipo feito com CD's.

Foi realizado o teste com o novo protótipo, mas por defeitos de fabricação, as hélices durante a rotação colidiam com a estrutura, assim o ar era soprado com menor velocidade, consequentemente sugava um fluxo baixo de ar.

Foi feita outro protótipo utilizando o mesmo modelo de hélice construída utilizando CD's seguindo o mesmo modelo de estrutura, mas novamente, as hélices não giravam livremente, pois colidiam com as outras partes da estrutura. Graças à essas assimetrias e defeitos de fabricação foi observado uma grande vibração do sistema. Diante da dificuldade de construir uma estrutura sem defeitos e visando reduzir as vibrações, para que ela não danifique a estrutura do robô e aumentar a eficiência do ventilador foi adotada a solução de adquirir a hélice comercial, garantindo uma construção sem defeitos. O motor para movimentar a hélice é de 12V, potência de 52.8 W, corrente de 4.4 A.



Figura 44 – Motor de 52.8W instalado na estrutura de aspiração.

Foi realizada a montagem do protótipo utilizando a nova hélice. Foram utilizados dois compartimentos de plásticos, em um foi acoplado o conjunto hélice motor, e nas laterais foram feitos furos para a saída de ar. Foi colocada uma divisão entre os dois compartimentos com um filtro para a sujeira. Foi feito um furo no segundo compartimento para encaixar a mangueira a qual irá ser a ponta da sucção. Conectou-se as partes e foram feitos os testes ligando-a fonte de 12V e 4.4 A. O resultado foi positivo apresentando uma sucção forte, sugando toda a sujeira que foi disponibilizada para o teste.



Figura 45 – Sistema de sucção com o compartimento de sujeira.

Para aumentar a eficiência de limpeza, foi adicionado ao sistema de sucção uma vassoura mágica. A fricção dela com o solo faz com que a sujeira seja carregada para seu compartimento interno, mas para garantir uma boa limpeza ela deve passar pelo mesmo local várias vezes. Como o robô irá percorrer a trajetória em linha reta com velocidade constante sem realizar muitas passagens pelo mesmo local, foi acoplado um motor DC de 6V e 0.1 A no eixo da vassoura para garantir um aumento na eficiência na coleta da sujeira. Ao realizar o teste, observou-se que por conta da grande velocidade de rotação do motor, as partículas de sujeiras eram lançadas para longe, ao invés de serem carregadas para seu interior. Foi colocado um tecido com pelos atrás da vassoura, limitando o movimento de partículas naquela direção, garantindo que elas fossem depositadas no interior da vassoura mágica.



Figura 46 – Escova mágica conectada ao motor DC de 6V.



Figura 47 – Parte inferior da escova mágica com o tecido de contenção das partículas.

Com os dois subsistemas de limpeza prontos e funcionando, foi feita a conexão entre eles por uma mangueira sanfonada, para que ela sugue as partículas de sujeiras que a vassoura colhe. Foi feito um furo na parte superior da estrutura da vassoura da forma da ponta de mangueira, que foi achatada para aumentar o comprimento de aspiração da sujeira que fica interna a vassoura mágica. O resultado do protótipo é mostrado na figura abaixo.



Figura 48 – Subsistema de sucção completo.

Foi realizado o teste das duas peças integradas, simulou-se o movimento do robô passando-o apenas uma vez por cima da sujeira. O resultado foi positivo, o sistema foi capaz de colher cerca de 80% das partículas que foram colocadas para teste.

### 3.4 Sensoriamento

Após definir as especificações dos componentes na sessão 2.7, será descrito a seguir de forma detalhada as estratégias seguidas pelo grupo para atender aos requisitos do projeto. Também serão apresentadas as simulações realizadas para validar os conceitos aplicados, resultados práticos serão apresentados em um momento posterior.

A parte do projeto de eletrônica responsável pela comunicação será apresentada na sessão 3.5.1.

#### 3.4.1 Instrumentação

A instrumentação foi dividida em três subgrupos, cada um com um foco específico para garantir a integridade do robô *R2-PI2*, esses subgrupos são apresentados a seguir.

##### 3.4.1.1 Controle de distância

A estratégia de controle utilizada na locomoção do R2-PI2, analisa as seguintes situações, o robô se locomoverá sempre para a frente enquanto não encontrar obstáculos

em seu caminho. Na detecção de um objeto, os sensores posicionados a direita e a esquerda do robô farão a medição de distância. O aspirador tomará a decisão de desviar para o lado contrário da menor distância medida ou na ausência da mesma. Na possibilidade de ausência de distância ou impossibilidade de cálculos, o desvio será feito a direita por padrão. A figura 58 mostra o fluxograma do algoritmo utilizado na locomoção do aspirador.

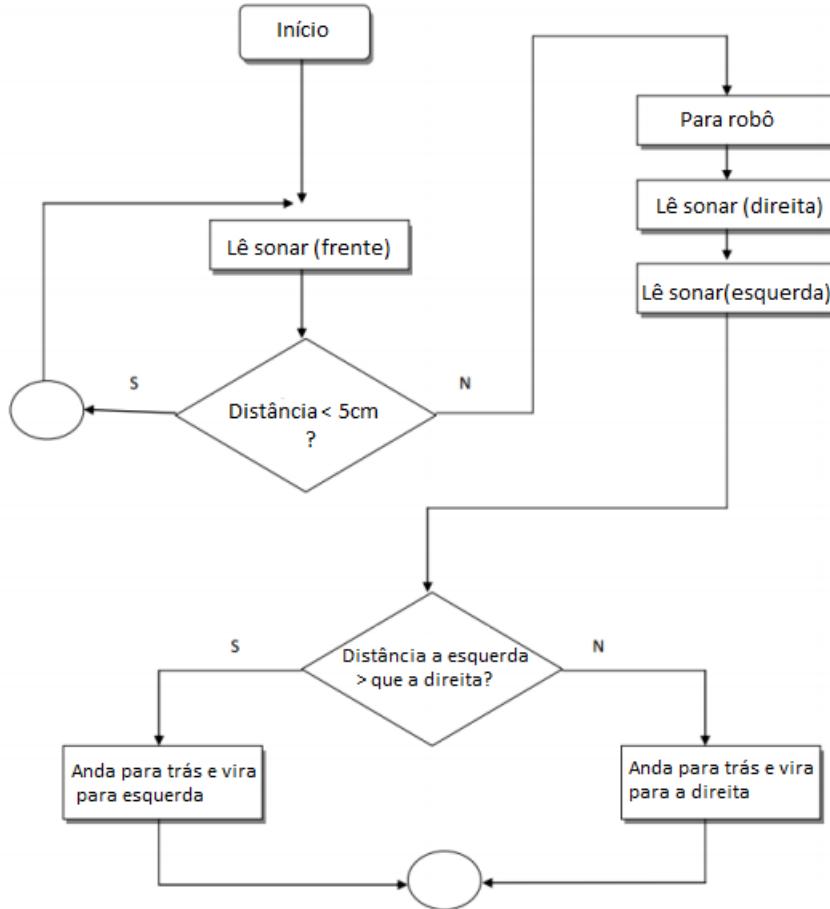


Figura 49 – Fluxograma do algoritmo de locomoção do R2-PI2, realizado pela equipe de eletrônica para testes iniciais.

No caso da identificação de degraus ou desníveis o algoritmo consiste na simples análise de obstáculos ou não. Por limitação do sensor IR, a distância máxima medida é de 2.5 cm, então enquanto uma distância escolhida como aproximadamente 1cm estiver sendo medida, o que significa que o robô está em contato com o chão, ele continuará se movimentando normalmente, quando essa distância medida for maior que 1 cm, o aspirador irá parar, dar uma ré e escolher a melhor rota para continuar seguindo.

Tanto no código de medição de distância com o ultrassom, quanto no com sensor IR utilizou-se a técnica de filtragem por médias móveis que consiste em fazer várias amostragens de um parâmetro e depois tirar a média das mesmas. O filtro ajudou bastante no problema de leituras oscilantes nos sensores.

### 3.4.1.2 Monitoramento da bateria

Com carga máxima, a bateria escolhida terá 12,6V e ela deixará de fornecer a corrente adequada ao circuito quando chegar a 8,25V (aproximadamente 66% da bateria total). Para evitar que a bateria chegue a 8,25V no meio da execução da limpeza, um circuito comparador de tensão irá verificar continuamente qual a voltagem da bateria.

Além de enviar o sinal para o microcontrolador, será feita uma interface visual com 5 LEDs que vão indicar quando a bateria está com carga total e quando a bateria está perto da carga mínima (8,25V), conforme a figura 50.

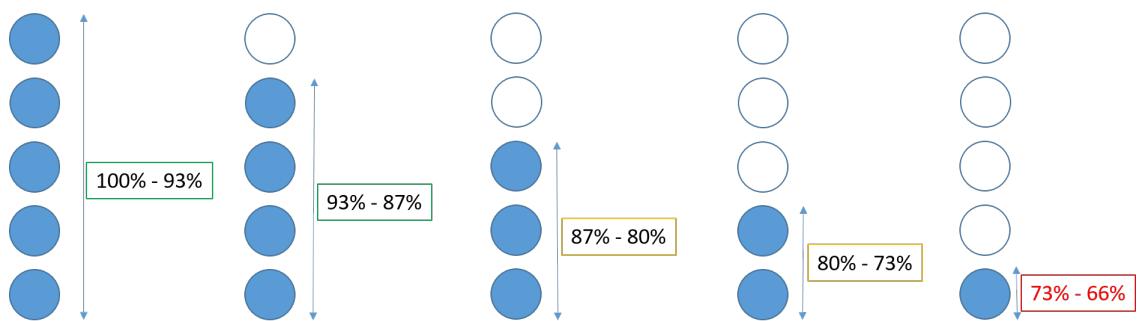


Figura 50 – Aproximação das faixas de tensão apresentadas pelos LEDs.

