

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE EM
ELETRÔNICA/TELECOMUNICAÇÕES

MURILO SANTOS HOLTMAN

ROBÔ MÓVEL PARA INSPEÇÃO DE MATERIAIS PERIGOSOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

MURILO SANTOS HOLTMAN

ROBÔ MÓVEL PARA INSPEÇÃO DE MATERIAIS PERIGOSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista (Eletrônica/Telecomunicações), do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M. Sc. Daniel Rossato de Oliveira

CURITIBA

2012

Folha destinada à inclusão da **Ficha Catalográfica** (elemento obrigatório somente para as dissertações) a ser solicitada ao Departamento de Biblioteca do Campus UTFPR (prazo: 3 dias) e posteriormente impressa no verso da Folha de Rosto (folha anterior).



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba

Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Engenharia Elétrica — Ênfase em
Eletrônica/Telecomunicações



TERMO DE APROVAÇÃO

ROBÔ MÓVEL PARA INSPEÇÃO DE MATERIAIS PERIGOSOS

por

MURILO SANTOS HOLTMAN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de outubro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista — Ênfase em Eletrônica/Telecomunicações. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. Sc. Daniel Rossato de Oliveira
Prof. Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha família, pelo imenso suporte e compreensão sem os quais não teria realizado este projeto.

Ao professor orientador, por seu suporte incondicional ao longo de todo o projeto.

Ao Sr. João Lipinski, que me auxiliou com grande diligência, calma e atenção sempre que foi necessário, e a quem o sucesso deste projeto se deve, indiscutivelmente, em grande parte.

Aos amigos Jardel Lucca, Charles Fung, Ricardo Odorczyk e Eduardo Romani, pela grande ajuda em várias ocasiões.

Aos demais professores e colegas que ajudaram em algum momento.

RESUMO

HOLTMAN, Murilo Santos. **Robô móvel para inspeção de materiais perigosos.** 2012. 110 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrônica/Telecomunicações – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Muitas tarefas que envolvem a manipulação de objetos potencialmente perigosos ou exposição a fatores prejudiciais para seres humanos, como a remoção de explosivos por forças de segurança, podem ser realizadas com o auxílio de dispositivos eletromecânicos remotamente controlados, ou robôs. No entanto, o custo destes equipamentos é freqüentemente muito alto (na casa das dezenas de milhares de dólares). O objetivo desse trabalho é, então, desenvolver mecânica, hardware e software de um robô móvel, compacto e de baixo custo, que possa ser empregado em tais situações e controlado remotamente. O projeto será conduzido com as seguintes etapas: primeiro, serão realizadas análises e estudos a fim de tomar decisões técnicas; em seguida, a parte mecânica será projetada e construída; os sistemas elétricos embarcados no robô e o controle remoto serão desenvolvidos; e, por fim, serão realizados testes e a documentação será redigida. O resultado esperado é uma plataforma simples e facilmente adaptável, que sirva como demonstração de que é possível construir um sistema robótico de custo extremamente baixo (cerca de R\$ 1.000).

Palavras-chave: Robô móvel. EOD. ROV. Inspeção. Segurança.

ABSTRACT

HOLTMAN, Murilo Santos. **Mobile Robot for Remote Inspection of Dangerous Materials**. 2012. 110 pages. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrônica/Telecomunicações – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Several tasks that require the handling of potentially dangerous objects or the exposure of humans to life-threatening conditions, such as explosive disposal, may be carried out with the aid of remotely controlled electromechanical devices, or robots. The costs of such equipment, however, are often in the tens of thousands of dollars. The goal of this work is to therefore develop the mechanics and electronics (hardware and software) of a low-cost, compact mobile robot that may be employed in such situations and be remotely controlled by a human user. The project is to be carried out with the following steps: firstly, technical analyses and decisions are made; next, the robot's mechanics are designed and built; embedded and remote control electronics are then developed; and lastly, testing and documentation take place. The intended result is a simple and adaptable platform that lends itself to demonstrating the feasibility of building such mobile robotic systems with a cost under R\$ 1000 (around US\$ 500).

Keywords: Mobile robot. EOD. ROV. Inspection. Security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama completo do projeto proposto.....	17
Figura 2 – Robô de remoção de explosivos (EOD) da polícia norte-americana.	18
Figura 3 – Atendimento a ocorrência de suspeita de bomba.....	19
Figura 4 – Cantoneiras de aço, usadas inicialmente na construção do protótipo.....	23
Figura 5 – Cantoneiras de alumínio; material básico do chassi.....	24
Figura 6 – Motor DC com redução usado no projeto.....	24
Figura 7 – Correias sincronizadoras automotivas usadas como esteiras.	25
Figura 8 – <i>Driver</i> de motor L298.....	27
Figura 9 – Ilustração do chassi básico do veículo.	30
Figura 10 – Braços frontais de suporte dos tracionadores.	30
Figura 11 – Peças do veículo desmontado.....	31
Figura 12 – Vista superior geral do veículo, com chassi visível.....	31
Figura 13 – Instalação das baterias no veículo.	32
Figura 14 – Rodas do veículo e suas funções.....	33
Figura 15 – Processo de perfuração de um eixo.	33
Figura 16 – Eixo finalizado.	34
Figura 17 – Vista inferior do veículo.	34
Figura 18 – Cubo com rolamento instalado.....	35
Figura 19 – Cubo de roda fixado à extremidade de um eixo.	35
Figura 20 – Montagem de uma roda.....	36
Figura 21 – Montagem de uma roda em torno de um cubo.....	36
Figura 22 – Vista das rodas de apoio (livres) no veículo, com guias para as esteiras visíveis.....	37
Figura 23 – Protótipo descartado do veículo com suspensão.	37
Figura 24 – Ilustração simplificada do problema do <i>detracking</i> nos protótipos com suspensão.	39
Figura 25 – Tensionador instalado em uma esteira do veículo.	40
Figura 26 – Detalhe da instalação de uma esteira através de um tensionador.	41
Figura 27 – Fixação de motor de tração sob um braço frontal do chassi.	41
Figura 28 – Coroa menor do sistema de transmissão.....	42
Figura 29 – Roda de tração com coroa maior.	42
Figura 30 – Ilustração dos modos de realização de curvas do veículo.	43
Figura 31 – Peças básicas da garra mecânica.....	45
Figura 32 – Construção básica da garra mecânica.	45
Figura 33 – Esquema de operação de uma garra.	46
Figura 34 – Ilustração do mecanismo de movimentação de uma garra.	46
Figura 35 – Peça atuadora da garra.....	46
Figura 36 – Buchas de acoplamento dos fusos atuadores da garra mecânica.	47
Figura 37 – Esquema dos circuitos interruptores de fim de curso.	47

Figura 38 – Chaves interruptoras de fim de curso.....	48
Figura 39 – Diagrama geral do sistema elétrico do robô.....	49
Figura 40 – Baterias de alimentação do veículo.....	49
Figura 41 – Diagrama simplificado do sistema de alimentação do robô.....	51
Figura 42 – Pinagem do microcontrolador PIC18F4550.....	52
Figura 43 – <i>Layout</i> da placa de processamento.....	54
Figura 44 – Placa de processamento.....	54
Figura 45 – Processo de programação do <i>firmware</i> embarcado.....	55
Figura 46 – Módulo RF-2400P.....	56
Figura 47 – Forma de onda do sinal MISO após <i>buffer</i> com tempo de subida insuficiente (<i>pull-up</i> de 10 k Ω).....	57
Figura 48 – Captura de tela do ambiente de desenvolvimento do <i>firmware</i>	58
Figura 49 – Teste de protótipo inicial do sistema de acionamento dos motores.....	62
Figura 50 – Diagrama de um <i>driver</i> compartilhado.....	63
Figura 51 – Relê Metaltex ML2RC2.....	65
Figura 52 – <i>Layout</i> da placa de <i>drivers</i>	66
Figura 53 – Placa de <i>drivers</i>	66
Figura 54 – Sistema elétrico do veículo acondicionado dentro de caixa plástica.....	68
Figura 55 – <i>Layout</i> da placa do controle remoto.....	69
Figura 56 – Placa do controle remoto e sua conexão com o <i>joystick</i>	69
Figura 57 – Pinagem do microcontrolador PIC16F876A.....	70
Figura 58 – Montagem do controle remoto em sua caixa.....	71
Figura 59 – Interface do controle remoto.....	72
Figura 60 – Diagrama do funcionamento da interface de controle remoto via PC.....	73
Figura 61 – Interface do aplicativo de controle.....	75
Figura 62 – Cronograma da realização do projeto.....	76
Figura 63 – Organograma da estrutura hierárquica do empreendimento.....	92
Quadro 1 – Características finais aproximadas do robô.....	43
Quadro 2 – Variáveis da lei de Peukert para estimativa da autonomia.....	50
Quadro 3 – Tensões de alimentação do sistema eletrônico embarcado.....	51
Quadro 4 – Módulos do <i>firmware</i> do veículo.....	58
Quadro 5 – Tarefas do <i>firmware</i> embarcado no veículo.....	59
Quadro 6 – Campos do pacote de comunicação.....	60
Quadro 7 – Comandos gerados pelo controle remoto.....	61
Quadro 8 – Motores atribuídos a cada <i>driver</i>	62
Quadro 9 – Sinais de controle de cada <i>driver</i> compartilhado.....	64
Quadro 10 – Características do transistor IRF540N.....	64
Quadro 11 – Estimativas do tempo gasto na realização do projeto.....	77
Quadro 12 – Estimativa de custos do projeto.....	78
Quadro 13 – Análise de riscos.....	79
Quadro 14 – Classificações dos riscos.....	79

Quadro 15 – Análise comparativa de concorrentes.....	83
Quadro 16 – Países do mundo ordenados por gasto com segurança interna.....	87
Quadro 17 – Lista dos maiores <i>players</i> no mercado mundial de defesa no ano de 2010.....	88
Quadro 18 – Análise SWOT.	89
Quadro 19 – <i>Forecast</i> de vendas num período de 5 anos.....	91
Quadro 20 – Cronograma de atividades para a abertura do negócio.....	92
Quadro 21 – Projeção do quadro de pessoal.	93
Quadro 22 – Projeção de fluxo de caixa.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DPDT	<i>Double Pole/Double Throw</i>
EOD	<i>Explosive Ordnance Disposal</i>
ICSP™	<i>In-Circuit Serial Programming™</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
MOSFET	<i>Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PDIP	<i>Plastic Dual Inline Package</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROV	<i>Remotely Operated Vehicle</i>
SPDT	<i>Single Pole/Double Throw</i>
SPI™	<i>Serial Peripheral Interface™</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 ESCOPO	20
1.4 METODOLOGIA	21
2 PESQUISA DE TECNOLOGIAS	23
2.1 CONSTRUÇÃO DO VEÍCULO	23
2.2 MOTORES	24
2.3 ESTEIRAS	25
2.4 PROCESSAMENTO	26
2.5 COMUNICAÇÃO	26
2.6 DRIVERS DE POTÊNCIA	27
3 DESENVOLVIMENTO	29
3.1 VEÍCULO	29
3.1.1 Chassi	29
3.1.2 Eixos e rodas	32
3.1.3 Esteiras e tensionadores	38
3.1.4 Tração	41
3.1.5 Dimensões e características finais	43
3.1.6 Considerações	44
3.2 GARRA MECÂNICA	44
3.2.1 Considerações	48
3.3 SISTEMA ELÉTRICO DO VEÍCULO	48
3.3.1 Alimentação	49
3.3.2 Processamento	51
3.3.2.1 Comunicação	55
3.3.2.2 <i>Firmware</i>	57
3.3.3 Drivers de potência	62
3.3.3.1 Considerações	67
3.3.4 Acondicionamento	67
3.4 CONTROLE REMOTO	68
3.4.1 Processamento e comunicação	69
3.4.2 Interface	70
3.4.3 Considerações	72
3.5 CONTROLE REMOTO VIA PC	73
3.5.1 Firmware do transmissor	74
3.5.2 Aplicativo de controle	74
4 GESTÃO	76

4.1 CRONOGRAMA.....	76
4.2 TEMPO	77
4.3 CUSTOS	77
4.4 RISCOS	78
5 PLANO DE NEGÓCIOS	80
5.1 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO	80
5.1.1 Visão	80
5.1.2 Missão.....	80
5.1.3 Valores.....	81
5.1.4 Descrição do negócio.....	81
5.2 OBJETIVOS	81
5.2.1 Objetivos principais	81
5.2.2 Objetivos intermediários.....	82
5.3 PRODUTO E SERVIÇOS	82
5.3.1 Descrição do produto e serviços	82
5.3.2 Análise comparativa	82
5.3.3 Tecnologia.....	83
5.3.4 Produtos e serviços futuros.....	83
5.4 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA	84
5.4.1 Segmentação do mercado	84
5.4.2 Segmento-alvo do mercado	84
5.4.2.1 Necessidades do mercado	85
5.4.2.2 Tendências do mercado.....	85
5.4.2.3 Crescimento do mercado	85
5.4.3 Análise da indústria.....	86
5.4.3.1 <i>Players</i>	87
5.4.3.2 Modelo de distribuição	88
5.4.3.3 Modelo de competitividade.....	88
5.5 DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR	89
5.6 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO	89
5.6.1 Diferenciais competitivos e proposta de valor	89
5.6.2 Estratégia de marketing	90
5.6.2.1 Estratégia de preços	90
5.6.2.2 Estratégia de promoção	90
5.6.2.3 Estratégia de distribuição	90
5.6.3 Estratégia de vendas	90
5.6.3.1 <i>Forecast</i>	90
5.6.3.2 Plano de vendas.....	91
5.6.4 Cronograma	91
5.7 GESTÃO	92
5.7.1 Estrutura organizacional e equipe.....	92

5.7.2 Quadro de pessoal.....	93
5.8 PLANO FINANCEIRO.....	93
5.8.1 Análise do break-even.....	93
5.8.2 Investimento inicial.....	94
5.8.3 Projeção do resultado e fluxo de caixa.....	94
5.8.4 Viabilidade do empreendimento.....	97
6 CONCLUSÃO.....	98
6.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	98
REFERÊNCIAS.....	100
ANEXO A - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA PLACA DE PROCESSAMENTO.....	104
ANEXO B - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA PLACA DE <i>DRIVERS</i> DE POTÊNCIA 106	
ANEXO C - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA PLACA DO CONTROLE REMOTO 108	

1 INTRODUÇÃO

Os robôs telecontrolados são uma invenção relativamente recente, cujo desenvolvimento dependeu de décadas de aperfeiçoamento — especialmente no que diz respeito à confiabilidade, eficiência e miniaturização — de tecnologias de rádio, processamento e armazenamento de energia (baterias), entre muitas outras.

Os princípios das tecnologias robóticas podem ser datados de muitos séculos atrás. Os primeiros robôs do século XX foram construídos para fins de demonstração, apresentados como curiosidades em feiras de tecnologia e como peças de publicidade de grandes indústrias¹. Os primeiros robôs móveis, desenvolvidos experimentalmente desde os anos 30, eram *autômatos*, não controlados remotamente por operadores²; e, de fato, o mero tamanho dos receptores de rádio a válvulas até meados da década de 50 (quando do início da disseminação do transistor) impossibilitaria este tipo de aplicação. Um grande marco na história da robótica ocorreu em 1961, com a implantação do primeiro robô industrial, o Unimate, numa linha de produção da General Motors norte-americana³.

Desde então, grandes desenvolvimentos tem sido feitos no campo da robótica móvel, ou seja, na construção de robôs que podem se locomover por seus próprios meios. Equipamentos deste tipo são comumente conhecidos no ramo como ROVs, ou *remotely operated vehicles*, e podem se locomover por uma variedade de meios através do solo, água ou ar. Geralmente controlados remotamente por operadores humanos, eles freqüentemente também incorporam mecanismos de controle semi-autômato.

Há também diversos outros tipos de robôs móveis: escavadeiras operadas por controle remoto; submarinos capazes de realizar buscas; sistemas de auxílio e reabilitação para pessoas portadoras de deficiências; aviões não-tripulados (UAVs, *unmanned aerial vehicles*); e veículos terrestres de vigilância, combate e manuseio de materiais perigosos (como explosivos), para aplicações militares e policiais⁴. É impossível deixar de citar os exemplos mais formidáveis de veículos telecontrolados: a série de *rovers* enviados pela NASA (agência espacial norte-americana) para a exploração da superfície do planeta Marte, dos quais o mais recente e sofisticado é o *Curiosity*, cujo pouso foi anunciado em agosto de 2012⁵.

Este trabalho foca-se em uma das aplicações mais comuns de robôs móveis terrestres: a inspeção e remoção à distância de materiais perigosos, como

explosivos. Estes equipamentos são capazes de, sob o comando de um operador humano distante, locomover-se até as proximidades de um objeto potencialmente perigoso, segurá-lo por meio de um aparato mecânico controlável (como uma garra) e então transportá-lo para outro local onde sua análise ou detonação controlada possa ser realizada de maneira segura. Os próprios robôs são também usados na colocação destas cargas explosivas, em geral detonadas através de fios.

A tarefa de remoção de dispositivos explosivos é também usualmente conhecida por sua sigla em inglês, EOD, de *explosive ordnance disposal*. Os primeiros robôs com esta finalidade (controlados à distância por meio de cabos elétricos) foram desenvolvidos no Reino Unido na década de 1970, para uso nos conflitos na Irlanda do Norte⁶. Atualmente, estima-se que dezenas de milhares de robôs deste tipo estejam em serviço no mundo, muitos deles tendo sido empregados, especialmente pelas forças armadas norte-americanas, em zonas de guerra como as do Iraque e do Afeganistão⁷. Estes modelos incorporam modernas tecnologias de comunicação, processamento, sensores, locomoção e atuação elétrica e pneumática.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento da mecânica, *hardware* e *software* de um robô móvel, compacto e de baixo custo, que poderá manipular substâncias ou objetos perigosos por telecomando, para aplicações industriais ou de segurança. Este objetivo geral pode ser dividido nas seguintes metas específicas:

- Construir veículo (robô propriamente dito), tracionado por esteiras, que possa se deslocar em vários tipos de terreno, e braço mecânico para manipulação de substâncias ou objetos potencialmente perigosos.
- Desenvolver hardware (de potência, processamento e sensores) e *firmware* de bordo do robô móvel.
- Desenvolver controle remoto, compreendendo *hardware*, *firmware*, e interfaces.
- Desenvolver o projeto com o menor custo possível.

Um diagrama resumido do projeto proposto é mostrado na Figura 1. A interface oferecida ao usuário é, basicamente, o controle remoto; os comandos são transmitidos por meio de um canal de rádio, e o sistema de processamento embarcado no robô controla seus motores e atuadores apropriadamente.

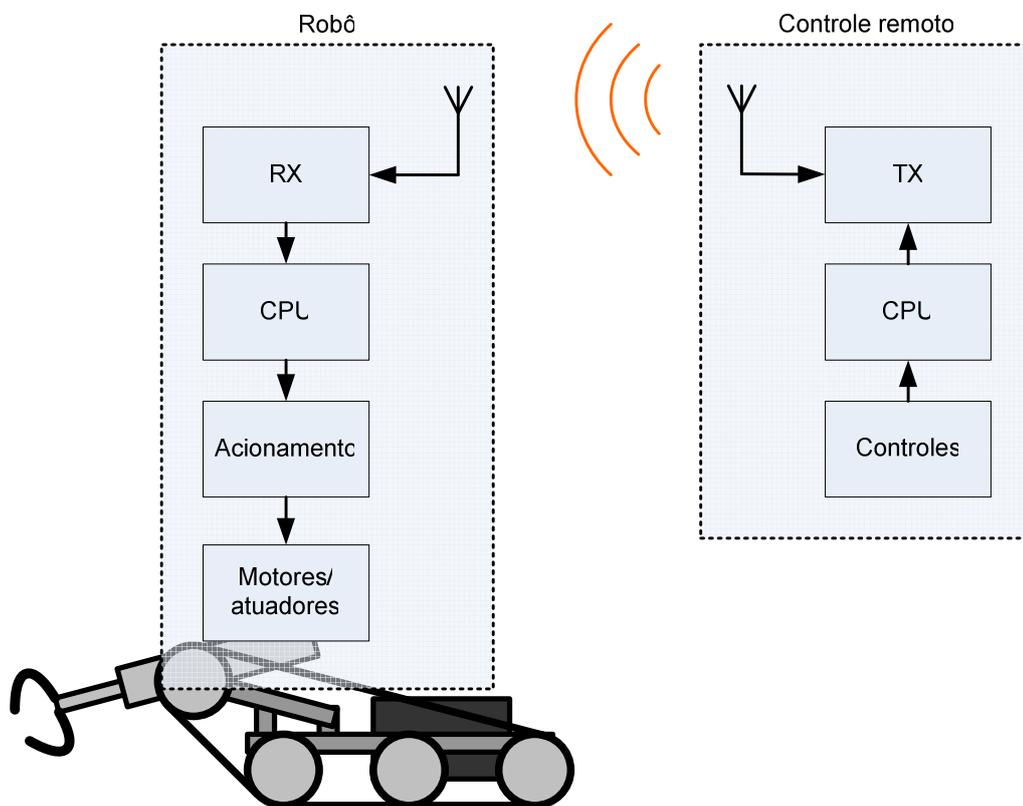


Figura 1 – Diagrama completo do projeto proposto.
Fonte: Autoria própria.

1.2 JUSTIFICATIVA

Um robô é um dispositivo eletromecânico capaz de realizar trabalhos de maneira autônoma, pré-programada, ou através de comando humano. Os robôs são utilizados na realização de tarefas em que seres humanos possam sofrer algum dano à sua integridade física, como no manuseio de substâncias tóxicas ou explosivos, em lugares de difícil acesso ou em atividades que necessitem de precisão ou esforço sobre-humanos.

Neste contexto, é de grande utilidade o uso de robôs que se locomovem por meios próprios. Um exemplo atual seria o dos robôs usados após o desastre da usina nuclear de Fukushima, no Japão, que possibilitaram que os danos e os níveis de radiação no perímetro do incidente fossem avaliados remotamente, evitando a exposição de pessoas aos riscos inerentes à situação^{8,9}. Seria possível citar

inúmeras outras situações em que equipamentos deste tipo foram ou poderiam ser empregados.

Uma das aplicações mais conhecidas, no entanto, são os robôs de remoção de explosivos, empregados diariamente por forças de segurança ao redor do mundo. Cargas explosivas podem ser detonadas acidentalmente por manipulação ou por ação de dispositivos especialmente projetados para evitar isto (*anti-handling devices*), colocando assim em risco a integridade de qualquer pessoa que se aproxime delas para tentar deslocá-las ou desativá-las.

Em um fato que ganhou grande exposição midiática, um robô deste tipo, mostrado na Figura 2, foi posto em uso pela polícia dos EUA para examinar e neutralizar as armadilhas deixadas pelo perpetrador do massacre no cinema em Aurora, Colorado, em julho de 2012¹⁰.



