



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS

HILDO SOARES DE MORAIS JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLACA DE ACIONAMENTO
PARA APLICAÇÃO EM ROBÔS DA CATEGORIA IEEE *VERY SMALL*
SIZE ATRAVÉS DE *BLUETOOTH***

CARAÚBAS – RN

2018

HILDO SOARES DE MORAIS JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLACA DE ACIONAMENTO
PARA APLICAÇÃO EM ROBÔS DA CATEGORIA IEEE *VERY SMALL
SIZE ATRAVÉS DE BLUETOOTH***

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de Bacharelado em
Ciências e Tecnologia da Universidade Federal
Rural do Semiárido, como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Bacharel.

Orientadora:

Profa. Dra. Tânia Luna Laura

CARAÚBAS - RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S676d Soares de Moraes Júnior, Hildo .
DESENVOLVIMENTO DE UMA PLACA DE ACIONAMENTO
PARA APLICAÇÃO EM ROBÔ DA CATEGORIA IEEE VERY
SMALL SIZE ATRAVÉS DE BLUETOOTH / Hildo Soares de
Moraes Júnior. - 2018.
47 f. : il.

Orientadora: Tânia Luna Laura.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Robótica. 2. Futebol de robô. 3. Eletrônica.
4. Comunicação bluetooth. I. Luna Laura, Tânia,
orient. II. Título.

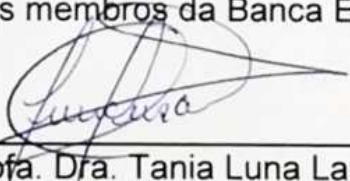
HILDO SOARES DE MORAIS JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLACA DE ACIONAMENTO
PARA APLICAÇÃO EM ROBÔS DA CATEGORIA IEEE *VERY SMALL*
*SIZE ATRAVÉS DE BLUETOOTH***

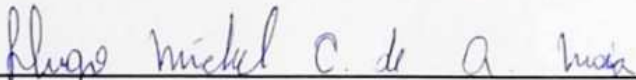
Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Bacharelado em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Hildo Soares de Moraes Júnior
Hildo Soares de Moraes Júnior

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



Prof. Dra. Tania Luna Laura
Presidente



Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia – Membro



Prof. Dr. Francisco das Chagas Barbosa de Sena – Membro

Dedico,

Aos meus pais, às minhas irmãs e à
toda minha família.

Aos meus amigos e amigas e à
Larissa Paiva.

E a todos que me incentivaram.

“Na vida, não existe nada a temer, mas entender ”.
Marie Curie

AGRADECIMENTOS

Agradeço, Primeiramente, aos meus pais e irmãs pela força e pelo apoio nos momentos difíceis. Aos meus primos e parentes que me motivaram.

Aos meus amigos e primos: Ramonn, Maverick, Gleidson, Luiz Felipe, Kayo, Mara, Igor, Bárbara, Beatriz, Caio, Roque, Mathews e Ayrton.

A Marcos e Kaline pela ajuda na formatação e correções.

A Wisla por ter dado Ctrl B no meu trabalho antes que o computador descarregasse e por me ajudar, juntamente com Gleidson, nas disciplinas.

A minha namorada Larissa Paiva por me apoiar e tornar mais fácil e menos estressante meu processo de estudo.

A Naga, Eevee e Maggie por me fazerem sentir bem.

RESUMO

A *Very Small Size* é uma das principais categorias de futebol de robô existente. Dentro desta categoria há várias limitações quanto as dimensões dos circuitos eletrônicos. Desta forma, este trabalho visa a construção de um circuito eletrônico controlado por *bluetooth* que possa ser embarcado na arquitetura do robô. Visto que devem ser feitos testes de recepção de dados via *bluetooth* em cada robô, este projeto disponibiliza, também, um meio de testar a comunicação em cada robô através de um aplicativo. Foram realizados experimentos para medir a resposta aos comandos realizados a partir do aplicativo, observando a saída nos terminais de cada motor. Os resultados mostram os sinais obtidos para cada comando de referência de posição do robô, bem como os valores de tensão RMS recebida pelos motores.

Palavras-chave: Robótica, Futebol de robô, Eletrônica, Comunicação *Bluetooth*

ABSTRACT

The Very Small Size is one of the major categories of existing robot soccer. Within this category there are several limitations as to the dimensions of electronic circuits. In this way, this work aims at the construction of an electronic circuit controlled by bluetooth that can be embedded in the architecture of the robot. Since bluetooth data reception tests must be done on each robot, this project also provides a means to test the communication in each robot through an application. Experiments were performed to measure the response to commands made from the application, observing the output at the terminals of each motor. The results show the signals obtained for each position reference command of the robot, as well as the RMS voltage values received by the motors.

Key-words: *Robotics, Robots Soccer, Eletronics, Bluetooth communication*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Robôs da categoria humanoid.	18
Figura 2 - Robôs da categoria middle size.....	18
Figura 3 - Robôs da categoria small size.	19
Figura 4 - Robôs da categoria humanoid.	19
Figura 5 - Robôs da categoria Simulation.	20
Figura 6 - Corpo do robô da categoria very small size do projeto de futebol de robô da ufersa.	21
Figura 7 - Dimensões do campo.	22
Figura 8 - ilustração do sistema de comunicação.	22
Figura 9 - Sistema simplificado do processo de comando.	24
Figura 10 - ilustração da divisão da parte mecânica e de comunicação	24
Figura 11 - Módulo <i>bluetooth</i> HC - 05.	25
Figura 12 - Modo de ligação do HC – 05.	26
Figura 13 - Processo de conversão <i>bluetooth</i> para TTL.	26
Figura 14 - Fluxograma simplificado de comando "frente" e "trás".	27
Figura 15 - Fluxograma simplificado de comando "esquerda" e "direta"	28
Figura 16 - Esquema elétrico simplificado de uma ponte H.....	29
Figura 17 - Sentido da corrente devido a ponte H.	29
Figura 18 Sentido inverso da corrente devido a ponte H.....	30
Figura 19 - Ponte H simplificada.....	30
Figura 20 - Ponte H L293D.	31
Figura 21 - Motor cc com caixa de redução 75:1	32
Figura 22 - Esquema de funcionamento do regulador de tensão 7805.	33
Figura 23 - Esquema elétrico para filtragem de ruídos.....	34
Figura 24 - Esquema de ligação da ponte H L293D.....	34
Figura 25 - Esquema de ligação do módulo <i>bluetooth</i> HC – 05.....	35
Figura 26 - Circuito de proteção.	35
Figura 27 - ilustração do funcionamento do circuito de proteção.	36
Figura 28 - Tempo de recuperação de um diodo.	37
Figura 29 - Diagrama elétrico completo.	37
Figura 30 – Sinal do comando de seguir em frente.	38

Figura 31 - Sinal do comando de mover para trás	38
Figura 32 - Sinal do comando de mover para a esquerda.....	39
Figura 33 - Sinal do comando de mover para a direita.....	39
Figura 34 - Circuito montado na placa.	40
Figura 35 - Comando para frente.....	40
Figura 36 - Comando para trás.	41
Figura 37 - Comando para a esquerda.	41
Figura 38 - Comando para a direita.	41
Figura 39 - Tensão RMS e frequência do Sinal.....	42

SIGLAS E SIMBOLOS

SIGLA	SIGNIFICADO
CI	<i>Integrated Circuit</i>
IEEE	<i>Institute of Eletrical and Eletronics Engineers</i>
TTL	<i>Transistor-transistor logic</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RMS	<i>Root mean square</i>
SIMBOLOS	DESCRIÇÃO
I	Corrente elétrica

Sumário

LISTA DE FIGURAS	20
SIGLAS E SIMBOLOS	22
Sumário	23
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO.....	17
2.2 CATEGORIAS DE FUTEBOL DE ROBÔ	17
2.2.1 Categoria <i>humanoid</i>	17
2.2.2 Categoria <i>middle size</i>	18
2.2.3 Categoria <i>small size</i> (f180).....	18
2.2.4 Categoria <i>plataform</i>	19
2.2.5 Categoria <i>simulation</i>	20
2.2.6 IEEE <i>very small size</i>	20
2.2.6.1 Aspectos físicos do robô.....	20
2.2.6.2 Aspectos físicos do campo	21
2.2.6.3 SISTEMA DE VISÃO	22
3 DESCRIÇÃO DO PROJETO E MATERIAIS UTILIZADOS	24
3.1 Diagrama em Blocos.....	24
3.2 COMPONENTES DO ROBÔ	25
3.2.1 Módulo <i>bluetooth</i>	25
3.2.2 Arduíno	26
3.2.3 Ponte H	28
3.2.4 Motor	31
3.3 Diagrama elétrico.....	32
3.3.1 Circuito regulador.....	33

3.3.2	Circuito de Filtragem.....	33
3.3.3	Circuito de Comando.....	34
3.3.4	Circuito de proteção.....	35
4	RESULTADOS	38
5	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44
	APÊNDICE 1.....	46

1 INTRODUÇÃO

Competições em robótica vêm sendo realizadas no Brasil há mais de uma década. De início, os robôs competidores eram controlados remotamente e atendiam aos comandos dados pelo projetista através à distância. Um exemplo bastante divulgado desta categoria era, e ainda é, a “guerra de robôs”, na qual o objetivo do campeonato é incapacitar o robô oponente. Com o avanço da tecnologia foram surgindo novas categorias, as quais os robôs competidores não dependiam mais do comando do ser humano. Atualmente, na maioria das categorias de competições de robótica, os robôs são capazes de tomar suas próprias decisões, isto se deve à inteligência incorporada neles por meio de programas computacionais, as quais são conhecidas como inteligências artificiais. São exemplos de competições desta modalidade: Lutas, corridas e futebol de robôs.

O primeiro pesquisador a propor competições de futebol de robôs foi Alan Mackworth da universidade British Columbia no seu artigo *On Seeing Robots*. Porém, em 1992, em Tóquio, pesquisadores japoneses já discutiam em um *workshop* sobre usar futebol de robôs para a promoção da tecnologia como modo de atrair novos públicos para a área de robótica como também incentivar a educação. A primeira competição aconteceu em 1993 e foi chamada de *J-league*. A competição teve grande aceitação no meio acadêmico e se expandiu para diversos lugares fora do Japão.