A queda de tensão será apresentada em cinco LEDs que foram divididos em faixas muito próximas de tensão útil. Conforme os seguintes cálculos:

$$\frac{\text{Tensão máxima} - \text{tensão mínima}}{5} \quad (3.1)$$

Substituindo os valores em (3.1), temos:

$$\frac{100 - 66}{5} = 6,8 \quad (3.2)$$

As faixas então foram definidas como:

- **Faixa 1:** 100% ~ 93,2%
- **Faixa 2:** 93,2% ~ 86,4%
- **Faixa 3:** 86,4% ~ 79,6%
- **Faixa 4:** 79,6% ~ 72,8%
- **Faixa 5:** 72,8% ~ 66%

Considerando que o sistema de sucção consome cerca de seis vezes mais corrente do que o sistema de navegação do robô (4750mA - 836mA) e que são cinco faixas de tensão, estimou-se que um quinto da tensão útil é suficiente para o robô voltar para a base de carregamento com o sistema de sucção desligado. No entanto, sabendo que a curva de descarga de uma bateria não é linear, apenas após os testes empíricos será possível determinar com maior segurança se um ou dois quintos da tensão útil serão colocados à disposição do sistema de navegação para o robô poder retornar à base.

Assim, enquanto a tensão da bateria estiver dentro das quatro faixas de tensão, o robô estará executando a rotina de limpeza e quando estiver na última faixa ele estará retornando para a base.

As faixas de tensão foram projetadas a partir de um divisor de tensão com cinco saídas sendo que cada saída é o limite inferior da faixa.

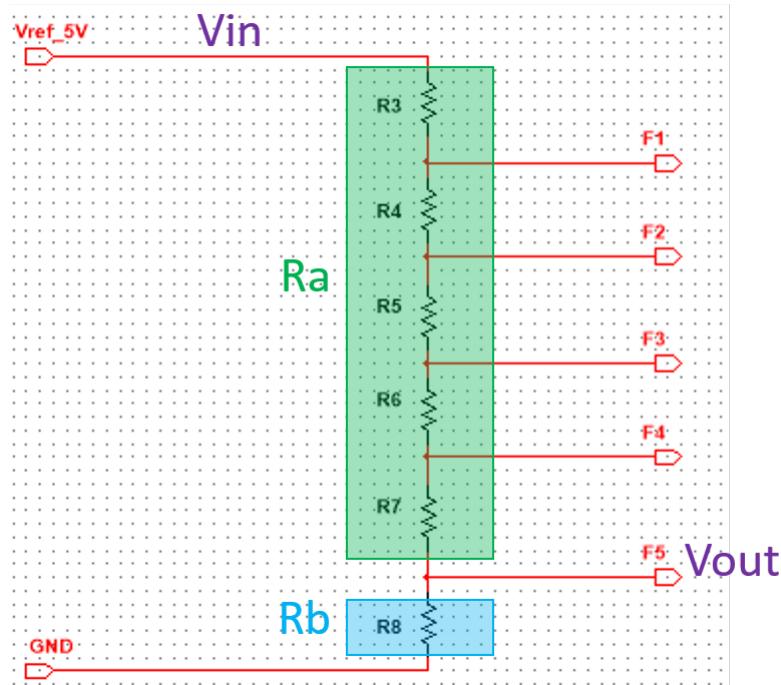


Figura 51 – Divisor de tensão.

Fazendo o divisor de tensão com  $R_a$  e  $R_b$ , tem-se que:

$$V_{out} = \frac{R_b * V_{in}}{R_a + R_b} \quad (3.3)$$

Sabendo que  $V_{out} = 0,66 * V_{in}$ , substituimos  $V_{out}$  na equação 3.3:

$$0,66 * V_{in} = \frac{R_b * V_{in}}{R_a + R_b} \quad (3.4)$$

Que resulta em:

$$0,66 * Ra + 0,66 * Rb = Rb \quad (3.5)$$

Se  $Rb=10K\Omega$ , substituimos na equação 3.5 e obtemos:

$$Ra = \frac{10K - 0,66 * 10K}{0,66} \simeq 5K \quad (3.6)$$

Como as faixas devem ter a aproximadamente a mesma variação de tensão, os resistores R3, R4, R5, R6 e R7 devem ter o mesmo valor e sua associação em série deve ser igual a  $5K\Omega$  ( $Ra$ ), assim os valores das resistências do divisor de tensão devem ser:

$$R3 + R4 + R5 + R6 + R7 = 5K \Rightarrow R3 = R4 = R5 = R6 = R7 = 1K \quad (3.7)$$

$$Rb = Rc = 10K \quad (3.8)$$

Para confirmar se o divisor proposto realmente cumpre os requisitos do projeto, foi realizada a simulação utilizando o software MultiSim do divisor aplicando uma tensão de 10V e o resultado obtido foi satisfatório.

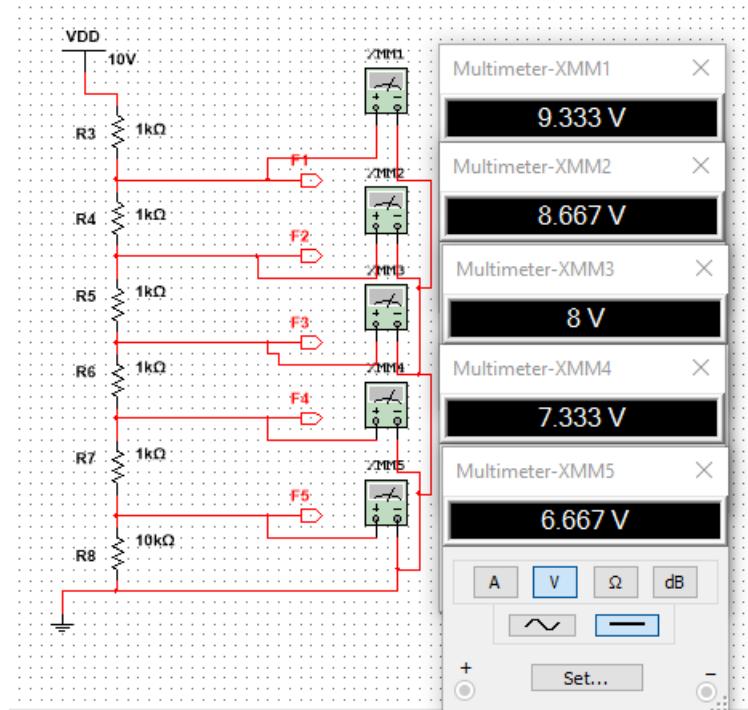


Figura 52 – Simulação do divisor de tensão.

Para o circuito acima funcionar bem, a tensão de entrada do divisor de tensão deverá ser igual a tensão máxima da bateria. Como a tensão máxima da bateria é de 12.6V, fica inviável geral um sinal constante de 12.6V apenas para servir como referência do divisor. Sabendo que o ATMega gera um sinal de 5V, a tensão da bateria passará por um divisor de tensão que será projetado para transformar os 12.6V em 5V de modo que seja possível utilizar os 5V do ATMega no medidor de bateria.

Sabendo que a tensão de saída do novo resistor ( $V_{out2}$ ) deve ser 5V e que a tensão de entrada ( $V_{in2}$ ) é de 12.6V as resistências ( $R_c$  e  $R_d$ ) utilizadas podem ser calculadas pela seguinte expressão:

$$V_{out2} = \frac{R_c * V_{in2}}{R_c + R_d} \quad (3.9)$$

Substituindo os valores em 3.9, temos:

$$5 = \frac{R_c * 12.6}{R_c + R_d} \Rightarrow 7.6 * R_c = 5 * R_d \quad (3.10)$$

Se  $R_c=1K\Omega$ , logo:

$$R_d = \frac{7.6}{5} \simeq 1.5K \quad (3.11)$$

Para verificar o divisor projeto se adequa às necessidades do projeto, foi feita a simulação no software MultiSim e o resultado encontrado foi satisfatório. A variação de 0,04V corresponde a 0,3% da tensão máxima e, portanto, não prejudicará o sistema de medição da bateria.

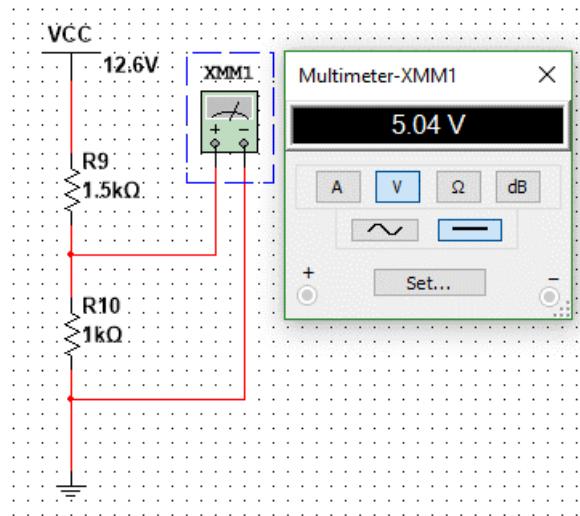


Figura 53 – Simulação do divisor de tensão de 12.6V para 5V.

O circuito completo do medidor de bateria é apresentado na figura 54.

