



ROVIM T2D To do (1)

Um veículo autonomo de vigilância de instalações militares

Gonçalo Filipe Ribeiro André

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadores: Prof. Dr. António Joaquim Serralheiro
Prof. Dr. Duarte de Mesquita e Sousa

Júri

Presidente: Prof. Dr. Lorem
Orientador: Prof. Dr. António Joaquim Serralheiro
Co-Orientador: Prof. Dr. Duarte de Mesquita e Sousa
Vogais: Prof. Dr. Lorem Ipsum
Prof. Dr. Lorem Ipsum

Abril 2016

Agradecimentos

Este tempo que me debrucei sobre este trabalho, foi uma árdua jornada de desafio, construção e amadurecimento; nada é realizado de forma fácil e sem esforço.

Quero agradecer em especial à minha família, que contribuiu para esta conquista, que me apoiou incondicionalmente e sempre acreditou em mim. Aos meus amigos e companheiros desta fase da minha vida, pelos inúmeros momentos de divertimento. À minha namorada que, apesar da distância, sempre me amou e me incentivou. Ao professor António Serralheiro, pelo suporte, correções e pela sua disponibilidade, porque talvez saber ensinar seja mais difícil que saber aprender.

Abstract

The Objective of this Work ... (English)

Keywords

Keywords (English)

Resumo

O objectivo deste trabalho ... (Português)

Palavras Chave

Palavras-Chave (Português)

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Enquadramento	2
2.1	Análise do caderno de encargos	2
2.2	Abordagem	3
2.3	Revisão da literatura	4
2.3.1	Propulsão	4
2.3.2	Acoplamento mecânico e rodas	4
2.3.3	Controlo	5
2.3.4	Motor	5
2.3.5	Armazenamento de energia	7
2.3.6	Direção	8
2.4	Planeamento	8
3	Descrição da T2D	10
3.1	Visão geral do módulo	10
3.2	<i>Chassi</i>	11
3.3	Baterias	13
3.4	Tração	14
3.4.1	Sensor de velocidade	19
3.5	Travagem	20
3.6	Direção	25
3.6.1	Controlo da direção	30
3.7	Eletrónica	31
3.7.1	Mecanismo de segurança	31
3.7.2	Integração dos sistemas	33
3.8	Programa de controlo	39
3.8.1	Arquitetura do <i>software</i>	40
3.8.2	Monitorização do sistema e <i>lockdown</i>	41
3.8.3	Condução e utilização	42

4 Utilização do ROVIM	44
4.1 Interface com o utilizador	44
4.1.1 Interface física	44
4.1.1.A Código de cores do estado do veículo	45
4.1.1.B Programador do controlador da tração	47
4.1.2 Interface série	47
4.1.2.A Configuração da ligação	48
4.1.2.B Sintaxe dos comandos ROVIM T2D	48
4.1.2.C Especificação dos comandos ROVIM	48
4.1.3 Interface I ² C	57
4.2 funcionalidades	57
4.2.1 Chave dos fluxogramas	57
4.2.2 Ligar	57
4.2.2.A Verificações de segurança	58
4.2.2.B Configuração inicial dos seletores	58
4.2.3 Desligar	59
4.2.4 Travagem de emergência/Ir para <i>lockdown</i>	59
4.2.5 Sair de <i>lockdown</i>	60
4.2.6 Alternar modos de condução	62
4.2.6.A Arranque em modo manual	63
4.2.7 Selecionar marcha	63
4.2.8 Acelerar	64
4.2.9 Desacelerar	64
4.2.10 Virar	64
4.2.11 Colocar em ponto morto	64
4.2.12 Imobilizar	64
4.3 Exemplo tipico de utilização	65
4.4 Resolução de problemas	65
4.4.1 Problemas conhecidos	65
5 Conclusão	67
5.1 Trabalhos futuros	67
Bibliografia	71
Apêndice A Apêndice A - código do programa	A-1
Apêndice B Apêndice B - Esquemas elétricos	B-1
Apêndice C Apêndice C - Configurações	C-1
Apêndice D Apêndice D - Lista de componentes	D-1

Apêndice E Apêndice E - desenhos técnicos das peças do redutor do motor de tração

E-1

Apêndice F Apêndice F - Fotografias

F-1

Listas de Figuras

3.1	Diagram de blocos.	11
3.2	<i>Chassi.</i>	12
3.3	Baterias.	13
3.4	Montagem do atuador da tração.	16
3.5	Corte longitudinal da cápsula do sensor de velocidade.	19
3.6	Montagem do sensor de velocidade.	20
3.7	Sinal do sensor de velocidade.	21
3.8	Montagem do atuador do travão.	22
3.9	Montagem dos sensores do travão.	23
3.10	Montagem do atuador da direção.	26
3.11	Montagem dos sensores da direção.	28
3.12	Caixa das ligações eletrónicas.	34
3.13	Placas artesanais.	35
3.14	Painéis de instrumentação.	36
3.15	Comutação de um interruptor mecânico.	37
3.16	Comutação filtrada de um interruptor.	38
3.17	Sinal do sensor de velocidade e do seu corretor de onda.	39
3.18	Sinal do conversor digital-analógico.	39
3.19	Forma de representação do ângulo da direção.	42
4.1	Chave dos fluxogramas deste capítulo.	58
4.2	Fluxograma do processo de ligar.	59
4.3	Fluxograma do processo de desligar.	60
4.4	Fluxograma do processo de sair do estado de <i>lockdown</i> .	61
4.5	Fluxograma do processo de comutação para modo autónomo de condução.	62
4.6	Fluxograma do processo de comutação para modo manual de condução.	63

Lista de Tabelas

2.1	Requisitos funcionais do ROVIM.	3
2.2	Avaliação das várias topologias de motores elétricos segundo os requisitos do ROVIM.	7
3.1	Sinais de entrada e saída do microcontrolador.	40
3.2	Ações tomadas pela tarefa de monitorização em função dos parâmetros monitorizados.	41
4.1	Elementos físicos de comando acessíveis pelo utilizador.	45
4.2	Indicadores visuais (LEDs) do ROVIM.	46
4.3	Código visual de cores dos LEDs do μ C.	47
4.4	Resumo dos comandos úteis para o ROVIM.	49
4.5	Comandos permitidos em <i>lockdown</i> .	49
5.1	Parâmetros do ROVIM	69
C.1	Parâmetros ajustáveis do controlador Sigmadrive PMT835M.	C-3
C.2	Configurações do controlador Sigmadrive PMT835M.	C-3
C.3	Configurações do controlador Sigmadrive PMT835M.	C-4
C.4	Alterações ao <i>parameter block</i> no <i>software</i> do ROVIM.	C-4

Siglas, Acrónimos e Abreviaturas

To do (2)

PWM *Pulse Width Modulation*, modulação por largura de pulso

ROVIM Robô de Vigilância de Instalações Militares

T2D Tração, Travagem e Direção

SeN Sensores e Navegação

I²C *Inter-Integrated Circuit*

MDF *Medium-Density Fibreboard*, fibra de madeira de média densidade

DC *Direct Current*, corrente contínua

AC *Alternating Current*, corrente alternada

NTC *Negative Temperature Coefficient*, coeficiente negativo de temperatura

PTC *Positive Temperature Coefficient*, coeficiente positivo de temperatura

NiMH *Nickel Metal Hydride*, níquel-hidreto metal

VRLA *Valve-Regulated Lead-Acid*, bateria de ácido chumbo selada

Li-Ion *Lithium-ion*, iões de lítio

LED *Light Emitting Diode*, díodo emissor de luz

PID Proporcional Integral Derivativo

PD Proporcional Derivativo

μ C Micro Controlador

GPIO *General Purpose Input/Output*, pino programável de entrada/saída

USB *Universal Serial Bus*

ASCII *American Standard Code for Information Interchange*

PC *Personal Computer*, computador pessoal

TE *Terminal Emulator*, emulador de terminal

TJB Transístor de Junção Bipolar

RR Relação de Redução

SLIT Sistema Linear e Invariante no Tempo

PVC Policloreto de Vinil

SMD *Surface Mount Device*, dispositivo de montagem superficial

PCB *Printed Circuit Board*, placa de circuito impresso

SPST *Single Pole Single Throw*, unipolar de curso simples

DPDT *Double Pole Double Throw*, bipolar de curso duplo

SP3T *Single Pole Triple Throw*, unipolar de curso triplo

ADC *Analogue to Digital Converter*, conversor analógico-digital

1

Introdução

Resumo da dissertação para quem não a leu.

- introduzir o projeto: retirar do enquadramento da tese;
- porquê é que se está a fazer este projeto.
- Descrever a plataforma ROVIM
- descrever o T2D
- descrever com os outros módulos interagem com o T2D. Qual o papel do T2D na plataforma completa.
- Apresentar claramente o objetivo deste projeto;
- descrever sucintamente o que foi feito: abordar o problema, planear e construir, e observar os resultados;
- resumir os capítulos.
- sem imagens ou tabelas.

2

Enquadramento

2.1 Análise do caderno de encargos

O objectivo deste projeto é a construção de um protótipo funcional de um veículo autónomo destinado à vigilância de instalações militares. A sua estrutura básica é definida no enquadramento do módulo Tração, Travagem e Direção ([T2D](#)) e consiste em motores elétricos de tração, travagem e direção e seus controladores, baterias e sistema de monitorização, embarcados no *chassi* de uma moto-quatro.

Uma lista não exaustiva dos requisitos funcionais da [T2D](#) é apresentada na tabela [2.1](#). Este pretendem apenas balizar o desenho da plataforma e foram definidos a partir do âmbito do projeto e de uma análise das necessidades e potenciais capacidades de uma plataforma deste tipo.

Os requisitos funcionais são demasiado vagos para orientarem eficazmente o desenvolvimento do projeto, mas não faz sentido criar demasiadas condicionantes numa prova de conceito e primeira iteração de um protótipo executado por alunos sem experiência prévia neste tipo de trabalho. Por isso foram definidos princípios de desenho que pretendem emular requisitos subjacentes à ideia da plataforma, orientar o desenvolvimento do protótipo e eliminar a rigidez de uma longa lista de requisitos mensuráveis, muitos dos quais não são conhecidos à partida.

É expectável nesta iteração do protótipo que algumas das soluções inicialmente projetadas se mostrem inviáveis e tenham que ser corrigidas. É também razoável esperar que o protótipo apresentado seja alvo de modificações em iterações futuras. Assim, é essencial projetar soluções simples, flexíveis e sobredimensionadas, que acomodem facilmente alterações futuras, e relegar optimizações para iterações seguintes.

O protótipo a desenhar deverá ser tão seguro quanto possível, quer ao nível da prevenção de curto-circuitos e choques elétricos, como ao nível da prevenção de embates, pois as suas dimensões tornam-no capaz de infligir sérias lesões em caso de acidente.

Parâmetros como a fiabilidade, a autonomia, o custo e a facilidade de utilização são importantes, mas não são

prioritários num protótipo inicial, por isso são considerados como princípios secundários. Em suma, a concepção da plataforma rege-se primariamente por critérios de segurança, flexibilidade e simplificação tecnológica e secundariamente pela fiabilidade, autonomia, custo e facilidade de utilização.

Id.	Requisito	Quantificação
R1	Autonomia	> 2 h
R2	Velocidade máxima	> 10 km/h
R3	Velocidade mínima	< 1 km/h
R4	Condução autónoma	Acelera, desacelera e vira por comandos de um computador sem ligações exteriores à plataforma
R5	Condução manual	Acelera, desacelera e vira por ações humanas sem interface computorizada
R6	Imobilização	Desacelera até se imobilizar
R7	Imobilização	Permite bloquear imediatamente as rodas em caso de emergência
R8	Imobilização	Permite apenas desbloquear as rodas após ação humana deliberada

Tabela 2.1: Requisitos funcionais do ROVIM.

2.2 Abordagem

O objectivo deste projeto é a construção de um protótipo funcional de um veículo autónomo destinado à vigilância de instalações militares. Na seção 2.1 foram definidos os seus requisitos funcionais, bem como os princípios a seguir no seu desenho.

O protótipo a construir pode ser visto como três atuadores embarcados num *chassi*, e respetivo *hardware* e *software* de suporte. A projeção de cada um será, exceto quando explicitamente mencionada, aproximada como independente, de modo a simplificar o dimensionamento dos componentes.

Analizando as especificidades dos atuadores, observa-se que o seu dimensionamento se assemelha a dois tipos de problemas distintos: a construção de um veículo elétrico e a construção de um robô.

A literatura existente valida esta distinção. A literatura sobre veículos elétricos é vasta, mas trata maioritariamente sobre veículos com condutor. A propulsão e armazenamento de energia são amplamente discutidos, mas outros sistemas elétricos são ignorados. A direção do veículo é melhor endereçada na literatura de robótica, por se assemelhar a um problema de controlo.

Assim, o projeto é dividido em duas áreas do saber: veículos elétricos, que compreende o *chassi*, sistema de tração e baterias, e robótica, que compreende o desenho do sistema de viragem. O sistema de travagem não é tratado neste capítulo, pois a tecnologia usada já é endereçada para os outros dois sistemas.

2.3 Revisão da literatura

2.3.1 Propulsão

O veículo a motor é hoje em dia um componente fundamental da sociedade, e a base da plataforma Robô de Vigilância de Instalações Militares ([ROVIM](#)). Existem dois tipos principais de motores usados na propulsão de veículos: o motor de combustão interna e o motor elétrico.

O motor de combustão interna é uma tecnologia fiável e refinada ao longo de mais de um século. No entanto, é maioritariamente usada em veículos conduzidos por humanos. Adaptar um veículo com motor de combustão interna para condução autónoma exige um conjunto de alterações ao nível do seu funcionamento interno (no caso de motores mais antigos sem controlo eletrónico), da sua gestão e do acoplamento mecânico demasiado complicadas e dispendiosas em relação à adoção de motores elétricos. Estes permitem, através dos controladores eletrónicos disponíveis atualmente, controlar com exatidão a potência produzida e a direção do movimento.

A propulsão puramente elétrica é principalmente adequada para veículos pequenos, de baixa velocidade e curta autonomia [1], pelo que se adequa perfeitamente para o [ROVIM](#). O sistema de propulsão é a parte fundamental de um veículo elétrico [1]. É composto pelo motor e o seu controlador, o acoplamento mecânico e as rodas.

2.3.2 Acoplamento mecânico e rodas

As rodas dos veículos elétricos são idênticas às dos veículos com motor de combustão, à exceção de algumas aplicações demasiado complexas para os objetivos deste projeto.

O acoplador mecânico transmite a potência do motor para as rodas. É dimensionado em conjunto com o motor, tendo em conta as necessidades de locomoção e a disposição dos componentes no veículo. Pode ser apenas uma ligação solidária entre os veios do motor e o eixo das rodas, mas tipicamente consiste num conjunto de engrenagens que desmultiplica a rotação do motor, de modo a aumentar o binário disponível nas rodas. A esta peça dá-se o nome de redutor, quando a razão de desmultiplicação é fixa, e caixa de velocidades, quando é variável. Devido à maior disponibilidade de binário dos motores elétricos, um redutor é suficiente para aplicações típicas, o que simplifica o controlo do sistema.

Há três características técnicas a ter em conta na escolha de redutores para este projeto: as dimensões, o alinhamento dos eixos e a direção da transmissão. As dimensões e o alinhamento dos eixos são importantes no planeamento da disposição dos componentes no veículo. A direção da transmissão consiste no definição do veio de entrada (onde é aplicado o binário) e de saída do redutor. Há topologias de redutores, como o parafuso sem-fim e coroa, que não permitem facilmente reverter a direção da transmissão [2].

O redutor do motor de tração deverá transmitir binário bidirecionalmente, para permitir que o veículo possa movimentar-se em ponto morto.

2.3.3 Controlo

O controlo do sistema de propulsão de um veículo elétrico consiste dum conversor de potência e um controlador eletrónico. O conversor converte e regula a energia fornecida pelas baterias ao motor. O controlador atua sobre o conversor, implementando o algoritmo de controlo.

Existem varias topologias destes componentes, mas a sua escolha depende diretamente do motor a controlar, pelo que se torna secundária em relação à escolha do motor.

2.3.4 Motor

Existem vários tipos de motor elétrico com potencial técnico para uso na locomoção de veículos: o motor *Direct Current (DC)* com escovas, o motor *Alternating Current (AC)* de indução, o motor síncrono de ímanes permanentes, o motor síncrono de escovas, o motor de relutância variável e o motor de Lynch.

O motor de relutância variável consiste num rotor com pólos salientes de material magnético. Os rotor gira consoante o campo magnético produzido no estator, de modo a minimizar a relutância do circuito magnético. Estes são baratos, simples e com boas características de binário e velocidade para uso em veículos elétricos, mas não são conhecidas aplicações comerciais desta tecnologia [3].

O motor de indução é um motor muito simples, robusto e tecnologicamente maduro. Consiste num rotor bobinado, em que a corrente é induzida pelo campo magnético gerado nos enrolamentos do estator. Esta por sua vez gera um campo magnético que tende a seguir o do estator, gerando movimento. É especialmente indicado para aplicações estáticas, mas pode ser adaptado para aplicações de veículos elétricos, com recurso a técnicas avançadas de controlo. O motor síncrono de ímanes permanentes é um motor que gera um campo magnético constante no rotor, com recurso a ímanes permanentes. Este gira sincronamente com o campo do gerado nos enrolamentos do estator. Os motores síncronos de ímanes permanentes são alimentados por corrente AC, com recurso a controladores específicos. Este tipo de motores é muitas vezes equipado com inversores que permitem que sejam alimentados por corrente DC. Nesse caso tomam a designação de motores DC sem escovas. Devido ao uso de ímanes permanentes, estes motores conseguem atingir uma elevada eficiência e adquirir formas não convencionais.

Os ímanes permanentes nos motores síncronos podem ser substituídos por enrolamentos no rotor, alimentados por corrente DC, com recurso a escovas e anéis coletores. Estes motores têm um controlo mais simples e mais adaptável que os motores de ímanes permanentes, mas pior rendimento.