Como todo tipo de competição tem regras, nas competições de robôs não poderiam ser diferente. Em cada categoria existem regras e regulamentos: Por exemplo; material, tipo de locomoção, altura, peso, largura etc. Na categoria *Very Small Size* (VSS) de futebol de robôs, os robôs jogadores devem ter estrutura cúbica, com 7,5 centímetros de altura, largura e comprimento. Cinco jogadores fazem parte de um time, dois atacantes, dois defensores e um goleiro.

Na construção de um robô exige-se conhecimento de diversas áreas: Eletrônica digital e analógica, telecomunicações, automação, programação, mecânica e eletromecânica. Reunindo esses conhecimentos, é possível desenvolver um robô de forma que o mesmo funcione de acordo com o esperado. Vale ressaltar, que a categoria VSS impõe restrições quanto as dimensões. Tais regras são, dimensões reduzidas, tipo de comunicação e alimentação.

Uma vez finalizado, o projeto mecânico e a eletrônica embarcada do robô jogador, precisa-se testar seu funcionamento. Para isto, é necessário fazer um teste

manual com referências de localização (posição e orientação). O que pode ser realizado através do envio de dados de localização via *bluetooth*.

1.1 OBJETIVOS

Ao final do trabalho, o robô deve ser capaz de responder aos comandos de posicionamento enviados através de um dispositivo *bluetooth* e se movimentar de acordo com o comando dado pelo projetista, em concordância com as regras do futebol de robô.

Os objetivos específicos foram:

- a) Montagem mecânica do robô;
- b) Embarcar o circuito eletrônico no robô;
- c) Elaboração do algoritmo de comunicação para envio de referências de posicionamento do robô via *bluetooth*.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado como apresentado abaixo:

No capítulo 2, tem-se uma revisão bibliográfica a respeito do futebol de robô da categoria IEEE *Very Small Size* (VSS), contexto histórico, modalidades, regras e competição *RoboCup*.

No capítulo 3 é apresentado a descrição, os materiais utilizados e o fluxograma de teste de comunicação do robô desenvolvido.

O capítulo 4 reúne os resultados experimentais dos testes de comando através do *bluetooth*.

Em seguida, no capítulo 5, descreve-se a conclusão do trabalho e propõe-se para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentado alguns aspectos teóricos a respeito do futebol de robô, um pouco do contexto histórico, modalidades, regras e uma breve abordagem sobre a competição de robô, *RoboCup*.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

No ano de 1992, o professor Alan Mack idealizou um torneio de futebol de robô. Em paralelo a isto, no Japão, acontecia um *workshop* onde discutia-se os desafios para a inteligência artificial. O torneio de futebol de robô tornou-se um meio para a aplicação de tal tecnologia, a partir dos conhecimentos de automação proveniente desta época.

Em 1993 Foi realizada a primeira competição de futebol de robô onde houve o surgimento da *Robocup*, confederação de futebol de robô. A primeira competição oficial organizada pela *Robocup* com jogos e conferências foi realizada no ano de 1997 com grande sucesso, mais de 40 equipes participaram, contando com a presença de 5000 expectadores (HENRIQUE, 2012).

2.2 CATEGORIAS DE FUTEBOL DE ROBÔ

Existem diversos tipos de categoria de futebol de robô, devido à isto, neste capítulo será mostrado alguns exemplos de modalidade.

2.2.1 Categoria *humanoid*

A categoria *humanoid*, possui até dois robôs bípedes para cada time, e visa a pesquisa em áreas como: visão computacional, auto localização, comunicação, entre outras. Esses robôs tem o corpo semelhante de um corpo humano tanto nas características físicas como sensoriais (HENRIQUE, 2012).

Figura 1- Robôs da categoria *humanoid*.



Fonte: Polani, 2018.

A Figura 1 mostra os robôs da categoria *humanoid* em uma competição da *robocup*.

2.2.2 Categoria middle size

Na categoria *middle size*, cada time pode ter 4 robôs com até 75 cm de altura e 50 cm de diâmetro, onde todos os sensores são do tipo *on-board* e visa a pesquisa em áreas como: auto localização, visão computacional, integração de sensores, percepção distribuída e controle de movimentos do robô (HENRIQUE, 2012).

Figura 2 - Robôs da categoria *middle size*.



Fonte: Polani, 2018.

A Figura 2 exibe os robôs da categoria *middle size* durante uma partida organizada pela *robocup*.

2.2.3 Categoria small size (f180)

A categoria *small size (F180)*, contém times com até 5 jogadores, cujas alturas podem variar entre 15 cm e 18 cm. de diâmetro. E as áreas de pesquisa existentes

são as mesmas presentes na categoria *middle size*, diferenciando apenas no tamanho dos robôs. O foco é dado no problema de inteligência cooperativa multi-robôs/agentes e controle em um ambiente altamente dinâmico (HENRIQUE, 2012).

Figura 3 - Robôs da categoria *small size*.



Fonte: Polani, 2018.

A Figura 3 mostra os robôs da categoria *small size* competindo de forma autônoma.

2.2.4 Categoria *plataform*

Quanto ao standard *platform*, contém robôs idênticos em cada equipe diferindo apenas no software desenvolvido por cada equipe, sendo os robôs totalmente autônomos. A plataforma usada atualmente são os humanoides desenvolvidos pela empresa francesa *Aldebran Robotics* (ALDEBRAN, 2011)

Figura 4 - Robôs da categoria humanoid.



Fonte: Polani, 2018.

Na Figura 4, está sendo exibido os robôs da categoria *plataform*.

2.2.5 Categoria simulation

A categoria *simulation*, é dividida em duas subcategorias, a saber: duas e três dimensões. Na simulação enfoca-se na parte de implementação das técnicas de inteligência computacional para a autonomia dos agentes com trabalho em equipe e análise de situações de jogo para tomar a decisão correta (HENRIQUE, 2012).

Figura 5 - Robôs da categoria *Simulation*.



Fonte: Polani, 2018.

A Figura 5 mostra uma simulação da competição da categoria *simulation*.

2.2.6 IEEE very small size

Neste tópico serão mostrados aspectos físicos do robô e do campo e a comunicação entre os robôs

2.2.6.1 Aspectos físicos do robô

Uma partida deve ser disputada por dois times, cada qual constituído por três robôs, um dos robôs pode ser o goleiro. Apenas um único computador por equipe pode ser usado, sobretudo dedicado ao processamento visual e para reconhecimento de posições (ADAM, 2009).

O tamanho de cada robô deve ser limitado a 7,5 cm em todas as dimensões. As rodas são contabilizadas para a largura do robô. O circuito interno deve ter dimensões inferiores a $7,5 \times 7,5 \text{ cm}$ para que o mesmo não ultrapasse as extensões do robô. Deve haver um dispositivo responsável pela comunicação entre os robôs, podendo ser antenas ou transmissores e receptores *bluetooth* (ADAM, 2009).

Figura 6 - Corpo do robô da categoria very small size do projeto de futebol de robô da ufersa.



Fonte: Anne et al., 2018.

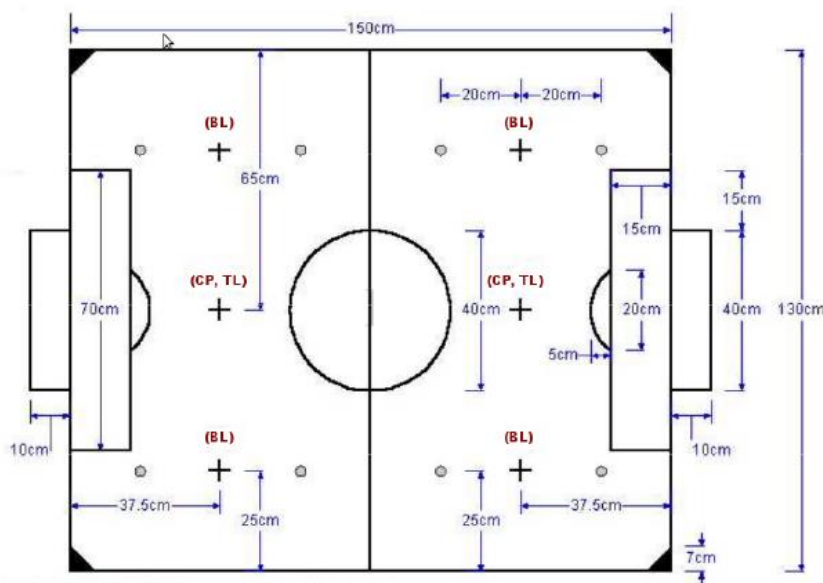
A Figura 6 mostra um exemplo de um robô que obedece as dimensões limites padronizadas.

2.2.6.2 Aspectos físicos do campo

É composto por uma chapa plana e rígida de madeira medindo $150 \times 130\text{cm}$, em cor preta fosca (não reflexiva) com laterais medindo 5cm de altura por 2,5 cm de largura. A parte superior das laterais deverá ser na cor preta (a mesma cor do campo) e, as paredes deverão ser na cor branca. Quatro triângulos isósceles sólidos com $7 \times 7\text{ cm}$ são fixados nos cantos do campo, para evitar que a bola fique presa nestas regiões (ADAM, 2009).

O campo de futebol da competição tem marcações. O círculo central tem 20 cm de raio, o arco, que faz parte da área do gol, tem 20 cm junto a linha do gol e 5 cm na direção perpendicular. As linhas principais (linha central, bordas da área do gol e do círculo central) deverão ser na cor branca, com 3 mm de espessura (ADAM, 2009).

Figura 7 - Dimensões do campo.



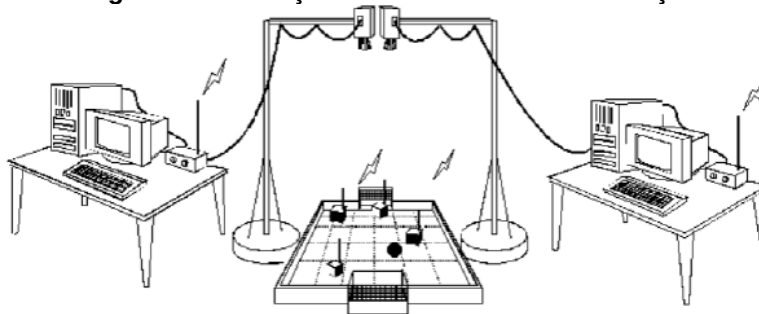
Fonte: Adam, 2009.

