

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
PROJETO DE FINAL DE CURSO**

**TEN HUGO ZANUTI CABRAL  
TEN MARINA MARTINS DE LIMA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE VTNT**

**Rio de Janeiro**

**2016**

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**TEN HUGO ZANUTI CABRAL**  
**TEN MARINA MARTINS DE LIMA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE VTNT**

Projeto de final de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Mecânica e de Armamento do  
Instituto Militar de Engenharia.

Orientadores: TC Jorge Audrin Morgado de Gois –  
Dr. Ing.

Cap Elias Dias Rossi Lopes – M. C.

Rio de Janeiro

2016

c2016

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

629.04	Cabral, Hugo Zanuti
C117i	Implementação de VTNT / Hugo Zanuti Cabral, Marina Martins de Lima; orientados por Jorge Audrin Morgado de Gois; Elias Dias Rossi Lopes – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2016.
	41p. : il.
	Projeto de Fim de Curso (PROFIC) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.
	1. Curso de Engenharia Mecânica e de Armamento– Projeto de Fim de Curso. 2. Veículos autônomos. 3. Veículo Terrestre Não Tripulado - VTNT. I. Lima, Marina Martins de. II. Gois, Jorge Audrin Morgado de. III. Lopes, Elias Dias Rossi. IV. Título. V. Instituto Militar de Engenharia.

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

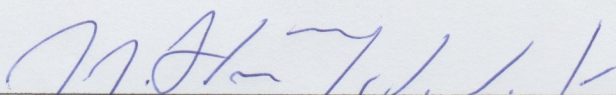
**TEN HUGO ZANUTI CABRAL**  
**TEN MARINA MARTINS DE LIMA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE VTNT**

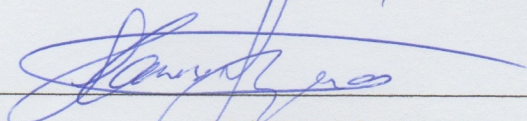
Projeto de final de curso apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia.

Orientadores: TC Jorge Audrin Morgado de Gois – Dr. Ing.  
Cap Elias Dias Rossi Lopes – M. C.

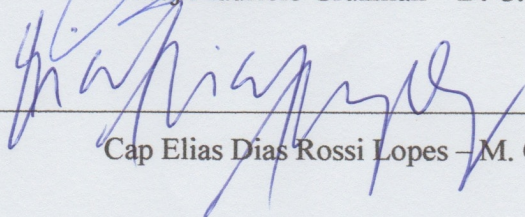
Aprovada em 26 de setembro de 2016 pela seguinte Banca Examinadora:



TC Jorge Audrin Morgado de Gois – Dr. Ing.



Maj Mauricio Gruzman – D. C.



Cap Elias Dias Rossi Lopes – M. C.

Rio de Janeiro

2016

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	6
LISTA DE TABELAS .....	7
LISTA DE SIGLAS .....	8
RESUMO .....	9
1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 MOTIVAÇÕES .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 TRABALHOS RELACIONADOS .....	13
2.2 VTNT NO EXÉRCITO BRASILEIRO.....	15
3 PLATAFORMA E SISTEMAS EMBARCADOS .....	17
3.1 VEÍCULOS TERRESTRES NÃO TRIPULADOS .....	17
3.2 PLATAFORMA UTILIZADA.....	18
3.3 MICROCONTROLADOR.....	19
3.4 SENSORES INFRAVERMELHOS .....	21
4 DESENVOLVIMENTO .....	24
4.1 MONTAGEM.....	24
4.1.1 MOTORES E MICROCONTROLADOR.....	24
4.1.2 SENSORES.....	27
4.2 GUIAMENTO .....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Método de campo de potenciais (Ribeiro, 2005).....	15
Figura 3.1 - Modelo Lynxmotion 4WD1 .....	18
Figura 3.2 - Basic Atom Pro 28.....	19
Figura 3.3 - Bot Board II .....	20
Figura 3.4 - Sabertooth 2x12 .....	20
Figura 3.5 - Sensor Sharp GP2Y0A21YK0F .....	21
Figura 3.6 - Voltagem de saída x distância .....	22
Figura 3.7 - Voltagem de saída x inverso da distância.....	23
Figura 4.1 - Esquema das conexões dos motores e chave <i>switch</i> (Lynxmotion) .....	25
Figura 4.2 - Interior da plataforma .....	26
Figura 4.3 - Conectores do microcontrolador (Manual Bot Board II).....	26
Figura 4.4 - Sensores frontais .....	27
Figura 4.5 - Fluxograma de guiamento do veículo.....	29
Figura 4.6 - Sistema de referência para guiamento .....	29
Figura 5.1 - Trajetória do veículo no primeiro teste.....	32
Figura 5.2 - Trajetória do veículo no segundo teste .....	33
Figura 5.3 - Trajetória do veículo no terceiro teste .....	35
Figura 5.4 - Curva de velocidade linear .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Conexões dos motores.....	24
--	----

## LISTA DE SIGLAS

DC	–	Corrente contínua
GPS	–	Sistema de posicionamento global
RCM	–	Modelo controlado por rádio
SVTRP	–	Sistemas de veículos terrestres não pilotados
TTL	–	Lógica transistor-transistor
VANT	–	Veículo aéreo não tripulado
VTNT	–	Veículo terrestre não tripulado



## RESUMO

O Exército Brasileiro tem buscado desenvolver uma doutrina de emprego de Sistemas de Veículos Terrestres Remotamente Pilotados (SVTRP) para os mais variados tipos de aplicação.

Em concordância com a necessidade do Exército, o presente trabalho tem por finalidade embasar teoricamente e proporcionar a implementação de um Veículo Terrestre Não Tripulado (VTNT) que sirva de plataforma básica para desenvolvimentos futuros.

Com o auxílio de um microcontrolador e sensores infravermelhos, um modelo de veículo já existente é transformado, ao longo do presente trabalho, em um veículo autônomo capaz de desviar de obstáculos e retornar a sua rota original.

Inicialmente, apresenta-se uma revisão bibliográfica de trabalhos relacionados ao tema bem como alguns conceitos fundamentais que embasam o projeto para, em seguida, descrever a montagem experimental utilizada para conferir autonomia ao veículo.

Esse trabalho ainda apresenta os resultados obtidos durante os testes, destacando a trajetória do veículo com os obstáculos inseridos em seu percurso evidenciando a capacidade deste de atingir o destino final.

## **ABSTRACT**

*Brazilian Army has been trying to develop a doctrine of employing Remotely Piloted Vehicle (RPS) for all kinds of applications.*

*In agreement with the Force needs, this Graduation Project aims to support theoretically and provide deployment of an Unmanned Ground Vehicle (UGV), which has to serve as base platform to future developments.*

*With the aid of a microcontroller and infrared sensors, an already existing vehicle model is transformed, along this paper, in an autonomous vehicle capable of deviating obstacles and return to its original route.*

*Initially, it presents a literature review of papers related to the theme, as well as some fundamental concepts which support the project so as, after that, to describe the experimental assembly used to empower the vehicle.*

*This paper still presents the tests results, highlighting the vehicle's path with the obstacles on its route and therefore showing its ability to reach the final destination.*

# 1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta os objetivos do trabalho e as motivações para o desenvolvimento de trabalhos científicos na área.

## 1.1 MOTIVAÇÕES

A operação de veículos remotamente e a navegação autônoma de veículos aéreos e terrestres tem sido alvo de pesquisas nos ramos da mecânica e da robótica. Os diversos usos da tecnologia desenvolvida na área variam desde operações simples, como o controle de maquinário na atividade industrial, até tarefas complexas e de risco, como a busca e o resgate de vítimas de desastres sem pôr em risco a vida de outros seres humanos durante a atividade.

Uma das aplicações comuns dessa tecnologia no meio civil é o sistema de piloto automático para carros, no qual o condutor pode permanecer sentado durante todo o trajeto confiando ao sistema as decisões sobre as medidas a serem tomadas para um deslocamento seguro e eficiente. O *Park Assist*, também já presente em alguns veículos, permite o deslocamento e estacionamento do mesmo sem nenhum auxílio humano, utilizando sensores e *scanners* a laser.

O emprego de VANTs (veículos aéreos não tripulados) para o mapeamento fotogramétrico por meio do uso de imagens aéreas, também se tornou atrativa devido à dificuldade no mapeamento de regiões de difícil acesso ou de relevo extremamente desfavorável.

No meio militar, o desenvolvimento de veículos autônomos ganha ainda mais importância devido a proteção à vida oferecida por eles em situações que um combatente estaria em situação de risco. Tal tecnologia já é utilizada em robôs que auxiliam no combate a incêndios e, em breve, estarão presentes no resgate das vítimas.