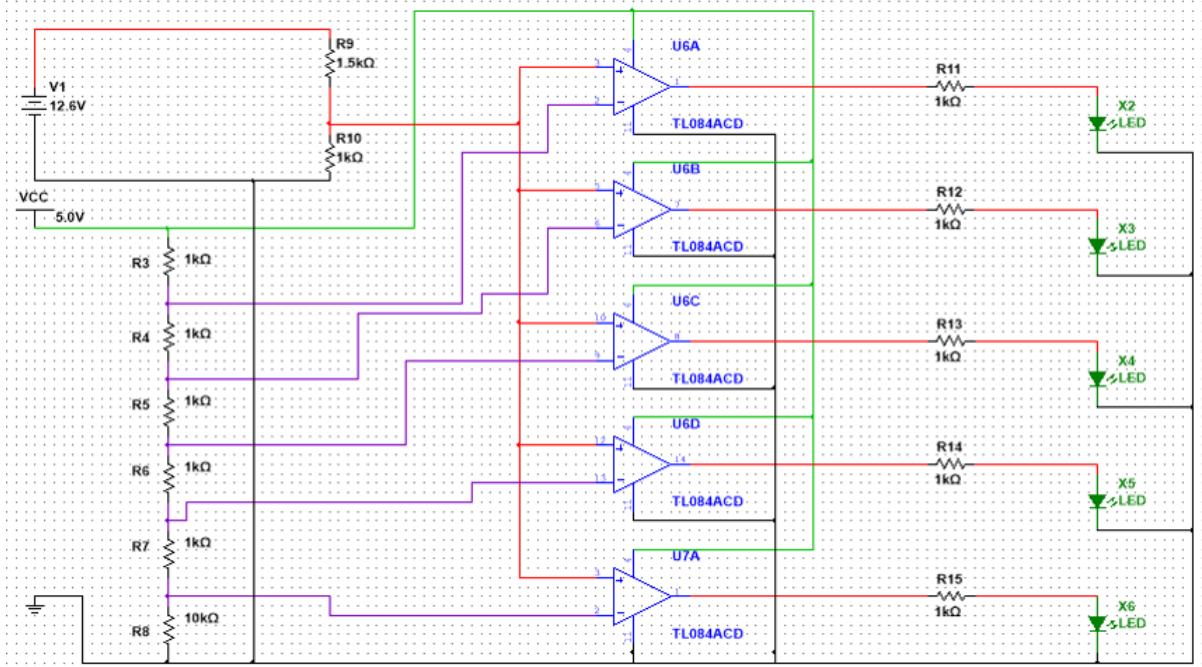


Figura 54 – Circuito do medidor de bateria.

#### 3.4.1.3 Proteção dos componentes

A porta lógica do ATMega envia até 40mA de corrente a 5V, para limitar a corrente que irá acionar o LED interno do acoplador óptico utilizaremos uma resistencia de 220Ω. O outro lado do optoacoplador terá uma resistor pull-up de 10KΩ para garantir que quando o fototransistor capte a luz, a corrente flua para o terra e ligue o motor do sistema de sucção.

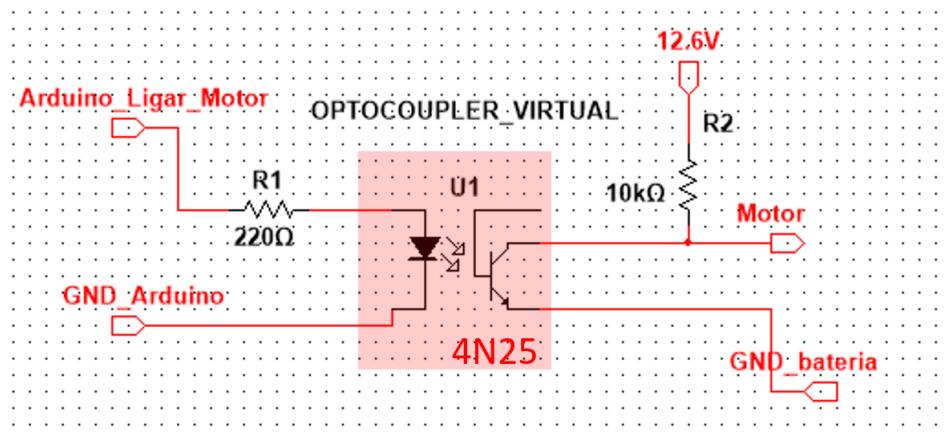


Figura 55 – Circuito de proteção com acoplamento óptico.

### 3.4.2 Controle

O sistema de controle descrito por meio do diagrama de blocos foi implementado utilizando-se os componentes e microcontrolador apresentados na proposta de solução. Abaixo encontra-se o esquemático detalhado do sistema de locomoção e desvio de obstáculos do aspirador. Como explicado anteriormente, foram utilizados quatro sensores ultrassônicos HC-SR04 que posicionam-se a 90° de distância um do outro. Os sensores possuem um ângulo de alcance de 15° e na forma como estão posicionados não cobrem todo o diâmetro do aspirador, no entanto, através de testes experimentais, percebeu-se que a quantidade e distribuição de sensores utilizados, assim como o algoritmo que foi implementado, atendem o requisito de desvio da maior parte dos obstáculos de um cômodo.

Pode-se observar também no esquemático, o sensor TCRT5000 que foi posicionado na frente da roda boba afim de identificar algum degrau ou desnível que possa impedir o movimento do aspirador ou danificá-lo.

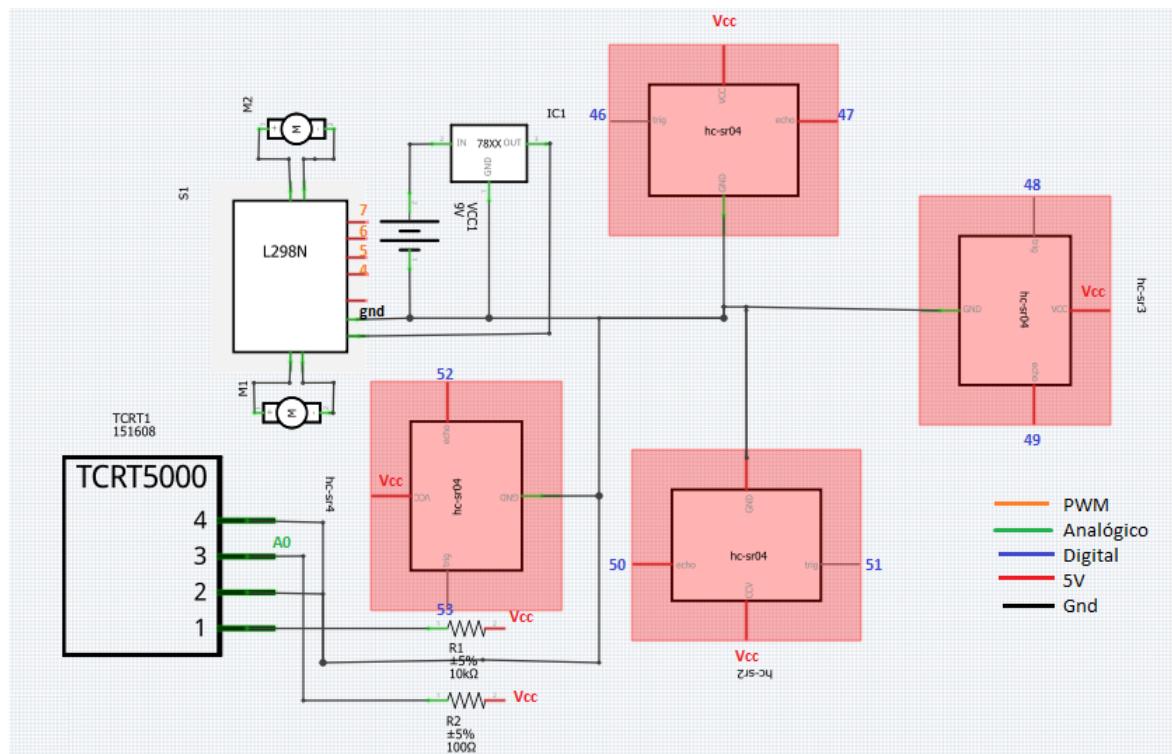


Figura 56 – Circuito de locomoção do aspirador.

Na montagem do circuito utilizou-se entradas analógicas, digitais e PWM. A legenda da figura identifica a natureza dos sinais utilizados de acordo com a pinagem do controlador.

Os motores são controlados pela ponte H (L298N) que está conectada ao controlador por meio de entradas PWM. A ponte H permite a rotação dos motores nos dois sentidos e o controle de velocidade do mesmo. Sendo assim o aspirador pode se movimentar.

tar em todas as direções desviando-se de obstáculos e em uma velocidade adequada para que o sistema de sucção funcione de forma eficiente.

Durante os testes de locomoção em conjunto com os sensores de obstáculos, observou-se que os sensores ultrassônicos e IR estavam variando muito, atrapalhando assim o movimento do aspirador. Após pesquisas concluiu-se que os motores estavam gerando ruído nos sensores e uma solução encontrada foi utilizar três capacitores cerâmicos de 100nF, um entre as escovas e os outros dois, cada um entre uma escova e a carcaça do motor. O esquema realizado para os dois motores se encontra na figura 57.

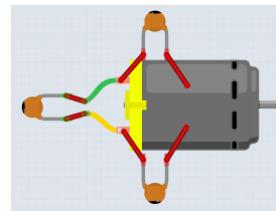


Figura 57 – Esquema de redução de ruído do motor.

O controlador ATMega 2560 controla também o sistema de sucção do aspirador que conta com dois motores. Esse controle foi implementado por meio do chaveamento de transistores. O esquemático apresentado na figura 58 mostra o circuito de controle genérico dos motores do sistema.

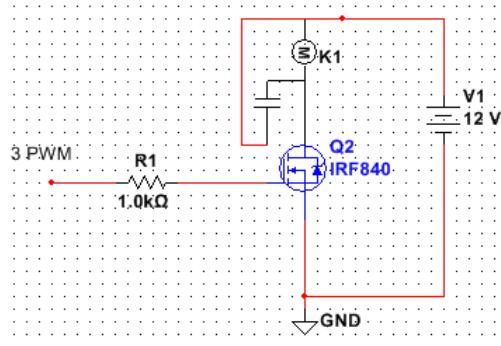


Figura 58 – Circuito de controle dos motores.