Na Figura 7 é possível observar um *layout* das marcações no campo de futebol da competição IEEE *very small size*.

2.2.6.3 SISTEMA DE VISÃO

Para identificar o robô e a bola no cenário, um sistema de visão pode ser usado. A câmera (ou outro sistema de sensoriamento) deverá ser fixada acima da região central do campo, de tal forma que não tenha que ser movida depois da troca de lado, após o final do primeiro tempo da partida. Se ambos os times desejarem manter suas câmeras acima do círculo central do cenário, elas deverão ser posicionadas lado a lado, equidistante da linha central e o mais perto possível uma da outra. A câmera deverá estar suspensa a uma altura não inferior a 2 metros (ADAM, 2009).

Figura 8 - ilustração do sistema de comunicação.



Fonte: Adam, 2009.

A Figura 8 mostra um esquema de comunicação entre o computador e os robôs e o sistema de visão através das câmeras na parte superior do campo.

3 DESCRIÇÃO DO PROJETO E MATERIAIS UTILIZADOS

3.1 Diagrama em Blocos

A Figura 9 mostra um esquema geral de comunicação da interface entre o operador e o robô para os testes de comunicação. O comando é gerado a partir de um aplicativo, em seguida o módulo receptor *bluetooth* recebe o sinal e transmite para o arduino que por meio de uma ponte H controla os motores.

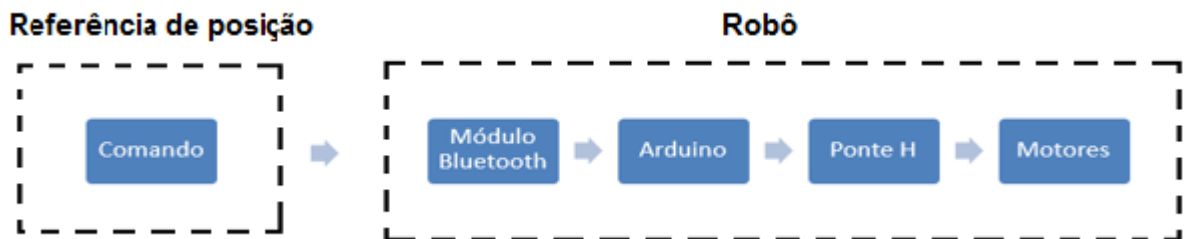
Figura 9 - Sistema simplificado do processo de comando.



Fonte: Autor.

O diagrama de blocos pode ser dividido em duas partes: Referência de posição e robô. O primeiro bloco é responsável pelo controle e teste de comunicação, o mesmo não faz parte do robô. O segundo bloco é referente a parte física do robô. A Figura 10 exemplifica este esquema.

Figura 10 - ilustração da divisão da parte mecânica e de comunicação



Fonte: Autor

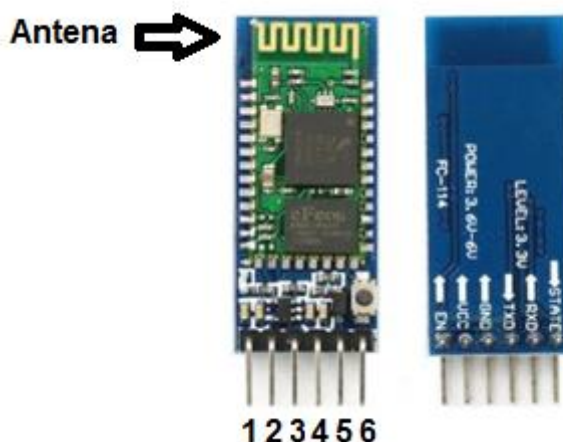
Os comandos são realizados a partir de um aplicativo instalado em um *smartphone* no qual existe uma interface com posicionamentos (esquerda, direita, posterior e anterior). O programa permite que seja gerado um sinal *bluetooth* referente a posição definida.

3.2 COMPONENTES DO ROBÔ

3.2.1 Módulo bluetooth

Os Módulos *bluetooth* podem ser divididos em duas categorias: Escravo e Escravo-Mestre. O Primeiro apenas recebe sinal de outros dispositivos enquanto o segundo é capaz tanto de receber quanto enviar sinais. O HC-05 é um exemplo de módulo *bluetooth* mestre-escravo. Na Figura 11 é possível observar o módulo HC – 05.

Figura 11 - Módulo *bluetooth* HC - 05.



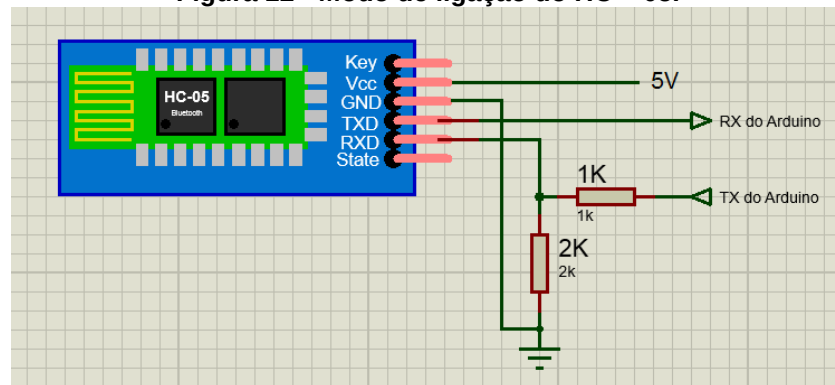
Fonte: Loja virtual Artofcircuits *

O módulo contém seis pinos de entrada ou saída de dados, sendo o primeiro o *STATE*, que indica em nível HIGH que a conexão via *bluetooth* foi realizada com sucesso; o segundo é o pino RX que tem como função receber dados via serial proveniente de outro dispositivo, por exemplo: Arduíno. Esta entrada deve receber a tensão de 3,3V, sendo necessário um divisor de tensão; o terceiro é o pino TX, responsável por enviar dados; o quarto é a referência; o quinto é a alimentação e o sexto é o pino *KEY* que é responsável por colocar o módulo *bluetooth* em modo de programação.

Para haver a transmissão e recepção dos dados entre o módulo *bluetooth* e o Arduíno, a entrada RX do HC-05 deve ser ligada a saída TX do Arduíno enquanto a Saída TX do módulo deve ser conectada à entrada RX do arduino. Desta forma é possível a comunicação serial entre os dois dispositivos. Para a aplicação do robô o HC – 05 foi utilizado com.

* Disponível em: <https://artofcircuits.com/product/hc-05-bluetooth-serial-pass-through-master-slave-module>. Acesso em: 16 set. 2018.

Figura 12 - Modo de ligação do HC – 05.



Fonte: Autor.

O módulo HC-05 recebe os dados provenientes do aplicativo na forma padrão de comunicação *bluetooth* e converte para o protocolo *TTL* (*transistor-transistor logic*), em seguida envia os dados para as portas seriais do arduino para que os dados sejam processados. A Figura 13 mostra um esquema simplificado de como ocorre o processo de conversão do protocolo *bluetooth* para TTL.

Figura 13 - Processo de conversão *bluetooth* para TTL.

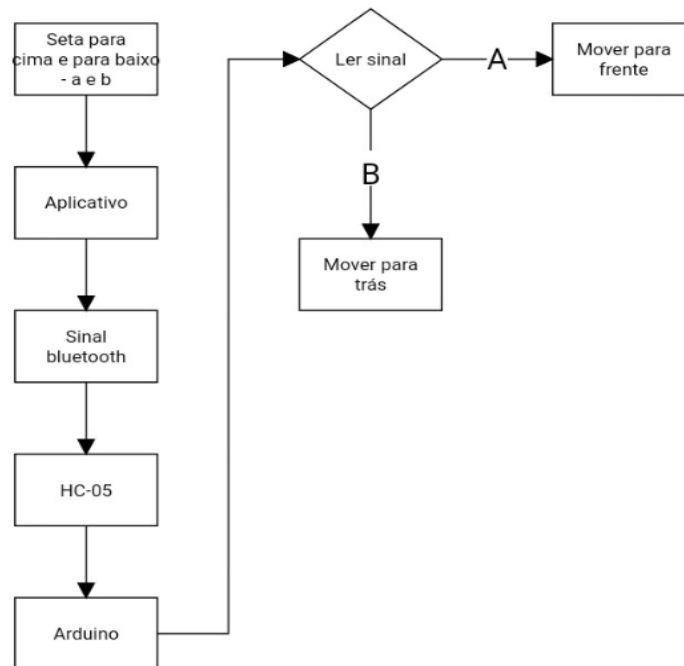


Fonte: Autor.

3.2.2 Arduíno

O Arduíno recebe a informação em TTL, processa os dados e em seguida, através de um algoritmo, gera uma resposta. Supondo que a informação necessária para o Arduíno gerar um sinal responsável por fazer dois motores girar em um sentido (referente a se locomover para frente) seja a letra “a” e para o sentido inverso (referente a se mover para trás) letra “b”, como demonstrado na Figura 14.

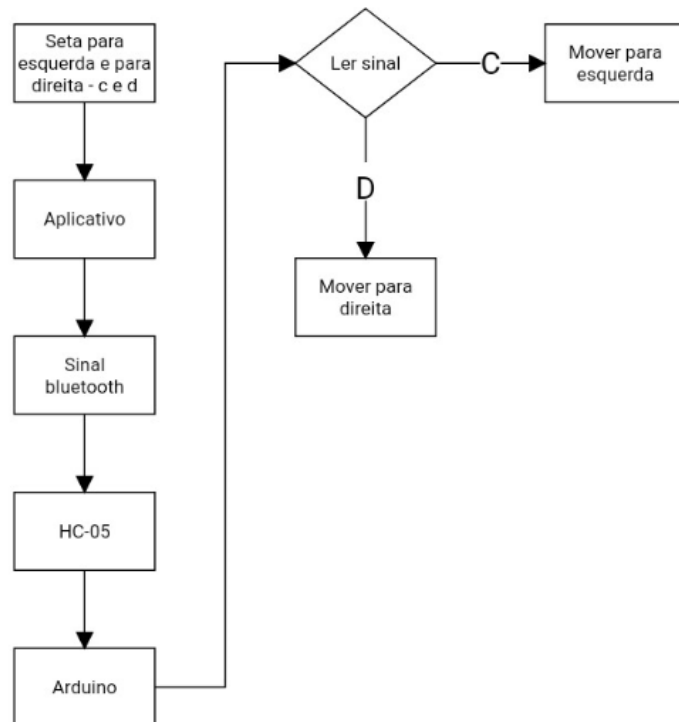
Figura 14 - Fluxograma simplificado de comando "frente" e "trás".