O motor DC com escovas consiste num rotor com vários enrolamentos, alimentados por um sistema de comutação com escovas, e um estator que gera um campo estático. O estator pode ser bobinado, ou de ímanes permanentes. Estes são motores fiáveis, tecnologicamente maduros, baratos e fáceis de controlar. Para além disso é possível controlar o fluxo magnético e o binário independentemente. As suas principais desvantagens são o baixo rendimento e densidade de potência, e as necessidades de manutenção e contra-indicação para uso em ambientes inflamáveis, devido às faíscas e ao desgaste produzidos na comutação das escovas.

Uma configuração particular do motor DC com escovas de ímanes permanentes é o motor de Lynch. Em [4] é apresentada uma descrição da estrutura do motor e da sua performance. Este é um motor de fluxo magnético axial, ao contrário das restantes tecnologias apresentadas (de fluxo radial). O rotor consiste em enrolamentos laminares de cobre, com "dentes" de ferro compactados entre os enrolamentos, que ajudam a conduzir o fluxo.

O estator é formado por dois discos de ímanes permanentes que o ladeiam. Este motor apresenta algumas das vantagens dos motores DC de ímanes permanentes, nomeadamente rendimento e densidade de potência elevados, mas é a sua compactidate a principal vantagem em aplicações de pequenos veículos elétricos, pois permite maior flexibilidade no desenho de soluções de propulsão. Além disso, é atualmente usado em aplicações de pequenos barcos, motas e veículos elétricos de porte semelhante ao da plataforma ROVIM.

Em [1], [3] e [5] são apresentadas comparações semelhantes dos méritos destas topologias de motores (à excepção do motor de Lynch) para soluções comerciais de veículos rodoviários. Nos três casos conclui-se que os motores síncronos de ímanes permanentes e os motores de indução são os mais indicados. Esta comparação é um excelente ponto de partida no processo de escolha do motor de propulsão da plataforma. No entanto, estas aplicações têm diferentes requisitos dos da plataforma ROVIM, pelo que se impõe uma análise critica destes resultados.

Em [5] é apresentada uma tabela (tabela II) com a avaliação dos diferentes sistemas de tração para veículos elétricos. Os critérios de avaliação (de igual ponderação) usados são: densidade de potência, eficiência, controlabilidade, fiabilidade, maturidade e custo. Tendo em conta os critérios de desenho e os requisitos da plataforma ROVIM, estes critérios foram ponderados da seguinte forma: densidade de potência, controlabilidade, fiabilidade, e maturidade valem o dobro na classificação final, enquanto que a eficiência e o custo valem o seu valor apenas.

Para poder comparar o motor de Lynch com as outras topologias, este foi avaliado de forma idêntica (à luz dos requisitos desta aplicação). Foi-lhe atribuída a seguinte classificação (de 0 a 5):

Densidade de potência 5: apresenta dimensões reduzidas (especialmente o comprimento axial) que facilitam a instalação em veículos pequenos e elevada densidade de potência [4];

Eficiência 3,5: cerca de 93 % de eficiência máxima [6] (idêntica à do motor de relutância [5]);

Controlabilidade 5: igual à de um motor DC com escovas;

Fiabilidade 3: igual à de um motor DC com escovas;

Maturidade 4,5: patenteado em 1986. Desenvolvido para aplicações semelhantes ao ROVIM;

Custo 3: Custo idêntico ao de um motor síncrono de ímanes permanentes;

O motor Lynch é também usado num dos protótipos do Projeto FST Novabase, o que permite potenciais trocas de experiências e impressões entre as equipas de concepção e acesso mais fácil a peças suplentes. Para além disso, este motor possui uma gama de controladores recomendados pela marca, o que simplifica o seu processo de escolha e aumenta o grau de confiança na solução projetada. Por isso, foram atribuídos a este motor 4 pontos adicionais à classificação final.

A tabela 2.2 apresenta a classificação das topologias apresentadas, revista de acordo com os requisitos deste projeto.

Dos resultados expressos na tabela 2.2 se conclui que o motor de indução, de ímanes permanentes e o motor de Lynch são os mais adequados para satisfazer os requisitos desta aplicação, não havendo um vencedor definido. Isto significa que a escolha do motor não recai nos méritos das várias tecnologias, mas em outros aspectos práticos de implementação.

Critério	peso	Topologia				
		DC	Indução	Ímanes permanentes	Relutância variável	Lynch
Densidade de potência	x2	2,5	3,5	5	3,5	5
Eficiência	x1	2,5	3,5	5	3,5	3,5
Controlabilidade	x2	5	5	5	3	5
Fiabilidade	x2	3	5	4	5	3
Maturidade	x2	5	5	4	4	4,5
Custo	x1	4	5	3	4	3
Pré-total		37,5	45,5	44	38,5	45,5
Extra		0	0	0	0	4
Total		37,5	45,5	44	38,5	45,5

Tabela 2.2: Avaliação das várias topologias de motores elétricos segundo os requisitos do ROVIM.

2.3.5 Armazenamento de energia

A fonte de energia dos veículos puramente elétricos é o principal entrave à sua massificação [1]. As principais tecnologias usadas atualmente para acumular energia em veículos puramente elétricos são: super condensadores, baterias elétricas e células de combustível.

A célula de combustível é um dispositivo eletroquímico que usa uma reação química para gerar energia elétrica. Esta reação não é reversível na célula. Esta tecnologia não é ainda considerada comercialmente viável [1].

Os super condensadores são condensadores de capacidade muito elevada. Têm uma densidade de energia (kWh/Kg) extremamente baixa [1], mas uma densidade de potência (kW/kg) bastante elevada. Por isso podem ser usados como fonte auxiliar de energia para picos de potência. Em combinação com baterias tradicionais, permitem aumentar a autonomia e reduzir o desgaste das baterias. No entanto, esta combinação introduz complexidade adicional à gestão da baterias.

As baterias elétricas são atualmente a principal fonte de energia dos veículos puramente elétricos [1]. Estas transformam energia química acumulada em energia elétrica. Nas baterias usadas em veículos elétricos a reação química que produz a energia elétrica é reversível, o que permite recarregá-las e reutilizá-las.

Em [7] são apresentadas as tecnologias de baterias mais comuns para uso em veículos elétricos. Estas dividem-se em três famílias principais: ácido-chumbo, à base de lítio e à base de níquel. Destas três famílias, três tecnologias merecem especial destaque pela sua adequação ao uso em veículos elétricos: *Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA)*, *Nickel Metal Hydride (NiMH)* e *Lithium-ion (Li-Ion)*.

As baterias de íons de lítio possuem a melhor densidade de energia e excelente densidade de potência. São usadas maioritariamente em aplicações de baixa potência, mas estão em constante evolução tecnológica e a sua adopção tem aumentado gradualmente. No entanto são mais instáveis, caras, e são suscetíveis a incendiarem-se em caso de sobrecarga.

As baterias de *NiMH* são a tecnologia mais usada em veículos elétricos [7]. Possuem elevada densidade de potência e são bastante seguras de operar.

As baterias de **VRLA** são baterias de ácido e chumbo, uma tecnologia extremamente robusta e disseminada, mas seladas e com regulação por válvula, que as tornam mais seguras e tolerantes a sobrecarga. Possuem uma boa densidade de potência e são baratas, mas têm fraca densidade de energia, o que as torna pouco adequadas para aplicações de baixo peso e/ou elevada autonomia. No entanto, devido à sua simplicidade e robustez, são válidas para uso em protótipos; em particular para uso nesta fase do projeto **ROVIM**, que requer baixa velocidade e curta autonomia.

Aplicações com várias baterias ligadas em série, como é o caso das aplicações em veículos elétricos requerem uma unidade de monitorização e balanceamento de cargas e temperatura. Isto é especialmente verdade para as baterias de **NiMH** e **Li-Ion**. As baterias de **VRLA** suportam melhor temperaturas adversas.

2.3.6 Direção

rever (5) rever (6) O sistema de direção do **ROVIM** deve permitir controlar o ângulo de viragem do veículo por computador.

A direcção de uma moto-quatro é tipicamente um sistema de Ackermann atuado através de um guiador. Esta é uma geometria de viragem coordenada de duas rodas paralelas, que permite mantê-las num movimento de rotação pura (sem derrapagem) durante uma viragem em que estas seguem trajetórias de raios diferentes.

Este sistema pode ser controlado por um controlador Proporcional Integral Derivativo (**PID**) simples. O controlador é composto pelos componentes: o atuador (o motor e o acoplador mecânico), o dispositivo de retroalimentação (um sensor de posição) e um controlador que execute o algoritmo de controlo.**To do (7)To do (8)**

Para projetar um controlador para o sistema, este precisa de ser traduzido por um modelo matemático. Existem duas abordagens para o fazer: deduzir as equações do movimento do sistema, ou estimá-las usando um método de identificação.

To do (9)

2.4 Planeamento

A execução do projeto foi planeada numa sequência natural de planeamento, construção e validação, de modo a minimizar o custo de alterações futuras. Para validar a execução foi definido um objetivo preliminar de instalação dos componentes principais no veículo e um objetivo intermédio: a implementação das funcionalidades de condução manual.

Após instalar os componentes principais (os acumuladores de energia, atuadores e acoplamentos mecânicos) no veículo, as necessidades logísticas e de recursos difíceis de obter num laboratório de eletrónica diminuem.

A funcionalidade de condução manual do veículo é um objetivo mais simples que o objetivo final e permite validar a execução do projeto numa etapa intermédia, e continuar de seguida em direção ao objetivo final sem necessidade de executar modificações relevantes no veículo.

Assim, inicialmente cada subsistema foi projetado e dimensionado com o detalhe que a visão inicial sobre o projeto permitiu. Foi possível compreender as suas características fundamentais, mas pormenores avançados de implementação foram capturados e resolvidos nas fases de construção e validação.

De seguida foram adquiridos e acomodados no *chassi* os componentes principais, de modo a validar o planeamento da sua disposição e atingir o objetivo preliminar.

A terceira fase consistiu na instalação das funcionalidades de tração e travagem e dos sistemas de segurança, de modo a atingir o objetivo intermédio do projeto.

Por fim partiu-se para o objetivo final, que a este ponto consistia no controlo da direção e integração das várias funcionalidades e o seu comando por computador.

3

Descrição da T2D

Neste capítulo apresentam-se os constituintes do módulo **T2D**, do ponto de vista da sua concepção e instalação no veículo. No final deste capítulo o leitor deve conseguir identificar os em detalhe os vários órgãos do veículo e entender o como e o porquê da sua concepção e implementação.

3.1 Visão geral do módulo

O módulo **T2D** do **ROVIM** é fundamentalmente constituído por atuadores eletromecânicos para as funções de tração, travagem e direção de um veículo, por dois mecanismos distintos de condução (manual e por computador) e por um programa de controlo do estado do veículo. Todos os componentes do módulo foram projetados e instalados à volta destas funcionalidades.

A figura 3.1 ilustra um esquema de alto nível dos componentes embarcados no veículo e das suas interligações. Os atuadores integram controladores/conversores de potência responsáveis por mover o respetivo motor a partir da alimentação das baterias, de acordo com as ordens dos mecanismos de condução, e sensores que permitem ao microcontrolador monitorizar constantemente o estado do sistema.

O microcontrolador recolhe informação sobre o estado dos atuadores e implementa uma interface de condução que pode ser usada por outro computador, tornando assim o veículo verdadeiramente autónomo. O veículo incorpora ainda instrumentos de *hardware* que permitem a condução *in loco*. Existe também um mecanismo de segurança que, em caso de emergência corta a alimentação aos motores da tração e direção e trava o motor do travão.

A condução consiste no controlo dos atuadores de tração e direção e é comandada por um dos dois mecanismos disponíveis. A instrumentação manual faz uso do guiador e dispensa o uso do motor da direção. O travão serve apenas para imobilizar o veículo em caso de emergência, que pode ser despoletado pelo utilizador ou pelo programa de controlo. Após uma emergência, o travão tem que ser destravado manualmente.

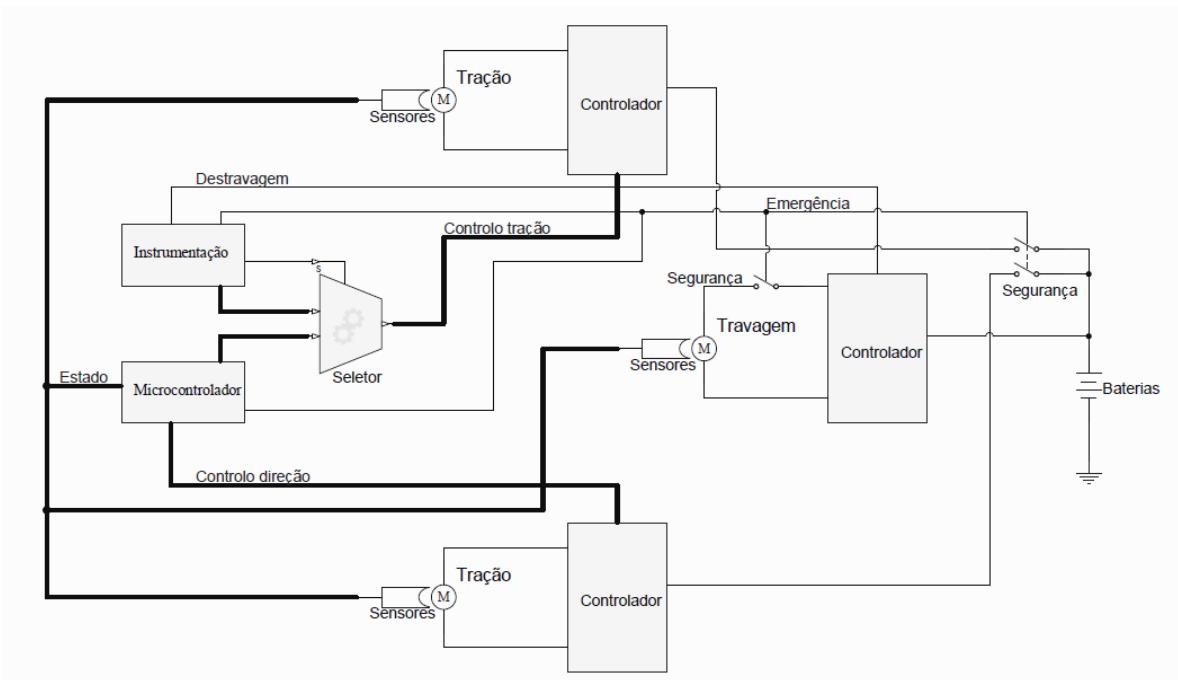


Figura 3.1: Diagrama de blocos do sistema.
As ligações a carregado representam barramentos de sinais.

3.2 Chassi

O *chassi* é o esqueleto do **ROVIM**, onde todos os componentes embarcados do módulo **T2D** são instalados. É uma adaptação do *chassi* de uma moto-quatro com motor de combustão interna, de onde foram removidas todas as peças não essenciais e soldadas estruturas em ferro para fixação dos componentes. Com o objetivo de facilitar eventuais alterações futuras, todos os componentes foram fixados ao *chassi* de forma não permanente (aparafusados em vez de soldados).

O *chassi* selecionado foi o de uma Suzuki quadsport 1t-160, por ser barato e ter espaço suficiente para acomodar os componentes. O conjunto comprado é ilustrado na figura 3.2 e, para além do *chassi*, é constituído pelas seguintes peças: rodas, sistema de direção, sistema de travagem dianteira, carroço do motor, corrente e eixo traseiro com respetivo carroço, travão e forquilha. Este apresenta um geometria de direção de Ackerman, acionada através do guiador, passando por uma coluna quase vertical.

Antes de iniciar as modificações no *chassi* foram projetados e comprados os componentes de maior volume (baterias e atuadores) e planeado o posicionamento do seu conjunto no veículo, de modo a garantir a viabilidade das escolhas e a adequação das modificações a realizar.

O *chassi* foi alterado para construir na baía do antigo motor de combustão uma estrutura para duas plataformas de madeira *Medium-Density Fibreboard* (**MDF**) empilhadas, de fácil acesso, onde embarcam as baterias (plataforma inferior) e a maior parte dos componentes de menor dimensão (plataforma superior).

A plataforma inferior foi projetada para acomodar as baterias (que são o componente mais pesado do veículo) e assim não alterar significativamente o centro de gravidade projectado pelo construtor da moto. Estas são instaladas pela lateral da plataforma e são acondicionadas com recurso a tábuas frontais (dispostas em toda a altura das baterias), batentes rasos nas traseiras e laterais, colados na plataforma, e elásticos que as prendem



Figura 3.2: Chassi da moto-quatro antes das adaptações para o ROVIM.

aos limites da estrutura [To do \(10\)](#). O método de fixação usado apresenta limitações em terrenos acidentados ou durante acelerações bruscas, em que as baterias se podem deslocar e originar curto-circuitos [trabalhos futuros \(11\)](#). Esta limitação foi assumida nesta iteração do protótipo devido a limitações dos métodos de fabrico e porque não impede a prova do conceito. Na eventualidade de esta limitação não se ter verificado, ter-se-ia optado por fixadores em plástico ao estilo dos usados nas baterias dos automóveis [To do \(12\)](#).

Na forquilha traseira foram criados apoios para fixar o conjunto motor de tração + redutor, de modo ao carro de saída do redutor assentar no mesmo plano que o carro do eixo traseiro, assim como um esticador para a corrente [To do \(13\)](#). Foi também criado um suporte para fixar um sensor junto ao carro de saída do redutor, projetado para maximizar as opções de fixação.

Foi criada uma pequena plataforma na forquilha traseira onde fixa o motor do travão, assente em anilhas de borracha, assim como braçadeiras semi-rígidas para fixar o motor. O travão dianteiro não foi alterado, uma vez que se pretende usá-lo no modo de condução manual.

Para a direção foram criados na frente do *chassi* apoios para fixar o redutor do motor da direção, um esticador para uma correia e um apoio para um sensor de posição.