O circuito é ativado por uma saída pwm do controlador que polariza o gate do transistor permitindo que ele conduza corrente através do motor. Por operar com uma corrente alta, utilizou-se um transistor de potência NMOS IRF840 que suporta uma corrente máxima de 8A e 500 V de tensão.

O motor que ativa o sistema de sucção drena uma corrente muito alta, cerca de 4,4A. Caso haja uma corrente de fuga dos motores para o ATmega, o microcontrolador irá queimar instantaneamente, pois ele suporta até 500mA. Para garantir que essa situação

não aconteça, será utilizado um circuito de proteção com optoacopladores, descrito na sessão 3.4.1.3, que irá isola-lo eletricamente do motor.

## 3.5 Comunicação

Com o objetivo de detalhar com maior clareza a implementação do sistema de comunicação do projeto, optou-se por utilizar a estratégia *bottom-up*, apresentando toda a especificação técnica dos equipamentos de *hardware* utilizados na solução, seguido da especificação em nível de *Software*.

### 3.5.1 Hardware

Um dos requisitos mais críticos do projeto é o da comunicação entre a base e o robô, pois todas as informações coladas pelo robô são enviadas para a base realizar o processamento, já que a base possui um poder de processamento muito superior ao do próprio robô.

A implementação do sistema com os *hardwares* especificados na sessão 2.7.3 é apresentada na figura 59.(REFAZER A FIGURA!)

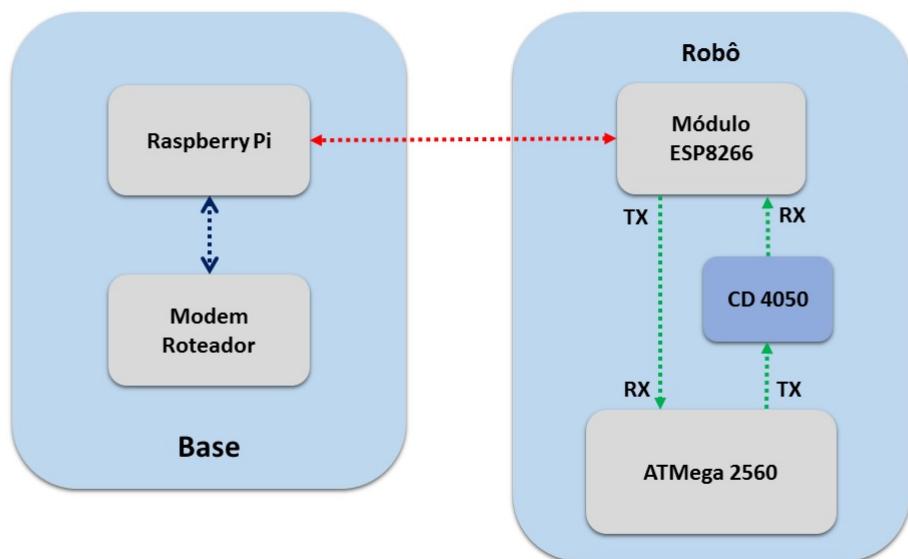


Figura 59 – Esquemático do hardware implementado para realizar a comunicação entre os microprocessadores.

O sistema projetado para a base consiste em um modem roteador conectado a *raspberry pi*, essa conexão é feita por meio de um cabo *ethernet* e dessa forma o sistema é capaz de gerar uma subrede que deve ser acessada pelo robô e pelo usuário quando necessário. A seta vermelha na figura 59 representa essa comunicação entre o robô e a base que é feita via *WiFi* utilizando o protocolo TCP/IP.

Para o robô foi necessário realizar alguns ajustes no projeto inicial que não contemplava o CI CD4050, ao consultar o datasheet do módulo ESP8266 foi constatado que o mesmo trabalha com tensões máximas de até 3.3V e o controlador utilizado no robô gera sinais com até 5V, a solução encontrada para resolver esse problema foi utilizar o CI CD4050, que consiste em um buffer não inversor que foi utilizado nesse contexto para converter o nível lógico alto de 5V para 3.3V, a figura 60 mostra o esquemático interno do CI.

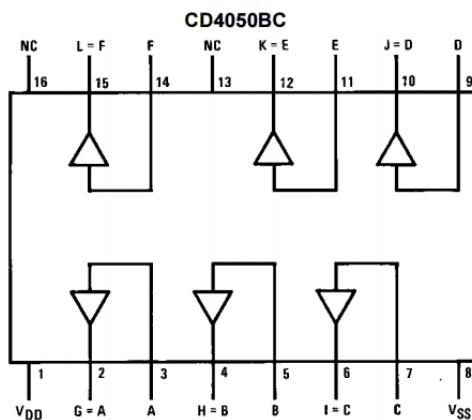


Figura 60 – Esquemático interno do CD4050.([Embarcados](#))

Por falha de observação, durante a primeira tentativa de montagem desse sistema, accidentalmente foi inserido no RX do módulo uma tensão de 5V, como mencionado anteriormente o módulo trabalha com tensões máximas de 3.3V o que resultou na queima do RX do componente impossibilitando a comunicação serial entre o módulo e o microprocessador, como solução foi adquirido outro módulo igual para continuar o processo de montagem, porém o módulo comprado apresentou falhas na sua inicialização de forma que não foi possível configura-lo da forma desejada, então como última solução foi adquirido um kit de desenvolvimento que garante a correta alimentação exigida pelo ESP8266 facilitando a utilização do mesmo, este foi devidamente configurado de acordo com o projeto e posteriormente será incorporado ao protótipo do projeto, a figura 61 apresenta o kit adquirido.



Figura 61 – Kit de desenvolvimento ESP8266 WiFi 802.11 B/g/n.([AF Eletrônica](#))

Este kit necessita de uma alimentação de 9V/1A, sua alimentação será realizada pela bateria do robô e somente os pinos correspondente ao RX e ao TX serão utilizados pelo microprocessador para realizar a comunicação serial. Essa comunicação serial é representada na figura 59 pelas setas verdes.

### 3.5.2 Software

Para realização da comunicação, está sendo utilizado o protocolo de comunicação TCP, enviando e recebendo dados a partir de uma conexão via *sockets* em uma rede criada por um roteador fixo na base. A estratégia de comunicação foi pensada com o objetivo de possibilitar o funcionamento de diversos robôs em uma residência, utilizando a mesma base de processamento. Desse modo, o servidor executado na *raspberry*, em C, aguarda por conexões que podem ser feitas por qualquer cliente que deseje conectar na porta correta (definida neste projeto como 8090).

Ao identificar uma conexão, uma *thread* é gerada para tratar aquela conexão, entrando em um loop infinito até que o cliente ou o servidor opte por encerrar a conexão. Toda a comunicação realizada entre o robô e a base é feita a partir desta *thread*.

Quando a *thread* para tratamento da conexão é lançada, a mesma faz a criação de uma nova *thread* que executará paralelamente a ela, que será responsável por enviar comandos ao robô. Ou seja, são criadas duas *threads* para tratar uma mesma conexão, uma *thread* responsável por obter os dados enviados pelo robô e outra responsável por processar estes dados e enviar comandos ao robô.

Como apenas um canal de comunicação é utilizado, foi necessário utilizar um protocolo que define os padrões de comunicação entre o servidor e o robô. Este protocolo envolve duas partes, onde a primeira representa o *tipo de informação* e a segunda parte

representa a *informação* em si. A tabela 12 apresenta os padrões já definidos e implementados no sistema em relação a comunicação do servidor para o robô.

Tabela 12 – Padrões de comunicação - Servidor-Robô

Servidor ->Robô	
Padrão	Descrição
L 90	Virar 90º a esquerda
R 90	Virar 90º a direita
F 10	Andar 10cm a frente
S	Stop
R	Run
B 10	Andar 10cm para trás
B	Voltar para base

Já na tabela 13 estão apresentados os padrões referentes a comunicação do robô para o servidor.

Tabela 13 – Padrões de comunicação - Robô-Servidor

Robô ->Servidor	
Padrão	Descrição
L 90	Distância esquerda: 90cm
R 90	Distância direita: 90cm
F 10	Distancia frente: 10cm
B 10	Distancia ré: 10cm
A 45	Bateria 45%
P 42	Potência do sinal wifi: 42

Com a utilização destes padrões de comunicação, ficou fácil implementar um *porteiro* de cada lado que seja capaz de distribuir as informações para seus respectivos contextos. Esta é a estratégia básica de comunicação entre os dois módulos, mas para isso, uma estrutura foi inicialmente desenvolvida.

Para realização da comunicação entre os módulos e cliente, faz-se necessário um sistema de autenticação na rede e no sistema de gerenciamento de limpezas. Para isso, foi levantada uma base Ldap de autenticação, utilizando o protocolo RADIUS para conexão na rede. O sistema de gerenciamento de limpezas pode cadastrar novos usuários, incluindo-os na base Ldap, para que o mesmo cadastro realizado no sistema possa ser utilizado para login na rede.

A arquitetura do sistema, apresentada na seção 3.7 registra de maneira clara o funcionamento do sistema de comunicação do projeto.