**Figura 2 – Robô de remoção de explosivos (EOD) da polícia norte-americana.
Fonte: Scientific American Blogs¹⁰.**

Situações desse tipo também são freqüentes num contexto muito mais próximo, no Brasil, e na própria Curitiba, onde um grande número de ocorrências de suspeita de bomba foi registrado nos últimos meses:

- Em novembro de 2011, três suspeitas de bombas foram atendidas pela polícia de Curitiba em menos de 24 horas, um acontecimento singular que ganhou destaque na imprensa¹¹.
- Em abril de 2012, uma sofisticada bomba de detonação remota foi removida e neutralizada pelo COE (Comando de Operações Especiais da Polícia Militar)¹².

- Duas suspeitas, em junho de 2012, se verificaram falsas^{13,14}.
- Em julho de 2012, a Câmara Municipal de Curitiba foi evacuada devido a uma falsa denúncia de artefato explosivo¹⁶.
- Três em agosto de 2012^{17,18,19}.



Figura 3 – Atendimento a ocorrência de suspeita de bomba.
Fonte: Paraná Online¹⁷.

Em todas as ocasiões em que os objetos suspeitos foram localizados, policiais especialmente treinados e equipados dos esquadrões anti-bomba tiveram que se aproximar dos artefatos para examiná-los, removê-los e desativá-los. São, portanto, situações em que veículos controlados à distância poderiam ser empregados para garantir a integridade dos agentes de segurança envolvidos.

O custo destes robôs, no entanto, é em geral extremamente alto, tornando-os muitas vezes inviáveis para empresas e departamentos governamentais interessados. O preço dos robôs móveis para inspeção de bombas, como os adquiridos em 2011 pela Polícia Federal brasileira, é de cerca de US\$ 285.000²⁰. Trata-se, portanto de uma área em que a redução dos preços pode ser explorada com grande potencial de êxito.

Neste contexto, a presente proposta é de demonstrar a possibilidade de se desenvolver, a baixo custo (cerca de R\$ 3.000), uma plataforma robusta (e eventualmente adaptável) e simples de robótica móvel terrestre que seja capaz de efetuar a manipulação à distância de objetos potencialmente perigosos (como, por exemplo, substâncias tóxicas ou explosivos) para aplicações de segurança (por parte de corporações de polícia ou corpos de bombeiros) ou industriais (no caso de

acidentes, por exemplo). O porte deste veículo deve ser, no entanto, significativamente menor do que o das alternativas comerciais existentes.

1.3 ESCOPO

Apresenta-se, nesta seção, o escopo originalmente proposto para o projeto. Deve-se observar, no entanto, que ele foi sujeito a mudanças provocadas por novas necessidades e constatações que surgiram no decorrer do projeto.

Em primeira análise, pode-se dividir o projeto em duas partes funcionais: o robô móvel propriamente dito e o sistema de controle remoto.

Propôs-se que o robô tivesse dimensões de aproximadamente 55 cm de comprimento, 45 cm de largura e altura básica (isto é, não incluindo instrumentos como a garra mecânica, os sistemas elétricos e as baterias) de cerca de 20 cm. Sua massa inicialmente prevista era de aproximadamente 10 kg. O veículo é construído com base em um chassi metálico na forma de esquadria. O mecanismo de tração empregado é um par esteiras laterais, cada uma movida por um motor elétrico, o que permite superfícies de tração amplas e contínuas e boa distribuição do peso do veículo sobre o terreno, a mobilidade e a tração sendo garantidas em terrenos que não sejam excessivamente acidentados e que não possuam grandes obstáculos verticais. Uma garra mecânica, capaz de segurar objetos pequenos, é montada sobre o robô, e é acionado por motores elétricos. Toda a construção foi feita com o objetivo de se obter a maior leveza possível do conjunto final. O sistema elétrico do veículo é alimentado por baterias. Propôs-se que a autonomia do veículo, em condições de uso médias, fosse de no mínimo 1 h.

O controle remoto é construído com o objetivo de ser compacto e fornecer uma interface simples ao usuário. Um sistema de processamento tem a responsabilidade de monitorar os controles e gerar os dados digitais a serem enviados pelo transmissor embutido. Sua alimentação é fornecida por uma pequena bateria de 9 V. O alcance originalmente proposto do sistema de controle remoto foi de 200 m, para possibilitar que se guarde uma distância segura entre o operador e o objeto inspecionado.

Em uma aplicação de atendimento a uma situação de suspeita de bomba, o robô é capaz de arrastar objetos pequenos, de até cerca de 5 kg. Assim, o objeto suspeito pode ser removido para uma área segura. Posteriormente, o próprio robô

pode ser usado para depositar uma carga de detonação em proximidade ao objeto. Uma vez que o perímetro esteja limpo, uma detonação controlada pode ser executada.

Preconiza-se, em todas as partes do projeto, o uso de sistemas simples e soluções próprias, a fim de tornar o custo do protótipo o mais baixo possível, e, assim, demonstrar o que se propõe.

1.4 METODOLOGIA

A execução do projeto é dividida nas etapas enumeradas a seguir.

1ª Etapa: Estudos e Análises

A fase inicial consiste em verificar se a realização do projeto é, de fato, viável. Esta etapa inclui estudos de tecnologia, análise dos problemas e levantamento de soluções. Algumas das decisões a serem tomadas nesta etapa são as referentes aos seguintes aspectos: construção mecânica (materiais, estrutura, projeto), sistema de comunicação, modelos dos microcontroladores, etc. Por fim, os itens necessários para as fases de desenvolvimento posteriores serão adquiridos.

2ª Etapa: Desenvolvimento da Parte Mecânica

Esta é certamente a etapa mais crítica e complexa do projeto, e envolve a montagem do robô móvel propriamente dito: chassis, rolamentos, rodas, esteiras, motores, suportes para as demais partes (sistema elétrico, bateria, etc.) e garra mecânica.

3ª Etapa: Desenvolvimento do Sistema Elétrico Embarcado

Esta etapa consiste no desenvolvimento de todo o sistema elétrico embarcado no robô móvel: alimentação, processamento (inclusive *firmware*), *drivers* para o acionamento dos motores. O desenvolvimento do sistema receptor de radiofrequência é possivelmente a tarefa mais crítica neste processo, e deverá obrigatoriamente ser realizado em conjunto com o desenvolvimento do transmissor na etapa seguinte. Esta também pode ser considerada uma etapa crítica, pois sem o sistema controle a bordo do robô, toda a montagem mecânica seria inútil.

4ª Etapa: Desenvolvimento do Sistema de Controle Remoto

Esta parte consiste no desenvolvimento do controle remoto, o que inclui: interfaces de controle (como, e.g., *joysticks*, botões e o sistema de controle da

garra), sistema de processamento (responsável por monitorar os controles e gerar comandos) e transmissor de radiofrequência.

5ª Etapa: Testes e Documentação

A etapa final resume-se na realização de testes e validações extensivas do projeto desenvolvido, e também pode resultar em modificações no protótipo final. Contempla-se aqui, também, o tempo necessário para documentar o projeto e redigir o relatório final.

2 PESQUISA DE TECNOLOGIAS

Nesta seção apresentam-se as diversas alternativas e soluções inicialmente encontradas para cada aspecto do projeto, suas respectivas vantagens e desvantagens e os motivos que levaram às escolhas finais.

2.1 CONSTRUÇÃO DO VEÍCULO

Inicialmente, o material básico selecionado para a construção do chassi do veículo foi o aço, na forma de cantoneiras galvanizadas (Figura 4). No entanto, este material foi considerado pesado e de difícil usinagem. O alumínio, também em cantoneiras de tamanhos e formas diversas (Figura 5), acabou sendo o material finalmente empregado, por sua leveza e por ser mais facilmente cortado e perfurado.



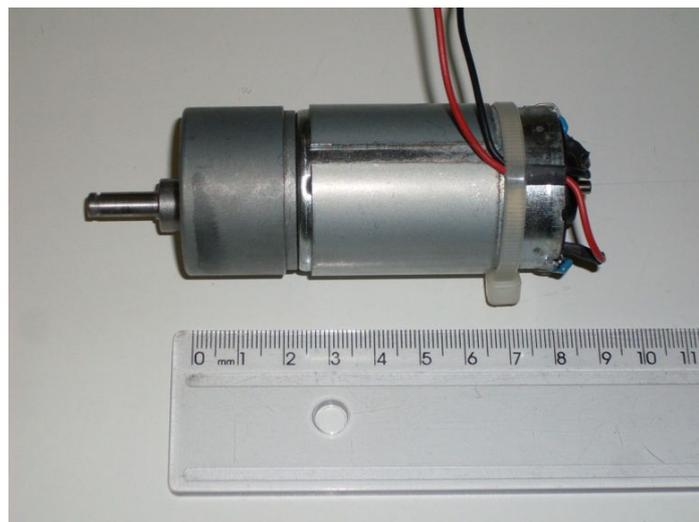
**Figura 4 – Cantoneiras de aço, usadas inicialmente na construção do protótipo.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 5 – Cantoneiras de alumínio; material básico do chassi.
Fonte: Autoria própria.**

2.2 MOTORES

O primeiro e único modelo de motor pesquisado foi um motor elétrico DC de 24 V com caixa de redução acoplada, ilustrado na Figura 6. Apesar de inicialmente haver dúvidas sobre sua capacidade de mover o veículo com o grande peso representado pelas baterias, ele acabou por apresentar características de torque e velocidade muito satisfatórias.



**Figura 6 – Motor DC com redução usado no projeto.
Fonte: Autoria própria.**

A corrente consumida por cada motor de tração, durante a operação normal do veículo, foi medida em aproximadamente 250 mA, o que resulta em uma potência

de aproximadamente 6W nestas condições. Os mesmos motores foram empregados no acionamento dos mecanismos da garra mecânica.

2.3 ESTEIRAS

O sistema de tração por esteiras já havia sido escolhido desde a proposta original do projeto; no entanto, não havia ainda definição sobre a construção exata destas esteiras. Uma primeira solução consistiu em fixar pequenas placas de aço a um par de correntes (do tipo usado em bicicletas) paralelas, mas isso rapidamente revelou-se inviável pela enorme complexidade. A solução finalmente encontrada foi o uso de um par de correias sincronizadoras, usadas em motores de automóveis (Figura 7). Esta escolha apresenta as seguintes vantagens:

- Por serem materiais descartados, estas correias puderam ser adquiridas sem custo algum.
- As correias possuem dentes no lado externo, que servem como superfícies de tração (aderência) para o movimento do veículo.
- O lado interno da correia é emborrachado, o que permite aderência razoavelmente boa às rodas.



**Figura 7 – Correias sincronizadoras automotivas usadas como esteiras.
Fonte: Autoria própria.**

2.4 PROCESSAMENTO

Inicialmente, cogitou-se usar um DSP (*digital signal processor*) da família TMS320, da Texas Instruments, no sistema embarcado no robô, ou uma placa de desenvolvimento STM32, da ST Microeletronics, com um processador ARM Cortex. No entanto, foi difícil encontrar compiladores e ferramentas de desenvolvimento para primeira alternativa. A segunda alternativa tinha a desvantagem de oferecer espaços de memória de código de dados bastante limitados, apesar da grande quantidade de periféricos e da existência de bibliotecas, fornecidas pelo fabricante, que possibilitam acesso de alto nível a estes.

Assim, acabou-se por usar microcontroladores da linha PIC, da Microchip, para os sistemas de processamento do veículo e do controle remoto, por já se possuir experiência com estes modelos, e também pelas seguintes razões: capacidade de processamento suficiente, ampla gama de periféricos disponíveis e facilidade de uso.

2.5 COMUNICAÇÃO

A questão acerca de qual tecnologia de transmissão de dados digitais a usar era, inicialmente, amplamente aberta, pois não havia certeza acerca dos requisitos do projeto. Cogitou-se usar um sistema simples construído a partir de um par de transmissor e receptor de RF (radiofrequência) usado comumente em sistemas de portões elétricos com acionamento remoto, disponível ordinariamente no comércio local. No entanto, estes módulos apresentam baixa imunidade a ruído, e, por indicação de colegas e professores, a solução foi logo descartada.

O modelo de *transceiver* de rádio digital RF-2400P, da chinesa Inhaos, foi a solução escolhida. Alguns dos fatores que levaram à sua escolha foram: taxa de transmissão de até 2 Mbps; interface SPI (*Serial Peripheral Interface*) para comunicação com microprocessadores; e a interface com pinos de conexão, que permite se usar o módulo sem a necessidade de soldá-lo.

Além disto, o mesmo *kit* incluía também um *transceiver* RF-2410U, com interface USB (*Universal Serial Bus*) para conexão com um computador. Este *transceiver* foi usado no desenvolvimento da interface de controle remoto via PC (*personal computer*).

2.6 DRIVERS DE POTÊNCIA

Para o acionamento dos motores, inicialmente considerou-se usar pontes H de estado sólido integradas, como o CI L298, mostrado na Figura 8, que incorpora um par de pontes bipolares e circuitos lógicos. Este dispositivo apresenta, no entanto, a desvantagem de possuir uma queda de tensão constante de 0,7 V quando em operação (pois as pontes são constituídas transistores bipolares NPN), o que resulta em dissipação considerável e perda de potência nos motores. Sua capacidade de condução de corrente contínua de 2 A, no entanto, seria suficiente para a presente aplicação²¹.

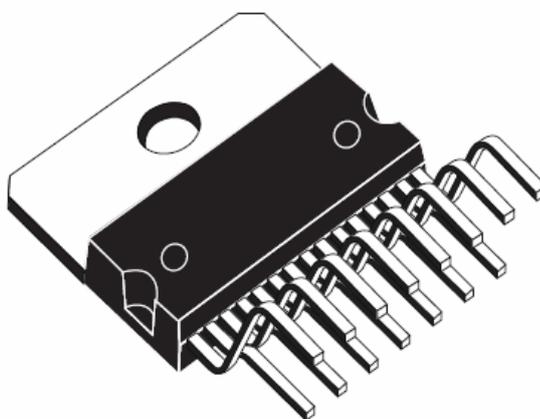


Figura 8 – *Driver* de motor L298.
Fonte: Datasheet, ST Microelectronics²¹.

Além disso, havia limitações relacionadas ao sistema de processamento:

- Na fase em que o projeto se encontrava, a escassez de portas de I/O era um grande problema (este problema foi contornado depois com várias simplificações ao projeto).
- O uso de *drivers* separados para cada motor complicaria o uso dos geradores de PWM em *hardware* do microcontrolador, já que seria necessário usar lógica adicional externa para demultiplexar estes sinais.

A solução final empregada consistiu em usar *drivers* compartilhados, compostos de pontes híbridas com relês eletromecânicos e transistores, pelos motivos descritos mais adiante na seção 3.3.3. Foram levantadas duas opções de transistores:

- Transistores bipolares Darlington de potência, da linha TIP, da Texas Instruments. Considerou-se que estes dispositivos apresentam grandes desvantagens, como a necessidade de uma elevada corrente de base para acionamento e uma queda de tensão coletor-emissor ainda maior que a dos *drivers* L298, e por isso foram rapidamente descartados.
- MOSFETs International Rectifier IRF540N. Esta foi a opção escolhida pelos seguintes motivos: capacidade mais do que suficiente de condução de corrente (33 A), possibilidade de se acionar os transistores com níveis de tensão lógicos (5 V) e a grande impedância de entrada, que reduz a dissipação desnecessária²². O custo por unidade do dispositivo também é baixo, de apenas cerca de R\$ 2,50.

3 DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta detalhes sobre o projeto e construção das três grandes partes constituintes do projeto:

- veículo propriamente dito;
- garra mecânica;
- controle remoto.

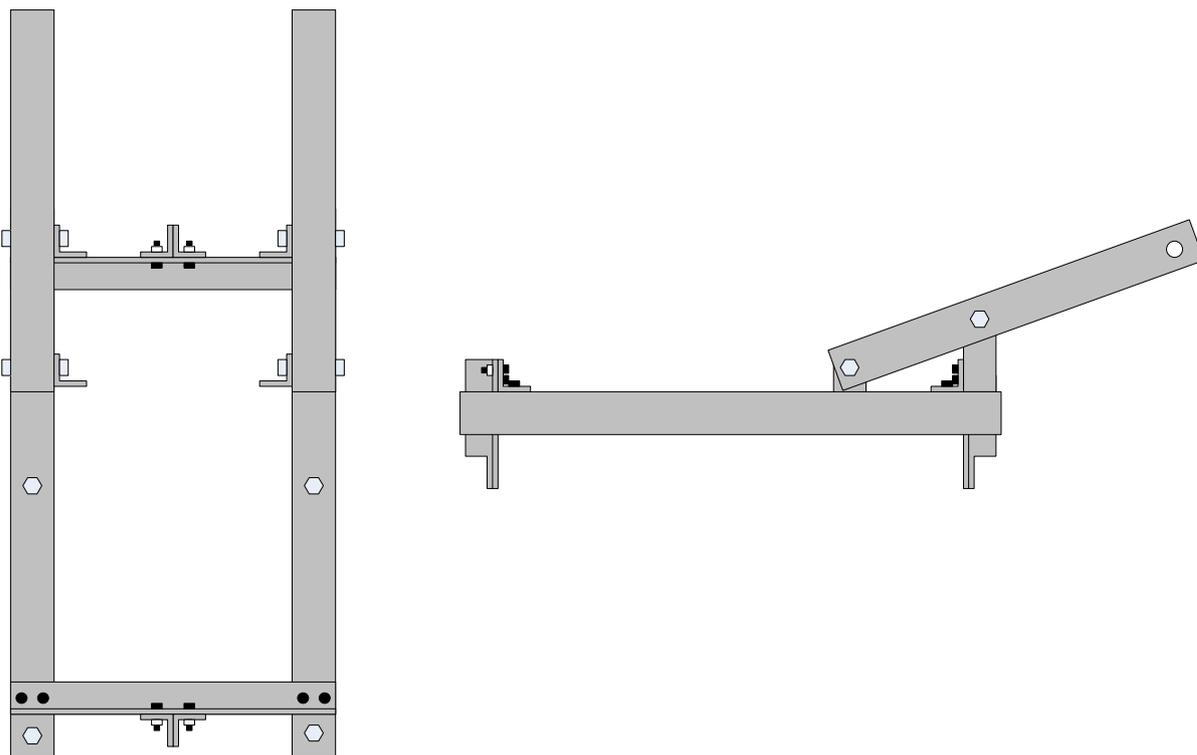
3.1 VEÍCULO

O projeto e a construção do veículo (que suporta todos os demais acessórios e sistemas móveis) foram as atividades mais trabalhosas e que implicaram em maiores dificuldades no projeto. Diversas séries de soluções foram desenvolvidas para cada problema encontrado, cada vez substituindo-se uma em favor de outra melhor.

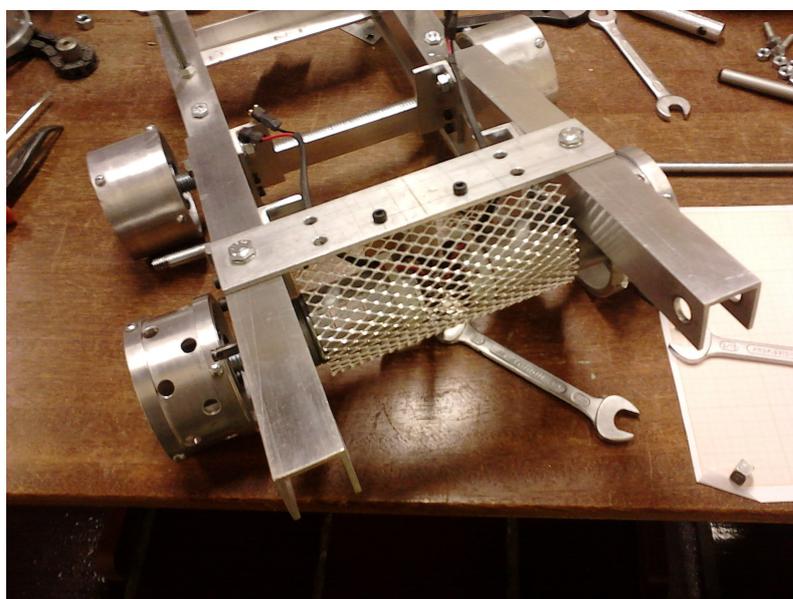
3.1.1 *Chassi*

O chassi principal do robô, ilustrado na Figura 9 tem formato retangular e é composto de cantoneiras de alumínio, com longarinas em perfil de “U” e transversinas em “L”. São fixadas umas às outras por parafusos Allen M4 — que também foram usados na maioria das demais ocasiões no trabalho por permitirem altos torques de aperto — e porcas. Projetam-se do chassi principal dois braços longitudinais (Figura 10), com o mesmo perfil em “U” das longarinas, que suportam as rodas de tração frontais do veículo (uma em cada lado).

Nos protótipos iniciais, o material usado na maioria das estruturas foi o aço. Após novas análises e experimentos, a maioria das peças foi fabricada a partir do alumínio, muito mais leve, resistente à corrosão e de fácil usinagem.



**Figura 9 – Ilustração do chassi básico do veículo.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 10 – Braços frontais de suporte dos tracionadores.
Fonte: Autoria própria.**

A Figura 11 apresenta a maioria das peças que compõem o veículo, inclusive o chassi. A Figura 12 apresenta uma vista superior oblíqua do veículo em que se pode ver a estrutura do chassi.



Figura 11 – Peças do veículo desmontado.
As peças que compõem o chassi são visíveis à esquerda.
Fonte: Autoria própria.

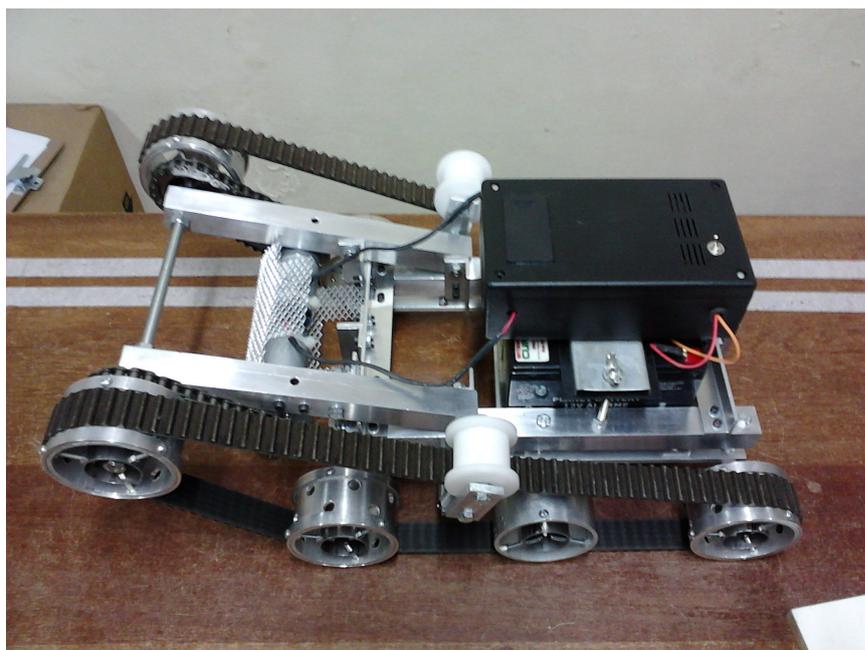
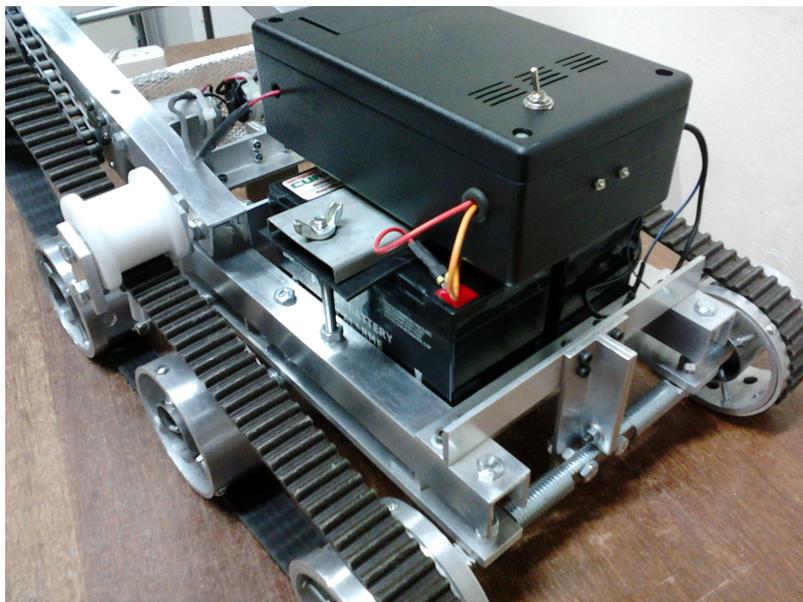


Figura 12 – Vista superior geral do veículo, com chassi visível.
Fonte: Autoria própria.