O desarmamento de bombas e remoção de minas terrestres, assim como a remoção ou detonação de engenhos falhados, são outras atividades em que veículos remotamente controlados ou autônomos podem substituir a presença humana evitando o risco de acidentes fatais.

Veículos terrestres autônomos ainda podem ser utilizados em missões de reconhecimento em áreas hostis, onde há risco de vida ou através de um terreno acidentado que dificultaria o deslocamento humano.

Em virtude dos exemplos citados e outras aplicações de sistemas embarcados, a pesquisa e o desenvolvimento de tais sistemas tornam-se imprescindíveis para suprir as necessidades tecnológicas e operacionais crescentes, tanto no meio civil quanto militar.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo do trabalho é a implementação de um protótipo laboratorial de VTNT sobre uma plataforma pré-existente, possibilitando a navegação autônoma do veículo através de um sistema embarcado e de sensores para a interação com o ambiente.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho é dividido em 7 (sete) capítulos:

- a) Capítulo 1 (INTRODUÇÃO): é apresentada a importância do desenvolvimento deste trabalho e seus objetivos;
- b) Capítulo 2 (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA): são apresentados conceitos relativos a veículos não tripulados e trabalhos desenvolvidos na área;
- c) Capítulo 3 (PLATAFORMA E SISTEMAS EMBARCADOS): é apresentada a plataforma móvel na qual o trabalho foi baseado e os componentes eletrônicos a ela acoplados;
- d) Capítulo 4 (DESENVOLVIMENTO): são descritos os procedimentos de montagem da plataforma e as características do sistema de guiamento desenvolvido;
- e) Capítulo 5 (RESULTADOS E DISCUSSÕES): são apresentados os resultados obtidos durante a realização do trabalho;
- f) Capítulo 6 (CONCLUSÕES E SUGESTÕES): são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros;
- g) Capítulo 7 (REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS): são listadas as referências utilizadas durante a elaboração do trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são apresentados alguns conceitos relacionados com o trabalho desenvolvido a fim de proporcionar o entendimento mínimo sobre o que foi feito em relação ao guiamento do veículo.

### 2.1 TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo Bozer e Srinivasan (1991), existem duas maneiras de lidar com o controle de veículos não tripulados: o método preditivo e o método reativo. No método preditivo, o objetivo do veículo é analisado e, então, é definido um conjunto de ações capazes de guia-lo de forma eficiente evitando travamentos e colisões. Já no método reativo, não existe uma predefinição de rota ou de ações a serem seguidas. O guiamento e o processo de decisão são feitos mediante a análise de dados em tempo real enquanto o veículo se move e sempre de acordo com o estado atual do sistema.

Parikh (2013) utiliza um Arduino Uno, conectado à central de processamento por meio de um padrão de rede sem fio ZigBee, com o intuito de realizar o controle dos veículos responsáveis pelo manuseio de carga baseando-se em um guiamento por cores. Dados relativos à coloração dos objetos são coletados pelos sensores conectados ao Arduino e, de acordo as leituras, o sistema se encarrega de conduzir o objeto para o local definido.

Ainda com relação ao reconhecimento do ambiente no qual o autômato está inserido, Varga e Nedevschi (2014) desenvolvem um sistema baseado no processamento de imagens capaz de detectar objetos e estimar sua posição e orientação no espaço. Para isso, utilizam duas câmeras posicionadas horizontalmente e voltadas para a mesma direção, e uma unidade de processamento que consiste de um computador integrado de alto desempenho gráfico. A frequência e o sincronismo das fotos obtidas com o uso das câmeras eram determinados por um microcontrolador Arduino.

Já em relação ao guiamento feito remotamente, Al-Busaidi (2002) utiliza comunicação serial entre um computador e um Arduino para controlar um robô com o auxílio do MATLAB. Com a ajuda do *software*, ele gerou comandos seriais que eram recebidos pelo Arduino, que funcionava como controlador final dos servos motores responsáveis pelo movimento.

Outros meios também já são utilizados para fazer a comunicação entre computadores e diferentes tipos de microcontroladores e obter efeitos semelhantes: Busquets (2012) utiliza transmissão serial através de um cabo RS232 entre o computador e o Arduino Mega; Shajahan (2013), por sua vez, estabelece uma conexão sem fio através do *Ethernet Shield*, que possibilita o monitoramento de dados provenientes dos sensores e do consumo de energia do sistema.

Huang (1999) projetou um sistema de sensores ultrassom que consiste de três sensores, um processador de sinal digital e um computador para processamento de dados. Tal sistema é capaz de detectar obstáculos a cerca de meio metro de distância com precisão.

Dando prosseguimento ao trabalho de Huang, Abodunrin e Pitts (2015), estudam as influências da velocidade e da superfície em que o veículo se desloca na precisão e eficiência dos sensores ultrassom e infravermelhos, identificando possíveis causas de interferência, com o objetivo de otimizar o desempenho dos veículos não tripulados.

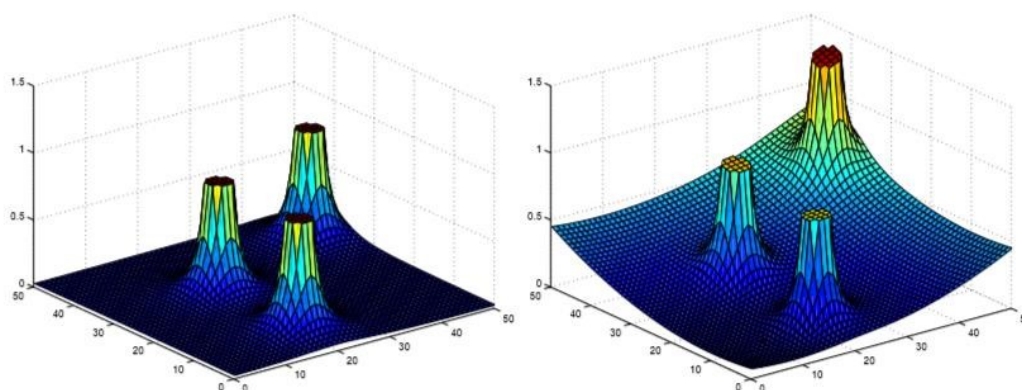
Com relação aos processos de guiamentos utilizados em veículos autônomos, Minguez e Montano (2000) apresentaram o método ND (*Nearness Diagram Navigation*) que consiste em utilizar as informações do ambiente que circundam o veículo para definir possíveis rotas de navegação.

Ferreira et al. (2008), divide o processo em duas etapas. A primeira consiste em sempre fazer o veículo se aproximar de seu destino final quando sua trajetória está livre de obstáculos, a segunda define a mudança de direção do movimento quando um objeto é identificado nos arredores da plataforma. Tal método é definido como *Tangencial Escape*, pois determina que o veículo deve seguir pela rota tangente ao bloqueio para, em seguida, retomar a primeira etapa.

Usando sensores ultrassom distribuídos no contorno do veículo, Borenstein e Koren (1991) foram capazes de obter informações em um panorama de 360 graus numa região compreendida entre 27 cm e 2 m de distância e, numa abordagem denominada HIMM (*Histogramic In-motion Mapping*), mapear o terreno como histogramas atribuindo pesos às regiões com presença de obstáculos.

Outra abordagem para a solução do guiamento de veículos autônomos é a utilização do conceito de campos potenciais. Borenstein e Koren (1989) fazem o uso desse conceito para introduzir o método VFF (*Virtual Force Field*), que remete a ideia de obstáculos serem responsáveis pela aplicação de uma força no objeto que deles se aproxima para desviá-lo.

Ribeiro (2005) analisa, entre outros métodos, a concepção do método de campos potenciais e relata a influência de campos atrativos, originados nas coordenadas de destino, e campos repulsivos, gerados em cada obstáculo ao longo do percurso. A figura 2.1 exemplifica o mapeamento de uma região por onde um veículo autônomo deve se locomover sob a influência do campo potencial.



**Figura 2.1 - Método de campo de potenciais (Ribeiro, 2005)**

A abordagem HIMM é ser incluída na análise por campos potenciais por Borenstein (1991), que utiliza o princípio dos campos virtuais associado ao mapeamento em histograma. Esse processo garante maior precisão e menor perda de informação quando obstáculos são traduzidos em forças.

## **2.2 VTNT NO EXÉRCITO BRASILEIRO**

Os conflitos contemporâneos exigem dos elementos da Força Terrestre agilidade, sincronização e capacidade de gerenciamento de informações. Dessa forma, o sucesso das operações militares torna-se dependente da capacidade de coletar, analisar e difundir informações de forma rápida, segura e eficiente.

Nesse contexto, sistemas robotizados têm sido muito utilizados em combate à medida em que o desenvolvimento científico tem permitido agregar novas tecnologias aos equipamentos. Os sistemas supracitados são de fundamental importância uma vez que atuam no sentido de aumentar o poder de combate através da otimização do tempo de processamento de informações resultando em estratégias mais efetivas. Além disso,

seu emprego evita que tropas sejam expostas a situações de risco, cansativas ou de longa duração.