## 3.6 Interface

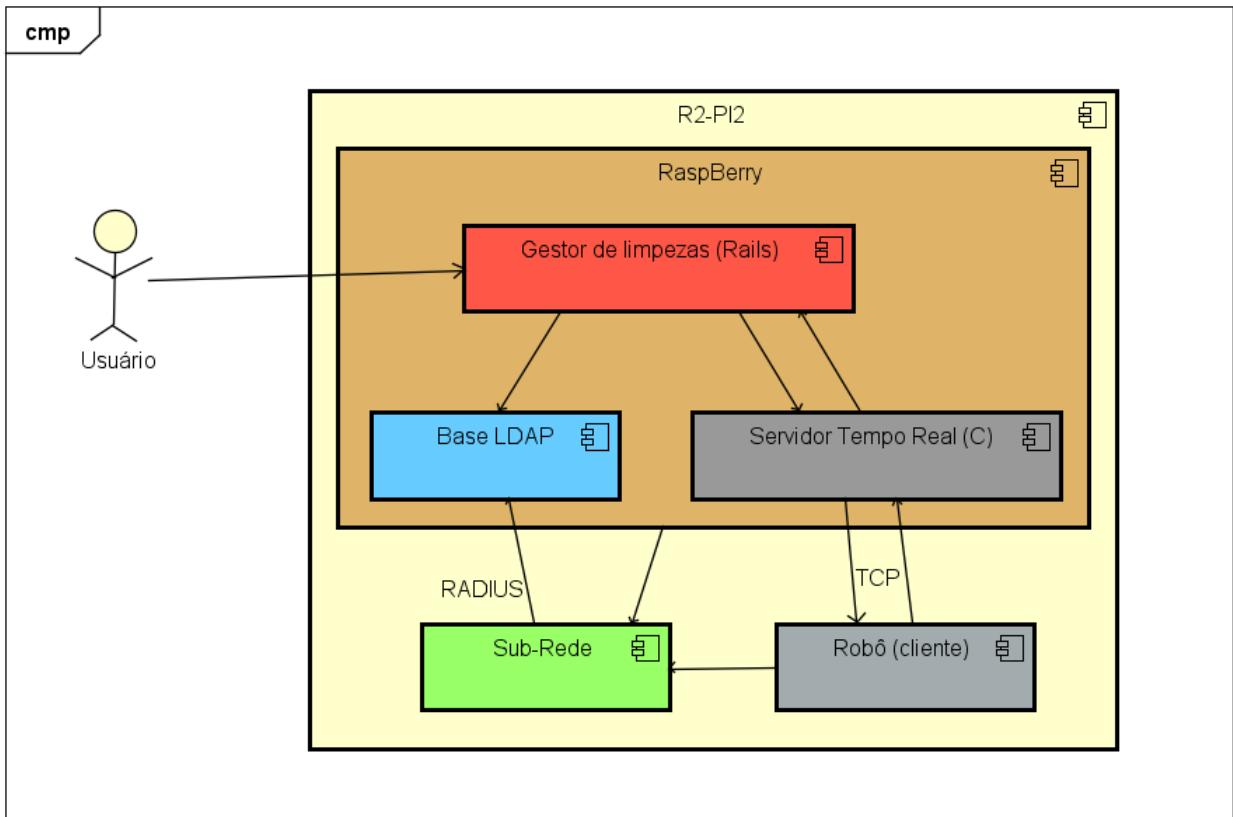
Para a realização da interface com o usuário, foi criado uma aplicação web, utilizando o *framework* livre, Ruby on Rails([RAILS](#), ). Esse *framework* permite desenvolvimento de sites e usa como linguagem o Ruby. Sua arquitetura padrão é o MVC(*Model-View-Controller*), que basicamente separa a aplicação em 3 camadas. A camada de interação do usuário(*view*), a camada de manipulação dos dados(*model*) e a camada de controle(*controller*)([RAMOS](#), ). O rails permite adicionar bibliotecas com funções especiais, essas bibliotecas tem o nome de *gem*. Para nossa aplicação, além das gems já padrões para a utilização do rails, também utilizamos as gems que podem ser vistas na tabela 14.

Tabela 14 – Gems

Gem	Descrição
devise_ldap_authenticatable	Para autenticar junto com uma base LDAP
cancancan	Para autorização
rolify	Para criar funções de usuários
fullcalendar-rails	Para mostrar calendário de agendamento
momentjs-rails	Auxílio ao calendário
bootstrap-sass	Para layout das páginas
rails-erd	Para gerar diagrama de classe

## 3.7 Arquitetura do Sistema de Software

Em relação a arquitetura do sistema, a mesma foi definida em módulos, contemplando 5 módulos distribuídos. A comunicação entre os principais módulos é feita a partir da utilização de *sockets* por conexão TCP. De modo geral, a arquitetura pode ser representada pela Figura 62.



powered by Astah

Figura 62 – Diagrama arquitetural do sistema R2-PI2.

O *Servidor Tempo Real* gerencia diversas *threads* para processar e instruir informações ao robô. O escalonamento destas *threads* segue o padrão de sistemas em tempo real, a partir da configuração do *patch RT\_Preempt* no Kernel utilizado no servidor. Desse modo, o tempo de resposta a requisições advindas do robô é otimizado, buscando evitar falhas de controle relacionadas ao atraso do sistema.

A comunicação entre Robô e Servidor Tempo Real segue uma arquitetura cliente-servidor, onde o cliente e o servidor acabam trocando de papéis em determinadas ocasiões. Em alguns instantes o robô fará requisições ao servidor, que lhe retorna uma resposta, já em outros instantes o servidor fará requisições ao robô, obtendo também uma resposta.

O principal motivo da escolha desta arquitetura se refere ao poder de processamento presente no servidor, em relação ao processamento encontrado no robô (ATMega). Como o sistema é caracterizado como um sistema de tempo real, necessitou-se da utilização deste mecanismo de processamento.

Como interface do sistema para o cliente, foi desenvolvido o sistema Gestor de Limpezas, em rails. Este sistema faz comunicação com o Sistema Tempo Real e a base de registro de usuários (LDAP). Neste sistema é possível agendar limpezas, iniciar e parar

uma limpeza e analisar *status* de limpeza. A comunicação entre os dois sistemas é feita a partir de sockets locais, já que os dois serão executados na mesma máquina (raspberry pi).

# 4 Plano de Gerenciamento de Riscos

O gerenciamento de riscos tem como objetivo orientar a equipe sobre os riscos presentes, como serão controlados e monitorados, além de aumentar a probabilidade e impacto de eventos positivos e reduzir a probabilidade e impacto dos eventos.

O processo consiste na realização de um plano de gerenciamento que descreva a análise e execução dos processos de riscos, iniciando-se pela identificação dos mesmos, suas análises quantitativas e qualitativas, plano de respostas e por fim a solução de como eles serão monitorados e controlados durante o ciclo de vida do projeto.

## 4.1 Processo de Gerenciamento de Riscos

O processo de gerenciamento de riscos nesse projeto, ocorrerá nas seguintes etapas:

1. Identificar os riscos e determinar quais deles podem afetar o projeto, documentando suas características.
2. Realizar a análise qualitativa dos riscos.
3. Avaliar a exposição ao risco para priorizar os que serão objeto de análise ou ação adicional.
4. Realizar a análise quantitativa dos riscos.
5. Efetuar a análise numérica do efeito dos riscos identificados nos objetivos gerais do projeto.
6. Planejar as respostas aos riscos, desenvolvendo opções e ações para aumentar as oportunidades e reduzir ameaças aos objetivos do projeto.
7. Controlar os riscos e monitora-los durante o ciclo de vida do projeto.

## 4.2 Responsabilidade dos Riscos da Equipe do Projeto

Os processos de gerenciamento de riscos estão sendo realizados pelo *Scrum master* do projeto durante o período estabelecido, no entanto todos os membros da equipe de desenvolvimento do R2-PI2 são consultados com as devidas responsabilidades para o levantamento de riscos dos sistemas e subsistemas.

## 4.3 Probabilidade e Impacto de Riscos

Diferentes riscos possuem diferentes probabilidades de ocorrência e diferentes impactos no projeto. Tendo isso em vista, foi feita uma matriz de risco e probabilidade e uma matriz de impacto para auxiliar na qualidade e credibilidade da análise dos riscos, assim como na decisão de respostas e plano de controle.

### 4.3.1 Matriz de Risco e Probabilidade

Na tabela 15, é apresentada a matriz de probabilidade dos riscos. A partir da utilização desta matriz, é possível quantificar a probabilidade de diversos riscos que sejam encontrados durante a realização deste projeto.

Tabela 15 – Matriz de probabilidade de riscos do R2-PI2.

<b>Probabilidade</b>	<b>% de certeza</b>
1- Muito baixa	0 a 20%
2- Baixa	20 a 40%
3- Média	40 a 60%
4- Alta	60 a 80%
5- Muito alta	>80%

### 4.3.2 Matriz de Impacto dos Riscos

Para chegar em uma nota final de impacto para o risco, foram considerados 4 aspectos principais: Custo, Tempo, Escopo e Qualidade, como pode ser observado na tabela 16.

Tabela 16 – Matriz de impacto de riscos.

<b>Custo</b>	<b>Muito baixo (nota 1)</b>	<b>Baixo (nota 2)</b>	<b>Médio (nota 3)</b>	<b>Alto (nota 4)</b>	<b>Muito alto (nota 5)</b>
	Até 2% no orçamento	De 2 a 5% no orçamento	De 5 a 8% no orçamento	De 8 a 10% no orçamento	Acima de 10% no orçamento
<b>Tempo</b>	Até 2% no prazo total	De 2 a 5% no prazo	De 5 a 8% no prazo	De 8 a 10% no prazo	Acima de 10% no prazo
<b>Escopo</b>	Impacto insignificante na qualidade do projeto	Mudança impactará no custo	Mudança impactará no custo e no tempo	Mudança impactará no custo, tempo e qualidade	Produto final do projeto é inútil

## 4.4 Planejamento de Resposta aos Riscos

A partir das matrizes apresentadas anteriormente, é criada a matriz de probabilidade e impacto. As notas de impacto e probabilidade são multiplicadas para se chegar a uma nota final de risco.

Tabela 17 – Matriz de probabilidade e impacto.