As baterias são os elementos que representam o maior peso a ser carregado pelo veículo. Elas são suportadas por um par de cantoneiras em “L” transversais, que são, por sua vez, parafusadas a barras longitudinais sob o chassi principal. Uma placa de aço galvanizado é usada para providenciar a fixação firme das baterias, sendo apertada contra estas por meio de parafusos longos ligados ao chassi e porcas do tipo “borboleta” (Figura 13). Esta mesma placa serve de suporte

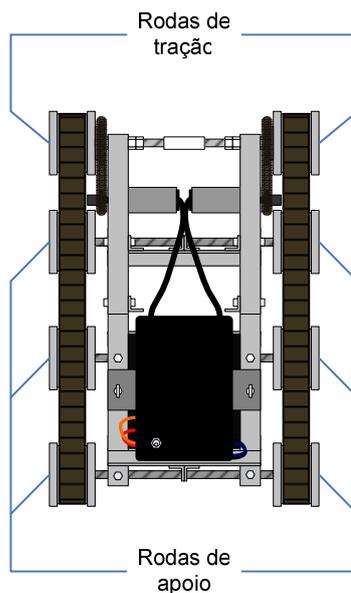
para a caixa plástica que contém os sistemas elétricos do veículo, apresentada mais adiante na seção 3.3.4.



**Figura 13 – Instalação das baterias no veículo.
Fonte: Autoria própria.**

3.1.2 Eixos e rodas

O robô possui, no total, oito rodas, sendo duas de tração e seis de apoio, ou livres, como mostra a Figura 14. As rodas de tração, movidas pelos motores através de transmissões por corrente, são instaladas em posições mais altas em relação às demais, para permitir que as esteiras possuam um amplo ângulo de ataque em relação à horizontal. Cada roda de apoio é unida à correspondente do outro lado do veículo por meio de um eixo.



**Figura 14 – Rodas do veículo e suas funções.
Fonte: Autoria própria.**

Os eixos das rodas de apoio foram fabricados a partir de barras roscadas maciças, de diâmetro de 5/8", cortadas e usinadas manualmente para que pudessem ser perfuradas (Figura 15) e, assim, fixadas ao chassi. O resultado final é mostrado na Figura 16.



**Figura 15 – Processo de perfuração de um eixo.
Fonte: Autoria própria.**



Figura 16 – Eixo finalizado.
Fonte: Autoria própria.

Estes eixos são fixados tanto ao chassi principal quanto a barras de reforço que correm longitudinalmente ao longo do veículo, mostradas na Figura 17. Estas barras servem tanto para a imobilização dos eixos quanto para a sustentação das baterias.

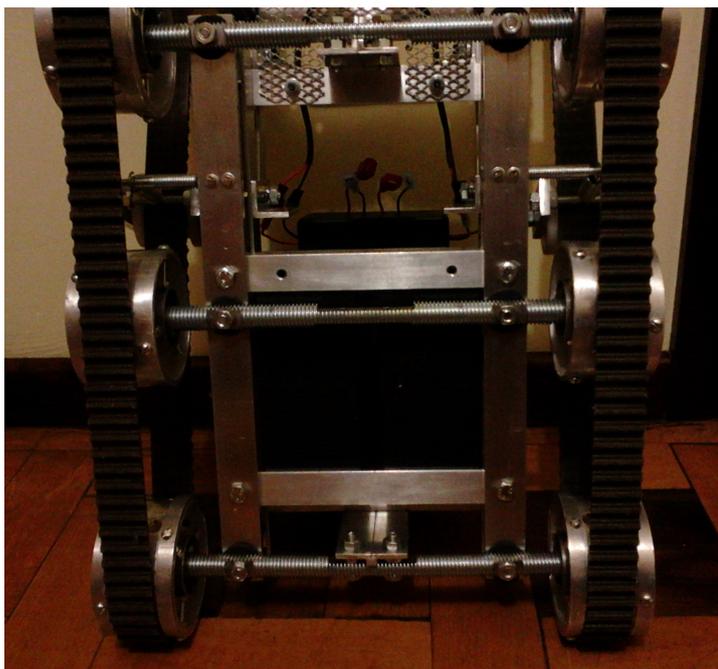


Figura 17 – Vista inferior do veículo.
Fonte: Autoria própria.

Nas pontas dos eixos são instalados (com porcas 5/8" cortadas em metades) rolamentos 6020, de diâmetro externo de 35 mm. Estes são, por sua vez, encaixados por impacto a determinadas profundidades nos respectivos cubos de roda (Figura 18), fabricados a partir de um tubo de aço de diâmetro interno alguns décimos de milímetro menor que o diâmetro externo dos rolamentos (para assegurar

um encaixe firme, evitando frouxidão e jogo). A Figura 19 apresenta um cubo de roda instalado em um eixo.



Figura 18 – Cubo com rolamento instalado.
Fonte: Autoria própria.



Figura 19 – Cubo de roda fixado à extremidade de um eixo.
Fonte: Autoria própria.

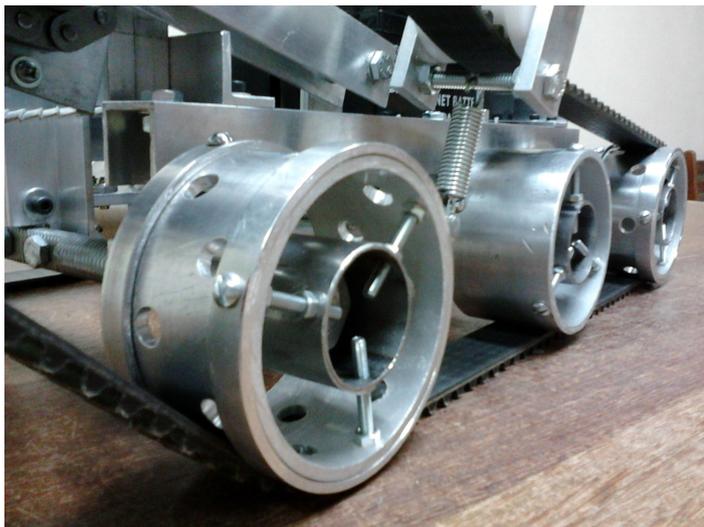
As superfícies externas das rodas foram fabricadas a partir de tubos de alumínio com diâmetro externo de 82 mm. Cada roda é fixada ao cubo correspondente por seis parafusos radiais (três no lado interno e três no lado externo). Sobre as superfícies externas das rodas também são fixadas argolas de alumínio torneadas que funcionam como guias para as esteiras, evitando que se desloquem de suas posições de operação. As figuras 20 a 22, a seguir, apresentam detalhadamente estas construções.



**Figura 20 – Montagem de uma roda.
Fonte: Autoria própria.**

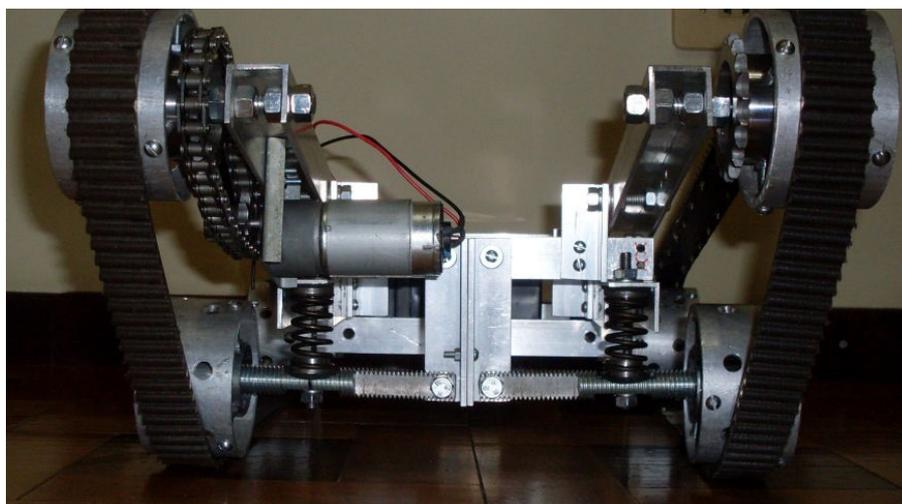


**Figura 21 – Montagem de uma roda em torno de um cubo.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 22 – Vista das rodas de apoio (livres) no veículo, com guias para as esteiras visíveis.
Fonte: Autoria própria.**

Um sistema de suspensão baseado em molas encaixadas em pratos de fixação (Figura 23) foi desenvolvido e levado até fases intermediárias do projeto, mas foi abandonado devido ao grande número de problemas (explicados a seguir) que ocasionava com o sistema de tração por esteiras. Os semi-eixos usados até então foram substituídos pelos atuais eixos que atravessam toda a extensão transversal do veículo.

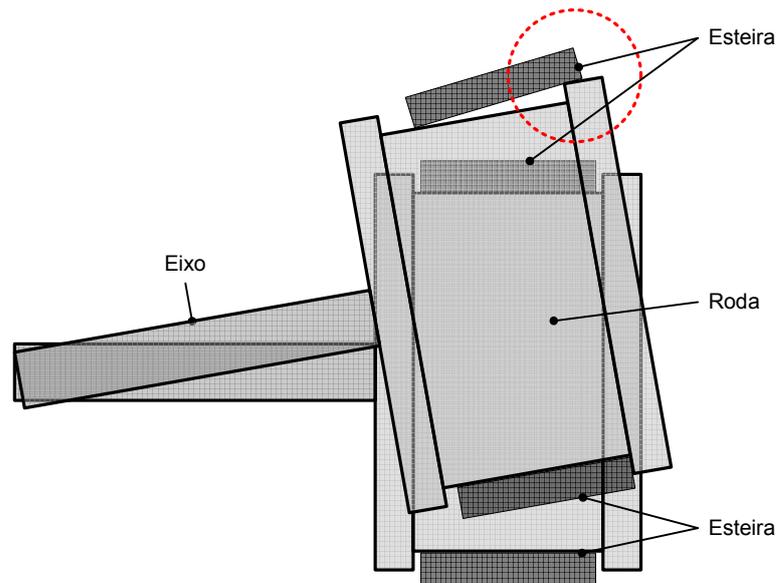


**Figura 23 – Protótipo descartado do veículo com suspensão.
Fonte: Autoria própria.**

3.1.3 Esteiras e tensionadores

As esteiras são partes essenciais do mecanismo de locomoção do veículo, uma vez que providenciam aderência ao terreno. Para o correto funcionamento, elas também devem aderir às rodas de tração do veículo. Em modelos avançados, as esteiras, tais como as usadas em veículos automotores, possuem ranhuras internas que se acoplam a dentes nas rodas tracionadoras, e podem também ser segmentadas (isto é, consistindo numa série de placas móveis encadeadas e substituíveis). Neste projeto, no entanto, não se dispôs de recursos para atingir tal sofisticação. Fez-se uso, então, de um sistema baseado em correias sincronizadoras automotivas, que apresentam uma superfície externa dotada de dentes, apropriada para esta aplicação.

Um problema grave e duradouro enfrentado durante este desenvolvimento foi a perda de contato das esteiras com as rodas durante a operação, ou *detracking*. Este problema ocorria muito facilmente quando o veículo possuía o sistema de suspensão por molas e passava sobre obstáculos. A cambagem (inclinação em relação à vertical) das rodas fazia com que as esteiras fossem torcidas e, eventualmente, com a continuidade da tração, passassem sobre os guias, saindo de suas posições de contato com as rodas. Isto tornava o veículo imóvel e impunha grandes esforços danosos à estrutura do veículo (especialmente aos braços frontais e às rodas de tração). A Figura 24 apresenta uma ilustração simplificada deste problema.



**Figura 24 – Ilustração simplificada do problema do *detracking* nos protótipos com suspensão.
Fonte: Autoria própria.**

Mesmo após a eliminação do sistema de suspensão, observou-se que os eixos e rodas traseiros e de tração ficariam sujeitos a grandes esforços nos sentidos laterais (isto é, na direção trás-frente do veículo), além dos verticais, devido à tensão nas esteiras. Tanto os eixos traseiros quanto os braços frontais cediam sob esta tensão, especialmente quando o veículo se movimentava sobre obstáculos (ainda que pequenos). Para mitigar este grave problema, as seguintes medidas foram tomadas:

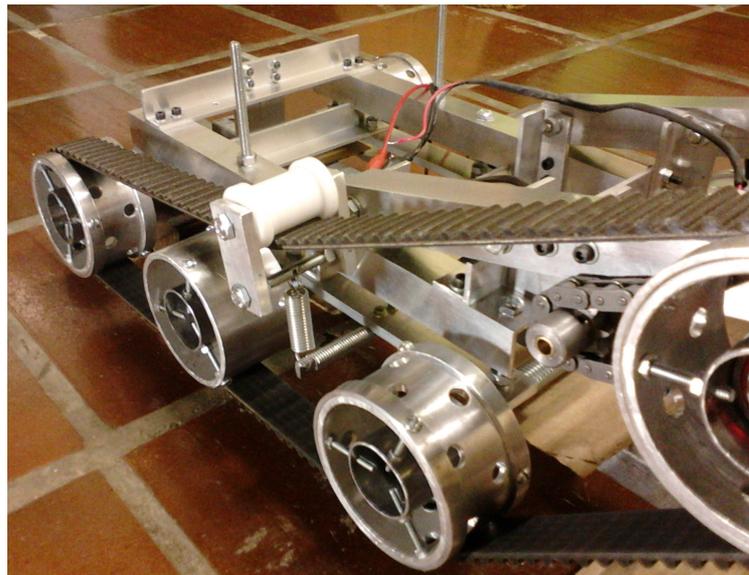
- Barras de reforço foram adicionadas ao longo do veículo, sob as longarinas principais, ligando os eixos dianteiros e traseiros.
- Os eixos das rodas de tração, antes separados, foram substituídos por um único eixo que atravessa ambos os braços frontais e os mantém mutuamente fixos.
- A distância entre os eixos traseiro e dianteiro foi reduzida, a fim de aliviar a tensão sobre as esteiras.
- Um terceiro par de rodas foi adicionado no ponto médio entre as rodas livres traseiras e dianteiras, para reduzir a exposição do segmento central da esteira (sobre o qual, antes, não se apoiava nenhuma roda) e, assim, evitar que a esteira seja excessivamente tensionada ao se transpor um obstáculo.

Ao final da tomada destas providências, no entanto, as esteiras encontravam-se devidamente instaladas ao redor das rodas, mas sob tensão

insuficiente para garantir que aderissem satisfatoriamente às rodas de tração (não deslizando sobre estas) e permanecessem em suas posições guiadas.

Foi necessário, então, desenvolver e instalar tensionadores, mostrados na Figura 25, que têm a função de exercer forças controladas sobre as esteiras. Consistem em “carretéis” de plástico poliacetal, suportados por estruturas metálicas conectadas por meio de molas ao chassi do veículo. As esteiras, passadas através destes dispositivos (Figura 26), são submetidas a forças constantes para baixo, o que as mantém tensionadas.

Resumidamente, as dimensões do chassi e das rodas são projetadas de forma que as esteiras, quando instaladas, fiquem ligeiramente frouxas; elas somente são esticadas sob a ação dos tensionadores. Por sua característica elástica, este sistema serve também como uma forma rudimentar de suspensão, protegendo o chassi contra danos em alguns casos de transposição de obstáculos.



**Figura 25 – Tensionador instalado em uma esteira do veículo.
Notar mola ligada ao chassi.
Fonte: Autoria própria.**

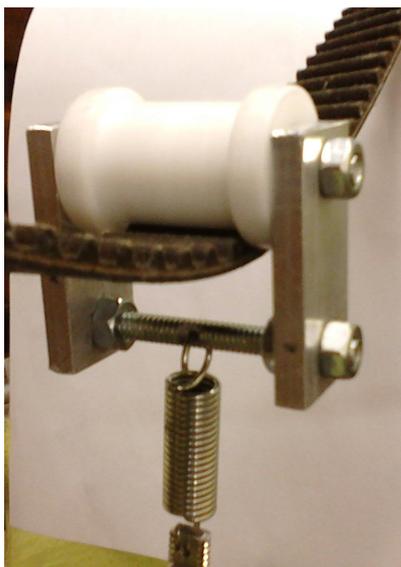


Figura 26 – Detalhe da instalação de uma esteira através de um tensionador.
Fonte: Autoria própria.

3.1.4 Tração

O desenvolvimento do sistema de tração exigiu grande investimento e esforço. Usam-se dois motores DC (aos quais se refere, ao longo do projeto, pelos nomes simbólicos “L”, de *left tractor*, e “R”, de *right tractor*), como o mostrado na Figura 6, de tensão de operação nominal de 24 V e com caixa de redução integrada. Cada motor traciona independentemente uma das esteiras laterais do veículo. Os motores são presos ao veículo por pequenas *placas* de aço galvanizado, suportadas sob os braços frontais, como mostra a Figura 27.



Figura 27 – Fixação de motor de tração sob um braço frontal do chassi.
Fonte: Autoria própria.

Pequenas coroas, como a mostrada na Figura 28, foram instaladas nos eixos dos motores para que um sistema de transmissão por corrente fosse implementado. Nas rodas de tração, coroas maiores foram fixadas junto aos cubos pelos mesmos parafusos radiais, como mostra a Figura 29. Correntes de transmissão foram emendadas no tamanho justo para uso com os pares de coroas. O conjunto deve ser montado e desmontado por inteiro para que a corrente possa ser acoplada a ambas as coroas.



**Figura 28 – Coroa menor do sistema de transmissão.
Notar embuchamento de latão para o eixo do motor.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 29 – Roda de tração com coroa maior.
Fonte: Autoria própria.**

Este sistema de tração diferencial permite que o veículo tanto realize curvas abertas (fazendo-se os motores girarem na mesma direção, mas com velocidades diferentes) quanto gire em torno de seu próprio centro (acionando-se os motores em direções inversas), o que facilita sua reorientação em espaços limitados. A Figura 30 ilustra estas possibilidades. Em todos os casos, o controle é feito eletricamente, pelo

acionamento dos motores, não sendo necessário nenhum sistema de atuação adicional para efetuar a mudança de direção.

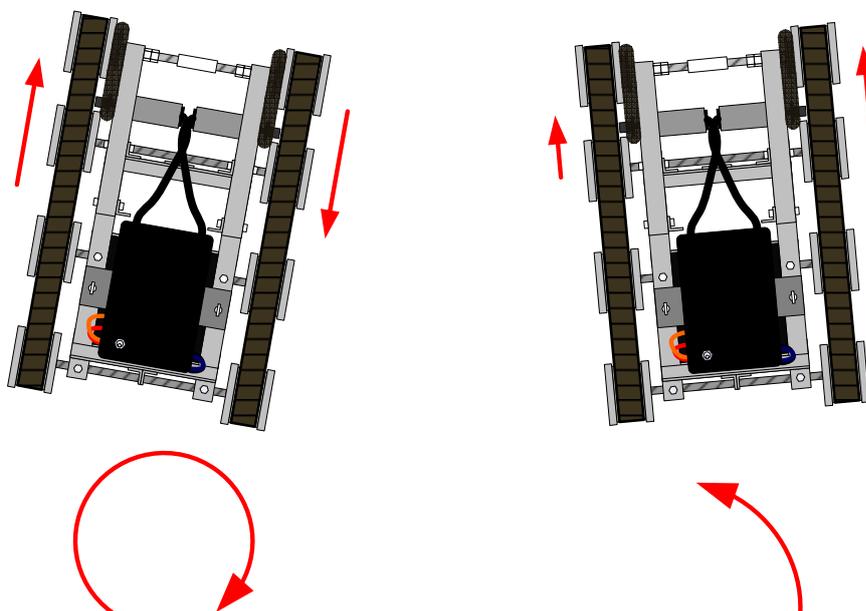


Figura 30 – Ilustração dos modos de realização de curvas do veículo.
Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Dimensões e características finais

As dimensões e características finais aproximadas do robô são dadas no Quadro 1, a seguir.

Parâmetro		Valor aproximado
Comprimento	Somente veículo	55 cm
	Com garra, máximo	72 cm
Largura		33 cm
Altura	Somente veículo	27 cm
	Com garra, máximo	37 cm
Massa		12,9 kg
Ângulo de ataque frontal das esteiras		43°

Quadro 1 – Características finais aproximadas do robô.
Fonte: Autoria própria.

3.1.6 Considerações

Pode-se dizer que o veículo é adequado para operação em áreas planas e com poucos obstáculos, e que apresenta capacidade razoável de transposição de barreiras para seu pequeno porte. Entretanto, a falta de um sistema de suspensão representa uma grave desvantagem, mesmo em terrenos ligeiramente acidentados.

Considera-se também que a velocidade e torque de operação dos motores de tração são bastante satisfatórios, especialmente frente ao grande peso representado pelas baterias.

3.2 GARRA MECÂNICA

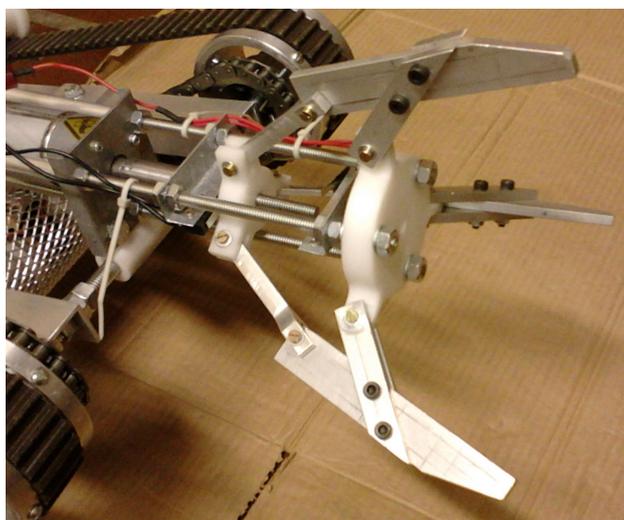
O robô é dotado de uma garra mecânica (ou robótica) simples, acoplada à parte posterior do veículo em posição e angulação (elevação) fixas, com três garras individuais que podem ser abertas ou fechadas simultaneamente.