Portanto, cada vez mais, o Exército Brasileiro busca desenvolver uma doutrina de emprego de Sistemas de Veículos Terrestres Remotamente Pilotados. Pertencente aos sistemas robóticos militares, o SVTRP é aquele que pode locomover-se de um ponto a outro em diferentes tipos de terreno sem auxílio de condutor a bordo (Portaria nº 43 – EME, de 12 de março de 2014).

Em concordância com o Planejamento Estratégico do Exército, o primeiro tipo de SVTRP a ser testado em experimentação doutrinária é o de Observação Experimental, com o objetivo de realizar a aquisição de imagens e proporcionar melhor planejamento de operações. Para tanto, o veículo deve ser capaz de operar em ambiente urbano e rural, em terrenos com ou sem pavimentação, durante o dia ou durante a noite.



### 3 PLATAFORMA E SISTEMAS EMBARCADOS

Nesse capítulo são apresentadas algumas características básicas de veículos terrestres não tripulados (VTNT) e alguns requisitos que estes devem satisfazer. São apresentados, também, o veículo e os componentes eletrônicos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho.

#### 3.1 VEÍCULOS TERRESTRES NÃO TRIPULADOS

Veículos capazes de se locomover sem a presença do ser humano em seu interior podem ser desenvolvidos de duas formas distintas. Uma delas consiste em fazer o guionamento e controle deste usando comandos a rádio (veículos remotamente controlados). Dessa forma, o operador precisa ter as informações necessárias no auxílio a tomada de decisão, que vão ser obtidas por meio de câmeras e sensores instalados sobre o veículo, transmitidas até sua posição de forma eficiente.

Outra forma de se obter um veículo não tripulado é por meio da inserção de um sistema embarcado capaz de analisar os dados obtidos pelos sensores instalados e realizar a tomada de decisão em tempo real, de forma mais segura e confiável do que um condutor humano (Jung et al., 2005).

Sendo remotamente controlado ou um veículo autônomo, a principal característica dos VTNTs, e de robôs em geral, é a capacidade de se localizar no ambiente usando sensores. Caso o operador ou processador não possa identificar com precisão o ambiente ao redor do veículo, torna-se impossível determinar a próxima ação a ser executada com total segurança e eficiência.

Veículos autônomos, assim como robôs, são extremamente dependentes dos seus componentes de percepção. Dessa forma, ressalta-se a importância dos sensores acoplados ao sistema e a segurança que estes impõem sobre o seu funcionamento. *Encoders* para medir o número real de rotações das rodas (ou lagartas), sensores infravermelhos, laser e sonares responsáveis pela medição da distância até um obstáculo e outros, como GPS, bússola, acelerômetros e giroscópios, são os principais responsáveis pelo sucesso no cumprimento da missão atribuída ao veículo.

### 3.2 PLATAFORMA UTILIZADA

Em concordância com a necessidade do Exército Brasileiro de desenvolver uma doutrina de emprego de sistemas de veículos autônomos para os mais variados tipos de aplicação, o presente Projeto de Fim de Curso teve por objetivo proporcionar a implementação de um Veículo Terrestre Não Tripulado (VTNT) em concordância com as necessidades da Força.

Dessa forma, para o desenvolvimento desse trabalho, utiliza-se o modelo Lynxmotion Aluminum 4WD1, apresentado na figura 3.1 pertencente à Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais do Instituto Militar de Engenharia (IME). Esse veículo é composto de um chassi robusto e expansível para utilização e testes de RCM e de veículos autônomos.



**Figura 3.1 - Modelo Lynxmotion 4WD1**

O veículo apresenta estrutura feita de alumínio anodizado e painéis Lexan ultra resistentes que proporciona amplo espaço interno para a montagem dos componentes eletrônicos. As rodas são afixadas diretamente aos eixos dos motores e os pneus, com

12 cm de diâmetro, garantem que o chassi permaneça a 4,15 cm do chão quando se desloca em terreno plano.

No seu interior estão os quatro motores DC 12 V 200 RPM com redução 30:1 que são alimentados por uma bateria Ni-MH 12 V e tem seu controle de velocidade feito pelo microcontrolador através da Bot Board II, que necessita de uma bateria de 6 V para seu funcionamento. O guiamento do carro ainda conta com três sensores infravermelhos Sharp GP2Y0A21YK0F com faixa de detecção de 10 a 80 centímetros.

O conjunto completo, com componentes eletrônicos e baterias, pesa aproximadamente 4 kg e pode atingir até 0,91 m/s quando trabalha com potência máxima.

### 3.3 MICROCONTROLADOR

Para transformação do veículo em um modelo completamente autônomo é necessário que exista um elemento embarcado encarregado do processamento de dados. Nesse sentido, é utilizado o microcontrolador Basic Atom Pro 28 acoplado à placa Bot Board II.

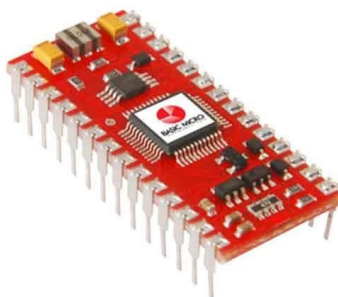
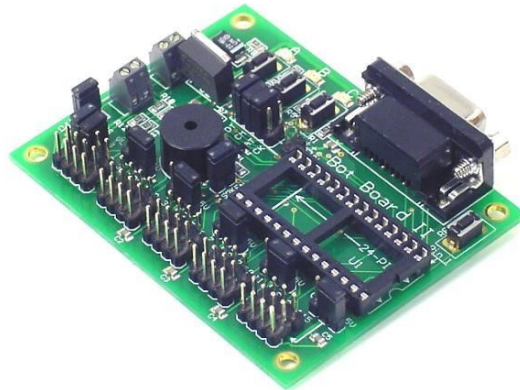


Figura 3.2 - Basic Atom Pro 28

O microcontrolador representado na figura 3.2 permite a utilização de 32 Kilobytes para inserção do código, possui 8 portas com capacidade de conversão analógico digital de 10 bits e pode armazenar números inteiros de até 32 bits (Cruchinho, 2011).

Este controlador é acoplado a uma placa Bot Board II que possui 16 pinos para serem usados por sensores, motores ou outros periféricos, além de 3 botões que podem

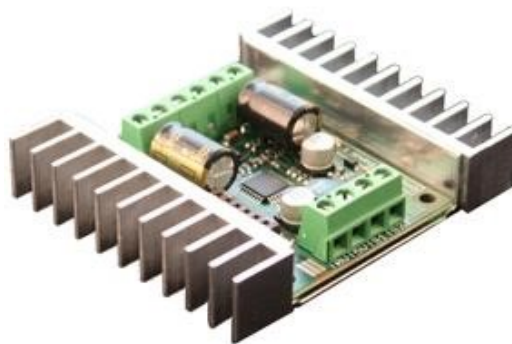
ser programados para executar comandos. A figura 3.3 ilustra a placa antes da conexão do microcontrolador.



**Figura 3.3 - Bot Board II**

A placa exige uma tensão de 6 volts para seu funcionamento e ainda permite a conexão de outra bateria de maior voltagem para a alimentação de servos e motores que exijam tensões maiores. Cada pino de conexão pode ser ter sua saída regulada em 5 volts ou na tensão da bateria secundária, para isso, basta deslocar os conectores na parte inferior conforme a tensão desejada.

Como o objetivo dessa placa é fazer o controle dos quatro motores DC presentes na plataforma, ela pode não ser capaz de suprir a corrente necessária para o movimento do veículo. Dessa forma, é necessário utilizar um *driver* que vai transmitir uma corrente maior aos motores, ao mesmo tempo que evita que o microcontrolador seja danificado por picos de corrente.



**Figura 3.4 - Sabertooth 2x12**

O *driver* usado foi a Sabertooth 2x12, apresentado na figura 3.4, que permite o controle dos motores de três formas diferentes: analógico, digital e pelo padrão TTL. Para a aplicação neste trabalho, o *driver* opera no método de controle digital, ou seja, ele espera por um sinal digital emitido pelo microcontrolador e o transmite para os motores.

O *driver* opera controlando separadamente os motores do lado direito e esquerdo. Dessa forma, o veículo é capaz de controlar sua direção nas curvas alterando a velocidade em apenas um par de rodas ou alterando o sentido de rotação dos motores em um dos lados.

### 3.4 SENSORES INFRAVERMELHOS

Como já discutido em seções anteriores, os sensores são componentes fundamentais para o bom funcionamento de sistemas autônomos e, por esse motivo, sensores infravermelhos estão presentes no veículo utilizado neste trabalho.