A coluna da direção foi cortada para lhe acoplar uma roda dentada concêntrica, complanar com a roda dentada acoplada na saída do redutor da direção. Esta assenta e fixa em cima de um ferro quadrado solidário com a coluna, disposto radialmente. Ao quebrar a coluna da direção, criou-se uma zona morta, discutida em mais detalhe em [3.6](#).

O resultado final a que de ora se chama *chassi* é composto pelos componentes C1 – C9 (ver apêndice C). O raio das rodas traseiras é de 28 cm, o das rodas dianteiras é de [To do \(14\)](#) e a tara do veículo de cerca de 300 Kg (o veículo não tem lugar para condutor).

3.3 Baterias

As baterias são a fonte de energia do **ROVIM**. São um dos componentes com maior potencial para causar acidentes sérios, nomeadamente curto-circuitos e explosões. Tendo em conta os critérios de desenho da plataforma, foi escolhida a tecnologia de baterias **VRLA**, devido à sua robustez, maturidade e fiabilidade. As desvantagens desta família de baterias (densidade de energia) têm pouca relevância para os requisitos do **ROVIM** em relação aos seus benefícios. A validade da escolha foi demonstrada durante o processo de construção, num evento em que uma bateria sobrecarregada libertou gases, mas não explodiu^{To do (15)}.

Optou-se por dispensar o uso de um sistema de monitorização nesta iteração do protótipo, apesar das suas vantagens para a segurança do sistema (mesmo em baterias **VRLA**) e prolongamento da vida útil das baterias, para reduzir a complexidade do sistema e porque o regime de utilização previsto para o veículo é lento e progressivo, colocando pouca exigência no sistema de armazenamento de energia^{trabalhos futuros (16)}.

Existem 7 baterias EnerSys Genesis NP55-12R: 6 montadas em série na moto e uma bateria suplementar. A figura 3.3, mostra a vista explodida da montagem das baterias fora da moto. Cada bateria pesa 17.7 kg e tem uma corrente nominal de descarga de 150 A, conseguindo atingir picos de 500 A. A um ritmo constante de descarga de 10 A, a carga de uma bateria dura cerca de 5 h.

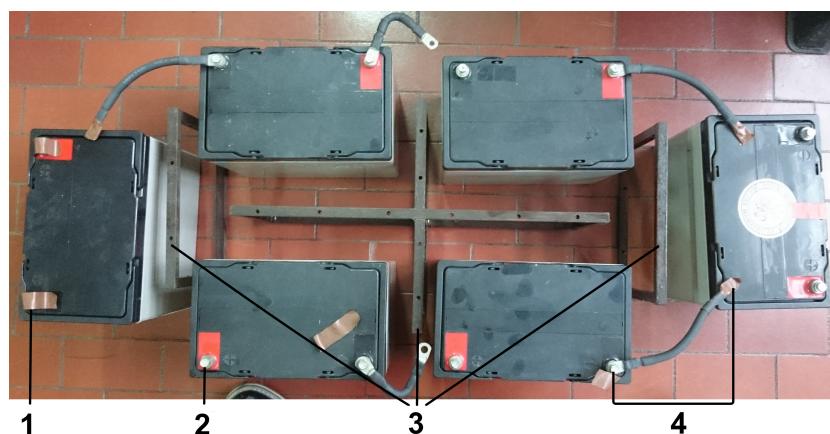


Figura 3.3: Vista explodida da montagem das baterias fora da moto. Legenda:
1: terminal V-; 2: terminal V+; 3: espaçadores; 4: cabo connector.

Foram instaladas 6 baterias porque a sua disposição era acomodável no *chassi* sem grandes dificuldades, porque são suficientes para atingir a autonomia desejada (ver 3.4) e porque a tensão do conjunto corresponde à tensão nominal do motor de tração. Para melhorar a estabilidade térmica do conjunto foram usados espaçadores em madeira não condutora entre as baterias, que melhoraram a circulação de ar. As baterias são acomodadas com recurso a batentes de madeira e elásticos, como descrito em 3.2^{To do (17)}. As baterias estão ligadas por cabos multifilares de elevado calibre^{To do (18)} com as ligações expostas, o que aumenta o risco de choques elétricos e exige dos utilizadores cuidado adicional^{trabalhos futuros (19)}. ^{conclusão (20)} No esquema elétrico 1-Alimentações do apêndice B estão desenhadas as ligações elétricas às baterias. A tensão é fornecida ao sistema em duas voltagens: 12 V e 72 V, filtrada e limitada por fusíveis, sendo a bateria ligada à massa comum às duas alimentações, o que a torna alvo de um esforço adicional e a mais vulnerável do conjunto. O terminal negativo da bateria B1 foi definido como o ponto comum dos circuitos e ligado à massa por um cabo de elevado calibre^{To do (21)}. A estrutura de ferro do *chassi* foi definida como massa, por apresentar o menor potencial possível.

A tensão do conjunto das baterias carregadas varia entre os 81 V quando novo e os atuais 71.6 V, em que as baterias estão no seu fim de vida e já não aceitam carga. Quando descarregadas, as baterias apresentam uma tensão de 72 V (durante a sua vida útil). A energia nominal do conjunto é de 56.3 Ah, ou 4.05 KWh, e a sua autonomia estimada é apresentada em (3.12).

Foram adquiridos também dois carregadores para as baterias do ROVIM: um individual de 12 V e outro de 72 V, de modo a poder carregar o conjunto sem o retirar do veículo.

3.4 Tração

O sistema de propulsão, do qual o subsistema de tração faz parte, é a parte mais importante do veículo, na medida em que desempenha a funcionalidade principal, influência significativamente a localização e o dimensionamento dos outros componentes e tem o maior potencial para causar acidentes sérios, nomeadamente curto-circuitos e embates.

Nesta secção é apresentado o dimensionamento das baterias junto com o do motor, já que para calcular a autonomia do veículo é preciso conhecer as suas necessidades de potência. Os requisitos/critérios principais que balizaram o dimensionamento do sistema de propulsão foram a velocidade máxima, a autonomia, a flexibilidade e a segurança. De modo a simplificar o dimensionamento das baterias foram ignoradas as contribuição dos outros sistemas elétricos para a autonomia. Esta aproximação foi tomada porque se prevê que o motor de tração seja o principal consumidor de energia e porque se pretende apenas uma ordem de grandeza das necessidades do veículo, já que na seleção dos componentes entram outros fatores de escolha mais importantes.

A potência mínima pode ser calcula através da relação potência – binário:

$$P = \omega \cdot T \quad (3.1)$$

Onde a velocidade angular, ω , pode ser expressa em função da velocidade linear,

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (3.2)$$

Para cálculo da potência mínima do sistema de propulsão, o binário aplicado pelo motor deve ser igual ao binário resistivo que, dada a reduzida velocidade de operação do veículo, é aqui approximado ao binário de atrito de rolamento das rodas,

$$T \approx T_a \quad (3.3)$$

$$= m \cdot g \cdot b \cdot r \quad (3.4)$$

Substituindo em (3.1), obtém-se a expressão para a potência mínima do motor da tração em função da velocidade linear e do coeficiente de atrito,

$$P = v \cdot m \cdot g \cdot b \quad (3.5)$$

De acordo com [8, p. 117], o coeficiente de atrito típico dos pneus de um automóvel pode variar entre 0.010–0.015 numa superfície de betão e é de cerca de 0.3 numa superfície de areia. Substituindo os valores em (3.5) e considerando o pior caso para a circulação numa superfície de betão à velocidade mínima do requisito R2,

obtém-se a potência mínima necessária para o motor de tração,

$$P_{min} = 10 \cdot \frac{3600}{1000} \cdot 300 \cdot 10 \cdot 0.015 \quad (3.6)$$

$$= 1620 \text{ W} \quad (3.7)$$

Para o perfil típico de utilização deste veículo, um sistema de propulsão com estas características será suficiente. Mas é necessário garantir uma margem de segurança no dimensionamento, e antever possíveis alterações futuras. Por isso desenhou-se um cenário extremo de possível utilização futura do veículo, em que este transporta uma carga adicional de 100 kg numa superfície de areia, a um terço da velocidade máxima. Neste caso as necessidades da propulsão são de:

$$P_{min} = \frac{10}{3} \cdot \frac{3600}{1000} \cdot 400 \cdot 10 \cdot 0.3 \quad (3.8)$$

$$= 14\,400 \text{ W} \quad (3.9)$$

Com base nas necessidades de potência apresentadas é possível estimar a autonomia do veículo, que é dada por:

$$t = \frac{E}{P} \quad (3.10)$$

Substituindo em (3.10) para o cenário típico de utilização, obtém-se a autonomia mínima de:

$$t = \frac{4.05}{1620} \quad (3.11)$$

$$= 2.5 \text{ h} \quad (3.12)$$

E para o cenário extremo de utilização:

$$t = \frac{4.05}{14\,400} \quad (3.13)$$

$$= 0.28 \text{ h} \quad (3.14)$$

De (3.12) se conclui que o conjunto das baterias utilizado é suficiente para cumprir o requisito R1, embora com pouca folga.

Com base nas estimativas das necessidades de potência, nos requisitos da plataforma e nas restrições à localização dos componentes, escolheu-se o motor Agni B95-R para a propulsão do veículo. Este é um modelo do motor axial de Lynch, de 16 KW e 230 A nominais, capaz de atingir 6000 rpm a 72 V e 55 Nm a 400 A, e foi selecionado devido ao seu reduzido comprimento axial, por ser amplamente suficiente para satisfazer as necessidades de potência do projeto e porque vinha distribuído num *kit* com o controlador e a maior parte das peças necessárias para instalar o subsistema de tração, o que simplificou o processo de dimensionamento e compra de componentes. A instalação do conjunto motor+redutor no moto é ilustrada na figura [To do \(22\) 3.4](#).

As reduzidas dimensões do motor permitiram a sua instalação na forquilha traseira, mantendo o seu veio alinhado com o eixo traseiro da moto. A alternativa de o colocar numa posição semelhante à do antigo motor de combustão interna da moto iria retirar muito espaço para as baterias e dificultar o acesso aos componentes, possivelmente forçando a adoção de uma nova tecnologia de baterias menos fiável. Um motor mais volumoso iria possivelmente interferir no projeto do travão elétrico ou forçar a adoção de um redutor de eixos perpendiculares, mais complexo. O seu acoplamento à forquilha (em conjunto com o redutor) significa que o motor faz parte da

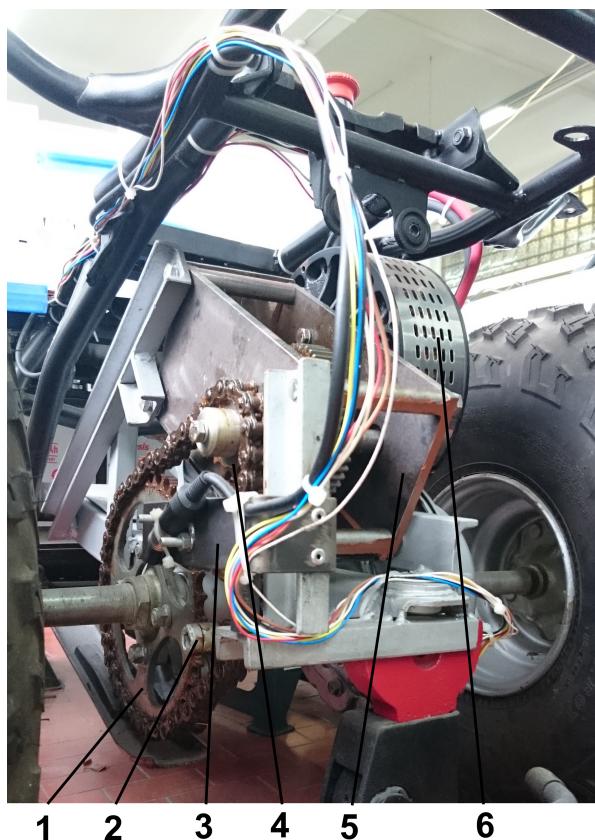


Figura 3.4: Montagem do atuador da tração. Legenda:

- 1: carreto do eixo traseiro; 2: esticador da corrente; 3: suporte do sensor de velocidade; 4: carreto de saída do redutor; 5: redutor da tração; 6: motor da tração.

parte não suspensa do veículo e está sujeito a mais vibrações mas, em contrapartida, a distância entre o eixo de saída (do redutor) e o eixo traseiro da moto mantém-se constante, o que simplifica bastante a ligação entre os dois (se o motor estivesse suspenso havia o risco de a corrente se soltar durante a compressão da suspensão).

O motor foi acoplado a um redutor projetado e construído de raiz para esta aplicação, que transmite a potência através de dois acoplamentos de engrenagens e liga ao eixo traseiro usando a corrente e os carretos originais da moto, totalizando uma Relação de Redução (RR) de 19.64 do motor às rodas. Os desenhos técnicos das peças do redutor são apresentados no apêndice E e os componentes listados no apêndice D. Com o redutor usado, a velocidade máxima teórica do veículo é de:

$$v_{\text{máx}} = \frac{\text{rpm}}{RR} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{60} \quad (3.15)$$

$$= \frac{6000}{19.64} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.28}{60} \quad (3.16)$$

$$= 8.96 \text{ m/s} \quad (3.17)$$

Ou 32.25 km/h^{conclusao (23)}. O binário máximo teórico aplicado nas rodas é de

$$T_{\text{máx}} = T_{\text{motor}} \cdot RR \quad (3.18)$$

$$= 55 \cdot 19.64 \quad (3.19)$$

$$= 1080.2 \text{ N m} \quad (3.20)$$

Optou-se por construir em vez de comprar um redutor porque as alternativas encontradas eram caras, com pouca relação de redução e exigiam alterações à disposição dos componentes e à forma como se liga o eixo ao redutor. Ao construir o redutor de raiz, foi possível controlar em detalhe estes parâmetros de acordo com as exigências do projeto.

A construção do redutor consiste em duas chapas de metal que cobrem lateralmente as engrenagens e onde assentam os rolamentos do veios, e quatro espaçadores nos cantos das placas, que as fixam em paralelo e com elas formam um contentor. O veio do motor fica acoplado a uma engrenagem dentro do contentor. À saída, um carro instalado no último veio (que se propaga para além do espaço entre as duas chapas) transmite o binário para o carro acoplado ao eixo traseiro através de uma corrente.

O kit do motor comprado era composto também pelo seu controlador, um acelerador de punho, um contator, um fusível e fios e conetores compatíveis com o controlador, que é o elemento agregador do subsistema de tração, onde todas as ligações elétricas são efetuadas.

O controlador é o modelo recomendado pelo construtor do motor, um Sigmadrive PMT835M. Este é um controlador de quatro quadrantes para motores DC de ímanes permanentes, de 80 V e 350 A nominais [9], indicado para uso na tração de veículos elétricos. Vem equipado com dois Light Emitting Diodes (LEDs) informativos e um programador removível. O controlador, em conjunto com o fusível e o contator foram montados na plataforma superior de estibordo, sendo que foram introduzidos espaçadores entre o controlador e a plataforma, para melhorar a dissipação de calor^{To do (24)}.

Numa primeira fase, de modo a atingir o objetivo intermédio de condução manual, as ligações do controlador foram efetuadas de acordo com as recomendações do fabricante [9, p. 15], a um acelerador potenciométrico, a um sensor de velocidade (apresentado em detalhe em 3.4.1), ao motor e ao seu termíster, às baterias, a um LED exterior e aos vários interruptores de controlo. Após a validação intermédia, passaram-se os sinais de controlo

da tração já construídos por um multiplexador de duas entradas para uma saída, que seleciona os modos de condução.

As ligações elétricas finais do controlador são apresentadas no esquema 2 – Tração do apêndice B. O acelerador comanda um potenciômetro de $5\text{ K}\Omega$, alimentado a 5 V e usado para gerar o sinal de aceleração de modo manual. É também ligado um LED exterior para indicação de erros. A ligação às baterias é feita através de cabo multifilar de elevado calibre^{To do (25)} até à plataforma superior, onde liga ao fusível e ao contator, equipado com uma resistência de pré-carga de $10\text{ K}\Omega$ (fornecida no *kit*). A alimentação para ligar o contator é fornecida ao controlador através de uma ligação de baixa corrente (com fusível lento de 1 A) entre o fusível principal e o contator, e que passa por um interruptor de ligar/desligar. A ligação do contator foi alterada para passar a depender de um sistema de segurança com capacidade de cortar a alimentação do controlador em caso de emergência (ver 3.7.1)

O controlador prevê também a ligação ao sensor de temperatura do motor, estando programado para funcionar com o modelo Philips KTY81-220 ligado com uma resistência de *pull-up* de $2.2\text{ K}\Omega$ a 5 V. Este é um termíster diferente do que vem equipado no motor, um *Negative Temperature Coefficient* (NTC) de $37.5\text{ K}\Omega$ a 25° e cerca de $5\text{ K}\Omega$ à temperatura a partir da qual se deve começar a limitar a corrente no motor [10] enquanto que o KTY81-220 é um *Positive Temperature Coefficient* (PTC) de $2\text{ K}\Omega$ a 25° de característica linear e coeficiente de temperatura de $0.79\text{ \%}/\text{K}$ [11]. O circuito recomendado foi modificado para adaptar o sensor existente ao esperado pelo controlador. A montagem de entrada do pino do sensor de temperatura é um divisor resistivo, onde a tensão no ponto intermédio é dada por:

$$V = V_{CC} \cdot \frac{R_{pull-down}}{R_{pull-down} + R_{pull-up}} \quad (3.21)$$

A 25° a tensão que o controlador espera no circuito do termíster é de:

$$V = 5 \cdot \frac{2K}{2K + 2.2K} \quad (3.22)$$

$$= 2.38\text{ V} \quad (3.23)$$

E a 100° (temperatura a partir da qual se define o começo da limitação de corrente) é de:

$$V = 5 \cdot \frac{3.392K}{3.392K + 2.2K} \quad (3.24)$$

$$= 3.03\text{ V} \quad (3.25)$$

Como a resistência dos sensores varia em sentidos opostos, é necessário substituir a resistência de *pull-up* por uma de *pul-down*, para a tensão no ponto intermédio variar no mesmo sentido. Pretende-se que a 100° a tensão seja igual nas duas montagens. O valor da resistência necessária é dado por:

$$3.03 = 5 \cdot \frac{R}{R + 5K} \equiv \quad (3.26)$$

$$R = \frac{15.2K}{1.97} \quad (3.27)$$

$$= 7.75\text{ k}\Omega \quad (3.28)$$

O sensor de temperatura foi ligado ao pino do controlador, juntamente com uma resistência de *pull-down* estandardizada de valor próximo, $7.5\text{ k}\Omega$. As ligação do sensor de temperatura, assim como do sensor de velocidade

foram feitas em fio de microfone, blindado, para minimizar o ruído induzido pelas escovas e os ímanes permanentes do motor.