Cada garra individual possui dois segmentos (falanges), entre os quais há um ângulo de abertura de aproximadamente 143° . Os comprimentos destes segmentos foram calculados de forma que as garras possam envolver (agarrar) completamente um objeto de interesse quando se encontram totalmente fechadas. As garras são suportadas (Figura 31) por uma peça central que possui a forma de um disco com três protusões regularmente espaçadas (a 120° entre si) e foi fabricada a partir de plástico poliacetal

Esta peça é, por sua vez, fixada às extremidades de três barras roscadas longitudinais, que constituem a armação básica de sustentação da garra. A Figura 32 ilustra esta construção.



**Figura 31 – Peças básicas da garra mecânica.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 32 – Construção básica da garra mecânica.
Fonte: Autoria própria.**

A operação do mecanismo é ilustrada, de maneira simplificada, na Figura 33. Basicamente, cada garra é movida em torno de seu ponto de articulação por uma haste em forma de forquilha (Figura 34) conectada a uma castanha (Figura 35) que, acoplada a um fuso, constitui um atuador linear (conversor de movimento rotacional em linear). Movendo-se esta castanha, por ação da rotação do motor, é possível abrir ou fechar todas as garras simultaneamente.

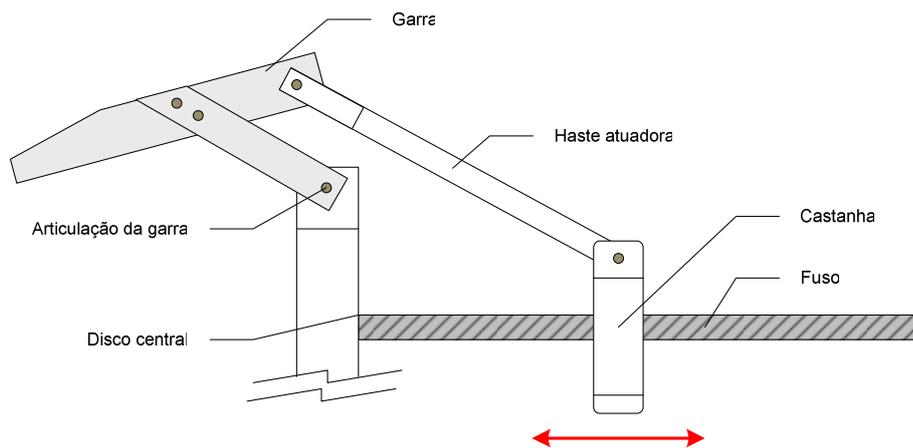


Figura 33 – Esquema de operação de uma garra.
Fonte: Autoria própria.

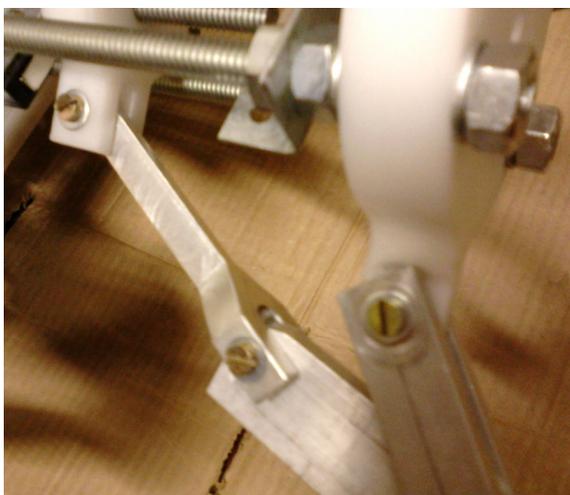


Figura 34 – Ilustração do mecanismo de movimentação de uma garra.
Fonte: Autoria própria.



Figura 35 – Peça atuadora da garra.
Fonte: Autoria própria.

O fusos de atuação é fixado ao eixo do motor com o uso de uma bucha especialmente usinada para o propósito, mostrada na Figura 36.



Figura 36 – Buchas de acoplamento dos fusos atuadores da garra mecânica.
Fonte: Autoria própria.

A construção do mecanismo de atuação permite que os motores exerçam grandes forças sobre as garras e é inerentemente livre de *backdrive* — ou seja, o sistema se trava automaticamente, não sendo necessário alimentar ou monitorar o motor para que as articulações permaneçam em posições fixas.

O motor é alimentado através de um circuito contendo chaves elétricas do tipo *microswitch* instaladas nas posições de fim de curso de ambos os extremos, e diodos 1N4004, no esquema ilustrado pela Figura 37. Este sistema atua como um par de retificadores seletivos, cortando a alimentação dos motores em um sentido quando se atinge uma posição extrema, sem a necessidade de interferência do sistema de processamento.

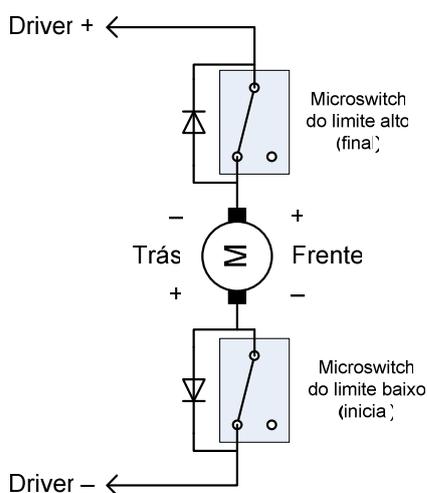


Figura 37 – Esquema dos circuitos interruptores de fim de curso.
Fonte: Autoria própria.

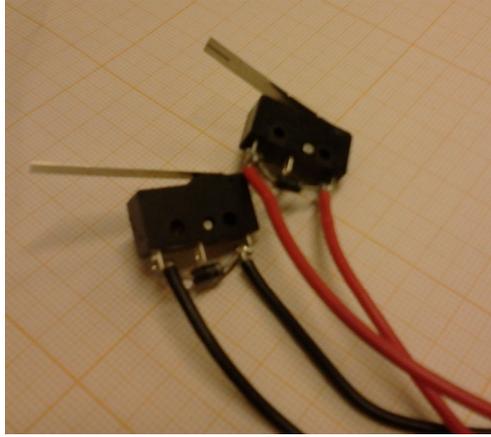


Figura 38 – Chaves interruptoras de fim de curso.
Fonte: Autoria própria.

3.2.1 Considerações

A garra mecânica foi construída com a simplicidade como objetivo final. Ainda assim, foi necessário muito planejamento para se chegar à solução apresentada, que se adapta muito bem ao porte do veículo e às restrições do projeto. Em particular, o desenvolvimento do sistema automático de interrupção em fim de curso eliminou a complexidade e as margens para ocorrência de problemas que surgiriam caso fosse necessária a interferência da CPU ou de circuitos externos. Pode-se dizer, portanto, que o resultado é satisfatório.

3.3 SISTEMA ELÉTRICO DO VEÍCULO

Uma visão geral e resumida do sistema elétrico embarcado no veículo é mostrada na Figura 39. Duas placas de circuito compõem o sistema elétrico: uma de processamento e uma contendo *drivers* para os motores. Detalhes sobre cada elemento são desenvolvidos nas subseções seguintes.

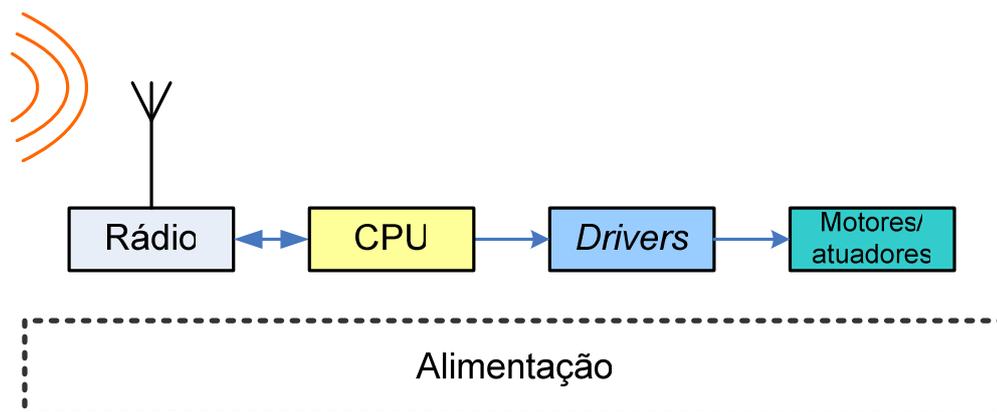


Figura 39 – Diagrama geral do sistema elétrico do robô.
Fonte: Autoria própria.

3.3.1 Alimentação

Os sistemas eletrônicos embarcados no robô são alimentados por um par de baterias de chumbo-ácido, cada uma das quais tem tensão nominal de 12 V, capacidade de 7,2 A·h (para tempo de descarga padrão de 20 h), dimensões de aproximadamente 55 mm × 150 mm × 95 mm (largura × comprimento × altura) e pesa aproximadamente 2,2 kg (Figura 40).



Figura 40 – Baterias de alimentação do veículo.
Fonte: Autoria própria.

Para estimar a autonomia do robô com estas baterias, considera-se uma condição de operação padrão em que o veículo move-se para frente (isto é, ambos

os motores de tração estão acionados em potência máxima), em terreno plano sem inclinação ou obstáculos. O consumo de corrente (através de ambas as baterias) nessas condições é de aproximadamente 500 mA. O tempo de descarga para baterias de chumbo-ácido a uma corrente constante, dada a capacidade da bateria para um tempo de descarga de referência (fixo), pode ser estimado através de uma lei empírica conhecida como Lei de Peukert, reproduzida abaixo:

$$t = H \left(\frac{C}{IH} \right)^k$$

Os significados e os valores das variáveis da equação são descritos no Quadro 2.

Símbolo	Significado
t	Tempo de descarga estimado com corrente constante I
H	Tempo de descarga de referência, usado pelos fabricantes na especificação da capacidade; padronizado em 20 horas
C	Capacidade da bateria para o tempo de descarga padrão H
I	Consumo de corrente
k	Constante dependente da bateria; geralmente entre 1,1 e 1,3 para baterias de chumbo-ácido como as usadas

Quadro 2 – Variáveis da lei de Peukert para estimativa da autonomia.
Fonte: Autoria própria.

No presente caso, assumem-se os seguintes valores:

- $H = 20$ h
- $C = 7,2$ A·h
- $I = 500$ mA
- $k = 1,1$ (pior caso)

Assim, obtém-se uma estimativa pessimista de aproximadamente $t = 13,93$ h de autonomia, nas condições estabelecidas anteriormente.

O diagrama da Figura 41 resume as conexões de alimentação. Tensões nominais de +12 V e +24 V, não reguladas, são fornecidas diretamente pelas baterias. Reguladores de +5 V (7805) e +3,3 V (78RM33) fornecem, respectivamente, tensões condicionadas para os sistemas lógicos e o módulo de rádio. O fornecimento de +12 V e +5 V pode ser interrompido através da chave liga-desliga do veículo.

Para reduzir a injeção de ruído dos circuitos de potência nos circuitos de processamento, causada por resistências comuns a ambos (*ground loops*, ou malhas de terra), existem conexões de terra separadas para lógica (LGND) e potência (PGND), e usam-se cabos do maior diâmetro possível. O chassi do veículo também é conectado ao terra comum (GND).

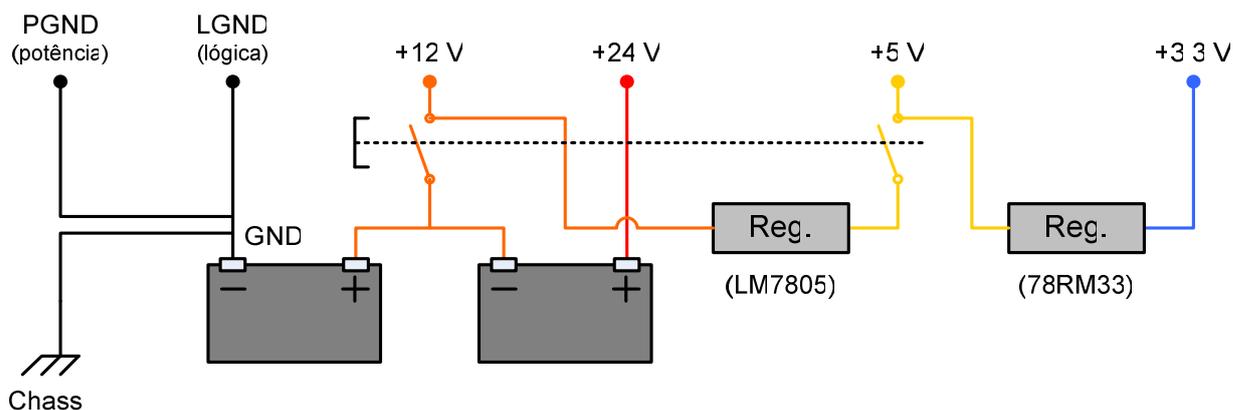


Figura 41 – Diagrama simplificado do sistema de alimentação do robô.
Fonte: Autoria própria.

O Quadro 3, a seguir, resume as finalidades de cada tensão de alimentação.

Tensão	Fonte	Usos
+24 V	Baterias	Motores
+12 V	Baterias (<i>center tap</i>)	Acionamento dos relês, <i>buzzer</i>
+5 V	Regulador LM7805	Lógica
+3,3 V	Regulador 78RM33	Módulo de rádio

Quadro 3 – Tensões de alimentação do sistema eletrônico embarcado.
Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Processamento

O sistema de processamento embarcado no veículo foi construído em torno do microcontrolador Microchip PIC18F4550, ilustrado na Figura 42. Trata-se de uma CPU (*central processing unit*) de arquitetura RISC (*reduced instruction set computer*) de 8 bits acompanhada de diversos módulos periféricos, com as seguintes características relevantes²³:

- Memória de programa com capacidade de 16 *kilowords*.
- RAM de uso geral de 2 kB.
- Frequência máxima de *clock* de 48 MHz.

- 35 pinos de I/O (incluindo 13 entradas analógicas).
- Encapsulamento PDIP.
- ADC (*analog/digital converter*) com até 10 canais.
- Dois módulos completamente programáveis de geração de sinais PWM (*pulse width modulation*, modulação de largura de pulso), com saídas por portas de I/O.
- Quatro *timers* independentes.
- Periférico de comunicação SPI™ (*Serial Peripheral Interface*™).
- Suporte ao protocolo de programação *in-circuit* proprietário da Microchip, ICSP™ (*In-Circuit Serial Programming*), que permite que o programa seja gravado no microcontrolador sem a necessidade de retirá-lo de seu soquete e usando apenas dois pinos de I/O.

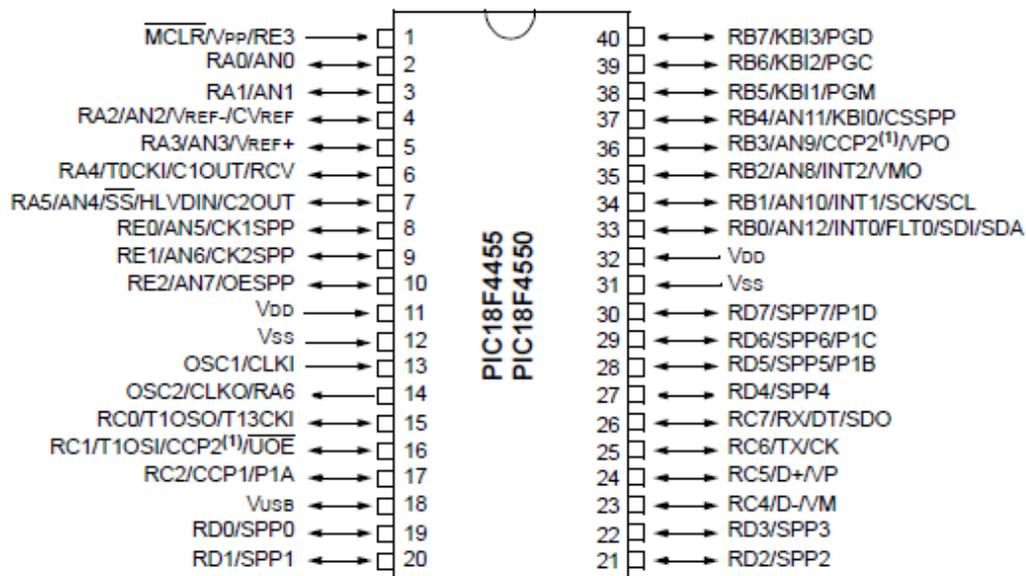


Figura 42 – Pinagem do microcontrolador PIC18F4550.
Fonte: Datasheet, Microchip Corporation²³.

De forma geral, as atribuições do sistema de processamento embarcado são:

- receber e interpretar comandos do controle remoto, via rádio;
- gerar sinais de comando para os sistemas a bordo; e,
- monitorar as condições do veículo.

O desenvolvimento do sistema de processamento esbarrou, inicialmente, em um grande problema: um grande número de sinais de entrada e saída seriam necessários para controlar o veículo caso *drivers* individuais fossem usados para

cada motor. As principais medidas de projeto foram tomadas para resolvê-lo foram as seguintes:

- Os motores foram divididos em *grupos* que compartilham um mesmo *driver*. Assim, é possível efetuar o controle de todos os motores usando um número pequeno de sinais digitais e aproveitando-se dos dois geradores de PWM oferecidos como *hardware* periférico no microcontrolador PIC18F4550. Os detalhes deste sistema são descritos em maiores detalhes na seção seguinte, *Drivers de potência*.
- O máximo possível de complexidade foi removido do *software*; mais especificamente, tarefas como a geração de sinais de PWM foram deixadas a cargo do *hardware* periférico do microcontrolador sempre que possível.

Desta forma, é possível fornecer todos os sinais de controle dos *drivers* sem a necessidade de mecanismos de expansão de I/O (com *latches* e multiplexadores) e fazendo-se bom uso do *hardware* do microcontrolador; como resultado, o sistema de processamento acabou por apresentar uma forma final bastante simples.

Todas as conexões do sistema de processamento com os *drivers* e componentes externos são feitas através de cabos, conectados a barras de pinos soldadas na placa. Para a emissão de alertas ao usuário, o sistema conta também com um *buzzer* piezoelétrico conectado externamente.

O diagrama esquemático completo da placa de processamento pode ser encontrado no Anexo A. O protótipo da placa de processamento foi construído em uma placa pré-perfurada com trilhas ordinária, ou *stripboard*, disponível no comércio local. O *layout* desta placa é apresentado na Figura 43, e uma fotografia da placa pronta é mostrada na Figura 44.

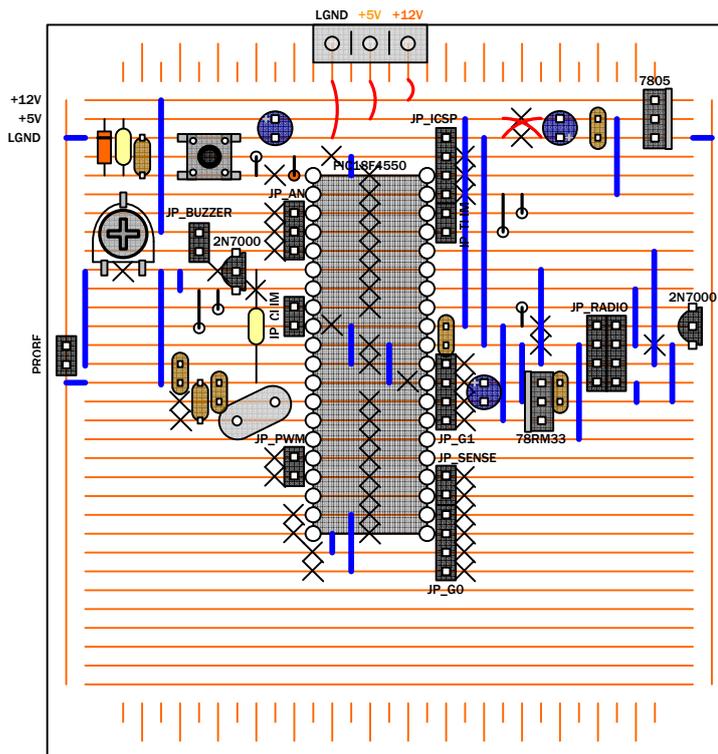


Figura 43 – *Layout* da placa de processamento.
Fonte: Autoria própria.

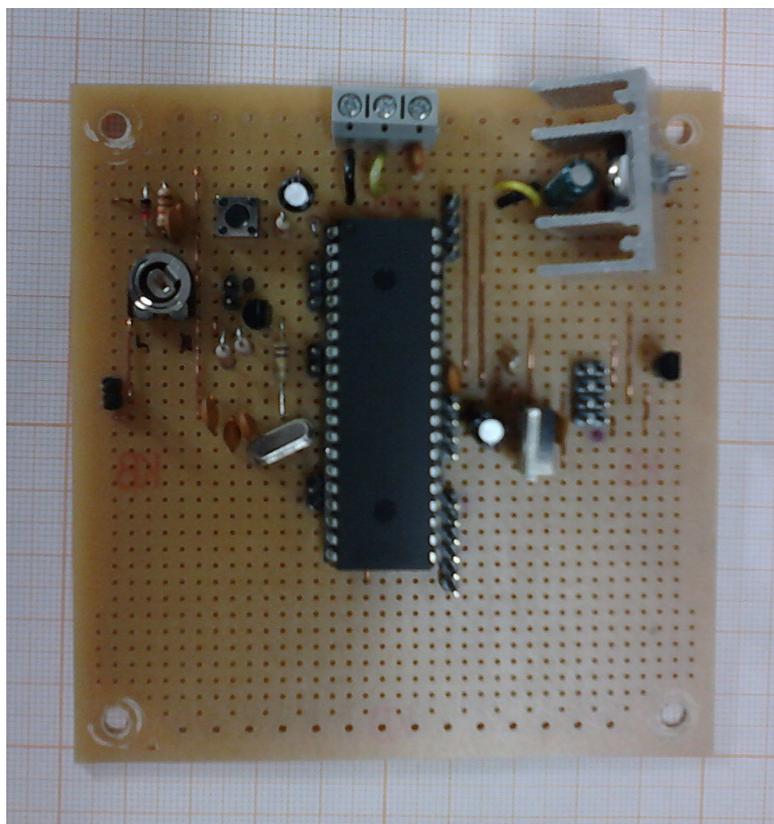


Figura 44 – Placa de processamento.
Fonte: Autoria própria.

O uso da interface ICSP permitiu grande rapidez e facilidade nos ciclos de desenvolvimento, gravação e teste do *firmware*, uma vez que não é necessário remover o microcontrolador de seu soquete para programá-lo. A Figura 45 ilustra este processo; o gravador, adquirido especialmente para a realização do projeto, é conectado a um computador via interface USB. A transferência é realizada com o uso de um aplicativo específico.