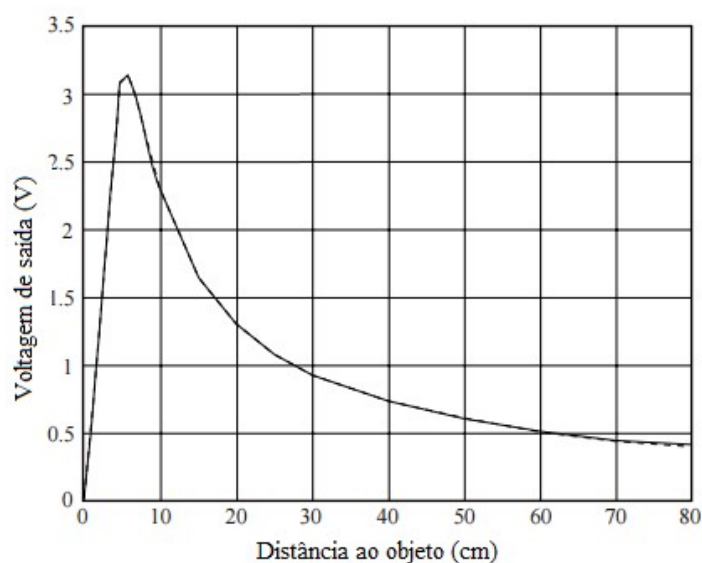
Os sensores infravermelhos funcionam com base na detecção por reflexão, ou seja, um emissor de radiação infravermelha emite um sinal que será refletido pelo objeto a ser detectado e vai de encontro a um receptor. Dessa forma, quanto mais próximo o objeto se encontra do sensor, maior será a intensidade do sinal que será captada pelo receptor.



Figura 3.5 - Sensor Sharp GP2Y0A21YK0F

O veículo descrito na seção 3.2 possui três sensores Sharp GP2Y0A21YK0F, representados na figura 3.5 que realizam a medição das distâncias entre a plataforma e possíveis obstáculos ao seu deslocamento. Dois destes sensores se encontram na parte dianteira e o terceiro na parte traseira, a fim de proporcionar melhor detecção do ambiente ao redor do veículo.

Quando funcionam em sua faixa de operação, estes sensores fornecem como saída uma tensão analógica que pode variar de 0,4 V à 2,3 V, e a relação entre a distância medida e o sinal de saída do sensor é representada nas figuras 3.6 e 3.7.

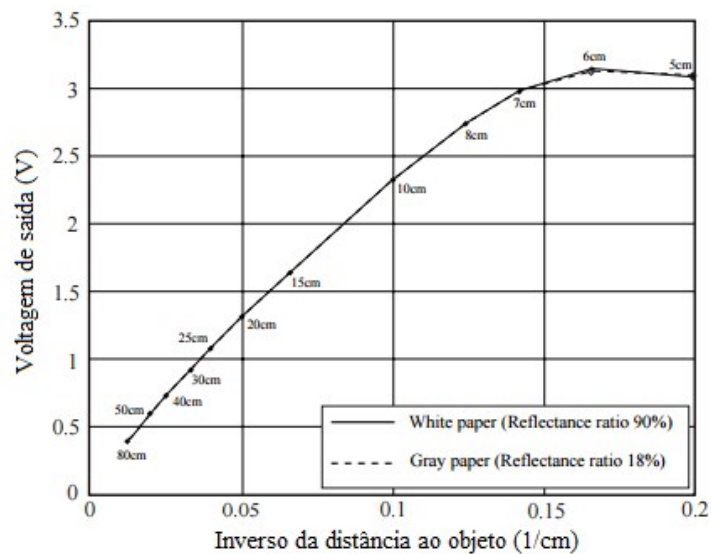


**Figura 3.6 - Voltagem de saída x distância**

Observa-se que o sinal de saída do sensor torna-se assintótico para distâncias superiores a 80 cm (figura 3.6). Dessa forma, o veículo não será capaz de identificar obstáculos localizados além dessa distância.

Quando ligado a uma unidade de processamento, o sensor não transmite nenhum sinal de saída para leituras abaixo de 10 cm. Isso evita que o processador interprete a voltagem recebida como uma distância diferente da grandeza real observada.

A faixa de utilização do sensor é facilmente observada na figura 3.7, na qual o sinal de saída está linearmente relacionado com o inverso da distância entre a plataforma e o obstáculo. Logo, distâncias em que esta relação deixa de ser linear estão, claramente, fora do intervalo de medição do sensor.



**Figura 3.7 - Voltagem de saída x inverso da distância**

O correto posicionamento dos sensores no veículo para proporcionar boa navegabilidade e margem de manobra suficiente para que obstáculos sejam detectados e evitados será discutido no capítulo seguinte, onde será mostrada a montagem completa da plataforma.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo estão apresentados os procedimentos realizados durante a montagem, tanto na parte mecânica quanto eletrônica, da plataforma móvel e as particularidades referentes ao guiamento do veículo autônomo.

### 4.1 MONTAGEM

Os principais componentes a serem conectados à estrutura física são as baterias, que garantem a autonomia do veículo, os sensores infravermelhos e o microcontrolador, responsável pela análise de dados adquiridos e pelo controle propriamente dito.

Certa atenção deve ser dada à posição de alguns desses elementos a fim de evitar interferências nos equipamentos eletrônicos. Dessa forma, os fios que ligam os motores ao *driver* foram enrolados e mantidos nas laterais da plataforma (longe da placa), assim como as baterias foram mantidas a certa distância do microcontrolador. Uma vez que o guiamento do veículo é altamente dependente das informações recebidas, falhas no processamento podem acarretar numa trajetória incorreta e até em danos à plataforma.

#### 4.1.1 MOTORES E MICROCONTROLADOR

Para assegurar que nenhum componente se mova durante o deslocamento do veículo, todos são afixados à plataforma com fita adesiva dupla face, evitando, assim, choques e separações entre as extremidades dos fios e seus respectivos conectores.

Os motores, já parafusados à plataforma, devem ser conectados ao *driver* do motor (Sabertooth), pois tanto sua alimentação quanto controle serão feitos por este. A bateria Ni-MH 12 V também será conectada ao *driver* conforme mostra a tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Conexões dos motores**

Terminais do <i>driver</i>	Conexões
M1A	Motores da direita (negativo)
M1B	Motores da direita (positivo)
B+	Bateria (positivo)
B-	Bateria (negativo)
M2A	Motores da esquerda (negativo)
M2B	Motores da esquerda (positivo)



Para ligar e desligar os motores sem a necessidade de abrir a plataforma e desconectar a bateria do *driver* sempre que for necessário, é colocada uma chave *switch* na saída da bateria a fim de facilitar esses procedimentos. A figura 4.1 mostra um esquema dessas conexões e da chave mencionada.

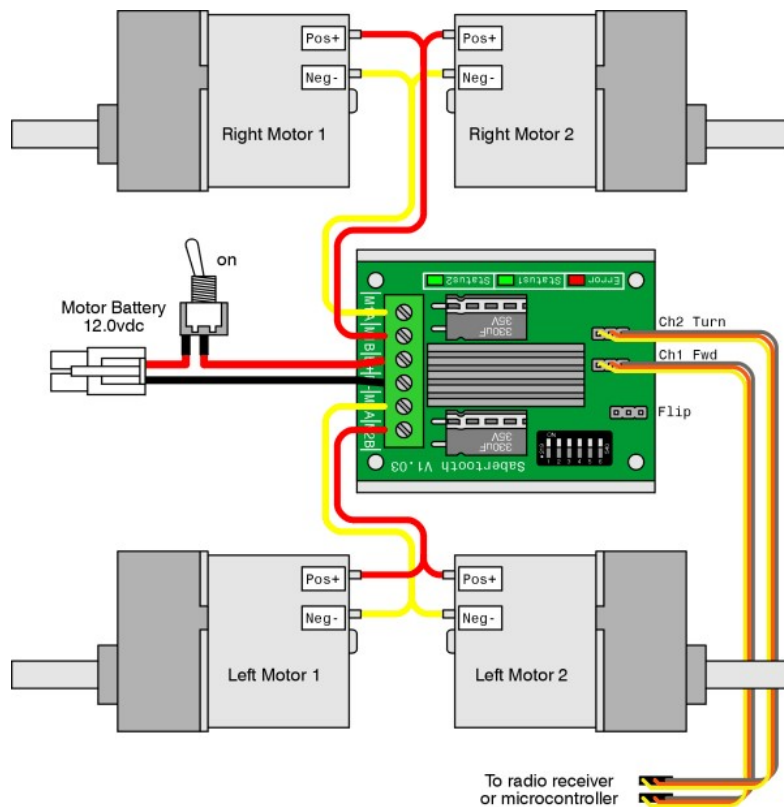


Figura 4.1 - Esquema das conexões dos motores e chave *switch* (Lynxmotion)

A comunicação entre o *driver* e o microcontrolador é feita através dos dois cabos mostrados na figura 4.1. Como todos os elementos até agora citados estão localizados no interior da plataforma, esses cabos devem aflorar na parte superior juntamente com os conectores da bateria Ni-MH 6 V para serem conectados ao microcontrolador.