O controlador possuí entradas para controlo das várias funções disponibilizadas, das quais apenas as seguintes são usadas: as entradas de seleção da direção da marcha (A1 e A2), um indicador do dispositivo de homem morto (A3), e do travão de mão (A7) e os controladores da travagem regenerativa e da aceleração (A8 e A9). O indicador do dispositivo do homem morto é usado apenas por imposição do programa do controlador, já que no projeto é usado outro mais abrangente. O indicador do travão de mão é usado para implementar a funcionalidade de imobilização do veículo, recorrendo à capacidade de "*Anti Roll-back*" que o controlador disponibiliza.

O controlador possuí vários parâmetros configuráveis através do programador removível. A configuração adotada para este projeto é apresentada no apêndice C.

3.4.1 Sensor de velocidade

O sistema de tração foi equipado com um sensor de velocidade para fins de monitorização e controlo do atuador. Foi escolhido um codificador de relutância variável por ser simples de construir e de montar, já que todas as engrenagens são de metal. [conclusão \(26\)](#)

O núcleo do sensor é constituído por um circuito magnético permanente e um transdutor de energia magnética (uma bobina). Quando o sensor está próximo de uma engrenagem em rotação, os seus dentes vão fazer variar a relutância do circuito magnético e induzir uma tensão sinusoidal aos terminais da bobina de frequência proporcional à velocidade da engrenagem.

A figura 3.5 representa esquematicamente um corte longitudinal da cápsula do sensor construído. No topo do lado da engrenagem está um pólo de material ferromagnético, acoplado a um ímane de neodímio cilíndrico, e envolvido por uma bobina de 800 espiras de fio de cobre de 0.08 mm de diâmetro, ligada à entrada de uma placa com o circuito de condicionamento apresentado no esquema Encoder do apêndice B impresso. A montagem está encapsulada num tubo de Policloreto de Vinil (PVC) com cola Araldite® e montada no veículo como ilustra a figura 3.6.

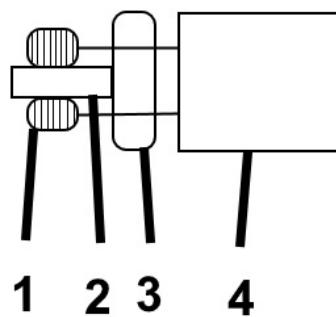


Figura 3.5: Corte longitudinal da cápsula do sensor de velocidade. Legenda:
1: bobina; 2: pólo ferromagnético; 3: íman de neodímio; 4: PCB.

O circuito de condicionamento de sinal da *Printed Circuit Board* (PCB) transforma a tensão sinusoidal vinda da bobina numa onda quadrada de frequência proporcional à velocidade. O sinal da bobina é primeiramente amplificado e retificado com recurso a um amplificador operacional *rail-to-rail* em montagem retificadora de precisão de meia onda. O sinal retificado é depois passado por um comparador com histerese adaptativa, que

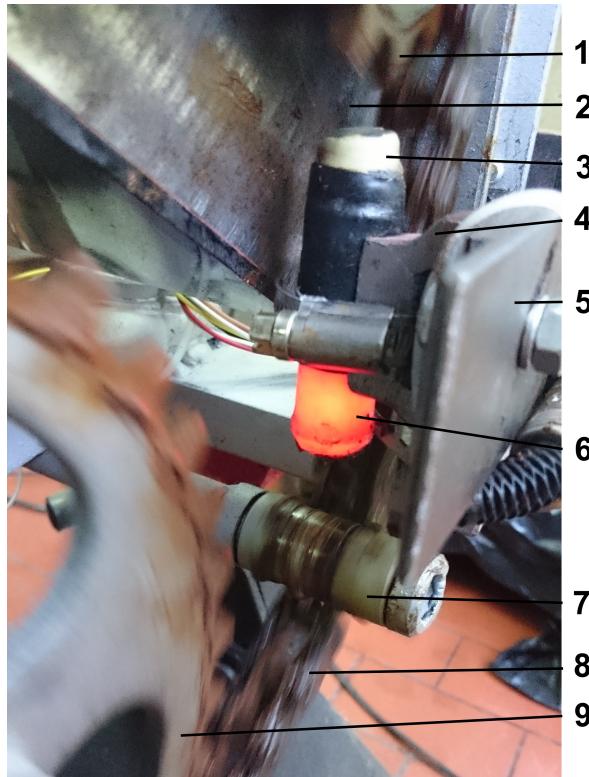


Figura 3.6: Montagem do sensor de velocidade. Legenda:

- 1: carro de saída do redutor; 2: redutor 3: cápsula do sensor; 4: adaptador de fixação; 5: suporte do sensor; 6: indicador luminoso de pulso; 7: esticador da corrente; 8: corrente; 9: carro do eixo traseiro.

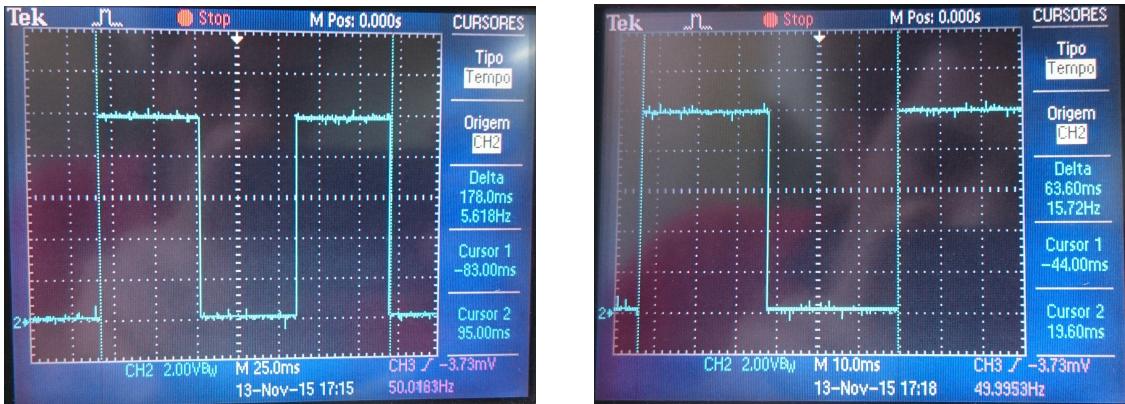
gera o sinal da saída e está ligado a um **LED** que pisca a cada pulso, fornecendo assim uma confirmação visual da operação do sensor.

Para dimensionar o comparador, foi analisado o comportamento do sinal produzido pelo amplificador. Numa montagem de ensaio a 4 mm de uma engrenagem a 90 rpm, mediu-se uma amplitude de 20 mV para o sinal produzido pela bobina, que corresponde ao sinal retificado pelo amplificador com ciclo de utilização de 50 %. Após o dimensionamento do comparador, mediu-se o limiar mínimo na tensão aos terminais da bobina que permite gerar um sinal com intensidade suficiente para o disparar (e gerar uma onda quadrada na saída), 4 mV. [To do \(27\)](#)

O circuito final foi montado e testado para várias velocidades, primeiro em bancada, e depois no veículo. Os gráficos da figura 3.7 mostram os resultados obtidos para diferentes velocidades. Foi também medido o consumo do circuito, sendo de cerca de 300 μ A em repouso e de 15 mA em funcionamento a elevada frequência. [To do \(28\)](#)

3.5 Travagem

Os objetivos do sistema de travagem do **ROVIM** são diminuir a velocidade e garantir a paragem em segurança do veículo. Existem três tipos de mecanismos que permitem ao **ROVIM** diminuir a sua velocidade: o travão da frente, o travão traseiro e o mecanismo de travagem regenerativa do controlador da tração. Decidiu-se manter o travão da frente para uso em modo manual de condução, a travagem regenerativa para uso em modo autónomo, e o travão traseiro para uso em caso de emergência. A travagem regenerativa não é um mecanismo muito eficaz para travar um veículo mas, devido às baixas velocidades atingidas e à disponibilidade permanente de um travão



(a) Carreto do sensor a 49 rpm.

(b) Carreto do sensor a 86 rpm.

Figura 3.7: Gráfico da tensão à saída do sensor de velocidade em função do tempo, a diferentes velocidades do eixo traseiro.

mais poderoso, considerou-se suficiente. Ao dedicar o travão elétrico apenas às situações de emergência foi possível desenhar um sistema de segurança mais eficaz.

O travão da frente foi portanto mantido inalterado e foi desenhado um atuador para o travão de trás. O travão traseiro é um travão de tambor acionado por uma alavanca com um pivô com liberdade de rotação onde, na configuração de origem, enroscava um ferro que propagava a força exercida no pedal e puxava o travão. Projetou-se em substituição um veio rosado sem fim acionado por um motor, que enrosca no pivô da alavanca.

Uma análise à operação do travão revelou que, durante o curso da alavanca, o ângulo do pivô com o plano da forquilha (e portanto com o veio do motor) varia, o que introduz forças radiais indesejadas no veio. Foi medida a força necessária para puxar completamente a alavanca do travão, 80 N.

O pivô da alavanca, em conjunto com o veio rosado, formam um sistema artesanal semelhante a uma engrenagem de parafuso sem fim e coroa, ideal para esta aplicação devido à transmissão unidirecional de binário, que impede o travão de destravar sozinho quando o motor pára. No entanto, os parâmetros do redutor são desconhecidos, o que torna mais difícil o cálculo do binário de motor necessário para acionar o travão. Assim, optou-se por uma abordagem empírica, em que se testou a capacidade dos motores para a função *à posteriori*. O motor de direção, quando testado, apresentou binário suficiente para a função, pelo que se decidiu usar um idêntico.

O motor usado é um servomotor PARVEX RS430H. Este é um motor DC compacto de ímanes permanentes, de 3000 rpm a 78 V, 1.36 N m de binário máximo e corrente nominal de 6.6 A, vocacionado para pequenas aplicações robóticas [12]. O motor é fixo a uma plataforma flexível assente na forquilha traseira com recurso a duas braçadeiras semi-rígidas de metal, que permitem atenuar o esforço radial no veio resultante da oscilação do pivô. O veio do motor é ligado através de um adaptador em latão feito de raiz a um veio rosado que propaga o movimento e enrosca no pivô da alavanca do travão. A figura 3.8 mostra a montagem do travão na moto. O esquema elétrico do sistema é apresentado no apêndice B, esquema 4 – Travão.

Devido às características do travão elétrico, que ou está todo travado ou todo destravado, e aos requisitos de segurança da plataforma, optou-se por dispensar conversor de potência e alimentar o travão diretamente da bateria. Esta opção simplifica o controlo do motor e aumenta a sua fiabilidade, já que dispensa eletrónica do estado sólido, propensa a falhar de forma não controlada quando sujeita a transientes elevados. O controlador foi construído com recurso a comutadores eletromecânicos (relés e interruptores), mais resilientes a picos de

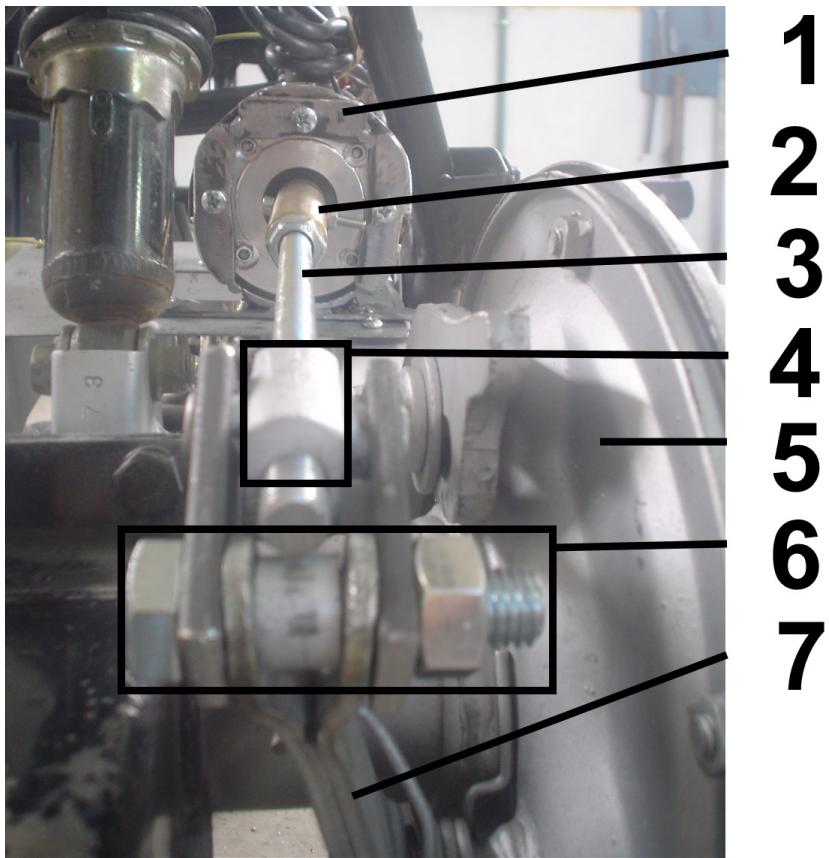


Figura 3.8: Montagem do atuador do travão. Legenda:

- 1: fixador frontal do motor;
- 2: adaptador em latão;
- 3: parafuso sem fim;
- 4: pivô do travão;
- 5: tambor do travão;
- 6: fixador do pivô à alavanca;
- 7:alavanca do travão.

corrente e previsíveis em caso de falha, permitindo assim aumentar a tolerância a falhas.

O motor do travão é controlado através de um relé que seleciona a polaridade da alimentação, estando definido o sentido de travagem por defeito. Todos os relés usados foram equipados com um diódio de roda livre, para a bobina de acionamento poder descarregar quando desliga. O relé pode ser acionado para inverter a polaridade com recurso a dois mecanismos: um botão de pressão manual e um sinal vindo do microcontrolador. Esta configuração não permite travar enquanto houver uma ordem de destravagem pendente, o que pode originar uma falha de segurança em caso de erro do microcontrolador. Para a mitigar, foi adicionada eletrónica adicional para o comando de destravagem por computador depender também do dispositivo do homem morto (ver 3.7). A ligação para a destravagem por computador encontra-se pronta a usar, mas está atualmente desligada por opção de desenho [trabalhos futuros](#) (29).

A alimentação para a travagem, que está ligada por defeito, passa ainda por um circuito de segurança (discutido em 3.7.1), responsável por dar a ordem de travagem. Como a destravagem é controlada deliberadamente pelo utilizador, não necessita de processamento adicional.

Os limites do curso da alavanca do travão foram transladados para uma zona mais acessível, com recurso a um adaptador especial mostrado na figura 3.9, e nele foram instalados sensores de fim de curso, por onde passa a alimentação para o motor, e que controlam a sua paragem. Deste modo, quando o travão chega a um dos limites de operação o sensor abre o circuito e o motor deixa de ser alimentado. O sinal dos interruptores do lado da destravagem foi usado para comandar dois LEDs que indicam ao utilizador a destravagem completa

(verde) e a travagem, ainda que parcial (vermelho). Apesar de terem sido usados LEDs de 12 V, foi adicionada por precaução uma resistência de limitação de corrente, de $1.2\text{ k}\Omega$. Quando um dos LEDs conduz, a sua corrente é dada pela lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.29)$$

Substituindo em (3.29), obtém-se a corrente em cada LED:

$$I = \frac{12}{1.2K} \quad (3.30)$$

$$= 10\text{ mA} \quad (3.31)$$

Que é facilmente dissipada pela resistência.

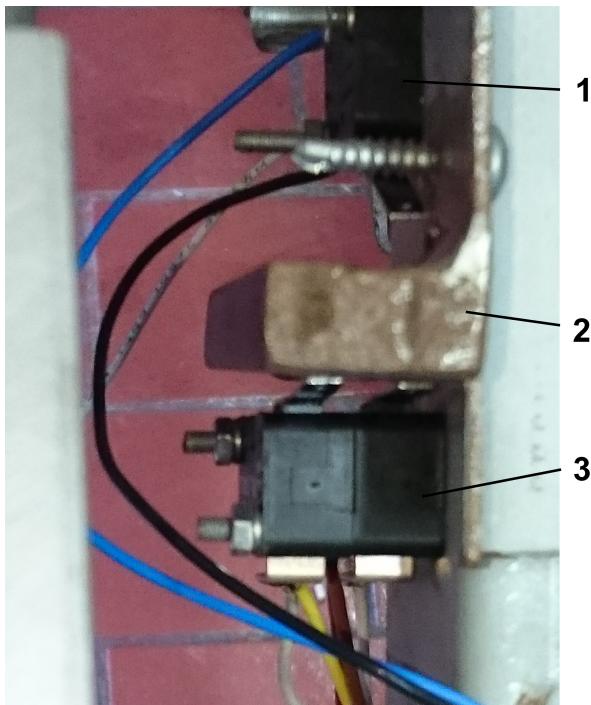


Figura 3.9: Montagem dos sensores do travão, vista de cima. Legenda:

1: fim de curso da travagem; 2: patilha solidária com a alavanca do travão, que ativa os sensores; 3: fim de curso de destravagem.