Fonte: Autor.

Da mesma forma, o arduino pode gerar um sinal para ativar apenas um motor, isto é, tanto o motor esquerdo quanto o direito. Para mover um robô para a esquerda é necessário ativar o motor da direita e para locomover o robô para a direita é necessário ativar o motor da esquerda. Desta forma, pode-se relacionar a letra “c” como locomoção à esquerda e a letra “d” como locomoção à direita. Assim, quando o sinal referente a letra “c” ou “d” for gerado pelo aplicativo e, em seguida, enviado para o módulo HC-05 e, então, processado pelo arduino, pode-se controlar o motor da direita ou o da esquerda. A Figura 15 ilustra o fluxograma de comando.

Figura 15 - Fluxograma simplificado de comando "esquerda" e "direta"

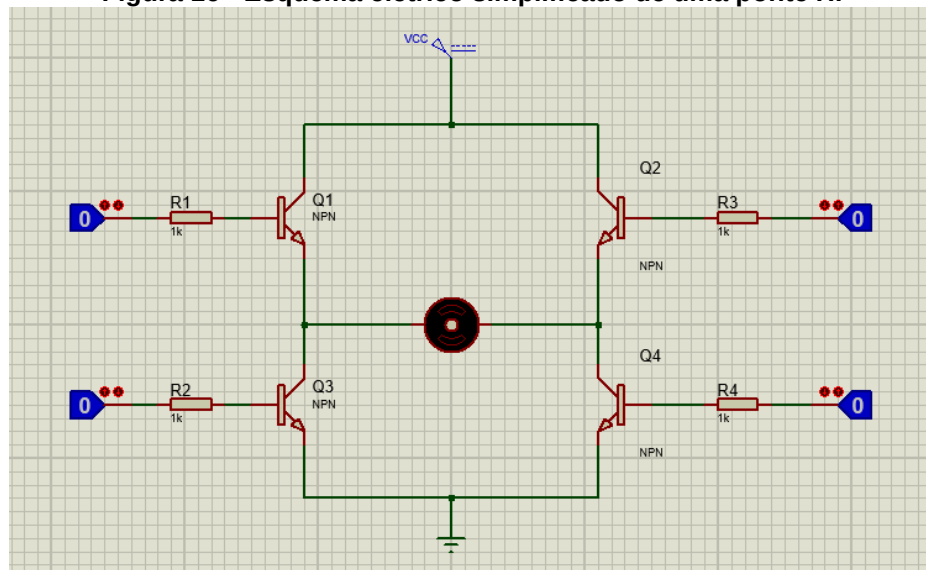


Fonte: Autor.

3.2.3 Ponte H

A Figura 16 ilustra a ponte H, cujo circuito de potência tem como finalidade converter uma tensão fixa em contínua variável através do chaveamento. Através deste circuito é possível determinar o sentido da corrente, a tensão e sua polaridade a partir de um sinal PWM. O funcionamento de uma ponte H pode ser entendida através da figura 16.

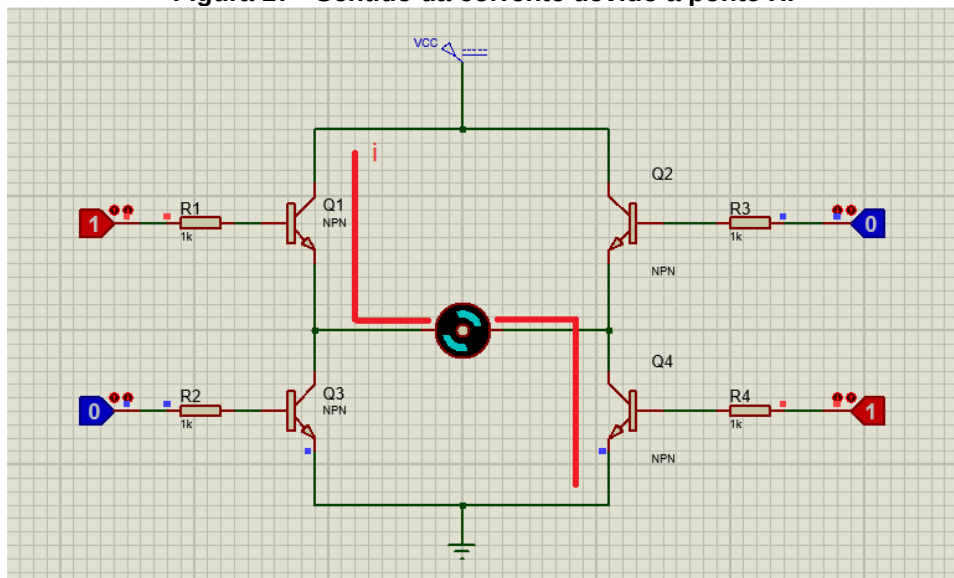
Figura 16 - Esquema elétrico simplificado de uma ponte H.



Fonte: Autor.

Na Figura 16 os transistores funcionam como chaves, desta forma, quando é aplicada uma tensão na base eles podem adquirir o nível lógico alto “1” ou baixo “0”. Quando é aplicada uma tensão na base dos transistores Q1 e Q4 os dois passam a ter o nível lógico alto enquanto os transistores Q2 e Q3 permanecem em nível lógico baixo. Como só há um caminho para a passagem de corrente (Figura 17), o motor passa a girar em um sentido.

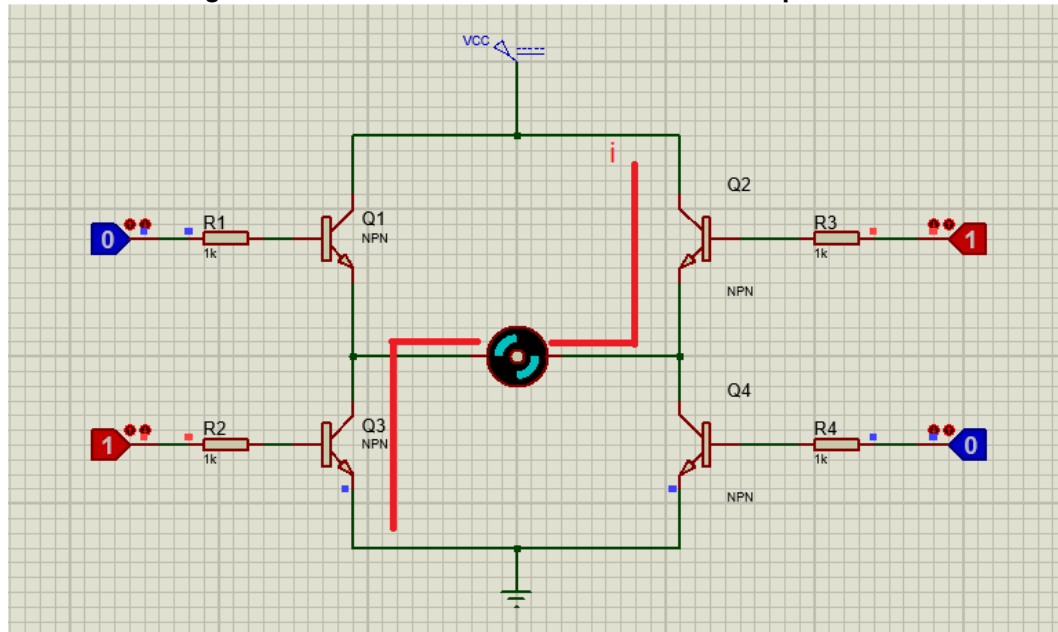
Figura 17 - Sentido da corrente devido a ponte H.



Fonte: Autor.

Porém, quando os transistores Q1 e Q4 passam a estar no nível lógico baixo e, em contrapartida, os transistores Q2 e Q3 em nível lógico alto, o sentido da corrente muda (Figura 18) e o motor passa a girar no sentido contrário ao da imagem anterior.

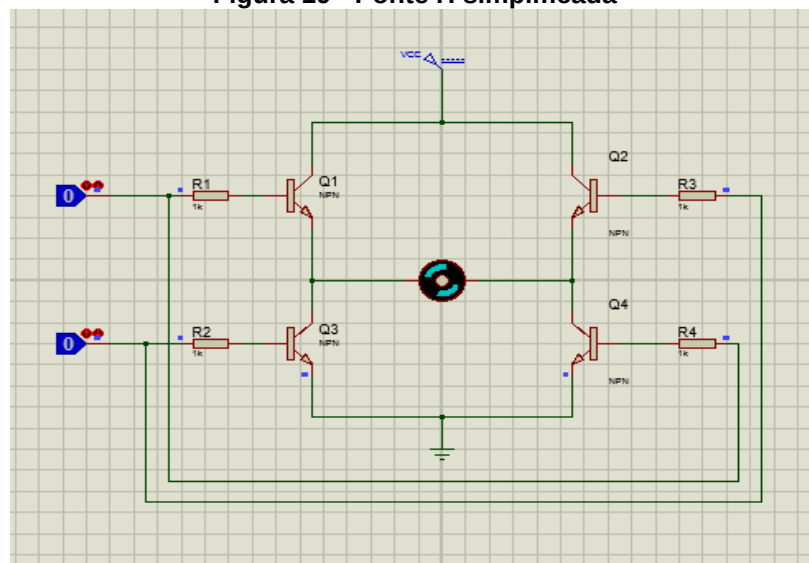
Figura 18 Sentido inverso da corrente devido a ponte H.



Fonte: Autor.