A parte interior da plataforma está representada na figura 4.2, com os quatro motores DC, o *driver* do motor e as baterias Ni-MH de 6 V e 12 V. Em seguida a plataforma é fechada e, em sua capa, é afixado o microcontrolador e a chave *switch* conforme figura 3.1 exibida no capítulo anterior.



Figura 4.2 - Interior da plataforma

A seguir, procede-se com as conexões do *driver* e da bateria diretamente na Bot Board. Os conectores da bateria de 6 V são afixados na região apontada pelo número 6 na figura 4.3, tomando o devido cuidado com a polaridade.

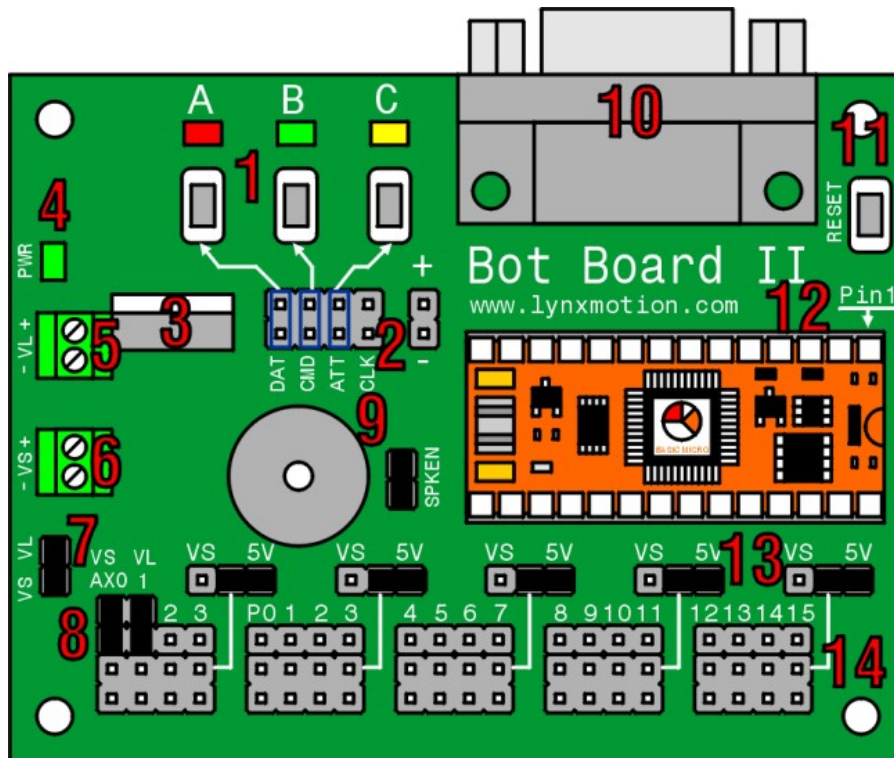


Figura 4.3 - Conectores do microcontrolador (Manual Bot Board II)

Os cabos provenientes do *driver* são conectados na primeira seção de pinos da região 14 (pinos P0, 1, 2 e 3). O canal 1, denominado por “Fwd”, é conectado em P0, enquanto que o canal 2, denominado “Turn”, é conectado em 1.

Como os motores não são alimentados pela mesma bateria do microcontrolador, é necessário que apenas os fios correspondentes ao sinal e ao terra sejam utilizados, ou

seja, o fio que corresponde a voltagem deve ser cortado e sua extremidade, isolada. A chave da região 13, correspondente aos canais do *driver*, é alterada para “VS”.

#### 4.1.2 SENSORES

A posição dos sensores sobre a plataforma representa um fator crítico no guiamento do veículo, pois estes são os responsáveis pela detecção de qualquer objeto que se localize nos seus arredores. Caso algum sensor esteja posicionado incorretamente, obstáculos podem passar despercebidos resultando na colisão do veículo.

Considerando a importância citada acima, a posição dos sensores é escolhida de forma a cobrir a maior região possível ao redor do veículo dentro do alcance de utilização dos sensores (80 cm).

Como apenas três sensores são utilizados, optou-se por fixar dois deles na parte dianteira do veículo e o terceiro na parte traseira. O sensor afixado na parte traseira está no centro do veículo voltado para trás e deve detectar a proximidade a qualquer objeto durante movimento retrógrado. Os sensores afixados na parte dianteira estão nas extremidades e devem detectar objetos à frente e próximos as rodas dianteiras do veículo.

Para tornar possível a identificação da aproximação tanto à frente quanto próxima às rodas, os sensores da parte dianteira foram afixados voltados para a diagonal oposta ao lado que se encontram, como mostra a figura 4.4.

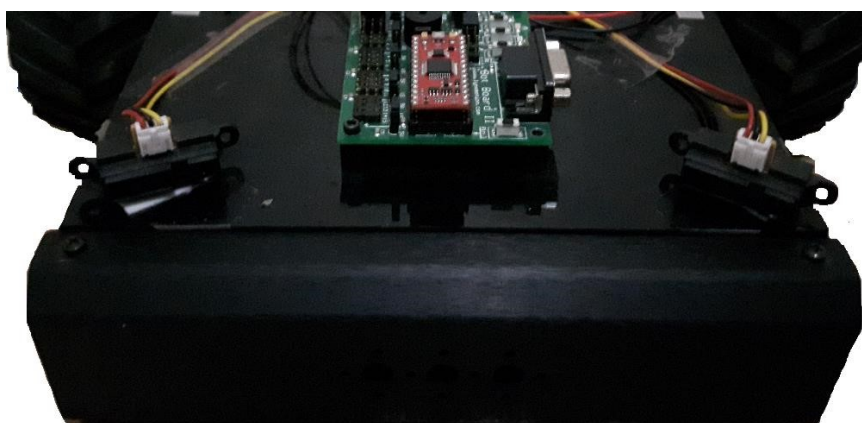


Figura 4.4 - Sensores frontais

Pequenos ajustes na angulação desses sensores foram feitos, experimentalmente, até que o processo de detecção fosse efetivo suficiente a fim de evitar o choque das rodas com os obstáculos. Esse ajuste consiste em posicionar os sensores em diferentes posições até que o veículo possa se deslocar sem o risco de algum obstáculo não ser detectado e colidir com as rodas ou laterais do veículo.

Após o correto posicionamento dos sensores, estes devem ser conectados ao microcontrolador na região 8 (figura 4.3), nos pinos 1, 2 e 3, seguindo a seguinte ordem: sensor dianteiro da esquerda, sensor dianteiro da direita, sensor traseiro. A chave da região 13 referente ao primeiro bloco é mantida em “5V” para que os sensores sejam energizados corretamente.

Com todos os componentes já em seu lugar, o microcontrolador é, então, programado através de um computador utilizando um cabo USB-serial para fazer a comunicação com a Bot Board.

O desempenho do veículo durante seu deslocamento é um reflexo da eficácia do programa carregado no controlador no que tange à tomada de decisão. O código deve abranger o máximo de cenários possíveis e as medidas corretivas a serem executadas para que o veículo possa atingir seu destino final.

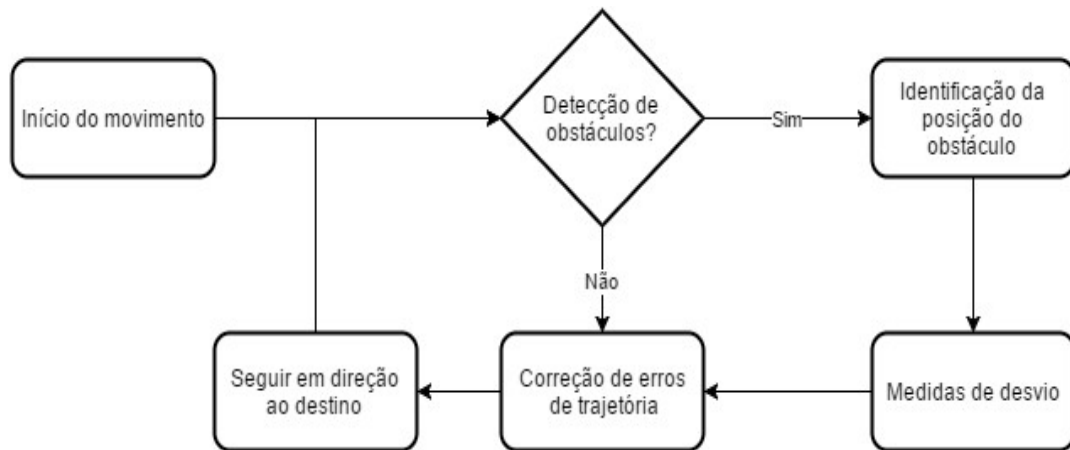
## 4.2 GUIAMENTO

O sistema de guiamento do veículo é composto pela placa com o microcontrolador, representando a unidade de decisão, e os sensores infravermelhos, que fazem a interação com o ambiente no qual a plataforma está inserida.