A ação de destravagem do microcontrolador foi implementada num circuito à base de Transístores de Junção Bipolar (TJBs). Em todo este projeto foram preferidos TJBs devido à facilidade de polarização e à maior robustez para aplicações de componentes discretos. O acionador da destravagem para o modo autónomo de condução é composto por um interruptor acionado pelo microcontrolador, de ação limitada por outro interruptor em série, ligado ao dispositivo do homem morto. Em condições normais de utilização (dispositivo do homem morto colocado e botão de destravagem manual solto), a resistência R7 é alimentada a 12 V e o transístor Q2 está na condução. A sua corrente de base é calculada a partir da lei dos nós:

$$I_{R_8} + I_B Q2 + I_{R_6} = 0 \quad (3.32)$$

Substituindo em (3.32) obtém-se,

$$I_{R_8} + I_{B\ Q2} = I_{R_6} \quad (3.33)$$

$$\frac{V_{BE\ Q2}}{R_8} + I_{B\ Q2} = \frac{V_{Disp\ homem\ morto} - V_{BE\ Q2}}{R_6 + R_7} \quad (3.34)$$

$$\frac{0.7}{27k} + I_{B\ Q2} = \frac{12 - 0.7}{1.2K + 1.2K} \quad (3.35)$$

$$I_{B\ Q2} = 4.7m - 0.026m \quad (3.36)$$

$$= 4.674 \text{ mA} \quad (3.37)$$

Neste caso, o relé K2arma se for aplicada tensão em R5, e a corrente no coletor de Q1 é, assumindo que os transístores estão saturados (a resistência da bobina do relé é de 360Ω [13]):

$$I_{C\ Q1} = \frac{V_{VCC\ 12V} - V_{CE\ Q1} - V_{CE\ Q2}}{R_{K2}} \quad (3.38)$$

$$= \frac{12 - 0.2 - 0.2}{360} \quad (3.39)$$

$$= 32 \text{ mA} \quad (3.40)$$

E a sua corrente de base:

$$I_{B\ Q1} = \frac{V_{Auto\ destrv} - (V_{CE\ Q2} + V_{EB\ Q1})}{R_5} \quad (3.41)$$

$$= \frac{5 - 0.2 - 0.7}{2.7K} \quad (3.42)$$

$$= 1.518 \text{ mA} \quad (3.43)$$

De onde se pode calcular a corrente do coletor de Q2,

$$I_{C\ Q2} = I_{E\ Q1} = I_{C\ Q1} + I_{B\ Q1} \quad (3.44)$$

$$= 32m + 1.518m \quad (3.45)$$

$$= 33.518 \text{ mA} \quad (3.46)$$

As condições de saturação de um transístor TJB podem ser aproximadas por:

$$I_C < \beta \cdot I_B \quad (3.47)$$

$$V_{CE} \approx 0.2 \text{ V} \quad (3.48)$$

O valor de β para Q1 é maior que 75 [14], enquanto que para Q2 é maior que 110 [15]. Daqui se conclui que, para ambos os transístores, $I_C < \beta \cdot I_B$, pelo que a aproximação feita anteriormente é válida e ambos estão saturados e a funcionar como interruptores, como é pretendido neste caso.

Já quando o dispositivo do homem morto é retirado, Q2 não conduz e não é possível destravar o travão. O sistema foi desenhado assim para que o microcontrolador não tenha a capacidade de bloquear o controlador de travagem no caso extremo de uma falha.

Na polarização da base de Q2 foram usadas duas resistências de modo manter o funcionamento do interruptor no caso de uma delas falhar e passar a um curto-círcuito. A resistência R8 serve como *pull-down* da base de Q2, enquanto que C8 serve para filtrar o regime transitório na comutação do dispositivo do homem morto, de

modo a proteger o transístor de picos de tensão. Q1 é um transístor de elevada corrente nominal, indicado para aplicações de comutação e ideal para conduzir o circuito da bobina do relé. O transístor Q2 deveria possuir as mesmas características, mas por falta de outros componentes, foi usado um transístor de uso geral^{conclusão (30)}.

Este tipo de controlo não prevê nenhum tipo de arranque suave. Embora não seja problemático para o funcionamento do circuito, A ligação do motor à alimentação de forma instantânea cria um pico de corrente no arranque do motor que, a longo prazo, vai provocar um desgaste adicional nos componentes. Para tentar mitigar esse desgaste, foi introduzido um condensador de elevada tensão nominal em paralelo com o motor, para tentar alisar os picos de corrente.^{To do (31)}

Após a construção do circuito, mediu-se o tempo de travagem e destravagem, que é sempre inferior a 5 s.

3.6 Direção

A direção permite virar o ROVIM. Este subsistema não requer padrões de segurança e fiabilidade tão elevados como os outros dois, mas representa um tipo de problema diferente, ao nível do seu controlo. No contexto desta aplicação, pretende-se controlar o ângulo de viragem das rodas, como um servomecanismo de um robô.

O *chassi* incorpora uma geometria de direção de Ackerman acionada através de um tubo quase vertical (a coluna da direção) solidário com o guiador. Quando o guiador é virado, o movimento é transmitido pela coluna até um pivô ao nível das rodas, que puxa os tirantes. Este sistema é perfeitamente adequado para utilizar em modo manual, pelo que se manteve, e se projetou uma solução complementar para uso em modo autónomo.

Uma análise à operação estática do sistema revelou que, quando assente num piso de azulejo, são necessários pelo menos 25 N de força aplicados na ponta do guiador para a direção vencer a força de atrito e virar até cerca de 80 % do seu curso, e cerca de 30 N para virar o restante. O raio do guiador é de 41 cm e a sua ponta descreve a trajetória de um segmento circular que, de extremo a extremo, mede 58 cm de corda. A relação de uma corda com o segmento circular que o define é dada por:

$$corda = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3.49)$$

^{To do (32)} De onde se obtém a amplitude do ângulo de viragem da moto:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{corda}{2 \cdot r}\right) \cdot 2 \quad (3.50)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{0.58}{2 \cdot 0.41}\right) \cdot 2 \quad (3.51)$$

$$\theta = 88.84^\circ \quad (3.52)$$

Aproximadamente 90°.

Com base nos valores medidos obtém-se o binário aplicado no caso testado (que é sensivelmente igual ao binário de atrito de deslizamento),

$$T = F \cdot b \quad (3.53)$$

$$= 30 \cdot 0.41 \quad (3.54)$$

$$= 12.3 \text{ N m} \quad (3.55)$$

A geometria da direção de Ackerman evita que as rodas escorreguem durante a viragem, desde que o veículo esteja em movimento. Neste caso o binário de atrito corresponde, grosso modo, ao binário de rolamento do

veículo. Para o cenário típico de utilização referido em 3.4, substituindo em (3.4),

$$T = 300 \cdot 10 \cdot 0.015 \cdot 0.23 \quad (3.56)$$

$$= 10.35 \text{ N m} \quad (3.57)$$

E para o cenário extremo,

$$T = 400 \cdot 10 \cdot 0.3 \cdot 0.23 \quad (3.58)$$

$$= 276 \text{ N m} \quad (3.59)$$

To do (33) Com base nos critérios de desenho da plataforma, procurou-se dimensionar um atuador tendo em conta o pior caso, de modo a prever modificações futuras. Com base nesta análise, foi selecionado um servomotor PARVEX RS430H. Este é um motor DC compacto de ímanes permanentes, de 3000 rpm a 78 V, 1.36 N m de binário máximo e corrente nominal de 6.6 A, vocacionado para pequenas aplicações robóticas [12]. O motor foi ligado a um redutor, acoplado à direção através de um correia, como ilustrado na figura 3.10.

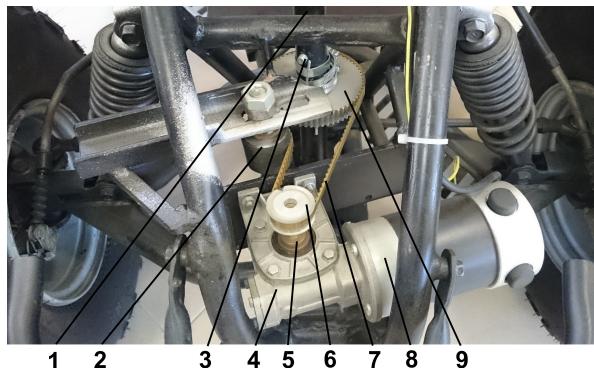


Figura 3.10: Montagem do atuador da direção. Legenda:

1: coluna da direção; 2: esticador; 3: fixador das duas partes da coluna; 4: redutor da direção; 5: veio do redutor; 6: polia de 30 dentes; 7: correia; 8: motor da direção; 9: polia de 60 dentes.

O redutor usado é um STM RMI S28^{To do (34)}, um redutor compatível com as dimensões do motor, de parafuso sem fim e coroa, com relação de redução de 49, 56 % de rendimento a 1400 RPM de (velocidade máxima recomendada) e potência de entrada de 80 W [16], o que está dentro dos limites da operação do motor nesta aplicação. O redutor é apropriado devido à sua elevada relação de redução e reduzidas dimensões, mas especialmente porque transmite o binário unidirecionalmente, o que reduz o perturbação das irregularidades do terreno no sistema de controlo. O motor foi acoplado ao redutor e este fixado a uma estrutura no *chassi*.

Para transmitir o binário para as rodas, mantendo a funcionalidade inicial, a coluna da direção foi cortada para lhe fixar uma polia dentada de 60 dentes de 5 mm de passo e 16 mm de espessura. No redutor foi instalado um veio de latão ^{To do (35)} onde fixa uma polia compatível, de 30 dentes. A distância entre os eixos das duas polias é de 77 mm, pelo que, a partir do seu diâmetro primitivo, 103 mm e 51 mm [17] respetivamente, se calcula o perímetro mínimo de ligação entre as duas pela fórmula:

$$P_{correia} \geq \frac{dp_1}{2} + \frac{dp_2}{2} + 2 \cdot d_{eixos} \quad (3.60)$$

$$\geq \frac{103 \cdot \pi}{2} + \frac{51 \cdot \pi}{2} + 2 \cdot 77 \quad (3.61)$$

$$\geq 396 \text{ mm} \quad (3.62)$$

Com base nestes cálculos foi escolhida uma correia de 460 mm (a mais aproximada), esticada através de um rolo de nylon ajustável, assente num suporte próprio. A correia, quando esticada, impede a direção de se mexer livremente, pelo que é necessário soltá-la para poder operar a direção com o guiador.

A razão de redução total do sistema projetado é de 98, que permite obter um binário nas rodas de: [To do \(36\)](#)

$$T_{\max} = RR \cdot T_{motor} \quad (3.63)$$

$$= 98 \cdot 1.36 \quad (3.64)$$

$$= 133.28 \text{ N m} \quad (3.65)$$

O que é insuficiente para o caso extremo de condução definido, mas foi ainda assim considerado aceitável na fase de projeto, e permitiu escolher um redutor mais fácil de obter e colocar.

Após a instalação do acoplador para a direção, foram detetados dois problemas relevantes: a coluna da direção ficou com uma zona morta e a correia salta para binários relativamente pequenos. Devido ao corte feito na coluna da direção não foi possível aparafulsar as agora duas partes de forma a ficarem totalmente solidárias e passou a ser necessário virar o guiador numa direção cerca de [To do \(37\)](#)° até que a direção comece a responder. A solução passaria por soldar as duas partes, mas optou-se por não o fazer após a deteção do problema com a correia. Devido a falhas no desenho da transmissão, a correia escolhida apresenta limitações severas na sua capacidade de transmitir binário entre os veios. Testando o atuador com a moto parada e as rodas em azulejo, verificou-se que a correia começava a saltar antes de chegar a 80 % do curso da direção, o que significa que o binário que consegue transmitir é inferior a:

$$T_{\max \text{ correia}} < F_{80\%} \cdot b \quad (3.66)$$

$$< 25 \cdot 0.41 \quad (3.67)$$

$$< 10.25 \text{ N m} \quad (3.68)$$

O que frustrou o dimensionamento feito para o sistema [trabalhos futuros \(38\)](#). Mesmo assim optou-se por avançar com esta configuração para prova do conceito, e guardar as modificações após uma avaliação global da performance do veículo, pelo que se restringiu a operação da direção a quando a moto está em movimento, de modo a mitigar o problema.

Para comandar o motor foram adquiridos um conversor e um controlador indicados para controlo de pequenos motores elétricos e aplicações de robótica. O conversor usado é um OSMC V4.24, uma ponte em H de elevada potência para comando de motores [DC](#) de ímanes permanentes de 12 V a 80 V, capaz de fornecer até 160 A de corrente em contínuo, parte de um projeto de código aberto. Para comandar esta placa foi adquirido um microcontrolador com uma interface compatível, onde se implementou o programa de controlo da posição da direção. O microcontrolador é descrito em mais detalhe em [3.8](#).

Para poder controlar com precisão da direção, projetou-se um programa de controlo em malha fechada, discutido em [3.6.1](#), e um sensor de posição para fechar a malha. O sensor, um potenciômetro de precisão de 3 voltas e 5 kΩ [\[18\]](#), é montado junto ao guiador (por ser a opção mais simples) e ligado ao microcontrolador por um fio de microfone blindado, e lê a posição angular da parte superior da coluna da direção com recurso a duas engrenagens acopladas: uma fixa à direção e outra ao potenciômetro, como mostrado na figura [3.11](#). Para maximizar o curso do potenciômetro, as engrenagens foram dimensionadas; começando por escolher a

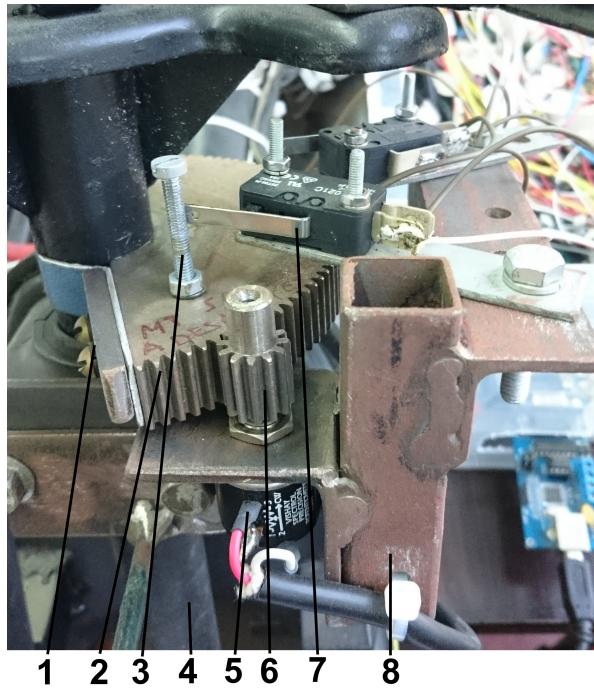


Figura 3.11: Montagem dos sensores da direção. Legenda:

1: fixador da engrenagem; 2: engrenagem solidária com a coluna da direção; 3: batente do sensor de fim de curso; 4: coluna da direção; 5: potenciômetro; 6: engrenagem do potenciômetro; 7: sensor de fim de curso; 8: suporte dos sensores.

mais pequena disponível, de 12 dentes, para o potenciômetro. Pretende-se que três revoluções da engrenagem pequena, 36 dentes, correspondam a aproximadamente $90/360 = 1/4$ dos dentes da engrenagem maior, o que perfaz 144. Por não haver engrenagens tão grandes, foi escolhida a maior possível, de 120 dentes. O intervalo de valores percorrida pelo potenciômetro é dado por:

$$\Delta R = R_{pot} \cdot \frac{n_{engrenagem\ maior}}{144} \quad (3.69)$$

$$= 5K \cdot \frac{120}{144} \quad (3.70)$$

$$= 4.17\text{ k}\Omega \quad (3.71)$$

Na prática, a gama de valores do potenciômetro é ligeiramente menor devido aos interruptores de fim de curso, discutidos adiante. Esta limitação do alcance do potenciômetro é benéfica e desejável, porque evita que este chegue ao fim do seu curso, danificando-o. Para além disso a gama de valores obtida com a engrenagem de 120 dentes é suficiente para obter leituras precisas.

Ambas as engrenagens estão fixadas de forma pouco firme, pelo que a montagem pode descalibrar ficar descalibrada em caso de manipulação^{conclusão (39)}.