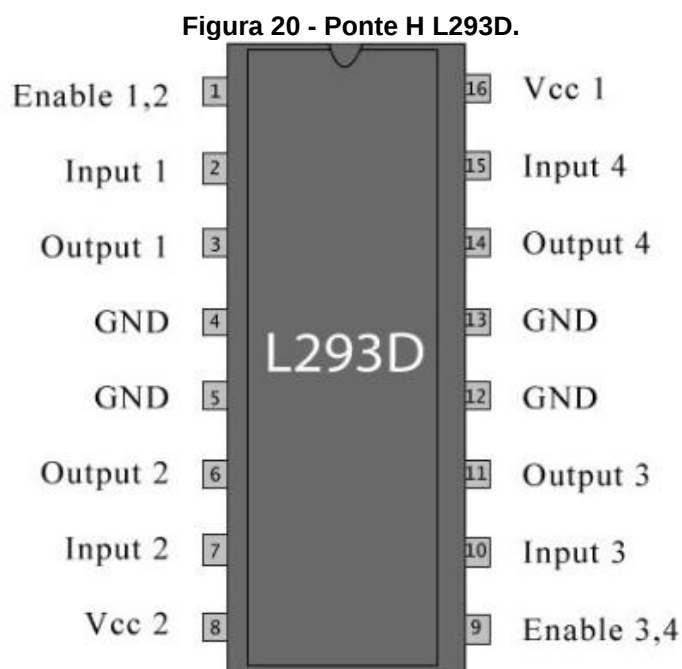
Para diminuir o número de entradas, a base do transistor Q1 pode ser ligada a base do transistor Q4 e a base do transistor Q2 ao Q3 (Figura 19). Desta Forma, é possível controlar o sentido de rotação de um motor a partir de duas entradas de sinal.

Figura 19 - Ponte H simplificada



Fonte: Autor.

O circuito integrado (CI) L293D, ilustrado na Figura 20 é uma ponte H que possui 16 terminais de saída e entrada de dados que são responsáveis pelo controle de um motor. O terminal 1 habilita o lado esquerdo do circuito, enquanto o terminal 9 o lado direito. Quando se deseja controlar o motor através de um sinal PWM deve-se conectar a entrada do sinal a estes terminais. Os pinos 2 e 7 controlam o sentido de rotação do motor ligado ao lado esquerdo enquanto os pinos 10 e 15 controlam o motor conectado ao lado direito do CI. Quando é aplicado nível lógico alto em 2 e nível lógico baixo em 7 o motor gira em um sentido, em contrapartida, pode-se aplicar nível lógico baixo em 2 e alto em 7 para inverter o sentido de rotação do motor, o mesmo vale para os pinos 10 e 15.



Fonte: Reis, 2017.

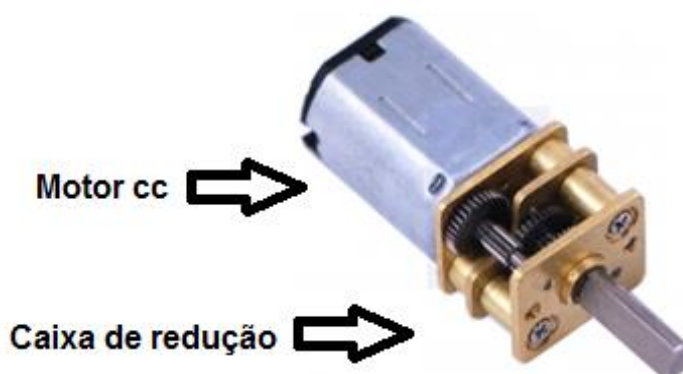
Os motores devem ser conectados nos pinos 3 e 6 referente ao lado esquerdo e 14 e 11 referente ao lado direito do CI. Para definir a tensão a qual o motor irá trabalhar, utiliza-se o pino 8 enquanto o pino 16 é responsável pela alimentação do circuito interno do CI. Os Demais terminais devem ser aterrados.

3.2.4 Motor

Em todo motor cc com excitação em série, existe uma relação entre o torque e a velocidade de rotação. Mantida a potência de entrada constante, quando se

aumenta o torque diminui-se a velocidade de rotação, e quando se aumenta a velocidade de rotação diminui-se o torque. Para que o motor trabalhe com maior tração é necessário aumentar o torque e, conseqüentemente, diminuir a velocidade de rotação do mesmo. Porém, em um motor controlado por PWM (*Pulse Width Modulation*), para diminuir a velocidade de rotação do motor pode-se diminuir o *duty cycle* do sinal PWM, no entanto, a potência do sinal cai e a diminuição da velocidade não aumenta o torque pois a potência varia. Para que isto não ocorra, é utilizado uma caixa de redução de velocidade que tem como finalidade, para uma potência constante, aumentar o torque por meio de uma conseqüente redução de velocidade angular. O fator 75:1 da relação da caixa de redução indica diminuição de 75 vezes da velocidade de rotação e um aumento do torque de igual valor. Esta conversão ocorre por meio das relações de engrenagens interna à caixa redutora.

Figura 21 - Motor cc com caixa de redução 75:1



Fonte: Loja virtual Buildbot.**

A Figura 21 mostra um exemplo de motor cc acoplado a uma caixa redutora utilizado neste trabalho.

3.3 Diagrama elétrico

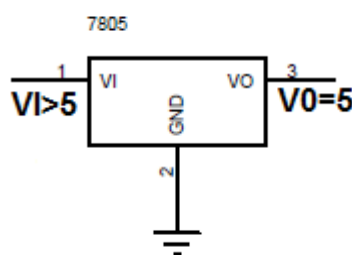
** Disponível em: <http://www.buildbot.com.br/loja/produto/micromotor-com-caixa-de-reducao-75/>. Acesso em: 16 set. 2018.

O diagrama elétrico do circuito do robô pode ser dividido em quatro partes: Circuito de regulação, Circuito de filtragem, Circuito de comando e circuito de Proteção.

3.3.1 Circuito regulador

Como a tensão nominal do arduino e da ponte h é menor que a do motor, é necessário que a mesma bateria que alimenta os motores forneça uma tensão de 5 volts regulada para os demais componentes. Para isto, é utilizado o componente 7805 que tem como função manter a tensão regulada em 5 volts quando alimentado com tensões acima de 5 volts.

Figura 22 - Esquema de funcionamento do regulador de tensão 7805.



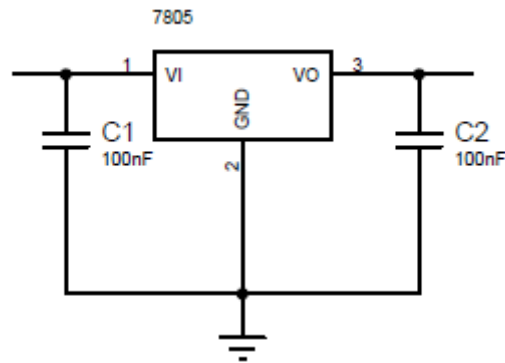
Fonte: Autor

A Figura 22 mostra um esquema de funcionamento de um regulador de tensão da família 7805. O terminal VI da figura é ligado à uma tensão de alimentação com no mínimo 2 volts acima da tensão de saída desejada, no caso: 5V. O VO é a tensão de saída que se mantém basicamente constante para um certo limite de carga aplicada.

3.3.2 Circuito de Filtragem

A tensão que chega no arduino, regulador de tensão e ponte H muitas vezes contém oscilações de altas frequências derivadas de flutuações de tensão indesejadas que podem comprometer o funcionamento do robô. Desta forma, é necessário um processo de filtragem para que o sinal chegue da forma desejada aos terminais dos motores. Para isto é utilizado o circuito passa-baixa que tem a propriedade de filtrar frequências acima de um determinado valor (frequência de corte). Para que os ruídos sejam filtrados são utilizados filtros passa-baixa na entrada e na saída do regulador de tensão e na alimentação do motor através do pino oito da ponte h.

Figura 23 - Esquema elétrico para filtragem de ruídos.



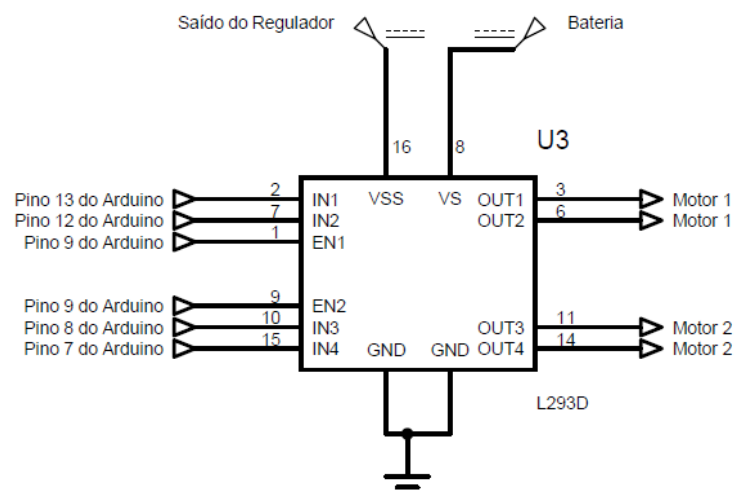
Fonte: Autor.

A Figura 23 mostra um exemplo de circuito passivo de primeira ordem de filtragem de sinal de alta frequência. O capacitor na entrada e na saída é visto como curto circuito para sinais de alta frequência e mantém a tensão cc constante.

3.3.3 Circuito de Comando

O circuito de comando é aquele que permite que a informação proveniente do aplicativo chegue até os terminais dos motores. Este circuito é composto pelo Arduino, ponte H e o HC-05 Como é mostrado na Figura 24 e Figura 25.

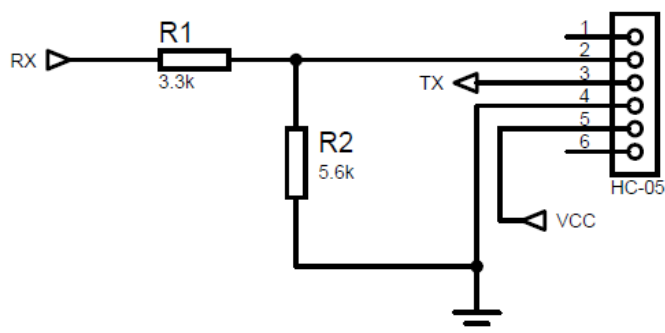
Figura 24 - Esquema de ligação da ponte H L293D.