Probabilidade						
		5	10	15	20	25
Impacto		4	8	12	16	20
5		3	6	9	12	15
4		2	4	6	8	10
3		1	2	3	4	5
2						
1						

A cor verde na tabela representa risco mínimo. A cor amarela representa risco médio e a cor vermelha representa risco alto. A estratégia a ser adotada para cada escala de risco identificada está apresentada na tabela 18.

Tabela 18 – Legenda matriz de probabilidade

Zona	Prioridade	Pontuação	Estratégia
Verde	Baixa	de 0 a 4	Aceitação
Amarelo	Média	de 5 a 14	Aceitação ou mitigação
Vermelho	Alta	de 16 a 25	Eliminação, mitigação ou transferência

## 4.5 EAR (Estrutura Analítica de Riscos)

Para auxiliar na identificação das fontes riscos durante a execução do projeto, foi elaborado uma estrutura analítica de riscos (EAR), que pode ser visualizada na Figura 67.

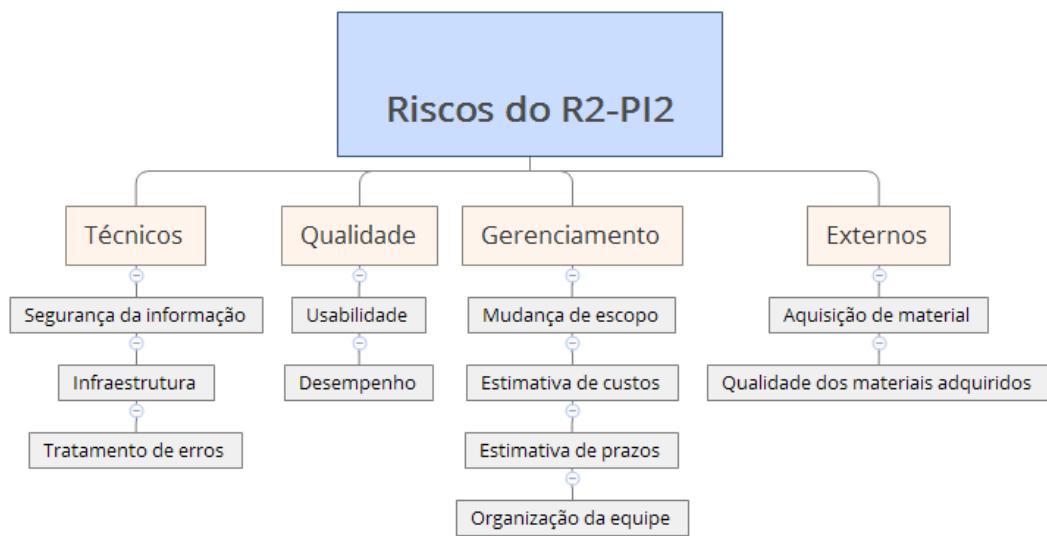


Figura 63 – Estrutura analítica de riscos.

Os principais tipos de riscos identificados no projeto são:

- **Técnicos:**

Riscos relacionados às tecnologias do sistema.

- **Qualidade:**

Riscos relacionados à qualidade final do sistema.

- **Externos:**

Riscos externos à equipe de desenvolvimento.

- **Gerenciamento de Projetos:**

Riscos relacionados às questões de gerência do projeto e organização interna.

## 4.6 Identificação dos Riscos

Foi utilizada a técnica de *Brainstorming* e reuniões em equipe para a identificação dos riscos do projeto, de modo que todas as áreas fossem analisadas e que os riscos principais do projeto fossem identificados a fim de dar uma nota para os aspectos “probabilidade” e “impacto” para avaliar a necessidade de um plano de resposta. A tabela abaixo mostra os riscos identificados e as suas atribuições de nota.

Por motivos de espaço, a tabela dos riscos identificados foi quebrada em 3 (três) imagens, apresentadas em [64](#), [65](#) e [66](#).

Tipo	ID	Causa	Risco	Efeito	Probabilidade	Impacto
Técnico	1	Falta de experiência com as tecnologias	Pouco domínio das tecnologias	Atrasos ou falta de entregas	Alta	Muito alto
Técnicos	2	Requisitos mal definidos	Software não atende as necessidades reais	Produto inútil	Baixa	Muito Alto
Técnicos	3	Sensoriamento de obstáculos não funciona	Aspirador irá se chocar com obstáculos	O produto poderá ser danificado, assim como móveis ou paredes	Média	Alto
Técnicos	4	Monitoramento da bateria não funciona	O aspirador não irá terminar de realizar a limpeza	A limpeza não será realizada e o aspirador não voltará para a base	Média	Alto
Técnicos	5	Ponte H não funciona	O aspirador não irá se mover	A limpeza não será realizada	Baixa	Alto
Técnicos	6	Algum sistema não é projetado	Projeto não irá atender todos os requisitos	Retrabalho ou aumento do custo	Alta	Alto
Técnicos	7	Corrente das rodas deslize no chão	O movimento do aspirador é prejudicado	Erros no controle autônomo do robô	Alto	Alto
Técnicos	8	Faltar torque por parte dos motores	O aspirador não irá andar	A limpeza não será realizada	Média	Muito alto
Técnicos	9	Dificuldade da construção da estrutura do aspirador circular	Dificuldade de juntar os componentes da plataforma e a própria construção da base	O projeto do aspirador será modificado para base retangular	Baixa	Baixo

Figura 64 – Riscos identificados 1.

Técnicos	10	Falta de espaço para a alocação de todos os subsistemas	Erros no momento do projeto	Será necessário aumentar a altura total do robô.	Baixa	Médio
Técnicos	11	Vazão de ar sugado pelo aspirador não seja suficiente	O sistema não será capaz de sugar as partículas de pó e sujeira	Falha em cumprir o requisito solicitado	Alta	Alto
Técnicos	12	Tempo de resposta da raspberry-arduino não seja suficiente	O aspirador não será capaz de se comunicar com a base	Quando a limpeza for concluída o aspirador não voltará para a base	Alta	Muito Alto
Técnicos	13	Dimensionamento errado das baterias	Queima do controlador e dos componentes do sistema de controle	Nenhum sistema do aspirador irá funcionar	Média	Muito Alto
Externos	14	Integrante Desiste da disciplina	A equipe ficará incompleta	Aumento do tempo de projeto	Média	Alto
Externos	15	Dificuldade na obtenção de componentes	Falta de materiais que precisam ser adquiridos	Atraso nas entregas do projeto, dificuldade de organização	Muito Baixa	Baixo
Externos	16	Material entregue com atraso	Falta de componentes para produção	Aumento do tempo e do custo de projeto	Alta	Muito Alto
Gerenciamento	17	Má definição de escopo	Mudanças excessivas de escopo	Atraso das entregas do produto	Baixa	Médio
Gerenciamento	18	Falta de experiência dos gerentes	Estimativas de prazo erradas	Atraso das entregas do produto	Média	Alto
Gerenciamento	19	Problemas entre membros de equipe	Mudanças na equipe	Retrabalho	Baixa	Alto
Gerenciamento	20	Incompatibilidade de horários	Atrasos e má comunicação entre equipe	Retrabalho	Alta	Alto

Figura 65 – Riscos identificados 2.

Gerenciamento	21	Planejamento inadequado do custo	Falta de dinheiro para compra de equipamentos	Prejuízo para a equipe	Alta	Alto
Gerenciamento	22	Atraso no cronograma	Reestruturação de prazos	Aumento do tempo de projeto	Alta	Alto
Gerenciamento	23	Falta de dinheiro para compra de materiais	Dificuldade na obtenção de componentes	Inviabilidade de produção	Baixa	Muito Alto
Gerenciamento	24	Mudanças no escopo	Alterações no projeto	Aumento do tempo de projeto	Alta	Alto
Qualidade	25	Material de produção é avariado	Sistema não funciona como deveria	necessidade de adquirir novo material	Media	Alto
Qualidade	26	Baixa qualidade de algum sistema	Sistema não funciona como deveria	Dificuldade de integração no projeto	Baixa	Baixo

Figura 66 – Riscos identificados 3.

## 4.7 Análise Qualitativa dos Riscos

Para realizar a priorização dos riscos, é necessário uma análise qualitativa dos riscos, avaliando a probabilidade de ocorrência e o impacto de cada risco que será descrito. A tabela a seguir mostra o resultado dessa análise.

ID do risco	Probabilidade	Impacto	Nota Final	Prioridade
1	Alta	Muito Alto	20	Risco Crítico
2	Baixa	Muito Alto	10	Risco de Alerta
3	Média	Alto	12	Risco de Alerta
4	Média	Alto	12	Risco de Alerta
5	Baixa	Alto	8	Risco de Alerta
6	Alta	Alto	16	Risco Crítico
7	Alta	Alto	16	Risco Crítico
8	Média	Muito Alto	15	Risco Crítico
9	Baixa	Baixo	4	Risco aceitável
10	Baixa	Médio	6	Risco de Alerta
11	Alta	Alto	16	Risco Crítico
12	Alta	Muito Alto	20	Risco Crítico
13	Média	Muito Alto	15	Risco Crítico
14	Média	Alto	12	Risco de Alerta
15	Muito Baixa	Baixo	2	Risco aceitável
16	Alta	Muito Alto	20	Risco Crítico
17	Baixa	Médio	6	Risco de Alerta
18	Média	Alto	12	Risco de Alerta
19	Baixa	Alto	8	Risco de Alerta
20	Alta	Alto	16	Risco Crítico
21	Alta	Alto	16	Risco Crítico
22	Alta	Alto	16	Risco Crítico
23	Baixa	Muito Alto	10	Risco de Alerta
24	Alta	Alto	16	Risco Crítico
25	Média	Alto	12	Risco de Alerta
26	Baixa	Baixo	4	Risco aceitável

Figura 67 – Qualificação dos riscos.