A placa Bot Board é responsável por receber os sinais gerados pelos sensores ao encontrar algum obstáculo potencial e transmiti-los ao microcontrolador. Este deve iniciar o processo de tomada de decisão de acordo com o código que nele foi inserido.

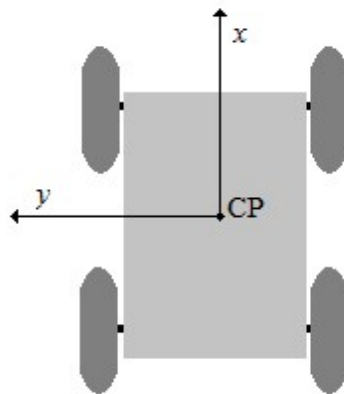
Uma vez realizado o processo de tomada de decisão, a placa conduz o sinal até o *driver* de controle dos motores que se encarrega de amplificá-lo e de transmitir energia suficiente aos motores para que estes possam executar os comandos recebidos.

A figura 4.5 apresenta um fluxograma com as operações executadas durante o processo de guiamento do veículo. Cada etapa representada está detalhada a seguir junto com os respectivos detalhes relativos à elaboração do código inserido no microcontrolador.



**Figura 4.5 - Fluxograma de guiamento do veículo**

Quando o movimento do veículo se inicia, seu destino final já deve estar definido na memória do controlador com coordenadas relativas tendo como base um sistema de referência centrado na posição inicial do veículo e orientado conforme a figura 4.6.



**Figura 4.6 - Sistema de referência para guiamento**

Antes que o veículo inicie seu movimento, as leituras dos sensores são consultadas para garantir que não existe nada que o impeça de avançar. O código que foi implementado no controlador inicia as medidas de desvio de obstáculos caso o sensor faça qualquer leitura abaixo de 25 cm.

Caso alguma leitura dos sensores identifique um objeto nas proximidades, o microcontrolador identifica a posição em que este se encontra (direita ou esquerda do veículo) através da comparação da voltagem de saída de ambos sensores frontais.

Neste caso, o veículo iniciará o procedimento de desvio, que é feito através de rotações de 45 graus a velocidade constante. A cada giro, o controlador examina novamente as leituras dos sensores e determina se é necessário mais um giro ou se o avanço do veículo já é possível.

Uma vez liberado o caminho, a plataforma inicia seu movimento com velocidade constante de 0,325 m/s, checando as leituras do sensor a cada 0,1 segundos. Após meio segundo se deslocando em linha reta, o microcontrolador inicia a etapa de correção da trajetória.

A correção da trajetória consiste em direcionar o veículo de volta ao seu destino final. Para isso, a posição atual do veículo é comparada com as coordenadas de seu destino e o resultado dessa comparação estabelece o ângulo do qual o veículo deve ser rotacionado para que fique novamente voltado para a direção correta e possa reiniciar o movimento.

Enquanto se desloca na ausência de obstáculos, o microcontrolador compara, a cada segundo, o alinhamento da rota percorrida com o menor caminho entre o carro e seu destino, fazendo correções se necessário.

Ao se aproximar de seu objetivo, o veículo checa se suas coordenadas estão suficientemente próximas da entrada dada ao controlador e, se estas forem iguais ou superiores, o veículo para seu movimento indicando que chegou ao seu destino e entra em modo de baixo consumo de energia.

Para tornar possível o acompanhamento da rota do veículo, juntamente com o deslocamento total e a direção do movimento, é utilizada uma contagem de pulsos transmitidos aos motores. Esse método exclui a análise do deslizamento das rodas sobre o terreno e, portanto, gera pequenos erros no que se trata da posição real do veículo.

No entanto, o método utilizado tem pouco custo de processamento e descarta a utilização de outros periféricos acoplados a placa. As consequências dos erros gerados são explicadas no capítulo seguinte.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar com precisão o guiamento de um veículo autônomo é necessário conhecer tanto sua posição a cada instante quanto o mapa da região em que se desloca. Com base nesses dois parâmetros, é possível realizar o planejamento da trajetória a ser seguida pela plataforma móvel desde seu ponto inicial até sua posição de destino.

Utilizando também as informações provenientes dos sensores instalados, é possível determinar uma rota que irá evitar a colisão com eventuais obstáculos existentes no ambiente.

Nesse trabalho são realizados três diferentes testes com o objetivo de validar o algoritmo de guiamento implementado. Cada teste é realizado cinco vezes e os resultados obtidos são usados para mensurar a capacidade do veículo de atingir seu destino tendo como entrada apenas a posição final.

O primeiro teste consiste em verificar o desempenho do veículo quando esse encontra apenas um obstáculo em sua trajetória e as posições inicial e final estão alinhadas. Através da leitura dos sensores infravermelhos instalados, a plataforma móvel reconhece a presença de uma barreira ao longo da rota estabelecida com base na entrada fornecida. Ao se aproximar do objeto, o carro realiza um desvio de 45° em relação à sua rota e continua seguindo em frente nessa direção até que realize a correção de sua trajetória.

Esse teste é realizado cinco vezes e são coletados os dados de posição e orientação do carro desde a posição inicial até o destino final. Os valores obtidos são apresentados na figura 5.1, que mostra a trajetória realizada pelo carro nas cinco repetições do experimento. Também está representado na figura 5.1 o obstáculo encontrado pelo veículo e uma circunferência de raio 30 cm indicando o destino final a ser alcançado. O raio do círculo foi definido como 30 cm por representar aproximação considerável quando se considera a distância entre as rodas do veículo que é de 28 cm.

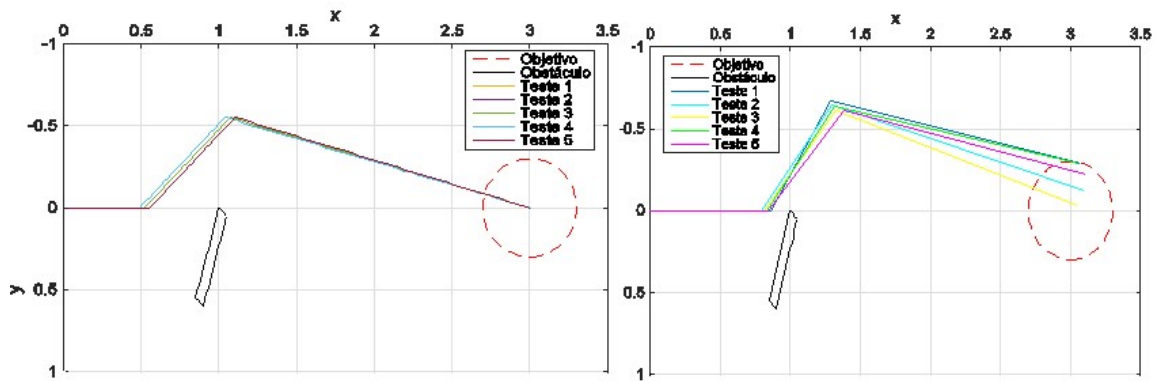


Figura 5.1 - Trajetória do veículo no primeiro teste

Analisando os dados coletados e expostos na figura 5.1, observam-se as trajetórias realizadas pelo carro durante os cinco testes realizados. É possível perceber uma pequena diferença entre o movimento real do carro (parte direita da figura) e os dados que eram alimentados pelo controlador (parte esquerda da figura). Observa-se também que o primeiro desvio realizado pelo veículo ao se deparar com o obstáculo corresponde aos  $45^\circ$  previstos na programação do veículo autônomo, indicando que, apesar do deslizamento das rodas durante o movimento de rotação, ainda foi possível manter certa precisão no movimento. Eventuais diferenças nas coordenadas onde ocorre tal rotação são decorrentes da identificação posterior da barreira ao movimento.

Ainda da análise do gráfico, percebe-se que a correção da trajetória realizada pelo veículo é satisfatória uma vez que o mesmo é capaz de alcançar seu destino final, representado no gráfico pela circunferência de raio 30 cm. O erro representado pela diferença entre a posição final real e a prevista na programação foi inferior a 10% tomando como base o raio do círculo em seu destino final. Esse desvio em relação à trajetória esperada é aceitável para um guiamento realizado levando em consideração velocidade constante para o deslocamento da plataforma móvel e sem a utilização de *encoders* para determinar e corrigir os parâmetros de velocidade e posição a cada instante.