Fonte: Autor.

A Figura 25 mostra como deve ser feito o esquema de ligação entre a ponte H, arduino, regulador de tensão, bateria e motores.

Figura 25 - Esquema de ligação do módulo *bluetooth* HC – 05.



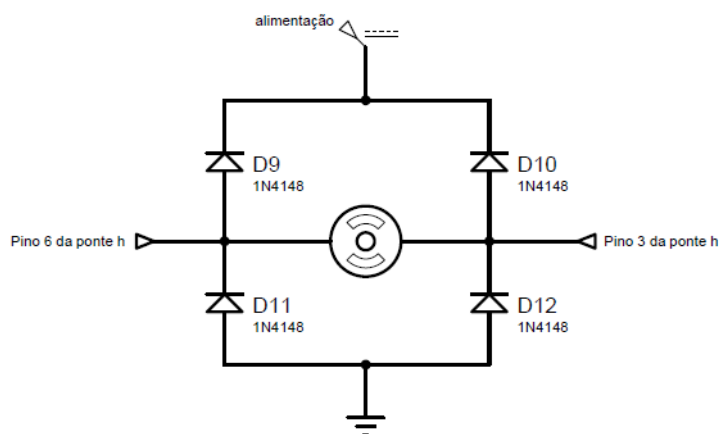
Fonte: Autor.

No RX do HC-05 chega o TX do Arduino que foi configurado no pino 11 e do TX do HC-05 chega o RX do Arduino que foi configurado no pino 10

3.3.4 Circuito de proteção

Devido a carga indutiva dos motores, há sempre picos de tensão quando o sinal passa de nível lógico alto para nível lógico baixo, por causa da tensão induzida na bobina presente no motor. Para diminuir estes picos de tensões, são utilizados diodos em paralelo ao motor que tem a função de permitir apenas um caminho para a corrente enquanto o indutor dissipa sua energia. A Figura 26 mostra o circuito de proteção com diodos de roda livre.

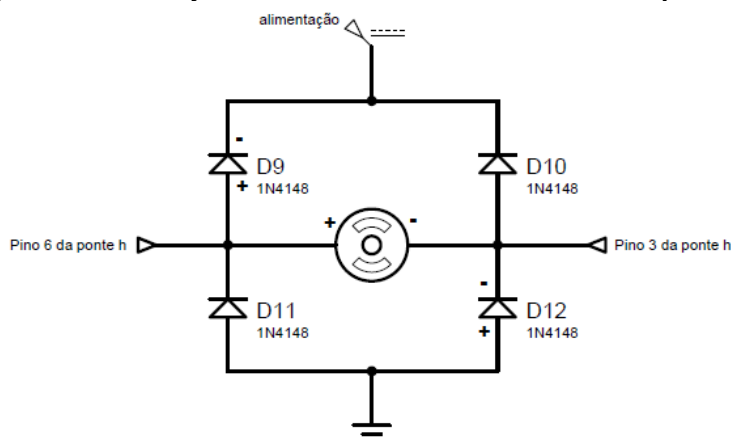
Figura 26 - Circuito de proteção.



Fonte: Autor

Desta forma, quando, por exemplo, o pino 3 passa de nível lógico alto para nível lógico baixo gera uma tensão induzida de sentido contrário nos terminais do motor. Quando isto acontece os diodos D9 e D12 permitem que a energia presente no motor seja descarregada devido à resistência dos enrolamentos da bobina do motor. O esquema de funcionamento pode ser observado na Figura 27.

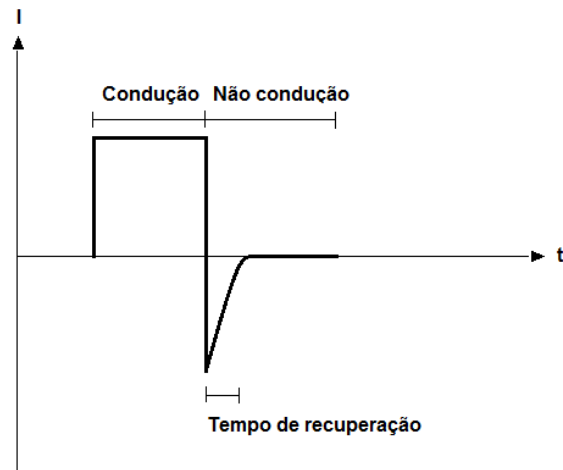
Figura 27 - ilustração do funcionamento do circuito de proteção.



Fonte: Autor

Para esta aplicação, o diodo 1N4148 foi utilizado devido a sua alta velocidade de comutação e o tempo de recuperação. Quando o diodo passa do estado de condução para o de não condução ocorre um pulso de corrente inversa. O tempo que o diodo leva para se parar de conduzir corrente no sentido inverso é chamado de tempo de recuperação inverso. Na Figura 28 é mostrado um gráfico que ilustra o tempo de recuperação do diodo

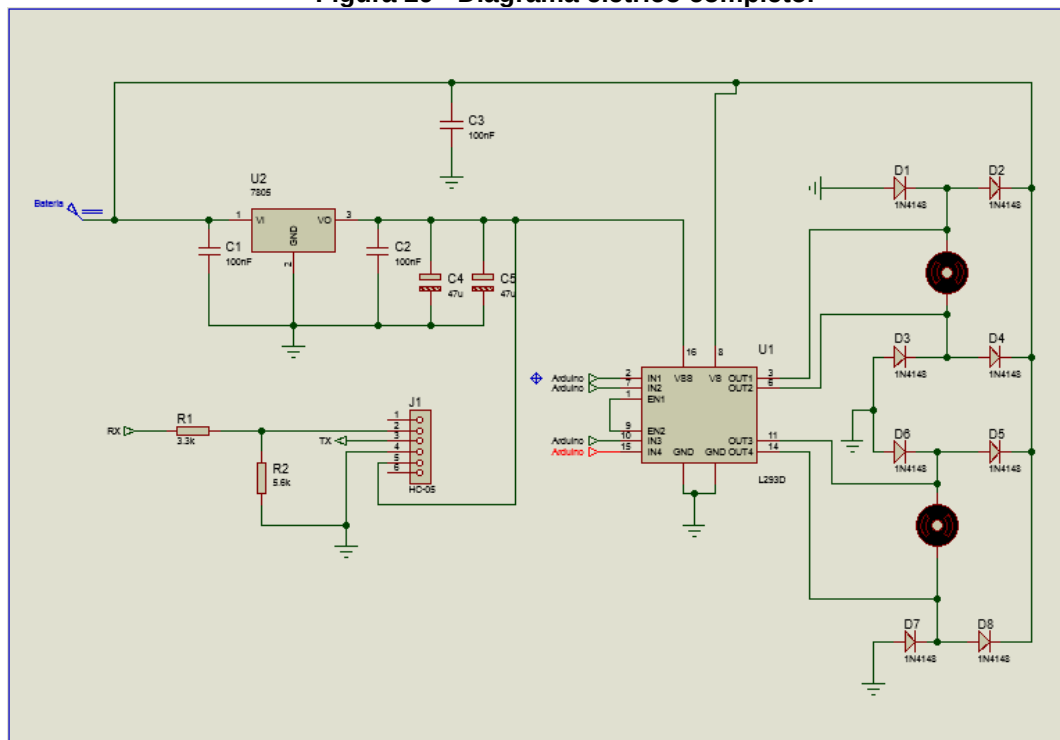
Figura 28 - Tempo de recuperação de um diodo.



Fonte: Autor

Nos demais diodos, o tempo de recuperação é muito lento quando comparado ao 1N4148. Quando o tempo de recuperação é muito alto pode ocorrer que enquanto o diodo ainda está conduzindo a corrente inversa, o diodo volte ao estado de condução, podendo ocasionar perda do sinal original.

Figura 29 - Diagrama elétrico completo.

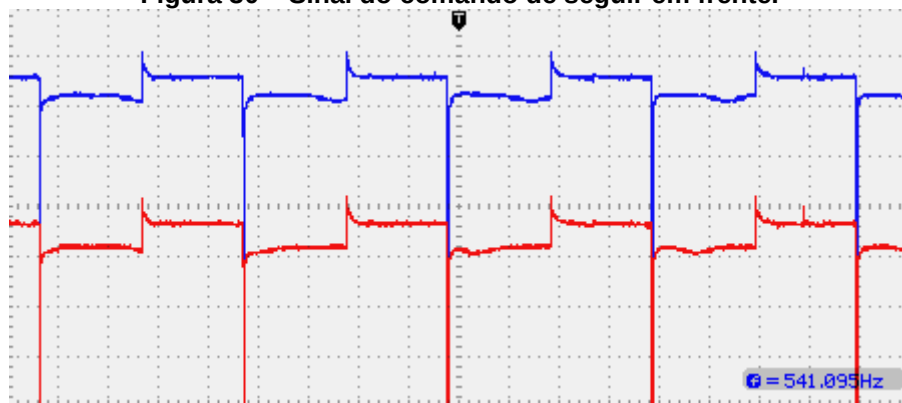


Fonte: Autor.

4 RESULTADOS

Primeiramente, o circuito foi montado na *protoboard* apenas com o arduino e a ponte H. Em seguida, foram realizados os testes de comunicação entre o aplicativo do celular e o robô. O sinal pôde ser observado a partir de um osciloscópio, o canal um foi conectado em paralelo aos terminais do motor da esquerda e o canal dois aos terminais do motor da direita. Posteriormente, o comando de locomoção para frente foi acionado através do aplicativo e observou-se o sinal da Figura 30 no osciloscópio.

Figura 30 – Sinal do comando de seguir em frente.