## 4.8 Controle e mudança de riscos

Com relação ao controle de riscos, para o projeto do R2-PI2, foram decididas as seguintes ações:

- Os riscos serão controlados nas reuniões semanais
- Caso um novo risco seja identificado ou mesmo ocorrido, os gerentes devem reavaliar o risco qualitativamente e se ele atingir uma pontuação de 0,3 ou mais na matriz de impacto x probabilidade, deve-se planejar uma resposta para ele.
- Caso o item anterior ocorra, este plano de riscos deve ser atualizado.

## 4.9 Plano de Resposta aos Riscos

Para os riscos da zona amarela ( cuja estratégia não será aceitação) e os da zona vermelha, foram identificadas as seguintes ações de resposta:

Tabela 19 – Resposta aos riscos.

Risco	Ação	Estratégia	Responsável
Pouco domínio das tecnologias	Treinamento com membros mais experientes	Mitigar	Desenvolvedores
Algum sistema não é projetado	Alocar outros integrantes para realização da tarefa	Mitigar	Desenvolvedores
Corrente das rodas deslize no chão	Será dimensionado uma esteira embrorrachada para aumentar o atrito com o solo	Mitigar	Desenvolvedores
Faltar torque por parte dos motores	Aumentar a tensão de funcionamento do motor ou a substituição do mesmo	Mitigar	Desenvolvedores
Vazão de ar sugado pelo aspirador não seja suficiente	Aumentar a tensão sobre os motores elétricos do cooler ou aumentar o número de coolers em paralelo, até que o problema seja solucionado.	Mitigar	Desenvolvedores
Tempo de resposta da raspberry-arduino não seja suficiente	Utilizar de tecnologias mais velozes, ou com processamento local.	Mitigar	Desenvolvedores
Dimensionamento errado das baterias	Olhar especificações técnicas de todos os componentes ou trocar a bateria.	Mitigar	Externos
Material entregue com atraso	Antecipar o pedido dos materiais.	Mitigar	Desenvolvedores
Má definição de escopo	Redefinir escopo o mais rápido possível.	Mitigar	Gerentes e desenvolvedores
Incompatibilidade de horários	Reuniões via Google Hangout semanais em um horário onde todos podem.	Mitigar	Gerentes
Planejamento inadequado do custo	Realizar novo planejamento.	Mitigar	Gerentes
Atraso no cronograma	Aumentar o esforço do tempo de projeto restante.	Mitigar	Gerentes e desenvolvedores
Falta de dinheiro para compra de materiais	Buscar novas fontes de recurso.	Mitigar	Desenvolvedores

# 5 Planejamento Financeiro

O planejamento financeiro do projeto leva em consideração o custo de aquisição dos materiais necessários para desenvolvimento da solução proposta, assim como a estratégia de recolhimento do orçamento necessário. Como a solução proposta está dividida em subsistemas, utilizou-se da mesma lógica para determinar o custo dos materiais. O subsistema referente a solução de software não possui custo, já que não será necessária a aquisição de nenhum componente.

Na tabela 20 estão dispostos os componentes, o preço dos mesmos, a quantidade necessária e o preço total.

Tabela 20 – Custos eletrônica.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Total</b>
Emissor IR	8	R\$ 0,61	R\$ 4,88
Receptor IR	5	R\$ 0,48	R\$ 2,40
CD 4051	1	R\$ 1,30	R\$ 1,30
AMP OP (LM3324)	3	R\$ 0,61	R\$ 1,83
Arduíno Mega	1	R\$ 137,50	R\$ 137,50
Raspberry PI 2B	1	R\$ 299,90	R\$ 299,90
Módulo Wifi	1	R\$ 23,00	R\$ 23,00
Ponte H 298N	1	R\$ 21,90	R\$ 21,90
Módulo encoder	2	R\$ 6,44	R\$ 12,88
Resistores, Leds e outros	-	-	R\$ 10,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 515,59</b>

Em relação a solução da estrutura, duas soluções possíveis estão em estudo, os componentes da primeira solução podem ser observados a partir da tabela 21.

Tabela 21 – Estrutura chassi - solução 1

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Motores	2	R\$ 37,00	R\$ 74,00
Roldanas pequenas	2	R\$ 2,50	R\$ 5,00
Roldanas grandes	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
Corrente de bicicleta	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Parafusos	-	-	R\$ 20,00
Multifixadores	-	-	R\$ 5,00
<b>TOTAL</b>			R\$ 130,00

já em relação a segunda solução, temos a tabela 22.

Tabela 22 – Estrutura chassi - solução 2

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Kit motor redução	2	R\$ 24,90	R\$ 49,80
Roda esférica	1	R\$ 17,95	R\$ 17,95
Chapa de alumínio	1	R\$ 24,90	R\$ 24,90
Chapa de PVC	1	R\$ 17,00	R\$ 17,00
Chapa de acrílico	1	R\$ 54,90	R\$ 54,90
<b>TOTAL</b>			R\$ 164,55

Em relação aos componentes da base, 23.

Tabela 23 – Custos base.

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Cooler	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
Chapa de poliestireno cristal	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Cola para acrílico	1	R\$ 26,00	R\$ 26,00
Mangueira	-	-	R\$ 52,00
Vasilha de plástico	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Anéis de vedação	4	R\$ 8,00	R\$ 32,00
Espuma para filtro	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
<b>TOTAL</b>			R\$ 190

Em relação a alimentação do sistema, pode-se observar a tabela 24.

Tabela 24 – Custos da alimentação do sistema

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Bateria	1	200-500	200-500
<b>TOTAL</b>	Entre 200 e 500 R\$ a depender da bateria escolhida		

O valor total estimado para a produção do robô utilizando a solução de chassi 1 e a estimativa mais cara de bateria, que seria em torno de 500 R\$, seria de 1325,59 R\$. Caso seja escolhida a solução de chassi 2, e a bateria mais cara, o preço do projeto passa a ser 1360,14 R\$.

O dinheiro para a compra dos materiais utilizados durante o processo de fabricação será dividido de forma igualitária entre todos os integrantes do grupo.

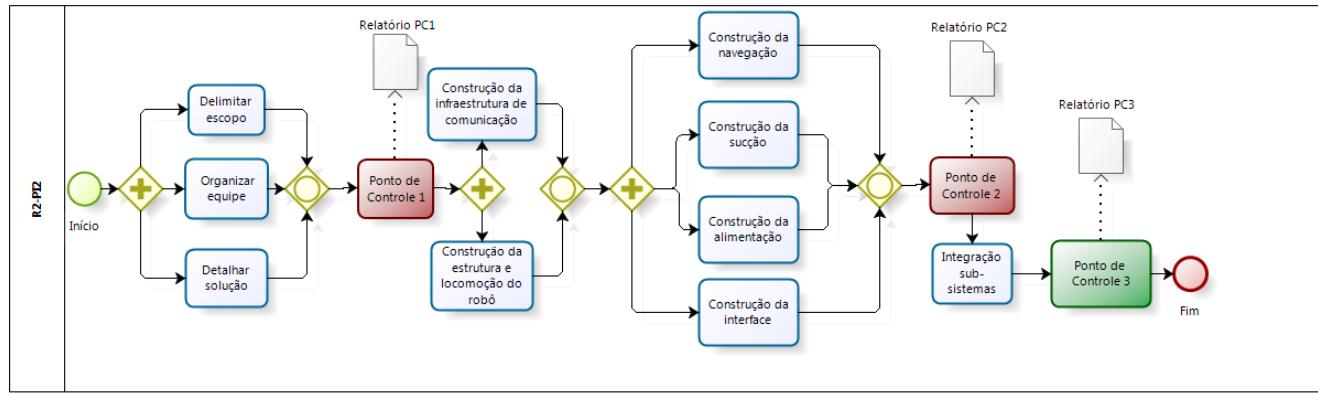
Contudo, integrantes da equipe já possuem diversos componentes necessários para a produção, como rodas, motores, caixas de redução, arduino e raspberry, o que acaba reduzindo bastante o orçamento.

# 6 Metodologia

## 6.1 Metodologia

O processo metodológico escolhido para desenvolvimento do R2-PI2 é baseado em uma metodologia ágil, mais especificamente, no *Scrum*. Dessa forma, o processo como um todo será dividido *releases*, contemplando *sprints* de 2 semanas, em média. Antes de definirmos o processo de maneira específica, é necessário apresentar uma visão alto nível do projeto inteiro, destacando os pontos de controle e deixando claras as atividades críticas para o sucesso do projeto.

Com este objetivo, o processo apresentado na Figura 68 foi modelado, utilizando a ferramenta *Bizagi Modeler*<sup>1</sup>.



Powered by  
**bizagi**  
Modeler

Figura 68 – Processo geral de desenvolvimento da solução.

As atividades presentes no processo estão descritas abaixo.

- **Delimitar escopo:**

Etapa de levantamento dos requisitos, onde é definido tudo que está dentro do projeto, que será implementado, e tudo que está fora, ou seja, que não será implementado.

- **Organizar equipe:**

<sup>1</sup> <http://www.bizagi.com/pt/>

Etapa que busca definir uma política de comunicação da equipe, discute e define com todos os integrantes a metodologia e a rotina de trabalho que serão seguidas e define papéis e/ou responsabilidades.

- **Detalhar solução:**

Etapa onde são divididos subsistemas que integrados solucionarão o problema inicial. Cada equipe responsável por determinado subsistema deverá identificar soluções viáveis, apresentar a solução mais adequada e detalhar a mesma. Com a união do detalhamento de todos os subsistemas, obtém-se o detalhamento geral do sistema.

- **Ponto de Controle 1:**

Primeiro ponto de controle do projeto, etapa onde é entregue o relatório 1, contemplando toda a organização da equipe e da metodologia de trabalho, o escopo bem definido, a solução planejada (de forma detalhada) e o plano de riscos do projeto.