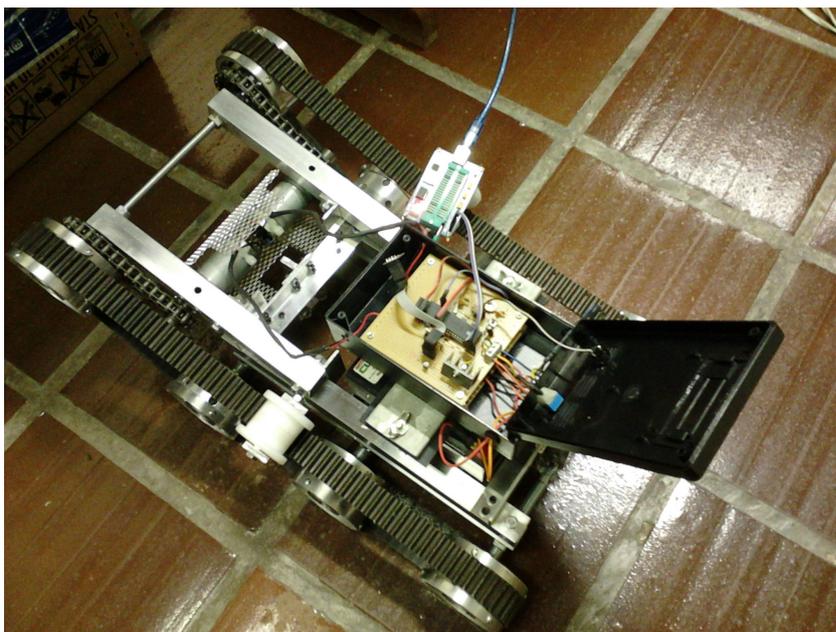


Figura 45 – Processo de programação do *firmware* embarcado.
Fonte: Autoria própria.

3.3.2.1 Comunicação

Para recepção de comandos de controle remoto, usou-se o módulo de rádio Inhaos RF-2400P, ilustrado na Figura 46, que é baseado no *chipset* Bekken BK2421 e apresenta as seguintes características²⁴:

- Frequência de operação selecionável a partir de 2,4 GHz.
- Interface SPI para comunicação com processador.
- Operação configurável como transmissor ou receptor.
- Pequenas dimensões físicas, com disposição conveniente da interface elétrica.
- Alimentação por tensão de 3,3 V com entradas lógicas tolerantes a até 5 V.

(*complementary metal-oxide-semiconductor*), muito mais rápidos. A capacitância da própria linha de sinal também pode contribuir para o problema.

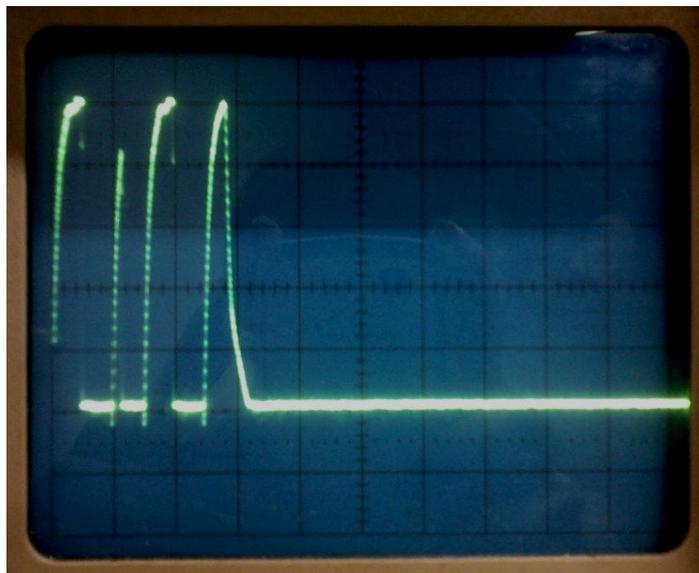


Figura 47 – Forma de onda do sinal MISO após *buffer* com tempo de subida insuficiente (*pull-up* de 10 k Ω).

Fonte: Autoria própria.

Adicionalmente, a saída MISO do módulo de rádio aparentemente não entra em estado de alta impedância quando o dispositivo não é selecionado (através do sinal CSN), mas é apenas deixada com um *pull-up* fraco (em torno de 500 k Ω); isto foi constatado com a observação de que diferentes valores de resistores de *pull-down*, colocados inadvertidamente nesta saída, resultavam em diferentes níveis de tensão. Como consequência, o transistor do *buffer* é deixado em estado de condução quando a interface SPI está desativada, o que leva a dissipação desnecessária através do resistor de *pull-up*. Isto se deve, provavelmente, a um erro de programação no *chip* BK2421, já que o controlador 8051 nele embutido conta com portas *tri-state* e *drivers push-pull* CMOS programáveis²⁶.

3.3.2.2 Firmware

O *firmware* programado no chip PIC18F4550, responsável pelo controle do robô, foi desenvolvido em linguagem C no IDE (*integrated development environment*) MPLAB™ 8, fornecido pela própria Microchip. A Figura 48 apresenta uma captura de tela ilustrando este ambiente. As principais qualidades almeçadas

em seu processo de desenvolvimento foram a clareza, a modularidade e a facilidade de adaptação do código.

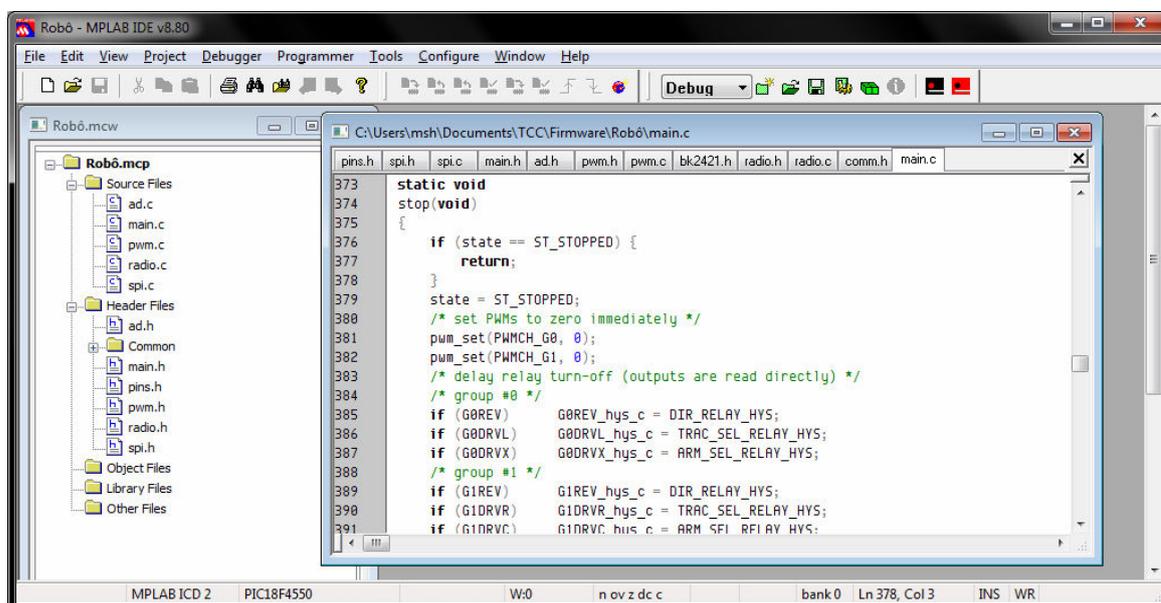


Figura 48 – Captura de tela do ambiente de desenvolvimento do *firmware*.
Fonte: Autoria própria.

O Quadro 4 lista e descreve brevemente os módulos desenvolvidos. Alguns destes são comuns aos projetos de *software* do robô e do controle remoto, o que permite que alterações que afetem ambos os programas sejam feitas uma única vez e garante a consistência entre os projetos.

Módulo	Descrição
main.c/main.h	Inicialização, lógica principal do robô e rotinas de utilidade geral
ad.c/ad.h	Interface para o periférico conversor A/D do microcontrolador
spi.c/spi.h	Interface para o periférico de comunicação SPI do microcontrolador
pins.h	Atribuições de pinos de I/O
pwm.c/pwm.h	Interface para o periférico gerador de PWM do microcontrolador
radio.c/radio.h	Interface para o kit de rádio RF-2400
bk2421.h	Definições comuns relativas ao chipset BK2421, usado no kit RF-2400
comm.h	Definições comuns para comunicação entre controle remoto e veículo

Quadro 4 – Módulos do *firmware* do veículo.
Fonte: Autoria própria.

A lógica principal, operante durante o funcionamento normal do robô, consiste na execução periódica de dois ciclos (ou tarefas) diferentes, cujas atribuições são resumidas no Quadro 5.

Ciclo	Nome da rotina	Período	Atribuições
Configuração	<code>cfg_cyc()</code>	15.000 ms	<ul style="list-style-type: none"> • Ler ajustes a bordo do próprio veículo • Monitorar tensão de alimentação (V_{DD})
Comando	<code>cmd_cyc()</code>	50 ms	<ul style="list-style-type: none"> • Receber e interpretar mensagens via rádio e emitir comandos para controlar o veículo apropriadamente

Quadro 5 – Tarefas do *firmware* embarcado no veículo.
Fonte: Autoria própria.

É importante explicitar a relação existente entre as tarefas concorrentes e os demais componentes do *software*: todas as tarefas compartilham e agem sobre o mesmo *estado* subjacente, e as tarefas são, conceitualmente, complementares e dependentes entre si.

A lógica de controle do robô em alto nível resume-se a uma máquina de estados simples, com três estados possíveis: `STOPPED`, `DRIVING` e `OPER_CLAW`. O estado `STOPPED` corresponde à situação de repouso do robô, que ocorre na ausência de qualquer outro comando. No estado `DRIVING`, o robô está se movimentando (por ação de seus motores de tração) em qualquer direção. Por fim, o estado `OPER_CLAW` corresponde à operação da garra mecânica. As transições entre estes estados ocorrem por ocasião da chegada de comandos externos ou da perda de comunicação (que sempre causa uma transição para o estado `STOPPED`).

A máquina de estados foi projetada a partir da constatação de que apenas um aspecto do robô — tração ou garra — pode ser controlado externamente de cada vez. Caso se quisesse permitir o controle independente e simultâneo de cada parte, poder-se-ia simplesmente implementar máquinas de estados separadas (paralelas) para cada aspecto controlável do robô. No presente caso, isto não é possível devido a limitações dos *drivers* de potência (mais especificamente, o compartilhamento dos *drivers*) e da interface do controle remoto.

Um conjunto de rotinas (`stop()/hard_stop()`, `drive()` e `claw()`) de uso fácil e imediato é oferecido para que se possa entrar em cada estado e, assim, comandar o veículo. Desta forma, o *firmware* é suficientemente genérico para permitir, por exemplo, que seja adaptado para efetuar-se o controle do robô de

forma autônoma ou semi-autônoma, e a rotina de processamento de comandos remotos toma uma forma bastante simples.

O *firmware* incorpora ainda lógica de histerese, ou desligamento atrasado, para os relês eletromecânicos, evitando comutações em rápida sucessão em resposta a comandos muito breves. Isto faz a vida útil (mecânica e elétrica) destes componentes ser estendida.

A comunicação opera por *polling*; ou seja, o módulo de rádio é periodicamente consultado sobre a chegada de pacotes. A frequência deste ciclo de comando é o dobro da frequência nominal de envio de pacotes pelo controle remoto, para evitar que pequenas discrepâncias existentes entre estas taxas ocasionem perda de pacotes.

No caso de perda de comunicação, isto é, falta de recebimento de pacotes de comando por um determinado período de tempo (400 ms), o robô é parado automaticamente, para evitar que continue se movendo sem controle do usuário indefinidamente e sofra danos, e passa a emitir um bip de alerta contínuo pelo *buzzer*. Nesta ocasião, retorna-se à operação normal quando o próximo pacote de dados válido for recebido.

O robô aceita pacotes de comando em um formato extremamente simples, descrito no Quadro 6.

Campo	Tamanho	Descrição
cmd	8 bits	Comando (ver Quadro 7, a seguir)
slow	1 bit	Modo de baixa velocidade

Quadro 6 – Campos do pacote de comunicação.

Fonte: Autoria própria.

O campo `cmd` codifica a ação solicitada pelo usuário; os nomes simbólicos de cada comando são listados no Quadro 7.

Comando	Significado
CMD_NOP	Nenhuma ação/parar; enviado quando nenhum controle está sendo acionado pelo operador
CMD_DRIVE_FWD	Mover veículo em frente
CMD_DRIVE_BWD	Mover veículo para trás (ré)
CMD_DRIVE_ROT_LEFT	Girar veículo à esquerda
CMD_DRIVE_ROT_RIGHT	Girar veículo à direita
CMD_DRIVE_FWD_LEFT	Fazer curva aberta para a esquerda, movendo-se para a frente
CMD_DRIVE_FWD_RIGHT	Fazer curva aberta para a direita, movendo-se para a frente
CMD_DRIVE_BWD_LEFT	Fazer curva aberta para a esquerda, movendo-se para trás
CMD_DRIVE_BWD_RIGHT	Fazer curva aberta para a direita, movendo-se para trás
CMD_CLAW_GRIP	Fechar garra (agarrar)
CMD_CLAW_RELEASE	Abrir garra (soltar)

Quadro 7 – Comandos gerados pelo controle remoto.

Fonte: Autoria própria.

O veículo normalmente gira em torno do próprio centro para efetuar a mudança de direção. Nos modos de curvas abertas, ambos os motores de tração são acionados na mesma direção (para frente ou para trás), mas um deles é deixado com um nível de PWM reduzido. A diferença de velocidade resultante faz com que o veículo descreva uma curva ampla para qualquer um dos lados. Este modo é útil para se realizar o deslocamento de objetos que, de outra maneira, se prenderiam ao próprio veículo se este girasse em torno do próprio centro.

Quando o campo `cmd` especifica um dos comandos `CMD_DRIVE_XXX`, a opção `slow` especifica se os movimentos devem ser feitos em velocidade reduzida. Este modo é extremamente útil para efetuar o posicionamento preciso do veículo, mas não é recomendado para a transposição de obstáculos ou arraste de cargas. Sua seleção é feita por meio de uma chave no painel do controle remoto, detalhado na seção 3.4.

A fim de reduzir o consumo de energia elétrica, faz-se amplo uso dos mecanismos de gerenciamento de energia do microcontrolador PIC18F4550 (*power management modes*), que permitem que a CPU seja efetivamente desligada nos períodos em que não é necessária enquanto os periféricos permanecem ativos²³.

3.3.3 Drivers de potência

A fim de economizar recursos do processador — mais especificamente, geradores de PWM em *hardware* e portas de entrada e saída (v. seção anterior) — e reduzir custos e complexidade, os motores a bordo do robô são divididos em dois grupos lógicos para fins de controle, aproveitando-se das características e requisitos do projeto. Cada grupo é essencialmente um *driver* compartilhado, capaz de acionar até um dentre dois motores em um dado instante.

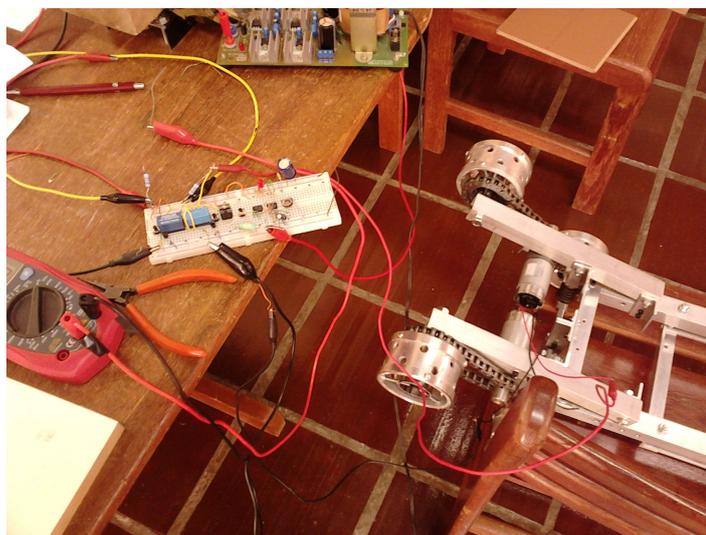


Figura 49 – Teste de protótipo inicial do sistema de acionamento dos motores.
Fonte: Autoria própria.

A atribuição de motores aos grupos é ilustrada no Quadro 8. A escolha foi feita de forma que os motores de tração (L e R) estivessem em grupos distintos, já que são acionados simultaneamente durante a locomoção do veículo.

Grupo	Nº	Nome	Descrição
0	0	L	Motor de tração esquerdo
	1	X	Extra; não usado
1	0	R	Motor de tração direito
	1	C	Motor atuador da garra

Quadro 8 – Motores atribuídos a cada *driver*.
Fonte: Autoria própria.

Para cada grupo, o acionamento dos motores individuais e a seleção da direção de funcionamento são realizados por relês eletromecânicos, e um MOSFET de potência permite controle por PWM.

A Figura 50 apresenta o esquema básico de um *driver* compartilhado. O relê de comutação de direção, de dois contatos reversíveis (ou DPDT, sigla de *double*

pole/double throw), alimenta um *barramento* ao qual os motores do grupo podem ser seletivamente conectados por meio de relês individuais de seleção. Estes últimos, do tipo SPDT (*single pole/double throw*), são implementados com relês DPDT com seus contatos ligados em paralelo (o que permite uma maior capacidade de corrente). Os motores não acionados são automaticamente deixados em estado de freio, isto é, com seus terminais em curto-circuito. As bobinas dos relês são energizadas por meio de transistores 2N7000 (MOSFETs de uso geral)²⁵.

Os motores alocados a um mesmo grupo ainda compartilham um capacitor de filtragem — para suavização do ruído extremamente impulsivo causado pelo PWM — e um diodo de *free-wheel*, que evita que os componentes sejam expostos a tensões destrutivas no semi-ciclo desligado do PWM. Estes componentes também são mostrados na Figura 50.

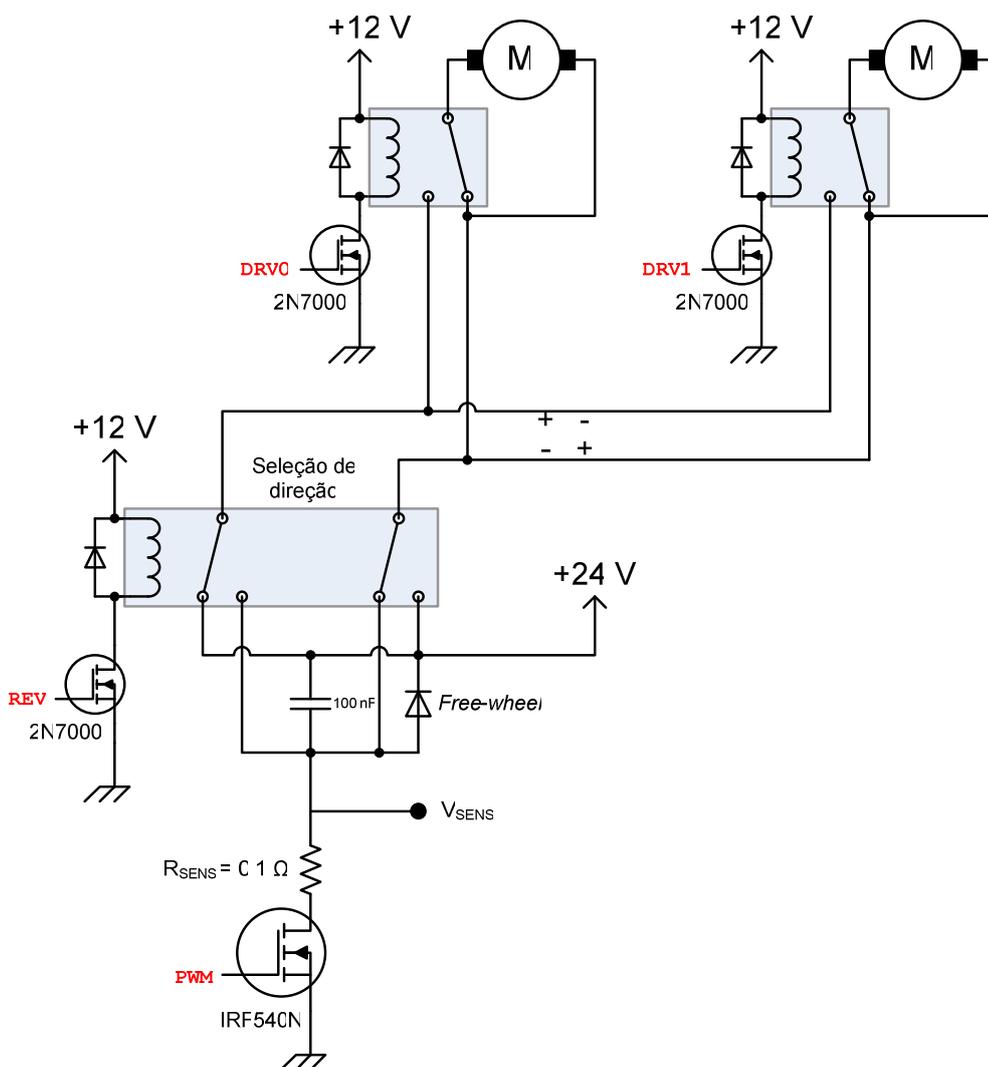


Figura 50 – Diagrama de um *driver* compartilhado.
Fonte: Autoria própria.

Os sinais de controle fornecidos a cada *driver* pelo sistema de processamento são enumerados no Quadro 9.

Nome	Significado	Função
REV	<i>Reverse</i>	Seleção de direção. Quando 0, a tensão de saída é positiva no sentido convencional; quando 1, a tensão é negativa, o que inverte a direção de rotação.
PWM	<i>Pulse width modulation</i>	Sinal de PWM para dosagem de potência.
DRV0	<i>Drive 0</i>	Seleção do primeiro motor do grupo.
DRV1	<i>Drive 1</i>	Seleção do segundo motor do grupo.

Quadro 9 – Sinais de controle de cada *driver* compartilhado.
Fonte: Autoria própria.

O modelo de transistor de potência escolhido foi o International Rectifier IRF540N, um MOSFET de canal N cujas características relevantes são listadas no Quadro 10²².

Parâmetro	Valor
$V_{GS(th)}$, tensão porta-fonte de limiar	4,0 V máx.
V_{DSS} , tensão dreno-fonte de ruptura	100 V mín.
I_D , corrente de dreno máxima contínua	33 A
I_{DM} , corrente de dreno máxima de pico	110 A
P_D , dissipação máxima a 25 °C	130 W
$R_{DS(on)}$, resistência de canal quando ligado	44 mΩ máx.
Encapsulamento	TO-220AB

Quadro 10 – Características do transistor IRF540N.
Fonte: Datasheet, International Rectifier²².

Como possuem $V_{GS(th)}$ máximo de 4 V, estes transistores podem ser acionados diretamente por saídas lógicas (com níveis típicos de tensão em alto de 5 V), e por isso são ditos *MOSFETs de nível lógico (logic-level MOSFETs)*.

É importante demonstrar que os transistores IRF540N são capazes de operar nas condições exigidas. Primeiramente, a tensão dreno-fonte máxima à qual os transistores estarão expostos, no bloqueio, é de 24 V, muito menor que a tensão dreno-fonte de ruptura $V_{DSS} = 100$ V. Os diodos de *free-wheel* impedem que a tensão dreno-fonte suba a níveis destrutivos.