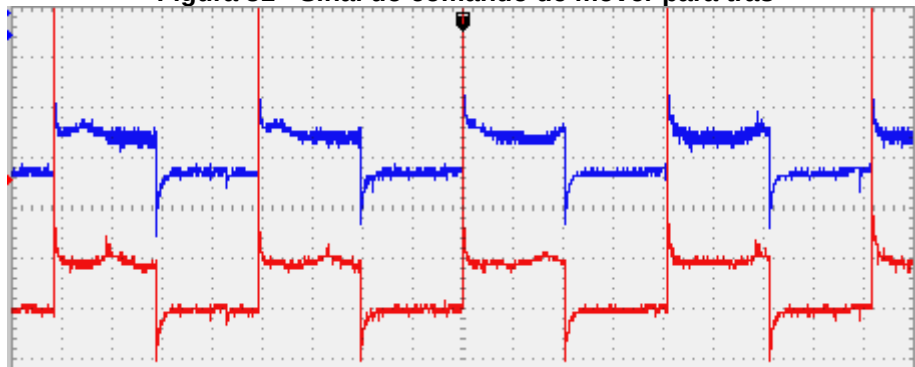


Fonte: Autor.

Na figura 30 os sinais representados pelas cores azul e vermelho indicam o acionamento do motor direito e esquerdo respectivamente.

Em seguida, foi acionado o comando referente à locomoção para trás e o sinal obtido foi o inverso da Figura 30 como pode ser observado na Figura 31.

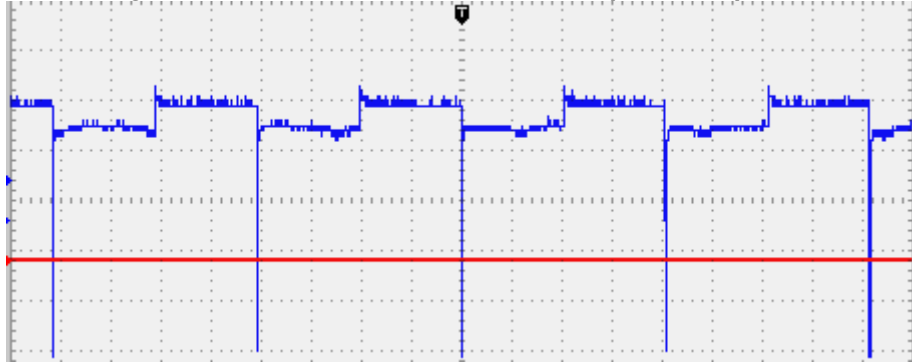
Figura 31 - Sinal do comando de mover para trás



Fonte: Autor.

Logo após, foi gerado o comando para acionar o motor da direita e, em seguida, o da esquerda, que faz com que o robô ande para a esquerda e para a direita.

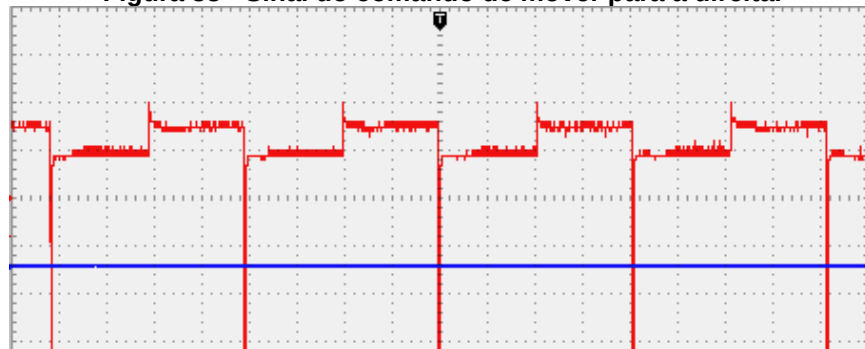
Figura 32 - Sinal do comando de mover para a esquerda.



Fonte: Autor.

Na figura 32 pode ser observado que apenas o motor da direita foi acionado.

Figura 33 - Sinal do comando de mover para a direita.



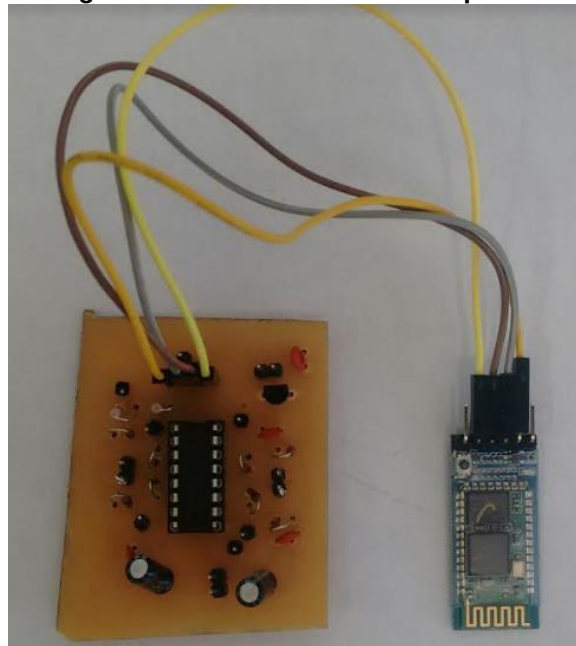
Fonte: Autor.

Na figura 33 observa-se apenas o acionamento do motor da esquerda.

Nesta primeira parte do experimento pôde ser visto que a ausência do filtro, regulador de tensão e proteção ocasionou uma grande distorção do sinal. Vários picos de tensão podem ser observados na mudança de nível lógico como também a presença de ruídos. As altas tensões podem danificar o circuito ao longo do tempo, como também, comprometer o desempenho do robô.

Após os testes na *protoboard*, o circuito foi montado na placa. Foram colocados os filtros, regulador e as proteções. Conforme mostra a Figura 34.

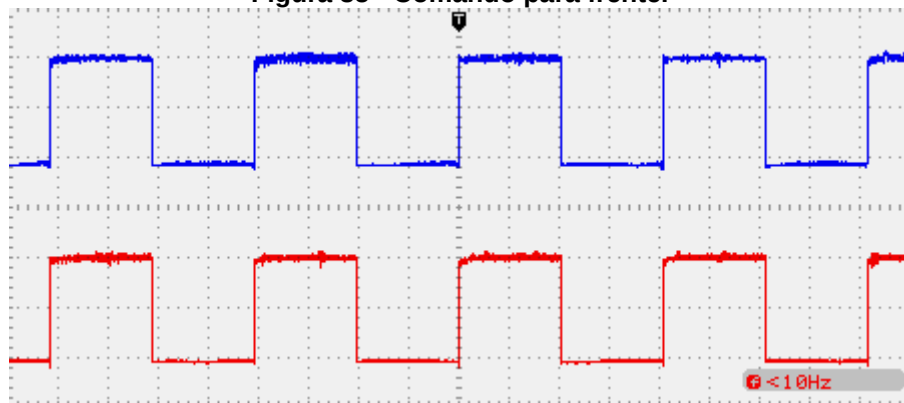
Figura 34 - Circuito montado na placa.



Fonte: Autor.

Para o comando referente a se mover para frente foi obtido o sinal que pode ser observado na Figura 35.

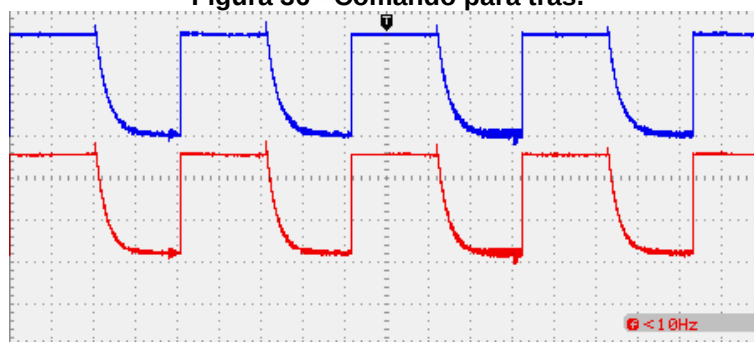
Figura 35 - Comando para frente.



Fonte: Autor.

Em seguida, foi acionado o comando referente a se locomover para trás e foi obtido o sinal como demonstra a Figura 36.

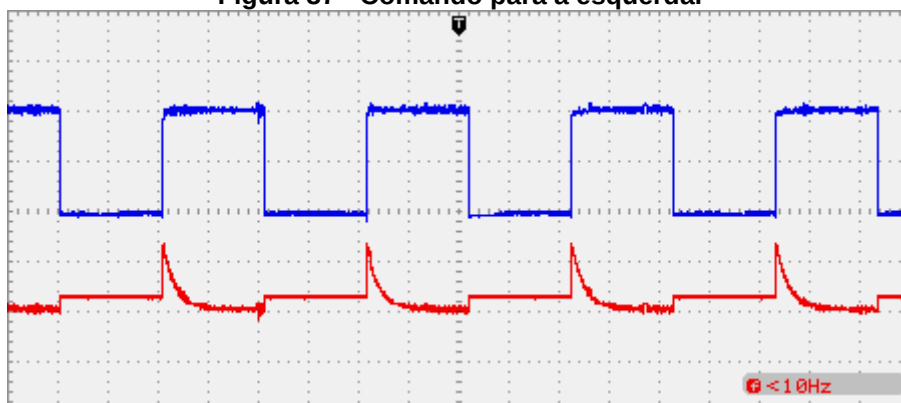
Figura 36 - Comando para trás.



Fonte: Autor.

Posteriormente, o comando de locomoção para a esquerda foi ativado resultando no sinal mostrado na Figura 37:

Figura 37 - Comando para a esquerda.



Fonte: Autor.

O processo análogo foi feito para o lado direito, sendo obtido o sinal mostrado na Figura 38:

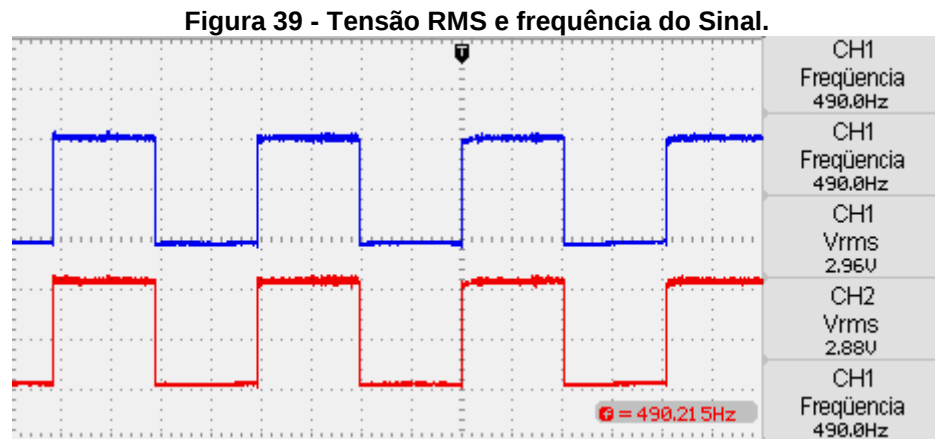
Figura 38 - Comando para a direita.