To do (40) As ligações elétricas do sistema da direção são apresentadas no esquema 6 – Direção do apêndice B. A alimentação para o motor provem de uma ligação a 12 V com um fusível de 6.3 A e passa por um contator de corte geral, com uma resistência de pré-carga To do (41). À semelhança do circuito sugerido pelo fabricante do circuito de tração, incluiu-se aqui um circuito simples de pré-carga dos condensadores do conversor, de modo a alisar o pico de corrente aquando da ligação do circuito e assim aumentar a sua vida útil. A placa do conversor tem dois grandes condensadores ligados à alimentação à massa em paralelo, C1 e C8, com um capacidade conjunta de $1200\text{ }\mu\text{F}$. Após a ligação do contator, o circuito dos condensadores pode ser approximado a um circuito *RC*

ligado a uma fonte de tensão, onde ocorre um pico de corrente dado por:

$$I_{t=0+} = \frac{V}{R} \quad (3.72)$$

A constante de tempo do circuito é dada por:

$$\tau = R \cdot C \quad (3.73)$$

De (3.72) e (3.73) se conclui que a resistência entre a bateria e os condensadores limita a sua corrente e tempo de carga. No caso de não existir resistência de pré-carga, a resistência é a resistência interna da bateria, $7.8 \text{ m}\Omega$. Substituindo em (3.72),

$$I_{t=0+} = \frac{12}{7.8m} \quad (3.74)$$

$$= 1.54 \text{ kA} \quad (3.75)$$

E em (3.73),

$$\tau = R_{BAT} \cdot (C_1 + C_8) \quad (3.76)$$

$$\approx 7.8m \cdot 1200\mu \quad (3.77)$$

$$= 9.36 \mu\text{s} \quad (3.78)$$

Ambos os valores são bastante elevados e provocam o desgaste prematuro dos componentes e podem provocar a abertura do fusível sem que tenha havido algum curto-circuito. Por isso projetou-se uma resistência de pré-carga de potência a dissipar inferior a 5 W, facilmente disponível no mercado. A energia acumulada nos condensadores é de:

$$E = C \cdot \frac{V^2}{2} \quad (3.79)$$

$$= 1200\mu \cdot \frac{12^2}{2} \quad (3.80)$$

$$= 86.4 \text{ mJ} \quad (3.81)$$

Para aproximar a potência necessária da resistência de pré-carga, assume-se que esta tem que dissipar toda a energia durante uma constante de tempo, de onde se pode obter o valor da resistência a usar:

$$P = \frac{E}{T} \quad (3.82)$$

$$= \frac{E}{R \cdot C} \equiv \quad (3.83)$$

$$R = \frac{E}{P \cdot C} \quad (3.84)$$

$$= \frac{86.4m}{5 \cdot 1200\mu} \quad (3.85)$$

$$= 14.4 \Omega \quad (3.86)$$

Substituindo em (3.72),

$$I_{t=0+} = \frac{12}{14.4} \quad (3.87)$$

$$= 0.83 \text{ A} \quad (3.88)$$

E em (3.73),

$$\tau = 14.4 \cdot 1200u \quad (3.89)$$

$$= 17.28 \text{ ms} \quad (3.90)$$

Conclui-se então pela escolha de uma resistência de pré-carga de 15Ω , 5 W. No entanto, como não foram encontradas resistências aproximadas a essa, usou-se uma de $1.5\text{k}\Omega$ de 5 W. Para esta resistência, a corrente máxima de carga dos condensadores é de 8 mA, e a constante de tempo de 1.8 s, o que se traduz numa potência dissipada na resistência de 48 mW, bem dentro dos limites do dispositivo.

De forma a proteger o *hardware*, foram instalados dois interruptores de fim de curso junto ao sensor de posição, que fazem uso de batentes cravados na engrenagem maior, como mostra a figura 3.11. Os batentes e interruptores foram calibrados de modo a dispararem ligeiramente antes de a direção chegar ao seu limite. Os interruptores produzem dois sinais complementares, sendo o normalmente fechado usado para cortar o contator e o normalmente aberto para ativar o circuito de segurança (ver 3.7.1). Os interruptores estão ligados de modo que é impossível saber de qual dos lados ocorreu o erro, sendo essa verificação feita através do sensor de posição.

No caso de acontecer um erro, só é possível alimentar o motor para poder recuperá-lo através de um botão de pressão que coneta a alimentação à bobina do contator, evitando a verificação de segurança feita pelos interruptores de fim de curso.

3.6.1 Controlo da direção

O controlo da posição da direção assemelha-se a uma aplicação típica de um controlador PID, em que o microcontrolador corre um programa que, através dos dados obtidos no sensor de posição, atua o motor em função do erro. No entanto, o problema do controlo foi severamente agravado durante a sua construção, pela zona morta (ver 3.6) e pelas limitações da correia. A zona morta apenas afeta o comportamento do sistema nas mudanças de direção, e pode ser integrada no projeto do controlador como uma dificuldade acrescida. Já a limitação do binário impede o desenho efetivo de um bom controlador e não pode ser ignorada. Perante este constrangimento optou-se por avançar com a prova do conceito, relegar a construção de um bom controlador para uma iteração posterior, e mitigar o problema temporariamente com o projeto de um controlador em banco de ensaio (com as rodas no ar) e limitando a operação da direção a quando a moto estiver em movimento.

Em 3.6 provou-se através de medições que a posição depende de forma não linear do binário, mas a entrada do sistema é em tensão, e a tensão é independente do binário para este motor, a não linearidade não se verifica, permitindo assim o uso da teoria dos Sistemas Lineares e Invariantes no Tempo (SLITS) To do (42). Para implementar um controlo em posição é necessário integrar no tempo a velocidade, pelo que se dispensa a parte integral do controlador, já que esta é inherente ao sistema sob controlo. Assim, o controlador a desenhar para este sistema é um Proporcional Derivativo (PD).

O projeto do controlador tipicamente requer um modelo matemático do sistema a controlar, e neste projeto tentou-se inicialmente modelar matematicamente o sistema, mas a dificuldade em calcular o momento de inércia do atuador completo e as variações do coeficiente de atrito previstas durante a operação tornam pouco exequível esta abordagem. Por isso partiu-se para o desenho de um controlador através do método de Ziegler-Nichols, mais simples, e mais fácil de realizar neste caso. Optou-se por realizar o método da curva de reação para obter

os parâmetros de um controlador **PID**, e transformá-lo depois num **PD**.

O microcontrolador escolhido tem a capacidade predefinida de implementar até dois controladores **PID** digitais, em simultâneo, pelas interfaces para os conversores **OSMC**. A rotina de controlo por **PID** incorpora um gerador de trajetórias trapezoidal que, a partir da referência e da posição corrente, fornece a cada período de amostragem um ponto intermédio em direção ao objetivo final como referência para o controlador, que assim trabalha com erros mais pequenos e consegue desse modo uma obter uma dinâmica de movimento mais suave. O parâmetros do controlador são guardados em variáveis de 16 bit e, de modo a obter números fracionários, divididos por 1024 durante o cálculo do erro do controlador, o que se traduz numa gama de valores de $1/1024$ a $2^6 = 64$.

O período de amostragem pode variar até 255 ms (é guardado numa variável de 8 bit). Outro parâmetro importante do controlador digital é o ciclo de funcionamento mínimo do motor, necessário para vencer a inércia do sistema, que foi determinado experimentalmente com as rodas no ar. Determinou-se um valor mínimo de 16 %^{To do} (43).

Com o motor em vazio (desacoplado da direção) foi aplicado o método de Ziegler-Nichols para obter um controlador para o sistema, mas este não apresentou resultados satisfatórios, pois o modelo ensaiado não representa a totalidade do sistema, apenas uma parte, pelo que o controlador pré-programado foi afinado manualmente e usado no programa, devido à sua razoável resposta ao escalão. ^{conclusão} (44) Os parâmetros do controlador embarcado são:

$$K_p = 0x260 \quad = \frac{608}{1024} = 0.594 K_d \quad = 0x600 = \frac{1536}{1024} \quad = 1.5 \quad (3.91)$$

3.7 Eletrónica

3.7.1 Mecanismo de segurança

Devido aos requisitos de segurança apertados deste projeto foi desenhado um mecanismo de corte da alimentação dos motores em caso de emergência. Embora não essencial à prova do conceito, a sua inclusão foi considerada indispensável, já que nesta fase o sistema está pouco refinado, e portanto sujeito à ocorrência de incidentes frequentes e graves. De modo a prevenir embates, o mecanismo controla o corte da alimentação do motor da tração e, simultaneamente, o acionamento do travão. Este foi construído à base de relés, devido à sua tolerância a tensões transientes e à previsibilidade do seu comportamento em caso de falha, que permite projetar sistemas mais robustos e tolerantes a falhas. As ligações elétricas do mecanismo são apresentadas no esquema 5 – Segurança do apêndice B.

O circuito é ativado em situação de emergência por um de vários gatilhos: um interruptor de emergência, um dispositivo de homem morto, um comando do microcontrolador ou um erro detetado pelos sensores de fim de curso (da travagem e direção). O interruptor de emergência é um botão estandardizado da indústria e está localizado na traseira do veículo, para acesso mais fácil em caso de perda do controlo. O dispositivo do homem morto consiste num fusível atado com uma guita que deve estar preso ao corpo do utilizador, caso esteja junto da moto. No caso do veículo perder o controlo e fugir, o fusível salta e o circuito dispara. O gatilho do microcontrolador serve para o programa de controlo ter poder sobre o mecanismo, e por fim os sensores de fim de curso disparam o circuito caso o atuador que monitorizam ultrapasse os limites normais de operação.

O mecanismo consiste em dois circuitos acionados de forma complementar, através de um dos gatilhos: um circuito de corte da alimentação do controlador da tração através do seu contator, que está normalmente fechado, e outro de controlo do acionamento da travagem do travão elétrico, que está normalmente aberto. Durante a operação normal um circuito fecha a malha de alimentação do contator e o outro abre a de alimentação da travagem. Quando ocorre uma situação de emergência e algum dos gatilhos é acionado, o respetivo relé comuta ambos os circuitos e o contator da direção corta e o travão trava e, devido ao gatilho do fim de curso da travagem, o mecanismo permanece num estado de emergência enquanto o travão não estiver totalmente destravado. Como o travão é alimentado diretamente da bateria, quando se desliga o interruptor de corte geral o dispositivo do homem morto deixa de ser alimentado e o travão é acionado, garantindo que o veículo encerra sempre num estado seguro.

O corte da alimentação do motor da direção não foi incluída no circuito principal por acrescentar complexidade adicional e não representar um risco elevado para a segurança dos utilizadores. Ainda assim, o contator da direção também é cortado pelo gatilho dos seus sensores de fim de curso.

No caso em que o programa do microcontrolador falhe, pode suceder que o comando de paragem que este envie não fique ativo tempo suficiente para travar completamente o travão. Para colmatar essa possibilidade, o sinal foi passado por um circuito monoestável, responsável por garantir que o relé do gatilho é atuado tempo suficiente. De acordo com [19], o tempo do pulso gerado pelo circuito é dado por:

$$t = 1.1 \cdot R_{11} \cdot C_{10} \quad (3.92)$$

Para garantir que o travão trava completamente, o tempo do pulso projetado é superior ao tempo máximo de travagem, 5 s. A combinação de uma resistência de $220\text{ k}\Omega$ com um condensador de $22\text{ }\mu\text{F}$ origina um tempo de pulso de:

$$t = 1.1 \cdot 220K \cdot 22\mu \quad (3.93)$$

$$= 5.324\text{ s} \quad (3.94)$$

Que é suficiente para garantir a travagem completa.

O circuito monoestável é ativado no flanco descendente do sinal de entrada. Para inverter o gatilho para o flanco ascendente foi introduzido um inversor feito com um interruptor **TJB** na saturação, com uma resistência de *pull-down*. Definiu-se uma profundidade de saturação $\mu = 4$ e uma corrente de base $I_B = 0.18\text{ mA}$ mínimos para o transístor, sendo a relação entre as correntes de base e saturação dada por:

$$I_B \geq \mu \cdot \frac{I_C}{\beta} \quad (3.95)$$

A resistência de polarização da base é dada por:

$$R_B = \frac{V_{\text{Auto parar}} - V_{BE}}{I_B} \quad (3.96)$$

$$= \frac{5 - 07}{0.18m} \quad (3.97)$$

$$= 23.89\text{ k}\Omega \quad (3.98)$$

A partir do valor de β para o transístor BC547 usado [15] e de (3.95), é possível calcular a corrente do coletor

pretendida,

$$I_C \geq \frac{I_B \cdot \beta}{\mu} \quad (3.99)$$

$$\geq \frac{0.18m \cdot 110}{4} \quad (3.100)$$

$$\geq 4.95 \text{ mA} \quad (3.101)$$

De onde se pode dimensionar a resistência de coletor do transístor,

$$R_C = \frac{V_{VCC} - V_{CE}}{I_C} \quad (3.102)$$

$$= \frac{12 - 0.2}{4.95m} \quad (3.103)$$

$$= 2.42 \text{ k}\Omega \quad (3.104)$$

A partir de (3.98) e (3.104), escolheram-se resistências de 27 kΩ e 2.7 kΩ para polarizar o transístor, respetivamente.

3.7.2 Integração dos sistemas

Para agrupar as capacidades individuais dos vários subsistemas do módulo num conjunto coerente de funcionalidades foram desenhados e construídos vários circuitos de interface, aqui tratados.

O processamento eletrónico do ROVIM foi agrupado em várias placas eletrónicas e painéis de instrumentação, que foram, salvo raras exceções, reunidos dentro de uma caixa paralelepípedica fixada à plataforma superior de bombordo, arrumando e protegendo assim o seu interior de interferência involuntária. Na figura 3.12 é mostrado o conteúdo embarcado na caixa: um painel de instrumentos e uma placa elétrica artesanal fixos nas laterais, e a placa do microcontrolador, a do conversor de potência do motor da direção, e outras três placas artesanais fixadas em placas de acrílico assentes no fundo, para além das ligações aos vários periféricos. As placas artesanais e as ligações elétricas estão organizados de maneira confusa devido às sucessivas adições e modificações efetuadas durante o desenrolar do projeto. Contornar esta situação implicaria refazer várias vezes as ligações e as placas com materiais e técnicas de fabrico mais complexos, pelo que se aceitou esta situação durante a fase da prova do conceito [trabalhos futuros](#) (45).

Os circuitos eletrónicos realizados estão divididos em três partes, repartidos por quatro placas ilustradas na figura 3.13: mecanismos de corte de corrente e acionamento do travão na placa D, processamento eletrónico de sinal, originalmente na placa E e posteriormente expandido para a placa G, e corte de corrente da direção na placa F. As ligações entre as várias placas são apresentadas no circuito 9 – [Ligações placas artesanais](#) do apêndice B. Os painéis de instrumentação são ilustrados na 3.14, e estão agrupados em dois tipos: os que fixam elementos de interface que necessitam de estar numa posição específica e os restantes, que foram agrupados no painel fixado na caixa da eletrónica. As ligações dos painéis de instrumentação são apresentadas no esquema 3 – [Instrumentação](#) do apêndice B.

A placa do microcontrolador implementa o cérebro do módulo (ver 3.8) e o controlador da direção, e comanda a placa do conversor OSMC, entre outras. A placa D contém os relés K2 – K6 e as suas ligações e implementa parte do circuito de controlo do travão e do circuito de corte de corrente de segurança. As placas E e G incluem o condicionamento de sinal das entradas e saídas do microcontrolador, o monoestável, o circuito de comutação

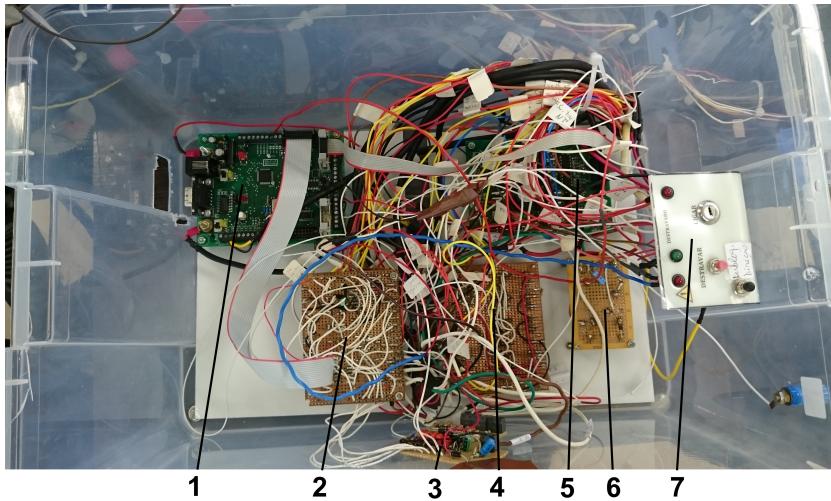


Figura 3.12: Caixa das ligações eletrónicas. Legenda:

1: placa do microcontrolador; 2: placa E; 3: placa G; 4: placa D; 5: placa OSMC; 6: placa F; 7: painel de instrumentação.

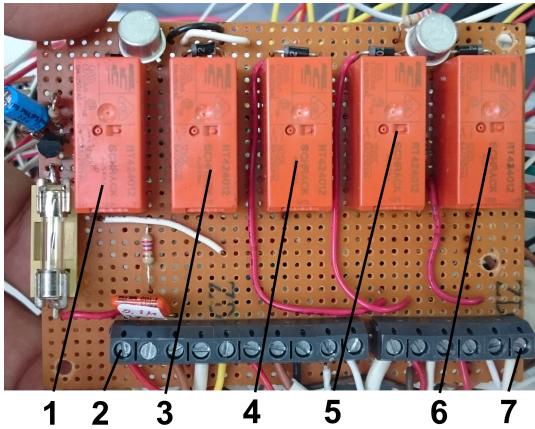
de modos de condução e o circuito do sensor de temperatura. Por fim, a placa F integra o fusível e o contator da direção. O painel de instrumentação da caixa contém os interruptores de comando do controlador da tração, os botões de recuperação de erros, e os indicadores luminosos do estado do travão e do controlador da tração. Fora da caixa estão instalados o dispositivo do homem morto e o interruptor de emergência, o controlador da tração e o seu fusível e contator e o acelerador de punho. Os restantes sensores e atuadores estão montados junto dos respetivos elementos.

O corte geral do sistema é implementado por um interruptor de chave removível que controla a alimentação para a eletrónica de sinal. Um dos circuitos eletrónicos embarcados comuta entre os modos de condução: manual, através do *hardware* instalado na moto, e autónomo, operado através de uma interface de *software*. Os modos geram os sinais de comando do controlador da tração, que comanda a marcha do veículo, e atuam sobre a coluna da direção, que determina a posição angular das rodas da frente. A comutação entre manual e autónomo na direção é feita mecanicamente e já discutida em 3.6, pelo que se omite aqui. As ligações elétricas do circuito de comutação dos sinais do controlador é apresentado no esquema 7 – Comutação manual/autónomo.