O segundo experimento consiste em submeter o veículo a um percurso estilo labirinto para, em seguida, analisar o desvio da trajetória obtida em relação à esperada. Mais uma vez, o teste é repetido cinco vezes e os dados coletados são expostos na forma de gráfico, apresentado na figura 5.2. Também estão representados na figura os obstáculos utilizados na construção do labirinto em análise e a circunferência de raio 30 cm utilizada para delimitar o destino final.



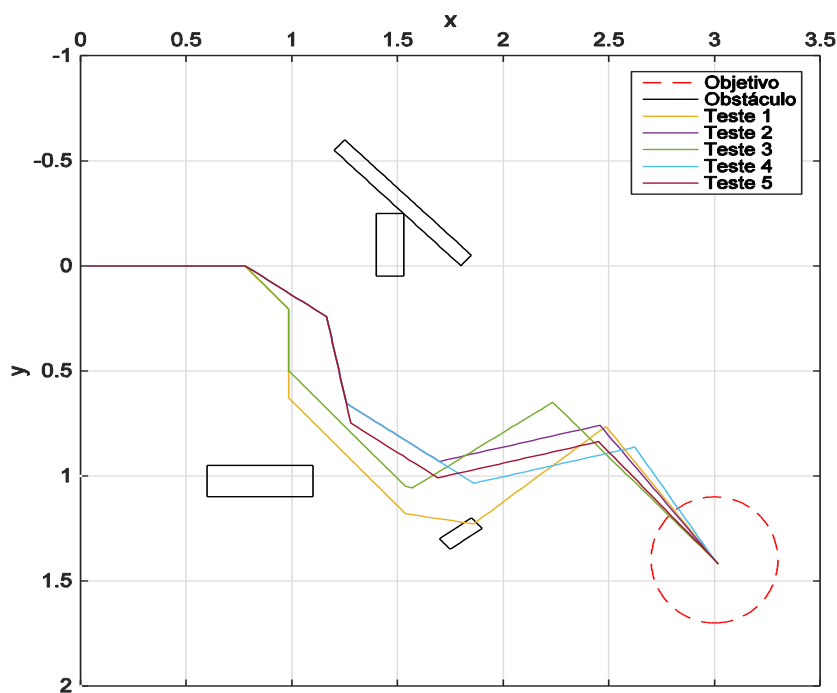


Figura 5.2 - Trajetória do veículo no segundo teste

Para analisar os dados coletados é necessário entender que o movimento do veículo é baseado em duas ações. A primeira delas é buscar constantemente se aproximar do alvo o máximo possível sempre que não houver nenhum obstáculo nas vizinhanças da plataforma. A segunda corresponde a alterar a direção da trajetória para evitar a colisão sempre que uma barreira é identificada para, em seguida, realizar a correção do caminho.

No segundo teste observa-se maior variação no trajeto desenvolvido pelo carro. Nos testes 1 e 3, o veículo realiza um desvio de  $45^\circ$  com relação a sua rota original ao encontrar um obstáculo. Já nos testes 1, 2 e 5 o carro realiza a correção da trajetória de modo a orientar-se em direção a seu destino final. Esse ajuste de rota ocorre porque os sensores infravermelhos não acusaram nenhuma barreira no caminho. Tal diferença no comportamento pode ser explicado por eventuais ruídos na leitura dos sensores infravermelhos.

Nos testes 1 e 3, após o primeiro desvio de  $45^\circ$ , o veículo segue em frente de modo a se aproximar de seu destino final e, em seguida, corrige sua trajetória para alcançar o alvo. Ele segue seu novo caminho até que, novamente, encontra uma barreira e realiza nova rotação para, por fim, realizar nova correção na trajetória e alcançar seu objetivo. A decisão de virar à direita ou à esquerda ocorre baseada na leitura dos

sensores infravermelhos e é influenciada pelo ruído. O mesmo é desviado na direção contrária ao sensor, isto é, o sensor posicionado do lado direito do carro tem sua face voltada para o lado esquerdo e, ao identificar um objeto, provoca rotação no sentido contrário a sua orientação.

Nos testes 2, 4 e 5, após a correção da trajetória o veículo identifica um obstáculo para então realizar um desvio de 45° e seguir em frente. Uma nova correção de trajetória é realizada até que o carro encontre outra obstrução e novamente desvie sua rota e, por fim, realize nova correção de caminho. Assim como nos testes anteriores, o ruído da leitura dos sensores provoca as diferenças observadas na trajetória mostrada no gráfico.

Da interpretação da figura 5.2, a trajetória representada pelo teste 1 parece colidir com um obstáculo. Esse choque não é observado no experimento e a aparente inconsistência nos dados pode ser explicada pelo deslizamento das rodas e pela medição imprecisa das velocidades da plataforma a cada instante. Como a velocidade do veículo é considerada constante no algoritmo de guiamento e o deslizamento das rodas não é levado em consideração nele, o microprocessador do carro não é capaz de reproduzir com exatidão o trajeto em estudo.

No entanto, ainda que a coleta e análise de dados do microprocessador não represente com precisão o movimento observado no experimento, ele oferece uma estimativa razoável do comportamento do sistema ao longo do teste. Mais uma vez, considerando tanto os resultados experimentais quanto as informações do microprocessador, é possível afirmar que o guiamento é eficiente, pois leva o veículo da posição inicial à posição final com erro inferior a 15%, ou seja, inferior a 5 cm.

No terceiro experimento, o carro é submetido a outro percurso estilo labirinto e, mais uma vez, são realizadas cinco tentativas para a coleta de dados e posterior avaliação de seu comportamento. Os parâmetros levantados estão apresentados na figura 5.3, onde também se encontram representados os obstáculos utilizados na montagem do experimento e a circunferência de raio 30 cm utilizada para indicar o objetivo final.

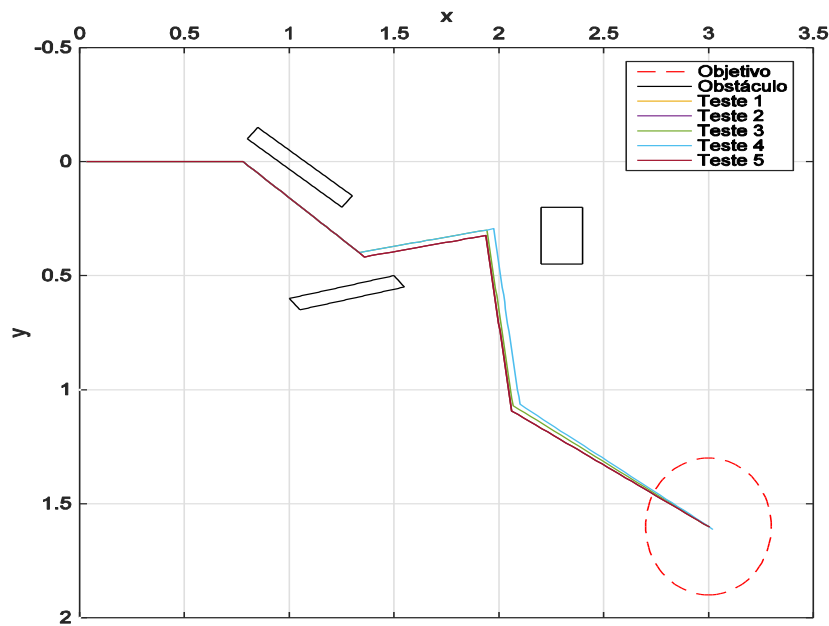


Figura 5.3 - Trajetória do veículo no terceiro teste

Da interpretação dos dados apresentados na figura 5.3, observam-se apenas três trajetórias distintas ainda que estejam apresentados os resultados de cinco tentativas diferentes. Isso indica que o comportamento do veículo foi bem próximo do teórico.

O primeiro desvio da trajetória de  $45^\circ$  ocorreu na mesma posição nas cinco vezes em que o teste foi realizado. Diferentemente do que ocorre nos testes anteriores apresentados nas figuras 5.1 e 5.2, no terceiro teste o veículo realiza dois novos desvios de  $45^\circ$  em relação a sua rota anterior antes que realize a correção de rota. Novamente, as diferenças entre os instantes de identificação do segundo e terceiro obstáculo ocorrem devido ao ruído na leitura dos sensores infravermelhos.