Para os limites de potência e corrente, considera-se a situação de maior dissipação possível, que ocorre quando os motores estão plenamente alimentados mas não giram (*stall*). Neste caso, com velocidade de rotação zero, os motores podem ser representados eletricamente como as resistências de seus enrolamentos.

O menor valor desta resistência, entre todos os motores, é $R_W = 8,5 \Omega$. O maior valor de corrente através dos canais dos transistores será, portanto (desprezando-se outras resistências parasitas no circuito), de $I_M = 24 \text{ V} / R_W \approx 2,82 \text{ A}$, o que está dentro dos limites de corrente de dreno máxima contínua, I_D , e de pico, I_{DM} .

Nestas condições, a dissipação de corrente no canal será de aproximadamente $P = R_{DS(on)} \cdot I_M^2 \approx 350 \text{ mW}$, que é suportada pelo dispositivo mesmo sem o uso de um dissipador.

As características dinâmicas do IRF540 também são apropriadas para uso com os sinais de PWM de frequência $f_{PWM} = 1,22 \text{ kHz}$, pois possui tempos de comutação e resposta da ordem de dezenas de nanossegundos.

Os relês de seleção são do modelo Metaltex ML2RC2, ilustrado na Figura 51.



Figura 51 – Relê Metaltex ML2RC2.
Fonte: Datasheet, Metaltex Ltda²⁷.

Este relê possui enrolamentos com resistência nominal de $720 \Omega^{27}$. Assim, a corrente máxima de acionamento é de $12 \text{ V} / 720 \Omega \approx 16,67 \text{ mA}$, o que está dentro do limite da corrente de dreno contínua máxima de 100 mA dos transistores 2N7000. Nestas condições, o consumo nominal é de 200 mW .

A resistência nominal dos contatos é de $50 \text{ m}\Omega$, e a capacidade de condução de corrente de cada contato é de 2 A^{27} . Como os contatos são usados em paralelo, a resistência nominal efetiva da conexão é de $25 \text{ m}\Omega$ e a capacidade de corrente é dobrada para 4 A , o que é suficiente para suportar os $2,82 \text{ A}$ previstos anteriormente.

Os relês de controle de direção são do modelo Takamisawa RA12WN-K, e são bastante similares aos ML2RC2. Possuem resistência nominal de enrolamento de 960Ω e resistência de contato máxima de $100 \text{ m}\Omega$.

O diagrama esquemático completo da placa de drivers de potência é mostrado no Anexo B. O *layout* da placa de *drivers*, também montada sobre *stripboard*, é mostrado na Figura 52, e uma fotografia da placa pronta é exibida na Figura 53.

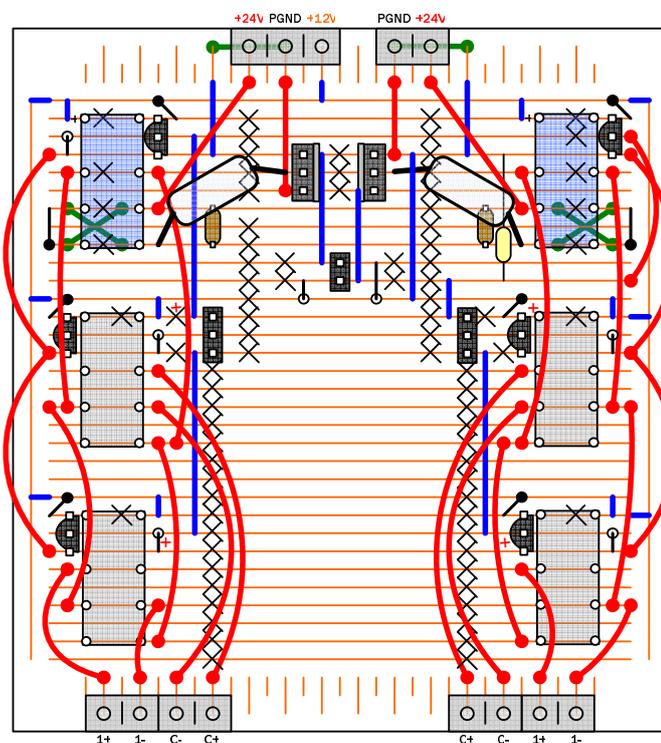


Figura 52 – *Layout* da placa de *drivers*.
Fonte: Autoria própria.

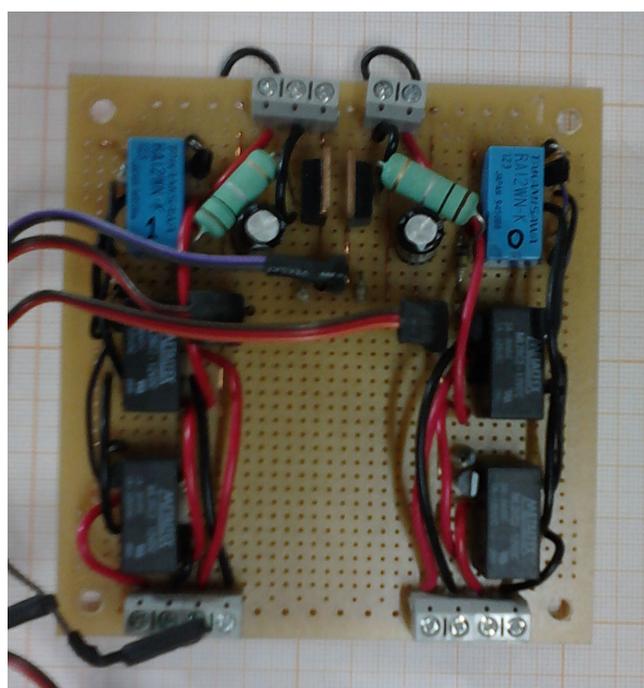


Figura 53 – Placa de *drivers*.
Fonte: Autoria própria.

3.3.3.1 Considerações

Cabe dizer que o desenvolvimento deste sistema de potência foi muito importante para o sucesso do projeto, pois permitiu reduzir sua complexidade e custo. Além disso, possui diversas outras vantagens em comparação à alternativa com *drivers* individuais:

- O tamanho físico do circuito é reduzido.
- É possível associar a grande capacidade de condução de corrente e a facilidade de uso dos relês eletromecânicos ao uso de PWM.
- A dissipação de potência (principalmente na comutação) é reduzida a praticamente um só componente (MOSFET de potência).
- Apesar de possuir a limitação de permitir que apenas um motor de cada grupo esteja ativo ao mesmo tempo, o sistema atende aos requisitos do projeto sem introduzir problemas ou casos excepcionais a contornar.

Uma desvantagem do sistema é o maior consumo de energia, necessário para o acionamento das bobinas dos relês eletromecânicos, em comparação com um sistema de estado sólido. A vida útil (mecânica e elétrica) dos relês é também um entrave para a operação em longo prazo. Uma versão com *drivers* totalmente em estado sólido seria bastante desejável, mas seu desenvolvimento requeriria tempo além do disponível para o projeto e esbarraria em problemas com o tamanho físico da placa e dos componentes, em virtude da necessidade de lógica externa adicional.

Um aspecto interessante do sistema de acionamento dos motores é a possibilidade de se operá-lo a partir uma única bateria de 12 V, sem a necessidade de adaptações senão a conexão direta entre os terminais de alimentação de +12 V e +24 V. Isto permite reduzir a massa carregada pelo robô, mas também corta efetivamente pela metade o torque máximo produzido pelos motores; a relação torque/massa é prejudicada.

3.3.4 Acondicionamento

O sistema elétrico do veículo é acondicionado no interior de uma caixa plástica fixada sobre as baterias, conforme ilustrado na Figura 54. As placas de

processamento e *drivers* são montadas uma sobre a outra, com pequenos tubos metálicos dispostos verticalmente como espaçadores. Um *borne* do tipo Sindal é usado como distribuidor das tensões de alimentação. Na parte superior da caixa, é fixada a chave liga-desliga do veículo, bem com o o *buzzer* piezoelétrico.

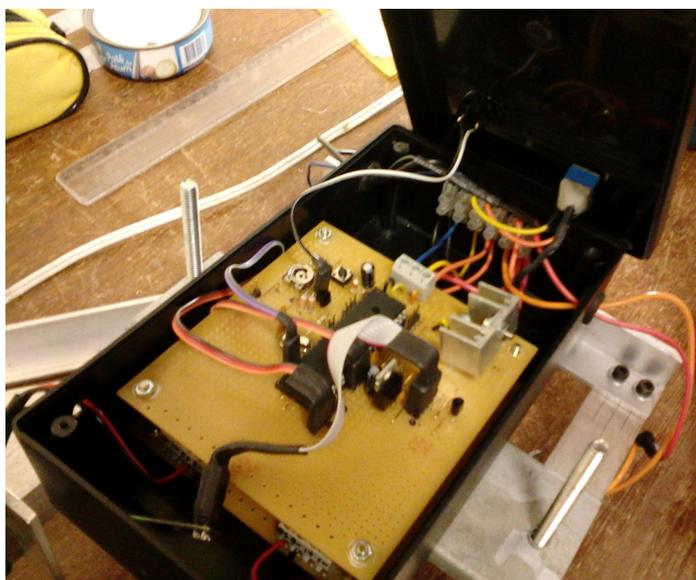


Figura 54 – Sistema elétrico do veículo acondicionado dentro de caixa plástica.
Fonte: Autoria própria.

3.4 CONTROLE REMOTO

O sistema de processamento do controle remoto foi projetado de forma a agregar a mínima complexidade possível, sendo responsável apenas por interpretar o estado dos controles manipulados pelo usuário e transmitir periodicamente um comando ao robô; o fluxo de dados é, portanto, unidirecional. Todo o processamento subsequente é deixado a cargo do sistema eletrônico embarcado no veículo, de modo a simplificar o protocolo de comunicação entre as partes.

Uma bateria portátil de 9 V alimenta os circuitos do controle remoto. A tensão de operação lógica (V_{DD}), de 5 V, é obtida a partir de um regulador LM7805.

A Figura 55 e a Figura 56, a seguir, apresentam, respectivamente, o *layout* projetado da placa de controle remoto e uma fotografia da placa finalizada e sua conexão com o *joystick*.

amplo conjunto de periféricos, que inclui *driver* de barramento SPI, diversos *timers*, e, novamente, gravação *in-circuit* via ICSP²⁸.

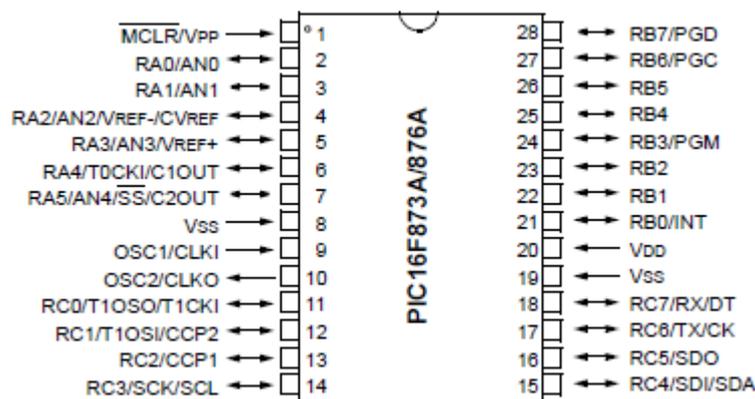


Figura 57 – Pinagem do microcontrolador PIC16F876A.
Fonte: Datasheet, Microchip Corporation²⁸.

O *firmware* programado neste microprocessador consiste, basicamente, em rotinas de inicialização dos periféricos do controlador e da placa e de um *loop* periódico simples, que executa a leitura do estado dos controles e a transmissão dos comandos via rádio a cada 100 milissegundos.

O formato dos pacotes é aquele descrito na seção 3.3.2.1. Usa-se o mesmo módulo de rádio digital, RF-2400P, embarcado no robô; desta vez, no entanto, ele é configurado para funcionar como transmissor. O alcance máximo obtido com o sistema de rádio é de cerca de 20 metros, na potência de transmissão máxima (+5 dBm); é, portanto muito inferior ao previsto na proposta original, de centenas de metros. Para comparação, sistemas comerciais possuem alcance da ordem de quilômetros.

3.4.2 Interface

Os componentes do controle remoto são encerrados em uma caixa plástica, como mostra a Figura 58, que expõe em sua face superior as interfaces para o usuário (chaves, alavanca de seleção de modo e *joystick*) e que também dispõe de um compartimento para colocação da bateria.

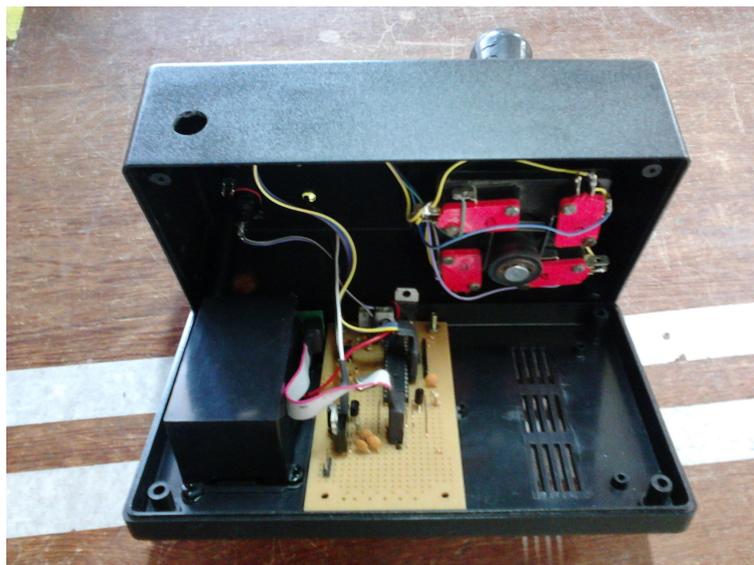


Figura 58 – Montagem do controle remoto em sua caixa.
Fonte: Autoria própria.

Esta interface, mostrada na Figura 59, é extremamente simples e intuitiva. Seu elemento central é um *joystick*, recuperado de uma antiga máquina de fliperama, cuja interface elétrica consiste simplesmente em quatro *microswitches* fixados em sua parte inferior e que são acionados quando uma dada direção é selecionada pelo usuário ao empurrar a alavanca central. Com uma chave seletora, é possível escolher um dentre dois modos básicos de operação:

- **Drive:** neste modo, o veículo se movimenta, acionando seus motores de tração, na direção escolhida pelo usuário com o *joystick*. Neste modo, também é possível ativar separadamente, por meio de chaves do tipo liga-desliga, duas opções de operação:
 - **Slow:** quando este modo é ativado, o robô movimenta-se em velocidade reduzida.
 - **Wide:** modo de realização de curvas abertas. Normalmente (isto é, com este modo desativado), o robô gira em torno do próprio eixo quando o usuário empurra o *joystick* à esquerda ou à direita. Com esta opção, é possível fazer curvas com raio maior, o que é útil no arraste de objetos.
- **Claw:** modo de operação da garra. Novamente, o usuário faz uso do *joystick*: na posição **Grip**, para frente, a garra se fecha; e na posição **Release**, para trás, a garra se abre.

É importante observar que as opções “*slow*” e “*wide*” somente possuem efeito quando o modo de operação “*drive*” está selecionado.

Também se encontra fixado ao painel um LED, que é aceso quando o usuário aciona algum dos controles. Quando os controles estão ociosos, o LED pisca periodicamente para alertar o usuário e evitar que o dispositivo seja esquecido ligado.



Figura 59 – Interface do controle remoto.
Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Considerações

A interface e o funcionamento do controle remoto são bastante simples, mas atendem plenamente à maioria dos requisitos do projeto. É necessário apontar, no entanto, que seu baixo alcance — ocasionado pela potência de transmissão limitada do rádio RF-2400P — é uma desvantagem significativa. Para desenvolvimentos futuros, portanto, seria necessário pesquisar-se um outro modelo de transmissor.

O controle remoto também poderia incorporar funcionalidades de indicação remota do estado do robô (telemetria), por meio de um *display*. Para isto, no entanto, o projeto elétrico do veículo também precisaria ser totalmente revisto, com a instalação de sensores e suas conexões com o sistema de processamento.

3.5 CONTROLE REMOTO VIA PC

A interface de controle remoto para computadores pessoais (PCs) foi uma adição de última hora ao projeto, e consiste numa alternativa à interface apresentada na seção anterior. O sistema é, evidentemente, destinado ao uso com computadores móveis (como *laptops*) e possui diversas vantagens em relação ao sistema de controle remoto dedicado:

- A modificação da interface de controle, para adição de novas funcionalidades e atualizações, depende apenas de modificações no *software*, não sendo necessário redesenhar quaisquer painéis físicos ou sistemas elétricos.
- Pode-se usufruir do poder de processamento do computador que hospeda o *software* para quaisquer tarefas que sejam necessárias.
- O computador torna-se essencialmente uma base de comando centralizada, agregando diversas funções; é possível que o operador use outros recursos de *software* ao mesmo tempo em que opera o equipamento.

O sistema de controle remoto via PC é composto, como se representa no diagrama da Figura 60, dos seguintes elementos:

- Um aplicativo de controle que, executado no computador, conecta-se ao transmissor fornece uma interface gráfica ao usuário para controle do robô.
- Um módulo transmissor de rádio, conectado ao computador via interface USB.

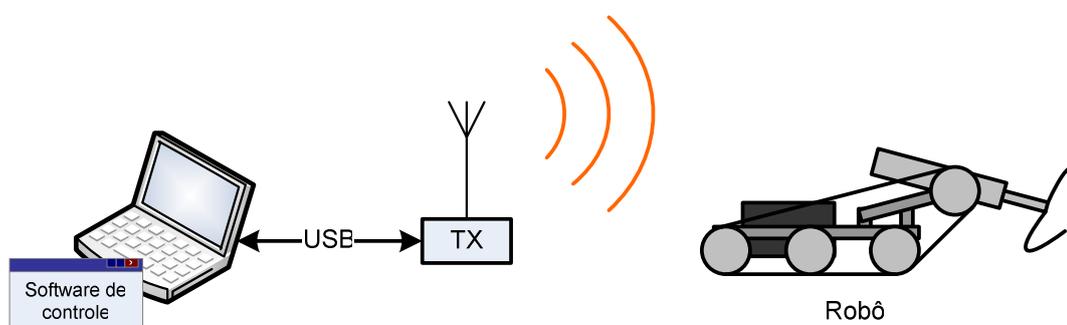


Figura 60 – Diagrama do funcionamento da interface de controle remoto via PC.
Fonte: Autoria própria.

3.5.1 Firmware do transmissor

O módulo de rádio RF-2410U possui um microcontrolador Silicon Labs C8051F321 embarcado e programável pelo usuário. Foi necessário, então, desenvolver o *firmware* deste microcontrolador para realizar a conversão “USB-para-rádio”, recebendo dados pela porta USB e transmitindo-os através do módulo de rádio. Este programa é completamente agnóstico a respeito do formato dos pacotes de comunicação, mas é responsável pela configuração do módulo de rádio BK2421 de maneira compatível com o receptor do veículo.

O *firmware* foi desenvolvido na linguagem C com o uso do compilador Keil C51 e do ambiente uVision. Faz-se uso da biblioteca USBXpress, fornecida pela própria Silicon Labs, para comunicação via USB com o aplicativo de controle no PC. Esta biblioteca traz uma interface de uso bastante fácil, ocultando os detalhes e as complexidades do protocolo USB subjacente.

3.5.2 Aplicativo de controle

O aplicativo de controle foi desenvolvido para ambientes Windows na linguagem de programação C#, usando-se o IDE Microsoft Visual Studio. Para comunicação com o transmissor pela interface USB, usa-se a biblioteca USBXpress para desenvolvimento no *host*.

A interface gráfica do aplicativo é mostrada na Figura 61. O controle do veículo é feito através do teclado. As teclas *Shift* e *Control* são usadas para se ativar, respectivamente, o modo de movimentação lenta e o modo de operação da garra. Dando-se dois toques breves nestas teclas, as funções correspondentes são travadas; para destravá-las, basta apertar a tecla novamente. Todos os controles são desligados caso a janela do aplicativo perca o foco (isto é, deixe de ser a janela ativa), para evitar que o veículo permaneça se movendo sem comando do usuário.

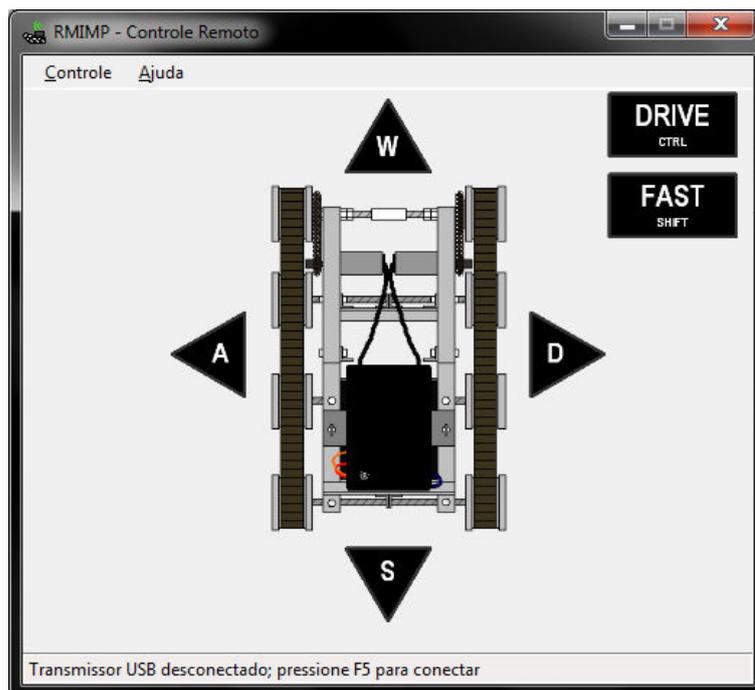


Figura 61 – Interface do aplicativo de controle.
Fonte: Autoria própria.

Por meio da interface de controle via PC, o operador tem acesso a dois modos de movimentação não implementados no controle, devido a limitações físicas. Pressionando-se simultaneamente as teclas de movimentação para trás e para qualquer um dos lados, o veículo movimenta-se em curvas amplas também para trás.

4 GESTÃO

Nesta seção, apresentam-se aspectos de gestão e planejamento que foram importantes para a realização do projeto de forma organizada.

4.1 CRONOGRAMA

A Figura 62 mostra o cronograma com as atividades realizadas durante o projeto.

Atividade	dez 2011	jan 2012	fev 2012	mar 2012	abr 2012	mai 2012	jun 2012	jul 2012	ago 2012	set 2012
Estudos e Análises										
Pesquisar mercado e viabilidade										
Definir detalhes de escopo										
Estudar tecnologias e soluções										
Desenvolvimento da Parte Mecânica										
Projetar base										
Montar chassis, eixos e rolamentos										
Montar motores e rodas										
Montar esteiras										
Projetar braço mecânico										
Montar braço mecânico										
Desenvolvimento do Sistema Elétrico Embarcado										
Desenvolver sistema de alimentação										
Desenvolver sistemas de acionamento dos motores										
Desenvolver sistema de processamento										
Desenvolver receptor										
Desenvolvimento do Sistema de Controle Remoto										
Desenvolver interface de controle e carcaça do controle remoto										
Desenvolver sistema de processamento										
Desenvolver transmissor										
Testes e Documentação										
Realizar testes do sistema completo										
Redigir documentação										
Defesa final: 06/07/2012										

Figura 62 – Cronograma da realização do projeto.
Fonte: Autoria própria.