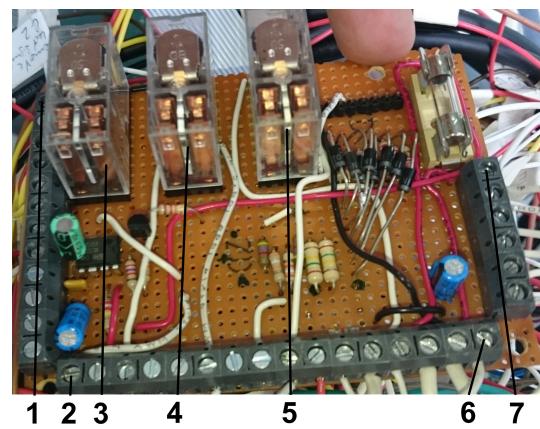
A multiplexagem dos sinais de comando do controlador é feita com recurso a três relés comandados por um interruptor no painel de instrumentação, que comutam entre os sinais gerados pela instrumentação dos painéis de controlo (usados em modo manual) e os sinais gerados pelo microcontrolador (usados em modo autónomo). O detalhe da funcionalidade de cada sinal é explicado em [9].

Houve uma preocupação especial em garantir uma boa ligação à massa do microcontrolador, através de um cabo de calibre médio ligado diretamente ao ponto de massa, para evitar que transientes resultantes do acionamento dos motores e comutação dos relés originem falhas no microcontrolador. Adicionalmente, os sinais de entrada para o microcontrolador foram alvo de processamento eletrónico, para garantir a fiabilidade dos valores lidos e a proteção dos circuitos eletrónicos da placa.

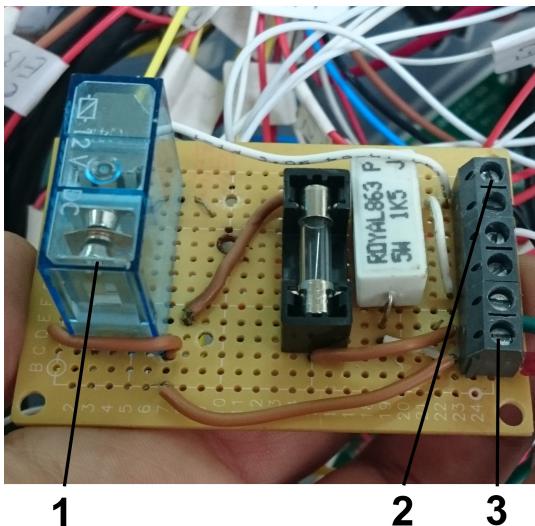
A maior parte dos sinais lidos pelo programa de controlo provêm de interruptores manuais e eletromecânicos (ver 3.1), alimentados a 12 V, que ressaltam durante a comutação, originando ruído e falsos positivos nas leituras do microcontrolador se não forem processados, como é ilustrado no gráfico da figura 3.15, que mostra a tensão num interruptor mecânico durante a sua comutação e em que são visíveis oscilações na tensão resultantes de



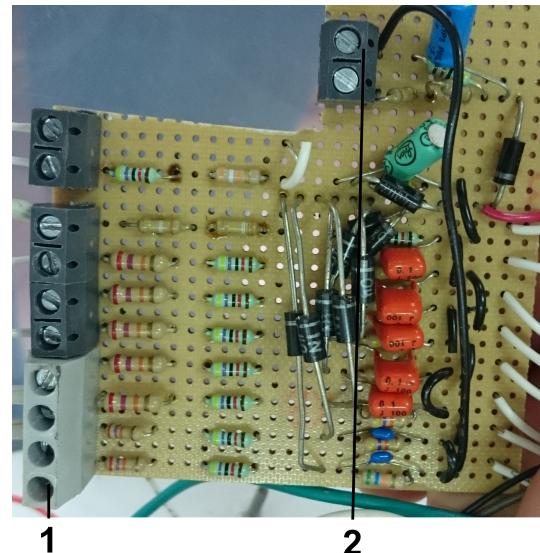
(a) Placa D. Legenda:
1: relé K2; 2: pino 16; 3: relé K3; 4: relé K4; 5: relé K5;
6: relé K6; 7: pino 1.



(b) Placa E. Legenda:
1: pino 34; 2: pino 22; 3: relé K10; 4: relé K9; 5: relé
K8; 6: pino 7; 7: pino 1.

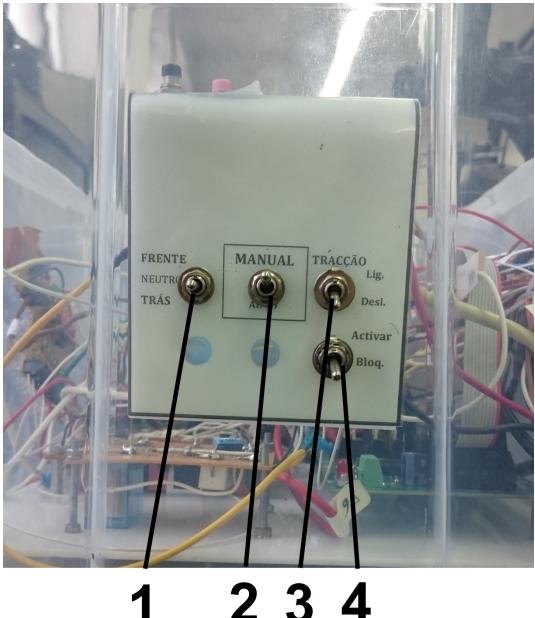


(c) Placa F. Legenda:
1: relé K7; 2: pino 1; 3: pino 6.



(d) Placa G. Legenda:
1: pino 1; 2: pino 12.

Figura 3.13: Placas artesanais.

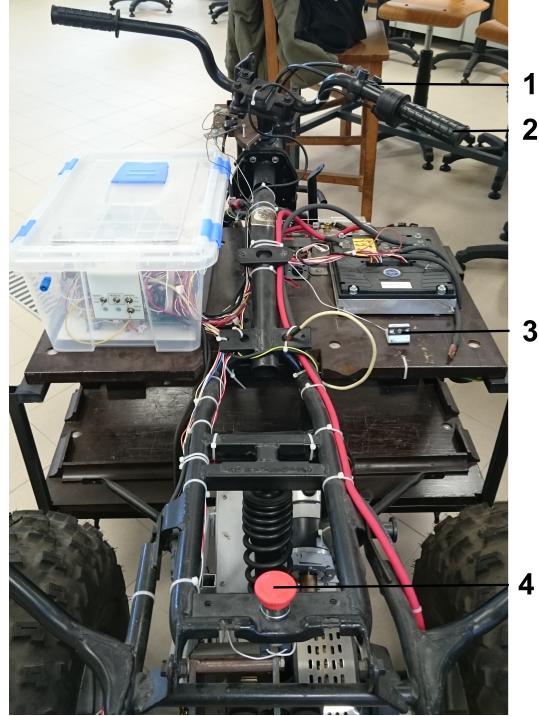


1 2 3 4

(a) Parte vertical do painel da caixa de eletrónica.

Legenda (componente):

- 1: seletor da marcha (Int4); 2: seletor do modo de condução (Int3); 3: interruptor geral da tração (Int2); 4: ativador da tração (Int5).



(b) Instrumentação exterior. Legenda:

- 1: manete do travão; 2: acelerador de punho (Pot1); 3: dispositivo do homem morto; 4: interruptor de emergência(Int6).



(c) Parte horizontal do painel da caixa de eletrónica.

Legenda (componente):

- 1: desbloqueador da direção (Btn2); 2: indicador de travagem (D3); 3: botão de destravar (Btn1); 4: indicador de destravagem (D2); 5: interruptor de chave (Int1); 6: indicador de erro na tração (D1).

Figura 3.14: Painéis de instrumentação. A legenda indica entre parêntesis a identificação do componente no apêndice B.

ressaltos das partes mecânicas.

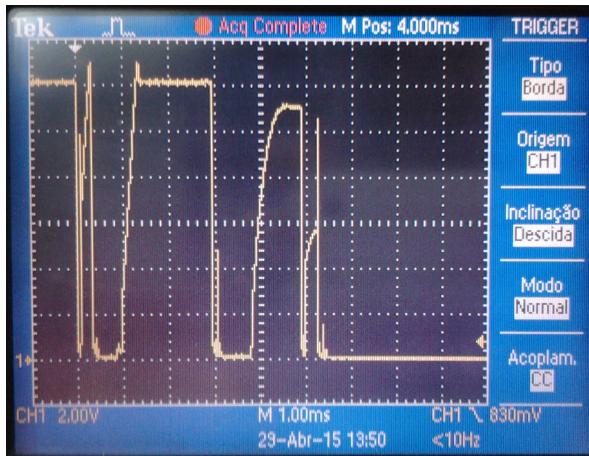


Figura 3.15: Gráfico da tensão aos terminais de um interruptor de alavanca em função do tempo, durante a sua abertura.

No esquema elétrico 8 – Microcontrolador do apêndice B são apresentados os circuitos de condicionamento dos sinais de entrada da placa do microcontrolador. Estes circuitos têm 3 funções: converter tensão, filtrar e limitar a corrente e tensão à entrada dos circuitos integrados. Para converter a tensão e limitar a corrente foram usados divisores resistivos de $74\text{ k}\Omega$ e $47\text{ k}\Omega$ à massa, que limitam a corrente a aproximadamente 0.1 mA e a tensão no ponto intermédio a $5.4\text{ k}\Omega$ (no pior caso para a bateria carregada a 14 V), que está dentro dos limites do circuito integrado onde ligam as entradas [20]. Para garantir que os circuitos integrados não sofrem picos de tensão foi introduzido um diodo supressor à alimentação. No entanto este diodo tem eficácia limitada já que se trata de um retificador genérico (nesta fase do projeto não houve acesso a outros componentes mais adequados) com uma tensão de condução superior à tensão máxima suportada pelo circuito. Por fim, para eliminar os efeitos dos ressaltos nos sinais lidos pelo microcontrolador foram introduzidos condensadores à massa, realizando um filtro passa–baixo com o divisor resistivo. Em regime transitório as resistências formam um paralelo de valor:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.105)$$

$$= \frac{74 \cdot 47}{74 + 47} \quad (3.106)$$

$$= 28.74\text{ k}\Omega \quad (3.107)$$

As entradas para o microcontrolador são de sinais lentos, pelo que definiu uma frequência de corte para os filtros próxima de 50 Hz . A partir da fórmula aproximada de cálculo da frequência de corte de um filtro RC ,

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (3.108)$$

$$(3.109)$$

É possível determinar o valor do condensador a usar:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_c} \quad (3.110)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 28.74K \cdot 50} \quad (3.111)$$

$$= 0.11\text{ }\mu\text{F} \quad (3.112)$$

De (3.112) se conclui pela escolha de um condensador de $0.1 \mu\text{F}$. O resultado final destes circuitos é mostrado no gráfico da figura 3.16, em que o sinal amostrado resalta três vezes durante a comutação, mas os saltos chegam filtrados à entrada do circuito integrado.



Figura 3.16: Gráfico da tensão amostrada num interruptor de alavanca durante a comutação.

Para amostrar a tensão na bateria B6 foi necessário alterar o divisor resistivo devido ao sinal de entrada ser de 80 V neste caso, pelo que foram instaladas duas resistências de $40 \text{ k}\Omega$ e uma de $4.7 \text{ k}\Omega$ à massa para obter o mesmo resultado final.

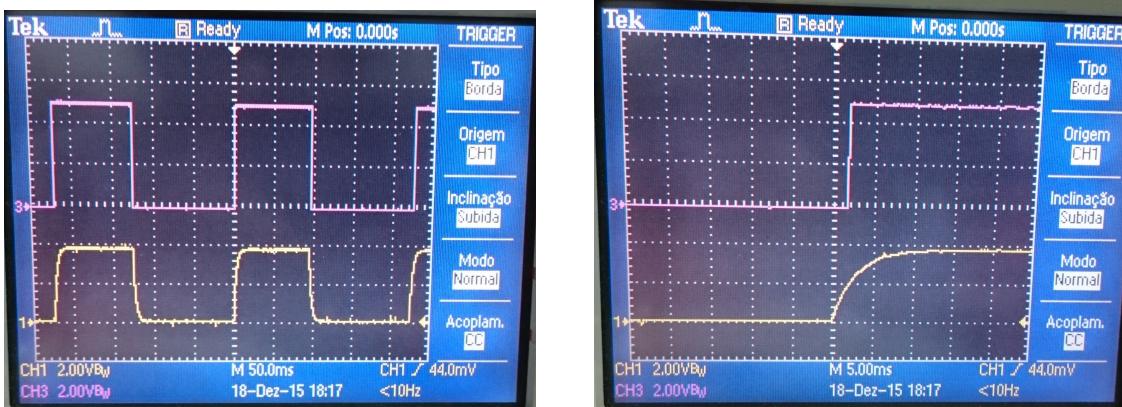
Após testes no programa de controlo, verificou-se que a interrupção de contagem de impulsos (ver 3.8) não estava a funcionar corretamente com devido a problemas no sinal do sensor, por isso este foi passado por um corrector da forma de onda, de modo a aproximar-a o mais possível da do gerador, o que eliminou o problema com a interrupção. Os gráficos da figura 3.17 mostram o efeito do circuito corrector no sinal. No gráfico a) se verifica que a onda ficou com uma forma muito mais quadrada após o processamento adicional e no gráfico b) pode-se estimar o atraso introduzido pelo circuito, cerca de 2 ms, que não é relevante para as velocidades a que o sensor opera. O corrector de onda consiste num comparador simples em montagem inversora seguido de um inversor feito com um transístor TJB PNP. Comparando em retrospectiva os gráficos das figuras 3.7 e 3.17 observa-se que o condensador C20 introduz um atraso nefasto no sinal que provavelmente está na causa do problema inicial com as interrupções.^{conclusao (46)}

Para simular o acelerador potenciométrico que o controlador da tração espera à entrada dos pinos A8 e A9, os respetivos sinais de saída do microcontrolador foram modulados em largura de impulso e passados por um filtro passa-baixo, que efetivamente os converte para analógico. O sinal *Pulse Width Modulation (PWM)* gerado, discutido em mais detalhe em 3.8, tem uma frequência de 10 Hz, pelo que se projetou um filtro com uma frequência de corte uma ordem de grandeza abaixo. Selezionando uma resistência de $4.7 \text{ k}\Omega$ por ter um valor idêntico ao recomendado pelo fabricante do controlador [9], foi dimensionado um condensador adequado a partir de (3.108):

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_c} \quad (3.113)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 4.7k \cdot 1} \quad (3.114)$$

$$= 33.8 \mu\text{F} \quad (3.115)$$

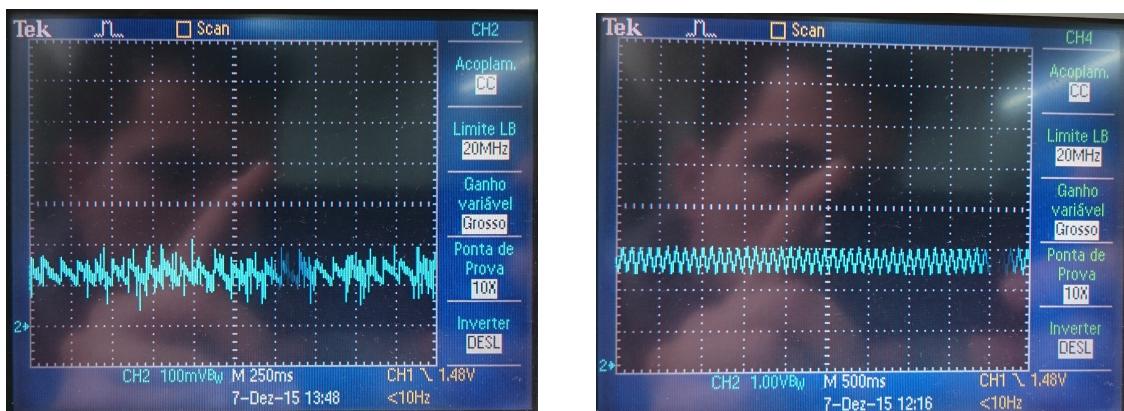


(a) Forma de onda completa.

(b) Pormenor do flanco ascendente.

Figura 3.17: Gráfico da tensão à saída do sensor de velocidade e do circuito corrector de onda em função do tempo, para uma velocidade de 0.74 km/h. Sinal de saída do sensor de velocidade no canal 1 e sinal de saída do corrector de onda no canal 3.

Devido à indisponibilidade de condensadores de $33\ \mu F$ disponíveis, usaram-se de $47\ \mu F$, passando a frequência de corte do filtro para 0.72 Hz. O teste do circuito é mostrado nos gráficos da figura 3.18. O sinal filtrado apresenta uma oscilação considerável (no pior caso, cerca de 30 % da amplitude do sinal), mas que não se reflete na aceleração do motor, pois o controlador está configurado para variar a aceleração de forma bastante lenta.



(a) Ciclo de utilização de 2 %.

(b) Ciclo de utilização de 50 %.

Figura 3.18: Gráficos da tensão em função do tempo à saída do filtro conversor digital-analógico.

3.8 Programa de controlo

O programa de controlo da T2D constitui o "cérebro" do sistema, que controla os vários órgãos do veículo e onde a inteligência mais avançada se concentra. O programa, cujo código é detalhado no apêndice A, implementa os comandos que exploram as várias funcionalidades do veículo, monitoriza o estado do veículo e serve de interface com o módulo superior. Nesta iteração do protótipo optou-se por impedir o programa de destravar o veículo, limitando desta forma a autonomia da condução, mas garantindo um maior grau de confiança no sistema.

O programa corre num microcontrolador Microchip PIC 18F6722 integrado na placa Dalf 1-F, que contém as ligações aos periféricos do chip e vem pré-programada com firmware desenhado para controlo de motores e adaptado para trabalhar com a placa OSMC, e que pode ser modificado. A placa Dalf permite portanto imple-

mentar de maneira simples o controlo da direção e possui as capacidades necessárias para servir de controlador geral do módulo. A placa fornece também dois expansores de *General Purpose Input/Outputs* (*GPIOs*) de funcionalidade programável e várias interfaces de controlo, das quais apenas a por emulador de terminal série e por *Inter-Integrated Circuit* (*I²C*) são utilizadas neste projeto.