Fonte: Autor.

A partir destas imagens foi observado a ausência de picos de tensão e diminuição da quantidade de ruído.

Já a Figura 39 mostra a frequência do sinal e o valor RMS e tensão



Fonte: Autor.

Visto que o valor *RMS* do sinal do motor esquerdo é um pouco maior que o do direito, a velocidade de rotação do motor esquerdo é superior, o que pode ocasionar uma leve tendência do robô mover-se para a direita.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral, a construção de um circuito de controle remoto de um robô da categoria *Very Small Size* de futebol de robô, como também o teste via *bluetooth* da interface de comunicação do mesmo dentro dos padrões adotados pelas normas desta categoria.

Desta forma, através dos testes realizados entre a comunicação do aplicativo em um *smartphone* e os motores cc, conseguiu-se resultados satisfatórios, visto que os motores respondem ao comando realizado pelo aplicativo (ir para frente, para trás, para direita e para a esquerda). Os sinais vistos no osciloscópio mostram que os comandos apresentam respostas aos terminais dos motores. Visto que a comunicação foi realizada via *bluetooth*, o operador deve estar próximo ao robô.

Ademais, foram desenvolvidos conhecimentos em criação de *layouts* de circuitos em *softwares*, técnicas de corrosão de placas de circuito impresso, montagem e soldagem de componentes.

Para trabalhos futuros, propõe-se: A implementação de *encoders* que serão capazes de fixar a mesma velocidade para os dois motores; embarcar todo circuito na estrutura física do robô; Desenvolvimento de algoritmo de comunicação entre vários robôs.

REFERÊNCIAS

ADAM HENRIQUE MOREIRA PINTO (Ed.). **IEEE Very Small Size Soccer**: Regras em português. 2009. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2009_ptbr.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2018.

ARTOFCIRCUITS. **HC-05**. Disponível em: <<https://artofcircuits.com/product/hc-05-bluetooth-serial-pass-through-master-slave-module>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ANNE et al. Desenvolvimento de um robô jogador da categoria IEEE Very Small Size Soccer controlado remotamente via Bluetooth. In: ENCONTRO DE COMPUTAÇÃO DO OESTE POTIGUAR, 3., 2018, **Anais**. 2018. p. 145 - 152.

ANGONESE, Alberto et al. Descrição da equipe SIRSOCER para a categoria IEEE Very Small Size. [2013]. 4 f. **Descrição da equipe SIRSOCER para a categoria IEEE Very Small Size** (Sistemas inteligentes e robótica)- Faculdade em educação tecnológica do estado, FAETERJ, Petrópolis, 2014.

AUCIMAR et al. **O TIME POTI DE FUTEBOL DE ROBÔS DA UFRN**, UFRN, Natal, 2004.

BRAGA, Newton. **Eletrônica Básica para Mecatrônica**. 1. ed. São Paulo EditoraSaber, 2005.

BOYLESTAD, R. L; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. São Paulo: Prentice Hall, 2013

CARLOS, Winter et al. **Proposta de arquitetura de robô para ambiente de competição**. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

DANIEL POLANI (Org.). **Humanoid**. Disponível em: <<http://www.robocup.org/leagues/3>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

DANIEL POLANI (Org.). **Middle Size**. Disponível em: <<http://www.robocup.org/leagues/6>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

DANIEL POLANI (Org.). **Small Size**. Disponível em: <<http://www.robocup.org/leagues/7>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

DANIEL POLANI (Org.). **Plataform**. Disponível em: <<http://www.robocup.org/photos>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

DANIEL POLANI (Org.). **Small Size**. Disponível em: <<http://www.robocup.org/leagues/23>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

ENGINEERSGARAGE. **Ponte H L293D**. Disponível em: <<https://www.engineersgarage.com/electronic-components/l293d-motor-driver-ic>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

FÁBIO DOS REIS. **Controlador L293D: Ponte H dupla**. 2017. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/controlador-l293d-ponte-h-dupla/>>. Acesso em: 16 set. 2018.

FERCHER, Johnathan. **Construção de um time de futebol de robô para categoria IEEE Very Small Size Soccer**. 2015. 76 v. TCC (Graduação) - FAETERJ, Petrópolis, 2015.

OLIVEIRA, Marcelo. **Campos potenciais modificados ao controle de múltiplos robôs**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Computação, Departamento de Ciências da Computação, Usp, São Carlos, 2011

ROBOTICS, Warthog. **Robô da categoria IEEE VSS do time Warthog Robotics**. Disponível em: <<https://www.wr.sc.usp.br/pt/competicoes/>>. Acesso em: 5 set. 2018.

SANTOS, André de Oliveira. **DESENVOLVIMENTO DO TIME DE FUTEBOL DE ROBÔS DA CATEGORIA SMALL SIZE DA FEI – ROBOFEI**. 2006. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências da Computação, Unifei, Itajubá, 2007.

SANTOS, Gabriel da Cruz et al. **Evoluindo o projeto de robos para liga de futebol Very Small Size Soccer**.- Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia, Unifacs, Salvador, 20015.

RODRIGUES et al. **PROJETO DO TIME DE FUTEBOL DE ROBÔS IFRN – IEEE VERY SMALL SIZE**. In: CONGIC, IX, Currais Novos, 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. **Datasheet L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>> acesso em: Junho 2018.

APÊNDICE 1

Algoritmo:

```
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial (10, 11); // RX, TX
const int Motor1Pin1 = 13; //Pino 2 do L293D conectado ao Pino D13 do Arduino Nano
const int Motor1Pin2 = 12; //Pino 7 do L293D conectado ao Pino D12 do Arduino Nano
const int Motor2Pin1 = 7; //Pino 15 do L293D conectado ao Pino D7 do Arduino Nano
const int Motor2Pin2 = 8; //Pino 10 do L293D conectado ao Pino D8 do Arduino Nano
const int PWMmotor = 9; //Pino 9 do L293D conectado ao Pino D9 do Arduino Nano
char x;
void setup () {
  pinMode(Motor1Pin1, OUTPUT); //Motor 1.1 configurado como saída
  pinMode(Motor1Pin2, OUTPUT); //Motor 1.2 configurado como saída
  pinMode(Motor2Pin1, OUTPUT); //Motor 2.1 configurado como saída
  pinMode(Motor2Pin2, OUTPUT); //Motor 2.2 configurado como saída
  pinMode(PWMmotor, OUTPUT); //PWM1 (motor) configurado como saída
  analogWrite(PWMmotor, 127); //Habilita PWM1 em 50%
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
}
void loop() {
  x = mySerial.read();
  delay(10);
  if (x == '0') {
    freio();
  }
  if (x == 'a') {
    frente();
  }
  if (x == 'b') {
    tras();
  }
  if (x == 'c') {
    esquerda();
  }
  if (x == 'd') {
    direita();
  }
  Serial.println (x);
  delay (50);
}
//.....//
// Rotina Parar Robô //
//.....//
void freio() {
  digitalWrite(Motor1Pin1, HIGH); //Habilita Motor 1.1 em nível alto
  digitalWrite(Motor1Pin2, HIGH); //Habilita Motor 1.2 em nível alto
  digitalWrite(Motor2Pin1, HIGH); //Habilita Motor 2.1 em nível alto
```

```

digitalWrite(Motor2Pin2, HIGH); //Habilita Motor 2.2 em nível alto
delay(10); //Aguarda tempo de 500 milissegundos
}
//.....//
// Rotina Robô andar para frente //
//.....//
void frente() {
    digitalWrite(Motor1Pin1, HIGH); //Habilita Motor 1.1 em nível alto
    digitalWrite(Motor1Pin2, LOW); //Habilita Motor 1.2 em nível baixo
    digitalWrite(Motor2Pin1, HIGH); //Habilita Motor 2.1 em nível alto
    digitalWrite(Motor2Pin2, LOW); //Habilita Motor 2.2 em nível baixo
    delay(10); //Aguarda tempo de 100 milissegundos
}
//.....//
// Rotina Robô andar para tras //
//.....//
void tras() {
    digitalWrite(Motor1Pin1, LOW); //Habilita Motor 1.1 em nível baixo
    digitalWrite(Motor1Pin2, HIGH); //Habilita Motor 1.2 em nível alto
    digitalWrite(Motor2Pin1, LOW); //Habilita Motor 2.1 em nível baixo
    digitalWrite(Motor2Pin2, HIGH); //Habilita Motor 2.2 em nível alto
    delay(10); //Aguarda tempo de 100 milissegundos
}
//.....//
// Rotina Robô girar 90° esquerda //
//.....//
void esquerda() {
    digitalWrite(Motor1Pin1, HIGH); //Habilita Motor 1.1 em nível alto
    digitalWrite(Motor1Pin2, LOW); //Habilita Motor 1.2 em nível baixo
    digitalWrite(Motor2Pin1, HIGH); //Habilita Motor 2.1 em nível alto
    digitalWrite(Motor2Pin2, HIGH); //Habilita Motor 2.2 em nível alto
    delay(10); //Aguarda tempo de 500 milissegundos
}
//.....//
// Rotina Robô girar 90° direita //
//.....//
void direita() {
    digitalWrite(Motor1Pin1, HIGH); //Habilita Motor 1.1 em nível alto
    digitalWrite(Motor1Pin2, HIGH); //Habilita Motor 1.2 em nível alto
    digitalWrite(Motor2Pin1, HIGH); //Habilita Motor 2.1 em nível alto
    digitalWrite(Motor2Pin2, LOW); //Habilita Motor 2.2 em nível baixo
    delay(10); //Aguarda tempo de 500 milissegundos
}
}

```