Em comparação com o cronograma originalmente proposto, é necessário atentar para o fato de que houve atrasos consideráveis; em particular, o desenvolvimento e a construção da parte mecânica exigiram tempo e esforço significativamente maiores que o previsto.

4.2 TEMPO

No Quadro 11 são mostradas estimativas do tempo empregado na realização de cada etapa do projeto.

Atividade	Tempo estimado
Estudos e Análises	35h
Desenvolvimento da Parte Mecânica	1125h
Desenvolvimento do Sistema Elétrico Embarcado	160h
Desenvolvimento do Sistema de Controle Remoto	80h
Testes e Documentação	100h
Total	1500h

Quadro 11 – Estimativas do tempo gasto na realização do projeto

Fonte: Autoria própria.

4.3 CUSTOS

O Quadro 12 apresenta uma estimativa dos gastos totais envolvidos na realização do projeto.

Descrição	Gastos estimados
Material bruto (aço, alumínio, plástico, etc.)	R\$ 450
Ferragens diversas	R\$ 200
Ferramentas não-descartáveis	R\$ 600
Ferramentas descartáveis (brocas, etc.)	R\$ 100
Componentes da transmissão	R\$ 80
Componentes eletrônicos	R\$ 200
Gravador de PIC	R\$ 150
Módulos de rádio	R\$ 50
Serviços de usinagem	R\$ 400
Caixas plásticas	R\$ 40
Baterias	R\$ 100
Motores	R\$ 150
Rolamentos	R\$ 150
Total	R\$ 2670

Quadro 12 – Estimativa de custos do projeto.
Fonte: Autoria própria.

4.4 RISCOS

Uma análise dos riscos envolvidos no projeto foi realizada, ainda na fase de proposta, e é apresentada no Quadro 13 a seguir. A cada possível ocorrência são atribuídos graus quantitativos de probabilidade e impacto; especificam-se também os efeitos esperados e as ações previstas para sua contenção.

Grau	Descrição	Efeito	Probabilidade (0–10)	Impacto (0–10)	Ação
Alto	Problemas e dificuldades no projeto mecânico	Atraso no projeto inteiro	6	10	Mitigar: buscar conserto ou substituir solução.
Médio	Erros em placas de circuito	Aumento dos gastos	3	10	Eliminar: corrigir e produzir novas placas
Médio	Danos a componentes (queima)	Aumento dos gastos	4	7	Eliminar: obter novos componentes
Médio	Falta ou demora na entrega de componentes	Reavaliação do cronograma	5	5	Conviver: aguardar e prosseguir em outras tarefas, ou buscar alternativas

Baixo	Atrasos de desenvolvimento	Reavaliação do cronograma	4	4	Mitigar: prosseguir com o desenvolvimento, possivelmente em direções diferentes.
-------	----------------------------	---------------------------	---	---	--

Quadro 13 – Análise de riscos.
Fonte: Autoria própria.

O risco é calculado como o produto entre os graus de probabilidade e impacto ($R=P \times I$) e encaixado em um dos graus descritos no Quadro 14.

Intervalo de R	Grau
$R \geq 50$	Alto
$50 > R \geq 20$	Médio
$20 > R$	Baixo

Quadro 14 – Classificações dos riscos.
Fonte: Autoria própria.

5 PLANO DE NEGÓCIOS

Nesta seção apresenta-se uma proposta de plano de negócios baseada no projeto apresentado. Em resumo, é possível dizer que a proposta e o desenvolvimento de um negócio a partir do produto apresentado partem da visão dos seguintes aspectos: a oportunidade de exploração do crescente no mercado da área de segurança — e, mais especificamente, da robótica aplicada à segurança —, especialmente diante da perspectiva de realização de grandes eventos no País e da modernização de suas forças de segurança pública; e a possibilidade de se oferecer um produto de baixo custo, potencialmente abrindo-se um novo nicho de mercado diante das alternativas concorrentes de altíssimo custo e valor agregado existentes por ora. Estrategicamente, a proposta é de buscar-se a inovação contínua na linha de produtos e, assim, gradativamente assumir uma participação maior no mercado — o produto inicial sendo um ponto de entrada para a criação de condições para tanto.

5.1 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

5.1.1 *Visão*

Tornar-se uma grande empresa fornecedora de soluções de robótica aplicada à segurança em âmbito nacional.

5.1.2 *Missão*

Fornecer produtos confiáveis e suporte completo ao cliente. Buscar custos reduzidos frente à concorrência internacional. Aplicar testes exaustivamente. Investir em inovação e melhoria contínuas. Garantir qualidade total dos produtos.

5.1.3 Valores

- Compromisso com a qualidade, confiabilidade e facilidade de uso dos produtos.
- Zelo pela excelência e proximidade no suporte ao cliente (treinamento, manutenção, etc.).
- Ênfase em inovação e experimentalismo.
- Preferência por uma cadeia de produção ambiental e socialmente responsável.

5.1.4 Descrição do negócio

O produto está inserido no ramo da indústria de defesa, tendo como clientes-alvos principais as forças de segurança pública do País. Pretende-se realizar a venda dos produtos e serviços de treinamento para seu uso em contato direto com governos e instituições, através da participação em licitações.

Espera-se que o produto inicialmente oferecido seja reconhecido por sua facilidade de uso, qualidade e baixo custo — este último sendo seu grande fator diferenciador em relação aos concorrentes, todos internacionais — e possa, assim, abrir espaço para o crescimento subsequente do negócio. O produto vem para atender às necessidades de segurança da sociedade e dos agentes das forças do Estado frente a ameaças crescentes.

5.2 OBJETIVOS

5.2.1 Objetivos principais

Tornar a empresa um grande fabricante nacional de equipamentos de robótica para a área de segurança e, futuramente, um *player* no mercado mundial.

5.2.2 *Objetivos intermediários*

- Desenvolver um produto de entrada cuja capacidade de realizar o mesmo trabalho que seus concorrentes de custo muito mais elevado leve a empresa a adquirir reputação no meio e, assim, lance as bases para seu crescimento futuro.
- Desenvolver versões subseqüentes do produto ou similares, com recursos cada vez mais sofisticados.
- Tornar-se o maior fornecedor de tecnologias de robótica aplicada à segurança para as forças públicas do País.

5.3 PRODUTO E SERVIÇOS

5.3.1 *Descrição do produto e serviços*

O produto inicial consiste em um robô móvel, com tração por esteiras, dotado de uma garra mecânica e alimentado por baterias. O equipamento é controlado remotamente por um usuário humano e é capaz de remover objetos pequenos para locais seguros, onde podem ser subseqüentemente analisados por especialistas.

Oferece-se, além do produto, o treinamento necessário para seu uso correto, apesar de sua grande simplicidade de operação e manutenção.

5.3.2 *Análise comparativa*

Não se conhece um produto em existência no mercado desta área com proposta de valor comparável ao do aqui apresentado. Apresentam-se no Quadro 15, no entanto, produtos que se colocariam como alternativas comumente acessíveis aos mercados consumidores ao redor do mundo e que são, portanto, efetivamente concorrentes.

Modelo	Fabricante	Custo
MarkV-A1	Northrop Grumman	US\$ 158.000
TALON	QinetiQ	US\$ 60.000 – 100.000
SUGV	iRobot	US\$ 186.000

Quadro 15 – Análise comparativa de concorrentes.
Fonte: Autoria própria.

5.3.3 Tecnologia

O produto utilize-se das seguintes tecnologias principais:

- Sistemas eletrônicos de processamento embarcado.
- Transmissores e receptores de radiofrequência para comunicação digital.
- Motores elétricos para tração.
- Sistemas elétricos de atuação.

5.3.4 Produtos e serviços futuros

Prevê-se o desenvolvimento de versões progressivamente mais sofisticadas do produto inicial proposto, com a mesma aplicação, e também dos serviços de treinamento correspondentes.

O mercado de equipamentos de robótica móvel apresenta também outras grandes oportunidades de exploração, não apenas no ramo da segurança pública e defesa. O setor industrial também pode usufruir do desenvolvimento destas tecnologias; alguns exemplos de aplicações no contexto presente do Brasil são:

- Uso de robôs na inspeção em localizações dificilmente acessíveis, pelas indústrias de mineração, siderurgia e petróleo.
- Inspeções de instalações fabris automatizadas ou semi-automatizadas.
- Atendimento a situações de acidente (por exemplo, incêndios, desabamentos ou vazamentos de produtos químicos) que representem riscos graves a funcionários.

- Monitoramento remoto da segurança do perímetro de instalações (essencialmente, com câmeras móveis).

5.4 ANÁLISE DE MERCADO RESUMIDA

5.4.1 *Segmentação do mercado*

O negócio encontra-se inserido do mercado de equipamentos de defesa e segurança, um dos maiores do mundo, movimentando trilhões de dólares anualmente e dominado por grandes conglomerados de empresas. Dentro deste segmento, é possível localizá-lo no ramo da robótica aplicada à área de segurança, e, mais especificamente, no de equipamentos terrestres móveis para inspeção e remoção de materiais perigosos.

Ainda mais especificamente, o negócio foca-se numa área de interesse primário de forças de segurança pública interna (polícias), podendo expandir-se e atrair a atenção do setor privado (indústria e segurança privada).

5.4.2 *Segmento-alvo do mercado*

Almeja-se inicialmente oferecer o produto às forças de segurança pública do País (polícias), já que são diretamente envolvidas no atendimento a ocorrências. O produto é de uso tanto para equipes especializadas no desarme a bombas quanto a forças policiais regulares. Sugere-se que, em cidades pequenas no interior do País, as forças de polícia locais possam adquirir o equipamento e ser treinadas no seu uso a fim de poder remover e isolar explosivos de áreas onde podem provocar danos extensos enquanto se aguarda a chegada de equipes especializadas vindas de regiões metropolitanas próximas.

Prevê-se que a estratégia para atingir este mercado-alvo seja, inicialmente, o contato direto com governos e instituições policiais, com solicitação de audiências para oferta destes produtos e demonstração de suas capacidades e vantagens. Posteriormente, participa-se das licitações no setor, a partir das quais o poder público pode realizar sua escolha. Pode-se tirar proveito, ainda, de possíveis

diretrizes governamentais ou leis de estímulo à indústria nacional que dêem preferência e empresas locais em tais processos de licitação.

5.4.2.1 Necessidades do mercado

O mercado tem primariamente necessidade de produtos de mais baixo custo. A tecnologia dos produtos existentes certamente não deixa a desejar, especialmente dados os custos destes equipamentos; no entanto, a inovação contínua não é apenas desejável e bem recebida, mas também obrigatória para as empresas que desejam se manter firmes no setor e sobreviver à competição.

5.4.2.2 Tendências do mercado

O mercado mundial de veículos telecontrolados está em franco desenvolvimento; as forças armadas dos Estados Unidos, por exemplo, já fazem uso pleno e corriqueiro de aviões não-tripulados (*drones*) em operações militares e de inteligência. O desenvolvimento de veículos terrestres de combate controlados à distância também é conduzido ativamente por diversas empresas e financiado por governos ao redor do mundo.

O mercado tende, de maneira geral, a diversificar-se, com desenvolvimentos em todas as direções, uma vez que as tecnologias empregadas nestes equipamentos são em sua maioria razoavelmente maduras e que há grandes investimentos. Pode-se concluir, portanto, que há muito espaço a ser explorado, com a introdução de novos padrões de segurança e precisão na resposta a ameaças.

5.4.2.3 Crescimento do mercado

O panorama da segurança pública no Brasil é notoriamente precário. No entanto, vislumbra-se, para os próximos anos, grandes investimentos por parte

dos governos com a perspectiva da realização de dois grandes eventos no País: a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e as Olimpíadas de 2016, no Rio de Janeiro. A necessidade das forças de segurança de se adaptarem maciçamente para estas situações, com equipamento, treinamento e contratações, representa um grande desafio, mas também uma oportunidade para a indústria de segurança.

Além disso, há ainda a evolução natural dos padrões de ação das forças de segurança com o desenvolvimento da tecnologia. À medida que forças de segurança no mundo desenvolvido adotam novos equipamentos e técnicas mais eficientes ou que melhor resguardam a integridade de seus profissionais, torna-se cada vez maior a pressão pela introdução destas inovações também aqui.

Entre 1995 e 2005, o gasto com segurança pública no Brasil cresceu 260%²⁹. Nos últimos anos, o gasto proporcional com segurança em relação ao PIB do Brasil excedeu o de países desenvolvidos como Alemanha e Espanha³⁰. Estes dados apontam a clara tendência de aumento dos investimentos neste setor essencial — que deverá ser ainda mais acentuada nos próximos anos com a realização dos eventos supracitados.

Prevê-se também que o mercado de segurança no Brasil deve triplicar seu faturamento até 2017, atingindo R\$ 3,7 bilhões; isto atribui-se também, aos investimentos governamentais diante da Copa e das Olimpíadas³¹. Muito embora este mercado não corresponda exatamente ao ramo de atuação contemplado aqui, este fato é uma excelente indicação dos futuros investimentos e da grande possibilidade de crescimento do setor amplo.

5.4.3 *Análise da indústria*

A indústria de defesa é uma das maiores do mundo, movimentando trilhões de dólares anualmente. Somente o gasto militar (isto é, com defesa externa) mundial em 2011 é estimado em 1,735 trilhões de dólares, ou 2,5% do PIB mundial³²; este número não inclui gastos com segurança interna.

O Quadro 16 lista os vinte países com maior gasto em segurança interna em 2008; o Brasil é destacado na 16ª posição.

Posição	País	Gastos com segurança interna, em bilhões de US\$
1	EUA	707,7
2	Reino Unido	87,1
3	China	86,5
4	França	81,1
5	Alemanha	67,3
6	Japão	61,6
7	Arábia Saudita	45,3
8	Itália	38,2
9	Coréia do Sul	35,2
10	Índia	34,1
11	Austrália	31,6
12	Canadá	24,8
13	Turquia	23,1
14	Espanha	20,5
15	Holanda	17,6
16	Brasil	14,8
17	Indonésia	7,7
18	Bélgica	7,4
19	México	6,3
20	Emirados Árabes Unidos	5,6

Quadro 16 – Países do mundo ordenados por gasto com segurança interna.
Fonte: Homeland Security Research³³.

A posição do Brasil como um dos maiores investidores em segurança interna do mundo é, certamente, um indicativo da tendência de crescimento das oportunidades no setor, especialmente frente à resistência do País diante da crise mundial.

5.4.3.1 *Players*

Em geral, os principais participantes no mercado mundial de tecnologia de defesa são grandes conglomerados de empresas estabelecidas há muitas décadas. O Quadro 17 apresenta, para efeito de contextualização, um *ranking* dos maiores fornecedores de equipamentos de defesa ao governo norte-americano (*defense contractors*) em 2010 e suas posições na mesma lista em 2009. Este quadro fornece

um excelente panorama global deste mercado e das grandes transações envolvidas. Observa-se que se incluem neste ranking pelo menos duas empresas atuantes no ramo de ROVs de uso militar e policial: Northrop Grumman, através de sua subsidiária REMOTEC (2ª) e QinetiQ, através de sua subsidiária Foster-Miller (40ª), que se encontram destacadas no quadro.

Posição	Empresa	Valor dos contratos militares	Posição em 2009
1	Lockheed Martin Corp.	\$16,700,588,328	1
2	Northrop Grumman Corp.	\$11,145,533,497	3
3	Boeing Co.	\$10,462,626,196	2
4	Raytheon Co.	\$6,727,232,555	5
5	Science Applications International Corp.	\$5,474,482,583	7
6	General Dynamics Corp.	\$5,431,882,984	4
7	KBR Inc.	\$4,545,440,824	6
8	L-3 Communications Corp.	\$4,176,624,682	8
9	Booz Allen Hamilton	\$3,352,844,339	10
10	Computer Sciences Corp.	\$3,293,278,386	9
40	QinetiQ North America Inc.	\$660,647,787	34

Quadro 17 – Lista dos maiores *players* no mercado mundial de defesa no ano de 2010.
Fonte: Washington Technology³⁴.

5.4.3.2 Modelo de distribuição

A venda dos produtos dar-se-á pela participação direta em licitações para contratos de fornecimento, no qual a empresa pretende apresentar vantagens competitivas significativas em relação aos concorrentes. Após a aquisição destas concessões, o produto é enviado diretamente à parte contratante, sem a presença de intermediários.

5.4.3.3 Modelo de competitividade

O requisito essencial e obrigatório para manter a competitividade neste mercado é a inovação contínua. O produto não pode estagnar-se, ou será rapidamente ultrapassado por seus concorrentes.

A criação de novas necessidades e tendências é também uma estratégia de grande valor neste contexto. Em certas ocasiões, o operador ou usuário de um produto pode não ter a percepção de que inovações e alterações poderiam ser-lhe úteis.

Por fim, prevê-se a atenção constante a novas oportunidades de negócio (diante de eventos ou situações excepcionais) e novos mercados exploráveis como outra estratégia fundamental para se manter a competitividade.

5.5 DEFINIÇÃO DA OFERTA E DA PROPOSTA DE VALOR

O produto atende às necessidades do mercado, podendo até mesmo vir a abrir um novo nicho, e possui uma clientela-alvo bem definida. Possui a clara vantagem financeira do baixo custo, além das vantagens funcionais de simplicidade de operação e manutenção.

5.6 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO

5.6.1 Diferenciais competitivos e proposta de valor

A proposta principal diferencial do produto, que o destaca em relação aos concorrentes, é seu baixo custo. Além disso, destacam-se sua simplicidade de operação e manutenção, que mantêm a mesma linha de ação desta proposta de valor. Apresenta-se, no Quadro 18, a análise SWOT (*strengths-weaknesses-opportunities-threats*) do negócio.

	Fatores favoráveis	Fatores desfavoráveis
Ambiente interno	Pontos fortes (S) - Baixo custo - Manutenção simples - Simplicidade	Pontos fracos (W) - Pouca sofisticação - Potência limitada
Ambiente externo	Oportunidades (O) - Aproximação de grandes eventos e investimentos em segurança - Crescimento da economia brasileira	Ameaças (T) - Mercado limitado, facilmente saturável - Inovações do concorrentes

Quadro 18 – Análise SWOT.
Fonte: Autoria própria.

5.6.2 *Estratégia de marketing*

5.6.2.1 Estratégia de preços

Estima-se um preço inicial de cerca de R\$ 3.000 para o produto em sua primeira versão, e pretende-se manter o baixo custo como um dos principais chamarizes para o produto e todo o portfólio futuro.

5.6.2.2 Estratégia de promoção

O produto não é de interesse para o público em geral; logo, o investimento em *marketing* é direcionado ao contato direto com os órgãos governamentais ligados à área de segurança. A apresentação do produto se dá com o emprego de demonstrações técnicas e financeiras.

5.6.2.3 Estratégia de distribuição

Uma vez que se vença um contrato para fornecimento de equipamentos, procede-se à produção das unidades requisitadas. Quando estas estiverem prontas e devidamente testadas, são embaladas e enviadas diretamente às partes contratantes por meio de serviços de logística (transporte) terceirizados.

5.6.3 *Estratégia de vendas*

5.6.3.1 *Forecast*

A planilha a seguir apresenta uma projeção das vendas no período de 5 anos analisado, e contempla a planejada introdução de novas linhas de produtos.

PROJEÇÃO DE VENDAS		Ano0 (2013)				Ano1 (2014)					
PRODUTOS		VOLUME	PREÇO	RECEITA	%	VOLUME	PREÇO	RECEITA	%		
1	Robô versão 1	20	R\$ 3,000.00	R\$ 60,000.00	88.24	100	R\$ 3,200.00	R\$ 320,000.00	61.66		
2	Treinamento	4	R\$ 2,000.00	R\$ 8,000.00	11.76	20	R\$ 2,000.00	R\$ 40,000.00	7.707		
POSSIVEIS NOVOS PRODUTOS											
1	Robô versão 2	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0	15	R\$ 10,000.00	R\$ 150,000.00	28.9		
2	Treinamento versão 2	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0	3	R\$ 3,000.00	R\$ 9,000.00	1.734		
3	Robô versão 3	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0		
3	Treinamento versão 3	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0		
RECEITA TOTAL				R\$ 68,000.00				R\$ 519,000.00			
Ano2 (2015)		Ano3 (2016)				Ano4 (2017)					
VOLUME	PREÇO	RECEITA	%	VOLUME	PREÇO	RECEITA	%	VOLUME	PREÇO	RECEITA	%
55	R\$ 3,500.00	R\$ 192,500.00	22.01	15	R\$ 3,500.00	R\$ 52,500.00	3.46	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0.00
11	R\$ 2,000.00	R\$ 22,000.00	2.52	3	R\$ 2,000.00	R\$ 6,000.00	0.40	0	R\$ 0.00	R\$ 0.00	0.00
50	R\$ 11,000.00	R\$ 550,000.00	62.89	65	R\$ 12,000.00	R\$ 780,000.00	51.40	50	R\$ 13,000.00	R\$ 650,000.00	33.51
10	R\$ 3,000.00	R\$ 30,000.00	3.431	13	R\$ 3,000.00	R\$ 39,000.00	2.57	10	R\$ 3,000.00	R\$ 30,000.00	1.55
5	R\$ 15,000.00	R\$ 75,000.00	8.576	40	R\$ 15,000.00	R\$ 600,000.00	39.54	70	R\$ 17,000.00	R\$ 1,190,000.00	61.34
1	R\$ 5,000.00	R\$ 5,000.00	0.572	8	R\$ 5,000.00	R\$ 40,000.00	2.64	14	R\$ 5,000.00	R\$ 70,000.00	3.61
R\$ 874,500.00		R\$ 1,517,500.00				R\$ 1,940,000.00					

Quadro 19 – Forecast de vendas num período de 5 anos.

Fonte: Autoria própria.

5.6.3.2 Plano de vendas

Pretende-se usar o produto apresentado como ponto de inserção no mercado, a fim de se estabelecer o lugar da empresa e assim expansão.

Pretende-se realizar vendas do equipamento para esquadrões anti-bombas e também para forças policiais menores. A estas últimas, propõe-se que se ofereça apenas treinamento básico para remoção de materiais suspeitos enquanto se aguarda a chegada de uma equipe especializada. Com o passar do tempo, pretende-se também realizar a expansão para outras áreas de atuação, atendendo à demanda do setor privado.

A venda para forças de segurança pública é realizada através de contratos licitatórios, e são precedidas por demonstrações feitas diretamente aos órgãos interessados.

5.6.4 Cronograma

O Quadro 20 apresenta um cronograma estimado das atividades necessárias para a colocação em funcionamento do empreendimento e também dos custos associados a cada uma destas.