- **Construção da infraestrutura de comunicação:**

Esta etapa envolve uma das duas atividades consideradas críticas durante este projeto. Esta característica se dá pois o seu resultado sustentará o desenvolvimento das soluções seguintes, assim como a próxima etapa a ser apresentada. Nesta etapa será implementada a rede de comunicação entre a *raspberry* e o *arduino*, possibilitando o envio e recebimento de informações de ambos os lados.

- **Construção da estrutura e locomoção do robô:**

Durante esta etapa, que também é uma etapa crítica do projeto, está envolvida a construção da estrutura do robô, ou seja, a estrutura que sustentará todos os equipamentos presentes no robô, e o sistema de locomoção do mesmo. Possuindo o sistema de locomoção e a estrutura prontos, o robô já será capaz de responder a sinais vindos da *raspberry*, de acordo com a etapa anterior.

- **Construção da navegação:**

Esta etapa se refere à construção do algoritmo de navegação utilizado na solução, ou seja, se preocupa com o controle do robô em relação a sua trajetória de locomoção pelo cômodo.

- **Construção da sucção:**

Esta etapa envolve a construção de todo o sistema de sucção, possibilitando a limpeza do cômodo.

- **Construção da alimentação:**

Esta etapa envolve a implementação de toda a solução referente à alimentação energética do sistema, tanto em relação à bateria quanto à recarga da mesma.

- **Construção da interface:**

Esta etapa se preocupa com a interação Humano-Computador envolvida nesta solução. como resultado desta atividade, espera-se uma interface amigável e de fácil aprendizado, seja no modo site ou físico.

- **Ponto de Controle 2:**

Segundo ponto de controle do projeto, referente a entrega dos subsistemas prontos, funcionando separadamente. Envolve a entrega do relatório 2, constando todo o processo de desenvolvimento e a solução utilizada até o momento.

- **Integração subsistemas:**

Esta etapa tem como objetivo integrar todos os subsistemas já construídos, gerando a solução com funcionamento geral.

- **Ponto de Controle 3:**

Entrega final do projeto, apresentação da solução final.

O processo apresentado acima contempla todo o caminho a ser percorrido durante o projeto R2-PI2, porém é necessário também especificar o processo metodológico utilizado pela equipe, o qual será baseado no *Scrum* e é apresentado na Figura

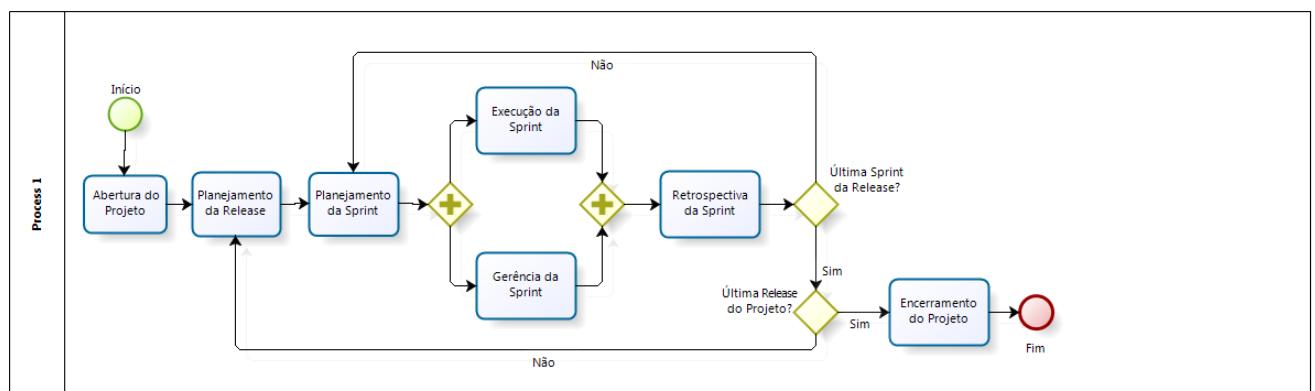


Figura 69 – Processo metodológico de desenvolvimento da solução.

As atividades presentes no processo estão descritas abaixo.

- **Abertura do projeto:**

Etapa inicial do projeto, onde são definidos o escopo do projeto, a equipe de desenvolvimento, a quantidade de releases, a divisão dos entregáveis de cada release e os rituais do scrum a serem seguidos.

- **Planejamento da Release:**

Etapa onde são definidos quais são as tarefas a serem realizadas durante a release, incluindo tarefas que cumpram o objetivo da release e eventuais dívidas técnicas.

- **Planejamento de Sprint:**

Etapa onde são definidas e distribuídas as tarefas da sprint para os desenvolvedores de acordo com suas capacidades e potenciais.

- **Execução da Sprint:**

Etapa que dura 2 semanas, onde são desenvolvidas as tarefas definidas no planejamento da sprint.

- **Gerência da Sprint:**

Paralelo à execução da sprint, a gerência da sprint é a etapa onde o scrum master ajuda os desenvolvedores a realizar suas tarefas e a garantir que as atividades processuais sejam feitas corretamente.

- **Retrospectiva da Sprint:**

Etapa onde os desenvolvedores expõem para o resto da equipe os fatores positivos e negativos e pontos de melhoria para que as próximas sprints não cometam os mesmos erros e sigam com as coisas boas.

- **Encerramento do Projeto:**

Nesta etapa, é realizada a formalização da entrega do produto final.

### 6.1.1 Cronograma

O cronograma do projeto foi desenvolvido com a utilização da ferramenta *Gantter*, que pode ser acessado via [Google Drive](#), e está visível na Figura 70.

		Nome	Duração	Ínicio	Fim
1		☐ Release 1	13d?	08/17/2016	09/02/2016
2		Definição do Escopo do Projeto	1d?	08/17/2016	08/17/2016
3		Formulação do Problema	1d?	08/17/2016	08/17/2016
4		Definição de Metodologia de Trabalho	1d?	08/17/2016	08/17/2016
5		Construção da EAP	1d?	08/18/2016	08/18/2016
6		Organização da equipe	1d?	08/18/2016	08/18/2016
7		Definição da política de comunicação da equipe	1d?	08/18/2016	08/18/2016
8		Especificação de requisitos	1d?	08/18/2016	08/18/2016
9		Definição de solução detalhada de Instrumentação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
10		Definição de solução detalhada de Estrutura	5d?	08/19/2016	08/25/2016
11		Definição de solução detalhada de Comunicação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
12		Definição de solução detalhada de Navegação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
13		Definição de solução detalhada de Sucção	5d?	08/19/2016	08/25/2016
14		Definição de solução detalhada de Alimentação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
15		Definição de solução detalhada de Interface	5d?	08/19/2016	08/25/2016
16		Definição de solução detalhada de Locomoção	5d?	08/19/2016	08/25/2016
17		Levantamento de Riscos	2d?	08/26/2016	08/29/2016
18		Elaboração Relatório 1	2d?	08/30/2016	08/31/2016
19		Elaboração Apresentação Ponto de Controle 1	2d?	09/01/2016	09/02/2016
20		☐ Release 2	31d?	09/05/2016	10/17/2016
21		Construção da Instrumentação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
22		Construção da Comunicação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
23		Construção da Estrutura	30d?	09/05/2016	10/14/2016
24		Construção da Navegação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
25		Construção da Sucção	30d?	09/05/2016	10/14/2016
26		Construção da Alimentação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
27		Construção da Interface	30d?	09/05/2016	10/14/2016
28		Construção da Locomoção	30d?	09/05/2016	10/14/2016
29		Elaboração Relatório 2	1d?	10/17/2016	10/17/2016
30		Elaboração Apresentação Ponto de Controle 2	1d?	10/17/2016	10/17/2016
31		☐ Release 3	34d?	10/18/2016	12/02/2016
32		Integração dos subsistemas	33d?	10/18/2016	12/01/2016
33		Elaboração do Relatório 3	1d?	12/02/2016	12/02/2016
34		Elaboração Apresentação Ponto de Controle 3	1d?	12/02/2016	12/02/2016

Figura 70 – Cronograma do projeto

## Referências

- ABRANTES, T. M. Robos de limpeza doméstico e performance de cobertura de modelagem de limpeza de alguns robôs domésticos em cenários reduzidos. *Universidade da Beira Interior, Portugal*, 2015. Disponível em: <<http://docsslide.com.br/technology/trabalho-de-robotica.html>>. Citado na página 21.
- AHMEDI, A. *Eletrônica de potência*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado na página 38.
- FREAKS, E. Ultrasonic ranging module hc - sr04. Disponível em: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>. Citado na página 30.
- KUMKAR, V. et al. Vulnerabilities of wireless security protocols (wep and wpa2). 2003. Disponível em: <<http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-1-ISSUE-2-34-38.pdf>>. Citado na página 40.
- LAYTON, J. Como funciona o aspirador-robô. 2015. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/aspirador-robo.htm>>. Citado na página 28.
- LEE, N. Y. C. G. *Low-cost dual rotating infrared sensor for mobile robot swarm applications*. *Industrial Informatics*. [S.l.]: IEEE Transactions on, v. 7, 2007. Citado na página 31.
- MELLO, C. A. *SISTEMA DE CONTROLE I*. [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~cabm/servo/Aula00.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 36.
- RAILS. Rails. Disponível em: <<http://rubyonrails.org/>>. Citado na página 69.
- RAMOS, A. Mvc – afinal, é o quê ? Disponível em: <<http://tableless.com.br/mvc-afinal-e-o-que/>>. Citado na página 69.
- TECHTUDO. *Os principais robôs com função aspirador de pó do Brasil*. 2016. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2015/12/lista-traz-os-principais-robos-com-funcao-aspirador-de-po-do-brasil.html>>. Citado na página 11.
- VISHAY. Reflective optical sensor with transistor output. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/83760/tcr5000.pdf>>. Citado na página 32.