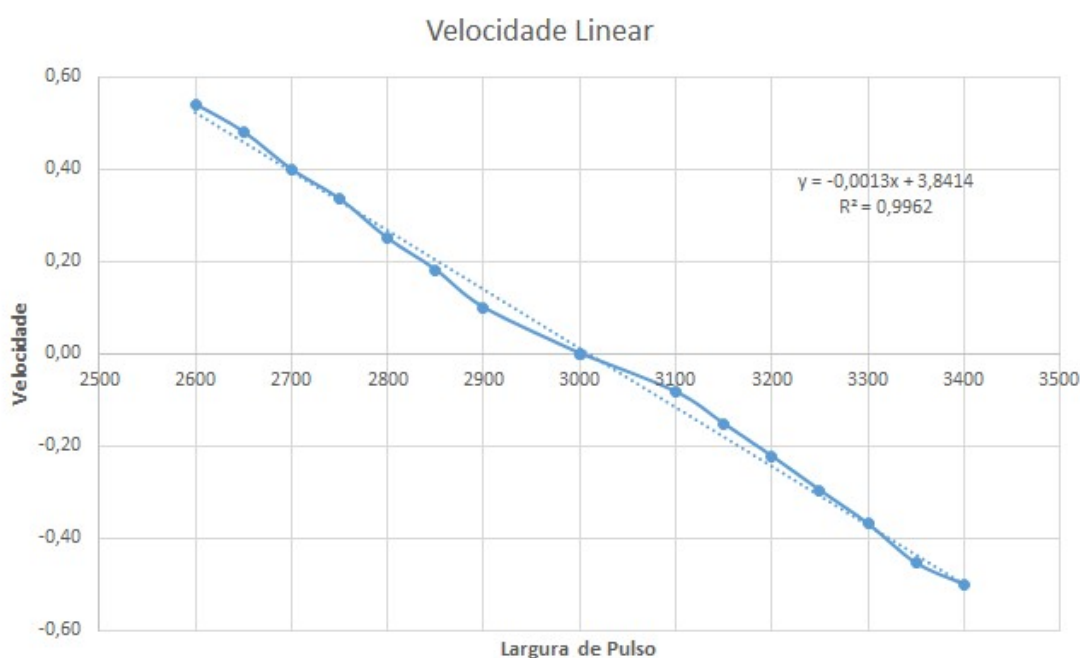
A figura 5.3 mostra que o veículo é capaz de realizar sucessivos desvios antes de corrigir sua trajetória e ainda assim atingir seu destino com erro inferior a 10%, validando o algoritmo de guiamento implementado.

Ao comparar os resultados dos três experimentos, conclui-se que o guiamento do veículo se aproxima mais da trajetória prevista na teoria quando esse não encontra nenhum obstáculo durante sua correção de trajetória. No entanto, ainda que o percurso sofra pequeno desvio com relação ao teórico, ainda assim o carro é capaz de atingir sua posição final com erro próximo de 15%. Conclui-se então que o algoritmo de guiamento é eficiente para um veículo que não possui nenhum tipo de *feedback* com relação à velocidade das rodas ou seu posicionamento.

Espera-se que o erro percentual na trajetória seja reduzido com a utilização de *encoders* para estimar a velocidade do carro através da posição das rodas. Dessa forma, afastamento do comportamento teórico ocorreria apenas em função do ruído dos sensores infravermelhos e eventuais deslizamentos das rodas sobre o terreno.

Conforme mencionado, a plataforma móvel não possui instalado nenhum dispositivo para a medição da velocidade do sistema e, portanto, o guiamento é realizado considerando velocidade constante durante todo o percurso. No entanto, antes de programar o microcontrolador é necessário levantar os parâmetros de velocidade do veículo.

Dessa forma, é realizado o levantamento do comportamento do carro quando diferentes valores de entrada são fornecidos para as rodas. A curva de velocidade obtida é apresentada na figura 5.4.



**Figura 5.4 - Curva de velocidade linear**

Para a aquisição de dados, são feitas 5 marcações equidistantes de 50 cm no mesmo terreno em que são realizados os testes. Em seguida, abandona-se o veículo deslocando-se em linha reta e mede-se o tempo que esse leva para atingir cada uma das marcações para então determinar a velocidade linear de deslocamento do carro. Esse procedimento é repetido para 15 valores distintos de entradas fornecidos para os quatro motores do sistema. Com base nos resultados obtidos expostos na figura 5.4, foi

selecionado o valor de 0,325 m/s para a velocidade constante de deslocamento da plataforma. Essa velocidade é selecionada por, experimentalmente, apresentar comportamento mais próximo do linear.

Outros testes podem ser realizados utilizando valores diferentes de velocidade linear de modo a analisar o desvio em relação à trajetória esperada pelo carro. No entanto, o valor utilizado nesse trabalho retornou precisão suficiente nos resultados obtidos.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Ao longo do presente trabalho, é desenvolvido um algoritmo de guiamento para um veículo autônomo. A validação desse método de guiamento ocorre por meio da realização de três experimentos, cada um reproduzido cinco vezes, para posterior análise de dados.

Com base no exposto no capítulo de Resultados e Conclusões, é possível concluir que o objetivo de implementar um protótipo laboratorial de VTNT foi alcançado, uma vez que o veículo é capaz tanto de se deslocar em um ambiente desconhecido sem sofrer colisão quanto de alcançar seu destino final.

A correção da trajetória implementada no sistema móvel foi satisfatória, ainda que não leve em conta os efeitos de deslizamentos das rodas, e o comportamento do veículo foi próximo do comportamento previsto na teoria. Os desvios observados em relação ao comportamento esperado são decorrentes do ruído na leitura dos sensores infravermelhos e da consideração da velocidade constante para o movimento do sistema.

Como forma de diminuir os erros obtidos, sugere-se a instalação de outros sensores infravermelhos, de modo a apurar a interpretação dos dados retornados pelos sensores, diminuindo assim o ruído e aumentando a área de detecção.

A instalação de *encoders* nos motores fica como sugestão para trabalhos futuros, visando diminuir o erro de medição da velocidade e da posição do veículo, possibilitando, inclusive, a variação da velocidade linear durante o trajeto.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABODUNRIN, A.; PITTS JR, R. **Improving obstacle detection of automated guided vehicles via analysis of sonar and infrared sensors output.**

AL-BUSAIDI, A. M. **Development of an educational environment for online control of a biped robot using matlab and arduino.** In: IEEE. *Mechatronics (MECATRONICS), 2012 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on and Research and Education in Mechatronics (REM), 2012 13th Int'l Workshop on.* [S.l.], 2012. p. 337–344.

BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. **Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots.** *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, v. 19, n. 5, p. 1179–1187, 1989.

BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. **Histogramic in-motion mapping for mobile robot obstacle avoidance.** *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, IEEE, v. 7, n. 4, p. 535–539, 1991.

BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. **The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots.** *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, IEEE, v. 7, n. 3, p. 278–288, 1991.

BOZER, Y. A.; SRINIVASAN, M. M. **Tandem configurations for automated guided vehicle systems and the analysis of single vehicle loops.** *IIE transactions*, Taylor & Francis, v. 23, n. 1, p. 72–82, 1991.

BRASIL. Portaria nº 43 – EME, de 12 de março de 2014.

BUSQUETS, J. et al. **Low-cost AUV based on arduino open source microcontroller board for oceanographic research applications in a collaborative long term deployment missions and suitable for combining with an USV as**

**autonomous automatic recharging platform.** In: IEEE. *2012 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles (AUV)*. [S.l.], 2012. p. 1–10.

CRUCHINHO, G. **Arquitectura wormhole aplicada a robôs móveis.** 2011. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática) - Especialização em Arquitectura, Sistemas e Redes de Computadores, Universidade de Lisboa.

FERREIRA, A. et al. **An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape.** *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica*, SciELO Brasil, v. 19, n. 4, p. 395–405, 2008.

HUANG, J. et al. **A model-based sound localization system and its application to robot navigation.** *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, v. 27, n. 4, p. 199–209, 1999.

JUNG, C. R. et al. **Computação embarcada: Projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes.** *Anais do CSBC*, v. 5, p. 1358–1406, 2005.

MINGUEZ, J.; MONTANO, L. **Nearness diagram navigation (ND): A new real time collision avoidance approach.** In: IEEE. *Intelligent Robots and Systems, 2000. (IROS 2000). Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference on*. [S.l.], 2000. v. 3, p. 2094–2100.

PARIKH, P. A.; JOSHI, K. D.; SHETH, S. **Color guided vehicle – an intelligent material handling mechatronic system.** In: *Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM 2013), IIT Roorkee, India*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 628–635.

RIBEIRO, M. I. **Obstacle avoidance.** *Instituto de Sistemas e Robótica, Instituto Superior Técnico*, Citeseer, p. 1, 2005.



SHAJAHAN, A. H.; ANAND, A. **Data acquisition and control using arduino-android platform: Smart plug.** In: IEEE. *Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 2013 International Conference on.* [S.l.], 2013. p. 241–244.

VARGA, R.; NEDEVSKI, S. **Vision-based autonomous load handling for automated guided vehicles.** In: IEEE. *Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), 2014 IEEE International Conference on.* [S.l.], 2014. p. 239–244.