Atividade	Data Início	Data Fim	Orçamento	Departamento
Aquisição de equipamentos	1/10/2011	15/1/2013	R\$ 20000	Engenharia/Financeiro
Desenvolvimento do produto	1/10/2011	15/1/2013	R\$ 15000	Engenharia
Fabricação de protótipos para demonstração	15/3/2012	15/5/2012	R\$ 7500	Engenharia/Produção
Processo burocrático para abertura da empresa	1/12/2012	1/5/2013	R\$ 15000	Diretoria/Financeiro
Contratações	1/12/2012	1/3/2013	R\$ 40000	Administração
Elaboração de plano de marketing e vendas	15/12/2012	15/4/2013	R\$ 1500	Vendas
Fabricação de produtos finais	15/4/2013	1/1/2014	R\$ 25000	Engenharia/Produção
Total			R\$ 124000.00	

Quadro 20 – Cronograma de atividades para a abertura do negócio.
Fonte: Autoria própria.

5.7 GESTÃO

5.7.1 Estrutura organizacional e equipe

A estrutura hierárquica do empreendimento proposto, ilustrada na Figura 63, é bastante simples. Uma Diretoria central é responsável por coordenar as atividades de todos os demais setores: Engenharia, Produção, Vendas e Marketing e Finanças. Neste esquema, prevê-se que a diretoria agregue também funções administrativas e de recursos humanos.

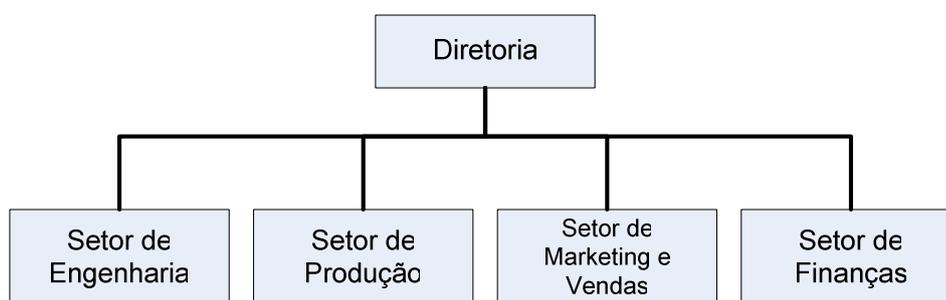


Figura 63 – Organograma da estrutura hierárquica do empreendimento.
Fonte: Autoria própria.

5.7.2 Quadro de pessoal

O quadro a seguir apresenta uma projeção da evolução do quadro de pessoal e os custos correspondentes para 5 anos.

QUADRO DE PESSOAL										
2013		2014		2015		2016		2017		
Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	Qtd.	Salário Anual (R\$)	
Pessoal - Produção										
Eng. Mecânico	1	R\$ 24,000.00	1	R\$ 27,600.00	1	R\$ 42,000.00	1	R\$ 54,000.00	1	R\$ 66,000.00
Eng. Eletricista	1	R\$ 24,000.00	1	R\$ 27,600.00	1	R\$ 42,000.00	1	R\$ 54,000.00	1	R\$ 66,000.00
Técnico	1	R\$ 18,000.00	3	R\$ 18,000.00	4	R\$ 26,400.00	6	R\$ 26,400.00	8	R\$ 30,000.00
Estagiário	0	R\$ 0.00	0	R\$ 0.00	3	R\$ 9,600.00	4	R\$ 9,600.00	4	R\$ 9,600.00
Subtotal		R\$ 66,000.00		R\$ 109,200.00		R\$ 218,400.00		R\$ 304,800.00		R\$ 410,400.00
Pessoal - Marketing e Vendas										
Gerente de Marketing e Vendas	1	R\$ 0.00	1	R\$ 0.00	1	R\$ 26,400.00	1	R\$ 26,400.00	1	R\$ 26,400.00
Subtotal		R\$ 0.00		R\$ 0.00		R\$ 26,400.00		R\$ 26,400.00		R\$ 26,400.00
Pessoal - Gerais e Administrativas										
Administrador	1	R\$ 0.00	1	R\$ 0.00	1	R\$ 30,000.00	1	R\$ 30,000.00	1	R\$ 30,000.00
Subtotal		R\$ 0.00		R\$ 0.00		R\$ 30,000.00		R\$ 30,000.00		R\$ 30,000.00
Pessoal – Outros										
Secretária	1	R\$ 10,800.00	1	R\$ 10,800.00	1	R\$ 14,400.00	1	R\$ 14,400.00	1	R\$ 14,400.00
Subtotal		R\$ 10,800.00		R\$ 10,800.00		R\$ 14,400.00		R\$ 14,400.00		R\$ 14,400.00
Total Pessoas	6		8		12		15		17	
Total Folha		R\$ 76,800.00		R\$ 120,000.00		R\$ 289,200.00		R\$ 375,600.00		R\$ 481,200.00
Benefícios e Obrigações		R\$ 8,533.33		R\$ 13,333.33		R\$ 32,133.33		R\$ 41,733.33		R\$ 53,466.67
Total Gastos com Folha		R\$ 85,333.33		R\$ 133,333.33		R\$ 321,333.33		R\$ 417,333.33		R\$ 534,666.67

Quadro 21 – Projeção do quadro de pessoal.
Fonte: Autoria própria.

5.8 PLANO FINANCEIRO

5.8.1 Análise do break-even

Espera-se que a empresa atinja o *break-even* — retorno de todo o investimento inicial — no início do seu 5º ano de operação. Considera-se que o longo período necessário para se atingir este resultado é consequência da necessidade de se investir em mão-de-obra qualificada para atender a demanda.

5.8.2 Investimento inicial

Considera-se que o investimento inicial para a realização do negócio será oriundo de familiares, e atingirá o valor de R\$ 150.000, com uma taxa de juros de 5%.

5.8.3 Projeção do resultado e fluxo de caixa

Nas páginas seguintes são esmiuçadas as projeções do fluxo de caixa dos primeiros 5 anos de operação do empreendimento.

		1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre	Dez Anoo	Dez Anoo1	Dez Anoo2	Dez Anoo3	Dez Anoo4
LUCRO										
Lucro Operacional		(52,233)	(18,175)	(14,896)	(10,838)	(65,922)	92,440	56,770	257,719	335,904
Imposto de Renda	10%	-	-	-	-	-	9,244	5,677	25,772	33,590
LUCRO LÍQUIDO APOS IR		(52,233)	(18,175)	(14,896)	(10,838)	(65,922)	83,196	51,093	231,947	302,314
% da Receita Líquida		0%	-163%	-89%	-39%	-118%	20%	7%	19%	19%
VARIAÇÃO DE CAPITAL DE GIRO										
Contas a Receber no final do período		-	1,360	2,040	3,400	6,800	51,900	87,450	151,750	194,000
Estoques no final do período		60,000	60,000	20,000	-	140,000	180,000	140,000	140,000	220,000
Contas a Pagar no final do período		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impostos a Pagar no final do período		-	-	-	-	-	-	-	-	-
VARIAÇÃO DE CAPITAL DE GIRO		(60,000)	(61,360)	(22,040)	(3,400)	(146,800)	(85,100)	4,450	(64,300)	(122,250)
Depreciação no período	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUXO DE CAIXA OPERACIONAL		(112,233)	(79,535)	(36,936)	(14,238)	(212,722)	(1,904)	55,543	167,647	180,064
Investimentos em Ativo Fixo										
Adições aos Ativos Fixos	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vendas de Ativos Fixos	+									
FLUXO DE CAIXA LIVRE (FCF)		(112,233)	(79,535)	(36,936)	(14,238)	(212,722)	(1,904)	55,543	167,647	180,064
Financiamentos Longo Prazo	+	150,000				150,000				
Amortização de Financiamentos	-	0	0	0	0	0	0	(50,000)	(100,000)	0
Pagamento de Juros	-	0	0	0	(7,500)	(7,500)	(7,500)	(5,000)	0	0
Amortização de empréstimos Curto Prazo	-									
Recursos Próprios	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAIXA GERADA NO PERÍODO		37,767	(79,535)	(36,936)	(21,738)	(70,222)	(9,404)	543	67,647	180,064
Retirada de Dividendos	-					0	0	0	0	0
CAIXA GERADA ACUMULADA		37,767	(41,768)	(78,704)	(100,442)	(70,222)	(79,626)	(79,083)	(11,436)	168,628

Quadro 22 – Projeção de fluxo de caixa.
Fonte: Autoria própria.

5.8.4 Viabilidade do empreendimento

O empreendimento mostra-se viável, conforme a análise apresentada na seção anterior. É necessário, no entanto explicitar os fatores responsáveis por esta projeção positiva. A estratégia de constante inovação e introdução de novos produtos e tecnologias é absolutamente vital para que o encaminhamento do negócio seja conforme o esperado, assim como o uso de um produto que estabeleça a reputação da empresa e abra espaço para sua atuação futura no mercado.

A aposta em uma linha de baixo custo, mas com confiabilidade notória, é, segundo esta análise, uma estratégia válida e com potencial de êxito, dados os grandes custos a que se incorre ao se adquirir os produtos existentes no mercado atualmente.

6 CONCLUSÃO

Considera-se que o resultado do projeto demonstra a viabilidade da proposta original, com ênfase no baixo custo do produto final, apesar da grande simplicidade do protótipo resultante. Uma vez que o projeto foi realizado por meios próprios, e com grandes limitações de tempo e gastos, pode-se concluir que, com um investimento não muito grande e o uso de técnicas mais apuradas, seria possível viabilizar a proposta de negócio aqui descrita.

Muitas dificuldades foram encontradas ao longo do projeto; no entanto, na maioria das vezes pôde-se contorná-las com criatividade e simplificação. É importante destacar também que seu processo de desenvolvimento representou uma experiência única de aprendizado, com a contínua necessidade de se criar de soluções completas para problemas práticos.

O caráter interdisciplinar do projeto — com partes elétricas e mecânicas — também merece menção, pois possibilitou que novas áreas de conhecimento fossem exploradas e novas experiências fossem adquiridas. Com relação ao desenvolvimento da parte eletrônica, houve a oportunidade de se aplicar diversos conceitos abordados ao longo do curso de Engenharia, nas áreas de eletrônica digital, *software*, sistemas de potência e comunicação.

6.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

É necessário apontar algumas limitações e problemas significativos do protótipo que devem ser revistas caso se queira torná-lo comercialmente viável. Também é possível enumerar algumas melhorias cuja implantação agregaria mais valor ao produto.

- A falta de um sistema de suspensão no veículo deixa seu chassi desprotegido contra impactos e torções e prejudica seriamente sua mobilidade em terrenos com obstáculos.
- Os sistemas de controle remoto possuem alcances muito curtos, por limitação dos módulos de rádio usados. Para uma aplicação de segurança real, é absolutamente indispensável que o operador do controle remoto possa se manter uma distância de, no mínimo,

centenas de metros do material suspeito que se está inspecionando ou removendo. A potência de transmissão também deve ser suficientemente alta para permitir que o robô seja operado em ambientes com interferência eletromagnética ou obstáculos à comunicação, como em interiores (através de paredes) ou entre automóveis e vegetação.

- Há falta de um sistema de visão remota (câmera com sistema de transmissão de imagem por rádio) em tempo real. Isto é essencial para que o operador possa realizar tarefas à distância com precisão e segurança.
- Seria bastante desejável se ter uma garra mecânica mais resistente, capaz de exercer maiores forças, e com outras possibilidades de movimento (graus de liberdade). Um braço mecânico com dois segmentos articulados (braço e antebraço), capaz de agarrar objetos por ângulos de ataque diversos, era inicialmente previsto, mas foi abandonado por sua grande complexidade.
- Um sistema de controle remoto mais completo, com fluxo de dados bidirecional, permitira ao usuário ter mais controle sobre o estado do robô (via telemetria) a fim de planejar melhor suas ações.
- A instalação de um sistema de iluminação externa no veículo seria de grande utilidade para operação em ambientes escuros.

Cabe observar, no entanto, que a resolução destas questões e a implantação de outras melhorias subseqüentes exigiriam muito mais tempo e investimento do que os disponíveis para realizar o projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 JACOB, Emma. **America's First Celebrity Robot Is Staging A Comeback.** National Public Radio, 02 abr. 2012. Disponível em: <<http://www.npr.org/2012/04/02/149850779/americas-first-celebrity-robot-is-staging-a-comeback>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 2 MORAVEC, Hans. **The Hopkins beast.** Disponível em: <<http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/talks/revo.slides/1960.html>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 3 THE first robot 'Unimate'. Robotics Research Group, University of Texas at Austin. Disponível em: <http://www.robotics.utexas.edu/rrg/learn_more/history/#firstrobot>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 4 IROBOT. Disponível em: <<http://www.irobot.com/gi/ground/>>. Acesso em: 13 nov. 2011.
- 5 LANDAU, Elizabeth. **Mars landing went 'flawlessly', scientists say.** CNN.com, 14 ago. 2012. Disponível em: <<http://edition.cnn.com/2012/08/06/tech/mars-rover-curiosity/index.html>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 6 STEPHENS, Peter. **The evolution of the ROV.** EOD – Defence Management Journal, nº 29. Disponível em: <http://www.defencemanagement.com/article.asp?id=180&content_name=EOD&article=4485>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 7 HOTTEN, Russel. **QinetiQ faces £40m restructuring cost.** The Telegraph, 29 nov. 2007. Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/industry/2820350/QinetiQ-faces-40m-restructuring-cost.html>>
- 8 ROBOTS venture inside Fukushima. BBC News, 18 abr. 2011. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/news/technology-13114310>>. Acesso em: 2 nov. 2011.
- 9 GRENEMEIER, Larry. **Robots arrive at Fukushima nuclear site with unclear mission.** Scientific American, 24 mar. 2011. Disponível em:

<<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=robots-arrive-fukushima-nuclear>>. Acesso em: 2 nov. 2011.

- 10 GREENEMEIER, Larry. **Bomb-Disarming Robot Was First to Enter Alleged Aurora Shooter's Apartment**. Scientific American Blogs, 25 jul. 2012. Disponível em: <<http://blogs.scientificamerican.com/observations/2012/07/25/bomb-disarming-robot-was-first-to-enter-alleged-aurora-shooters-apartment/>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 11 ESQUADRÃO antibomba detona terceiro artefato em menos de 24 horas, todos no Juvevê. Portal Banda B, 29 nov. 2011. Disponível em: <<http://bandab.pron.com.br/jornalismo/policia/esquadrao-antibomba-detona-terceiro-artefato-em-menos-de-24-horas-todos-no-juveve-31164/>>. Acesso em: 30 nov. 2011.
- 12 MANASSES, Miguel Ângelo. **Polícia desarma bomba de alta tecnologia na RMC**. Paraná Online, Curitiba, 05 abr. 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/policia/news/603512/?noticia=POLICIA+DESARMA+BOMBA+DE+ALTA+TECNOLOGIA+NA+RMC>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- 13 BENDLIN, Ana Carolina. **Suposta bomba não passava de uma simples bolsa**. Paraná Online, Curitiba, 08 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/policia/news/614776/?noticia=SUPOSTA+BOMBA+NAO+PASSAVA+DE+UMA+SIMPLES+BOLSA>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- 14 DESLANDES, Fernanda. **Suspeita de bomba era presente do dia dos namorados**. Paraná Online, Curitiba, 1
- 15 3 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/policia/news/615461/?noticia=SUSPEITA+DE+BOMBA+ERA+PRESENTE+DO+DIA+DOS+NAMORADOS>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- 16 MONTEIRO, Janaina. **Câmara de Curitiba é evacuada por denúncia de bomba**. Paraná Online, Curitiba, 17 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/policia/news/619348/?noticia=CAMARA+DE+CURITIBA+EVACUADA+POR+DENUNCIA+DE+BOMBA>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 17 MANASSES, Miguel Ângelo; BORTOLINI, Karen. **Ameaça de bomba na região central de Curitiba**. Paraná Online, Curitiba, 15 ago. 2012. Disponível em: <<http://www.parana->

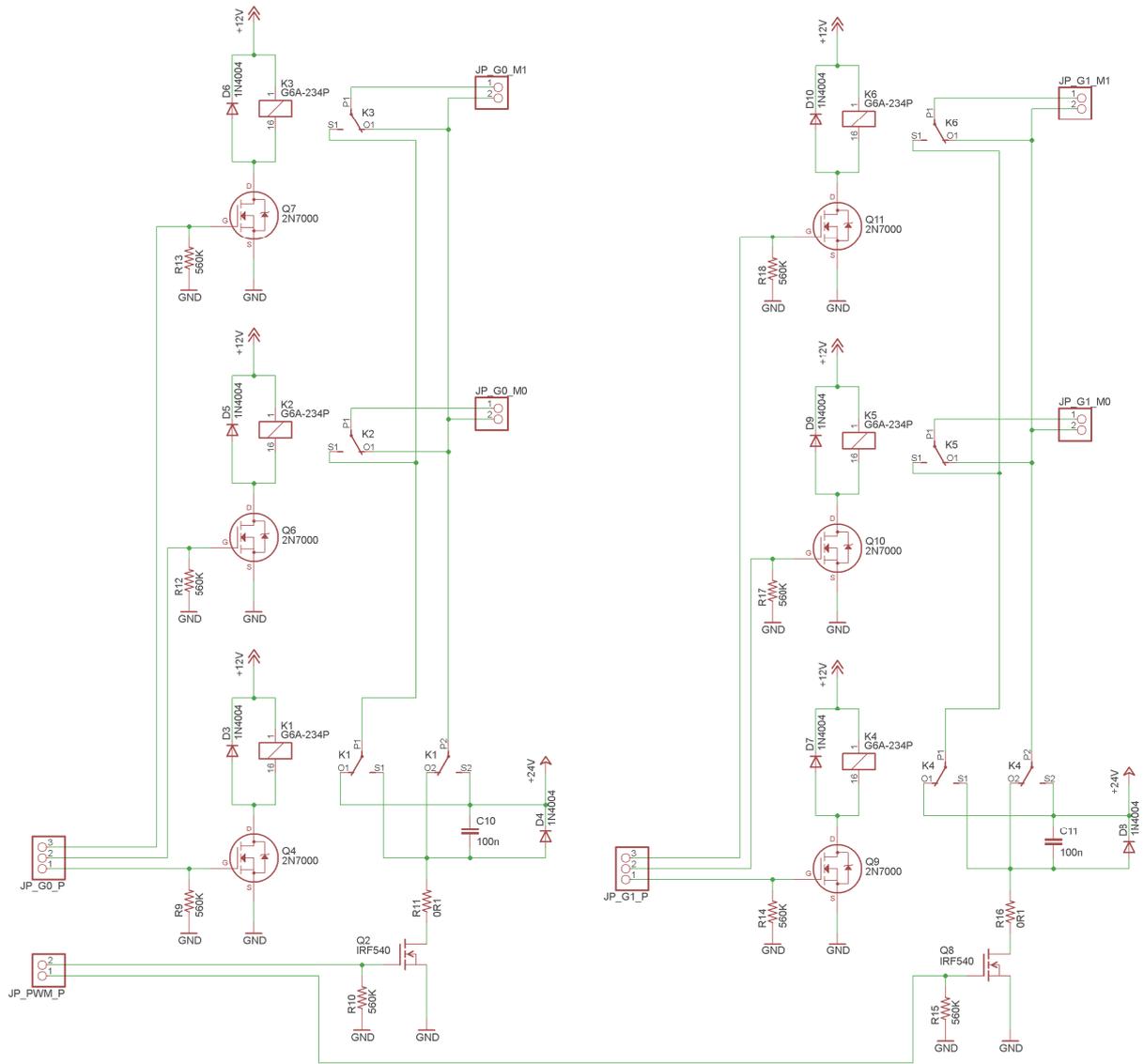
online.com.br/editoria/policia/news/622605/?noticia=AMEACA+DE+BOMBA+NA+REGIAO+CENTRAL+DE+CURITIBA>. Acesso em: 27 ago. 2012.

- 18 SILVA, Jonatan; BELO, Carolina G. **Nova ameaça de bomba no centro de Curitiba**. Paraná Online, Curitiba, 16 ago. 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/policia/news/622747/?noticia=NOVA+AMEACA+DE+BOMBA+NO+CENTRO+DE+CURITIBA>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 19 BENDLIN, Ana Carolina. **Suspeita de bomba fecha mercado no Água Verde**. Paraná Online, Curitiba, 05 ago. 2012. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/editoria/policia/news/621595/?noticia=SUSPEITA+DE+BOMBA+FECHA+MERCADO+NO+AGUA+VERDE>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 20 PF apresenta robô antibomba para Copa. INFO Exame, 2 nov. 2010. Disponível em: <<http://info.abril.com.br/noticias/ti/pf-apresenta-robo-antibomba-para-copa-02082010-35.shl>>. Acesso em: 6 nov. 2011.
- 21 ST MICROELECTRONICS. **L298 Dual Full-Bridge Driver**. Disponível em: <http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000240.pdf>. Acesso em: 27 ago 2012.
- 22 INTERNATIONAL RECTIFIER. **IRF540N** - HEXFET® Power MOSFET. Disponível em: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf540n.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- 23 MICROCHIP CORPORATION. **PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet**. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- 24 INHAOS TECHNOLOGY CO., LTD. **RF-2400 Series** - High-performance low-power 2.4GHz RF Module Specifications. Disponível em: <<http://www.inhaos.com/uploadfile/otherpic/DS-RF2400-V11-EN.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 25 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. **2N7000 / 2N7002 / NDS7002A** - N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor. Disponível em: <<http://www.fairchildsemi.com/ds/2N/2N7000.pdf>>. Acesso em 27 ago. 2012.

- 26 SILICON LABS INC. **C8051F330/1/2/3/4/5** - Mixed-Signal ISP Flash MCU. Disponível em:
<<http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/c8051f33x.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 27 METALTEX LTDA. **Relê miniatura / Miniature relay ML**. Disponível em:
<<http://www.metaltex.com.br/downloads/ML.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 28 MICROCHIP CORPORATION. **PIC16F87XA Data Sheet**. Disponível em:
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2012.
- 29 MANSO, Bruno Paes. **Gasto com segurança pública cresce 260% em dez anos**. Estadão, 12 set. 2007. Disponível em:
<<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,gasto-com-seguranca-publica-cresce-260-em-dez-anos,50335,0.htm>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 30 CARVALHO, Jailton de. **Brasil gasta mais com segurança que países desenvolvidos**. O Globo, 23 nov. 2011. Disponível em:
<<http://oglobo.globo.com/pais/brasil-gasta-mais-com-seguranca-que-paises-desenvolvidos-3308956>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 31 MERCADO de segurança deverá triplicar faturamento até 2017. Exame, São Paulo, 26 abr. 2012. Disponível em:
<<http://exame.abril.com.br/economia/noticias/mercado-de-seguranca-devera-triplicar-faturamento-ate-2017>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 32 THE 15 major spender countries in 2011. Stockholm International Peace Institute. Disponível em:
<http://www.sipri.org/research/armaments/milex/resultoutput/milex_15>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 33 NATIONAL Security Spending Outlook in 20 Countries: 2009-2018. Homeland Security Market Research. Disponível em:
<<http://www.homelandsecurityresearch.com/2008/11/national-security-spending-outlook-in-20-countries-2009-2018/>>. Acesso em: 27 ago. 2012.
- 34 2010 Washington Technology Top 100 Government Contractors. Washington Technology. Disponível em: <<http://washingtontechnology.com/toplists/top-100-lists/2010.aspx>>. Acesso em: 27 ago. 2012.

ANEXO A - Diagrama Esquemático da Placa de Processamento

ANEXO B - Diagrama Esquemático da Placa de *Drivers* de Potência



ANEXO C - Diagrama Esquemático da Placa do Controle Remoto