3.8.1 Arquitetura do software

Com base nas necessidades do programa de controlo da *T2D*, o *firmware* original foi estendido em funcionalidade e foram roteados pelo microcontrolador os sinais listados na tabela 3.1. Para além da funcionalidade original, o programa de controlo necessita de poder enviar sinais para o controlador da tração, disparar o mecanismo de segurança e ter a noção do estado dos vários componentes, para poder tomar decisões de controlo.

Pino	Nome	Direção	Função
J5 1	Desacelerador	Saída	Controla a travagem regenerativa ^a
J5 2	Fim de curso de des-travagem	Entrada	Deteta quando o travão destrava totalmente
J5 3	Acelerador	Saída	Controla a aceleração da tração ^a
J5 4	Tensão B+	Entrada	Deteta quando o controlador da tração está a ser alimentado
J5 5	Ativar tração	Saída	Controla o interruptor "Ativar tração" ^a
J5 6	Fim de curso de trav-agem	Entrada	Deteta quando o travão trava totalmente
J5 7	Destravagem	Saída	Destrava o travão ^b
J5 8	Fim de curso da dire-ção	Entrada	Deteta quando a direção ultrapassa o seu curso es-perado
J5 9	Marcha trás	Saída	Seleciona a marcha trás no veículo ^a
J5 10	Detetor de destrava-gem	Entrada	Deteta quando o utilizador está a destravar
J5 11	Marcha frente	Saída	Seleciona a marcha frente no veículo ^a
J5 12	Modo manual	Entrada	Deteta quando o modo manual de condução é se-lecionado
J5 13	Travagem	Saída	Trava o travão
J5 14	Condição de emergê-n-cia	Entrada	Deteta quando um dos gatilhos do mecanismo de segurança é acionado
J5 15	Travão de mão	Saída	Controla a imobilização do veículo ^a
AN3	Sensor de posição	Entrada	Mede o ângulo da direção.
A1	Sensor de velocidade	Entrada	Mede a velocidade do veículo

^a Quando em modo autónomo de condução.

^b Atualmente está desligado.

Tabela 3.1: Sinais de entrada e saída do microcontrolador.

O *firmware* é extremamente veloz e tem pouca pegada de memória, e consiste num programa sem sistema operativo, em que as tarefas são despoletadas a partir das interrupções geradas por sinais de entrada ou tem-

porizadores. As interrupções mais importantes para a extensão da funcionalidade são as geradas aquando da recepção de um comando pela porta série ou pela interface **I²C**. O comando recebido é depois enviado para a respetiva (consoante a interface) função despachadora, que foi expandida (a interface série apenas) para aceitar comandos adicionais. Outro recurso importante do *firmware* é o "relógio" do programa: um temporizador de 1 ms que escalona grande parte das tarefas periódicas, e onde foram instaladas duas tarefas adicionais: uma de refreshamento dos sinais de **PWM** para controlar a tração e outra de monitorização do estado geral do sistema.

O *watchdog* do microcontrolador foi ativado para esta aplicação com um período de 2 s, e permite ativar indiretamente o gatilho do mecanismo de segurança, através da sequência de comandos no arranque, que ordena a travagem assim que possível.

3.8.2 Monitorização do sistema e *lockdown*

A monitorização do sistema é uma das tarefas do cérebro da **T2D**. Esta tarefa é responsável por garantir a coerência entre o estado do *software* e do *hardware*, detetar e processar erros e avisos e executar ações pendentes. A tabela 3.2 lista as ações tomadas por esta tarefa em resposta a modificações exteriores no estado do *hardware* ou a erros detetados. Devido à natureza não concorrencial da arquitetura do programa, as tarefas que não possam ser executadas sequencialmente são escalonadas no tempo, e completadas durante a execução desta tarefa. Estas consistem na reversão da marcha, em que é necessário esperar que o veículo pare antes de voltar a acelerá-lo e na saída do estado de *lockdown*, após a destravagem do travão por parte do utilizador.

Origem	Ações tomadas	Motivo
Velocidade demasiado elevada	Vai para <i>lockdown</i>	Abrandar o veículo
Veículo imobilizado e em movimento ^a	Vai para <i>lockdown</i>	Estado incoerente
Condição de emergência ^b	Vai para <i>lockdown</i>	Coerência com o <i>hardware</i>
Travão a meio curso	Vai para <i>lockdown</i>	Garantir operação binária do travão
Fim de curso da direção ativado	Vai para <i>lockdown</i>	Coerência com o <i>hardware</i>
Tempo limite de destravagem expirado	Vai para <i>lockdown</i>	Precaução
Modo manual selecionado	Pára motores	Evitar arranques inesperados em modo autónomo

^a Esta condição só se aplica em modo autónomo de condução.

^b Um dos gatilhos do mecanismo de segurança foi acionado.

Tabela 3.2: Ações tomadas pela tarefa de monitorização em função dos parâmetros monitorizados.

No arranque do programa, quando este deteta um erro grave ou quando acontece uma paragem de emergência, o *software* do **ROVIM** entra em *lockdown*, um estado especial que oferece a maior segurança possível para o veículo. Em *lockdown* o travão está travado, os motores parados e todas as ações não necessárias à recuperação

do erro são proibidas pelo programa, e é requerida a ação do utilizador para consumar a recuperação.

3.8.3 Condução e utilização

Para a condução, foi configurado o controlo do motor da direção através da funcionalidade pré-fornecida de controlo em malha fechada, com recurso a um sensor analógico de posição como mecanismo de retroação, o potenciómetro detalhado em 3.6. O sinal do sensor é convertido pelo *Analogue to Digital Converter (ADC)* da placa num sinal digital de 8 bit de resolução e passado por um filtro digital, programado com uma frequência de corte de cerca de 25 Hz, e é expresso em *ticks* (a contagem de bit do conversor). Através do sensor, foi medido o curso da direção, de 0x13 ticks a 0xC8 ticks. A partir de (3.52) calcula-se a resolução do sensor:

$$Res = \frac{ticks}{\theta_{viragem}} \quad (3.116)$$

$$= \frac{0xC8 - 0x13}{88.84} \quad (3.117)$$

$$= 2.04 \text{ ticks/}^\circ \quad (3.118)$$

De forma a facilitar o uso da direção pelo utilizador, foi criada uma função de controlo em graus, que abstrai o utilizador da relação entre a leitura do sensor e o ângulo medido, bastando ao utilizador conhecer a forma de representação do ângulo da direção, ilustrada no esquema da figura 3.19. De modo a garantir que a direção não toca nos interruptores de fim de curso durante a operação normal, foi restringido por *software* o curso da direção em 2° de cada lado. A função é também responsável por alinhar a direção que, devido a um desvio entre o ponto intermédio do potenciómetro e o da direção, não é óbvio para o utilizador.

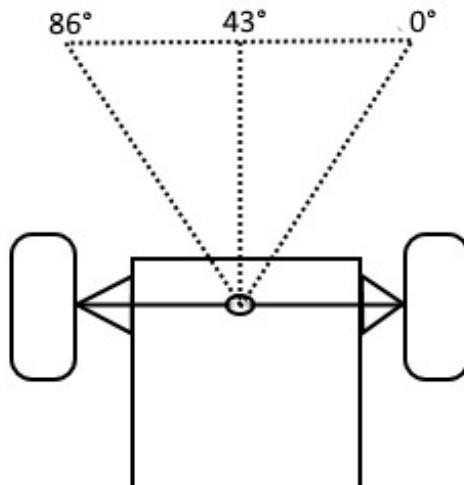


Figura 3.19: Forma de representação do ângulo da direção. Os 0° correspondem à viragem total a estibordo.

Para o motor da tração, a funcionalidade foi agrupada em dois tipos de comandos: seleção da marcha e aceleração/desaceleração. O primeiro comando configura o sentido da marcha de uma das seguintes formas:

Frente seleciona a marcha frente;

Trás seleciona a marcha trás;

Ponto morto não seleciona nenhum sentido de marcha nem limita a movimentação do veículo;

Imobilização ativa o equivalente a um travão de mão implementado pelo controlador da tração, em que o veículo permanece imóvel e resiste ao movimento.

Para além do sentido da marcha, o comando recebe também a velocidade desejada (para a marcha frente ou marcha trás). A partir destes valores configura a marcha do controlador e executa, se necessário, um dos comandos de aceleração/desaceleração. A velocidade é controlada em malha aberta, e limitada entre 0.5 km/h e 4.5 km/h, pois após o teste do sistema considerou-se que a velocidade do requisito R2 era demasiado elevada. Os comandos de aceleração e desaceleração controlam, respetivamente, o acelerador e a travagem regenerativa do controlador da tração, e são gerados pela tarefa de geração do **PWM**, e alisados à saída da placa do microcontrolador por um filtro passa baixo. Existe também um comando específico de paragem controlada dos motores, disponível para o da tração e da direção.

Para ler o sinal do sensor de velocidade, o *firmware* original foi alterado, pois só contemplava montagens de sensores analógicos ou digitais em quadratura. Originalmente os sinais em quadratura de um codificador são ligados a uma porta *XOR*, gerando um interrupção em cada transição. O sinal em quadratura foi substituído por uma ligação à massa, cortando em metade o número de interrupções geradas, pelo que a interrupção de contagem teve que ser calibrada. Devido à dificuldade em obter leituras exatas do sensor de velocidade a velocidades muito baixas (inerente à tecnologia usada), e de modo a garantir que o veículo se move suficientemente depressa para que a direção consiga mover as rodas, foi definida uma velocidade mínima para o veículo, de 0.5 km/h.

De forma a facilitar o processo de depuração foram criados um comando de acesso aos **GPIOs** e um de controlo de depuração em tempo real, e foi adicionada verbosidade à execução do programa, enviada através da porta série e controlada através de quatro níveis de importância que podem ser ligados e desligados pelo utilizador:

FATAL ERROR corresponde a uma mensagem de erro irrecuperável. Esta mensagem não pode ser bloqueada;

ERROR corresponde a uma mensagem de erro recuperável;

WARNING corresponde a uma mensagem de aviso;

STATUS corresponde a uma mensagem informativa sobre o estado do programa;

DEBUG corresponde a uma mensagem usada para depuração e desenvolvimento, e não é importante para o utilizador.

4

Utilização do ROVIM

Este capítulo descreve a interface e as funcionalidades da [T2D](#). O veículo é aqui apresentado em detalhe do ponto de vista da sua utilização, enquanto que o capítulo [3](#) se foca na sua concepção. Armado com este conhecimento, o leitor pode agora compreender a explicação das várias funcionalidades acessíveis ao utilizador.

Este capítulo pretende mostrar ao leitor o resultado final do protótipo. No seu final o leitor deve conseguir operar o veículo com confiança e em segurança.

4.1 Interface com o utilizador

A interface com o utilizador é composta por vários elementos, de dois tipos: físicos e de *software*.

Os elementos físicos correspondem aos vários [LEDs](#), interruptores, botões e outros controlos embarcados no veículo que requerem interação presencial com um utilizador humano. Estes elementos foram já descritos no capítulo [3](#), mas são aqui agrupados. É possível controlar o veículo recorrendo apenas a este tipo de interface, ainda que com funcionalidades limitadas.

A interface de *software* consiste num conjunto de comandos que permitem, em conjunto com os elementos físicos, interagir e controlar todas as funcionalidades do sistema. A interface de *software* é acessível por dois canais distintos, um dos quais pode também ser utilizado por outros programas de computador.

4.1.1 Interface física

A tabela [4.1](#) apresenta os interruptores, botões e outros mecanismos físicos de controlo do [ROVIM](#) acessíveis pelo utilizador.

A tabela [4.2](#) apresenta os indicadores visuais presentes no [ROVIM](#).

To do [\(48\)](#)

Id.	Fig.	Elemento	Tipo	Função	Estados
Int1	3.14	Chave	Interruptor de chave	Corte geral do sistema	Ligar Desligado
Int2	3.14	Tração	Seletor de 2 posições	Liga/desliga o controlador da tração	Lig. Desl.
Int3	3.14	M/A	Seletor de 2 posições	Seleciona condução manual ou autónoma	Manual Auto
Int4	3.14	F/N/T	Seletor de 3 posições	Seleciona a direção da marcha, quando em modo manual	Frente Neutro Trás
Int5	3.14	Ativar tração	Seletor de 2 posições	Sinaliza que o veículo está pronto a andar, quando em modo manual	Activar Bloq.
Btn1	3.14	Destrarvar	Botão de pressão	Ordena a destravagem do travão de emergência	Pressionado Solto
Btn2	3.14	Desbloquear direção	Botão de pressão	Permite mover a direção em <i>lockdown</i>	Pressionado Solto
Int6	3.14	Interruptor de emergência	Interruptor de emergência	Envia o ROVIM para <i>lockdown</i>	Pressionado Solto
	3.14	Dispositivo do homem morto	Dispositivo de homem morto	Envia o ROVIM para <i>lockdown</i>	Colocado Retirado
Pot1	3.14	Acelerador	Acelerador elétrico de punho	Controla a velocidade da tração, quando em modo manual	
	3.14	Travão de mão	<i>Manete</i> de travão	Trava as rodas da frente	
	3.10	Esticador da correia da direção	Rolo esticador de contacto	Permite desengatar a direção	Apertado Solto
	3.12	<i>Reset</i>	Botão de pressão	Reinicia o <i>software</i> do microcontrolador	Pressionado Solto
	3.12	BTN	Botão de pressão	Reinicia os parâmetros de origem do <i>software</i> , em conjunto com o botão <i>Reset</i>	Pressionado Solto
	3.12	ICD	Seletor de 2 posições	Configura o microcontrolador para arrancar a partir do <i>debugger</i>	ICD Oposto ICD
	3.12	PGM	Seletor de 2 posições	Configura o microcontrolador para ser programado por porta série	PGM Oposto PGM

Tabela 4.1: Elementos físicos de comando acessíveis pelo utilizador.

4.1.1.A Código de cores do estado do veículo

Os indicadores MTR1, MTR2, LED1, LED2 e LED3 estão programados para fornecerem uma indicação visual básica do estado do veículo. A tabela 4.3 apresenta os vários estados dos LEDs e o seu significado.

Id.	Fig.	Elemento	Cores	Indicação
D2	3.14	Indicador de destravagem	Verde	Indica que o travão está destravado, quando o botão de destravagem está pressionado
D3	3.14	Indicador de travagem	Vermelho	Indica que o travão não está destravado
D1	3.14	Erro na tração	Vermelho	Indica um erro no controlador da tração
		Erro na tração 2	Vermelho	Idêntico ao D1, mas encapsulado no controlador
		Luz de presença tração	Verde	Indica que o controlador da tração está ligado
		Luz de presença direção	Verde	Indica que o controlador da direção está ligado
	3.12	Luz de presença controlador	Verde	Indica que o microcontrolador está ligado
	3.12	PGM	Amarelo	Indica que o microcontrolador está em modo de programação
	3.12	ICD	Amarelo	Indica que o microcontrolador está em modo de depuração
	3.12	MTR1	Verde	Indica a direção e intensidade da alimentação do motor da tração
			Vermelho	
	3.12	MTR2	Verde	Indica a direção e intensidade da alimentação do motor da direção
			Vermelho	
	3.12	LED1	Verde	Indica o estado do motor da tração
	3.12	LED2	Verde	Indica o estado do motor da direção
	3.12	LED3	Verde	Indica a existência de erros no sistema
		Indicador de marcha	Vermelho	Indica que o veículo está em movimento

Tabela 4.2: Indicadores visuais (LEDs) do ROVIM.

LED	Estado	Significado
LED1 ^a	Ligado	Motor da tração ligado e sem erros
	Desligado	Motor da tração não está pronto a andar
MTR1 ^a	Desligado	Motor da tração não está a ser acelerado
	Verde	Motor da tração está a acelerar
MTR1 ^a	Vermelho	Motor da tração está a desacelerar
	Ligado	Motor da direção está estagnado
LED2 ^{ab}	Pisca rápido	Motor da direção controlado em velocidade
	Pisca lento	Motor da direção controlado em posição
MTR2 ^{ab}	Desligado	Motor da direção está desligado
	Verde	Motor está a mover a direção para bombordo
MTR2 ^{ab}	Vermelho	Motor está a mover a direção para estibordo
	Ligado	Bateria fraca
LED3	Pisca rápido	ROVIM em <i>lockdown</i>
	Desligado	Não há erros no sistema

^a A informação dada pelo LED só é válida em modo autónomo.

^b A intensidade do brilho do LED depende do ciclo de utilização do motor.

Tabela 4.3: Código visual de cores dos LEDs do μ C.

4.1.1.B Programador do controlador da tração

O controlador da tração possui um dispositivo de programação e diagnóstico removível. A sua utilização é descrita em [9].

Este dispositivo é apenas usado na fase de desenvolvimento e em funções avançadas de depuração e é referido para assegurar a integralidade da informação, mas não é usado durante a utilização normal do ROVIM.

4.1.2 Interface série

A interface série é uma de duas interfaces disponibilizadas pelo programa de controlo da T2D.

A interface série do ROVIM é uma extensão da interface *Terminal Emulator* (TE) do *firmware* dalf para servir os objetivos desta plataforma. A principal diferença de concepção entre as duas é que a extensão do ROVIM foi pensada para transmitir muito mais informação ao utilizador do que a versão original.

A interface original dalf foi, na medida do possível, inalterada. A sua documentação está disponível no manual do utilizador do dalf [21], secção 10, e será aqui apenas complementada para a extensão do ROVIM.

O software de controlo do ROVIM instalado no microcontrolador pode ser comandado através de duas interfaces: a interface série e a interface I²C.

A interface série é a interface preferencial para desenvolvimento e depuração do módulo e para condução do ROVIM por humanos. Ao contrário da interface I²C, permite comunicar assincronamente com o utilizador.

A interface série deve ser usada para controlar a T2D independentemente dos outros módulos do ROVIM. De

momento, apenas a interface série está disponível para controlar todas as funcionalidades do **ROVIM**.

A interface série é uma ligação RS232 em modo *American Standard Code for Information Interchange (ASCII)*, que pode ser usada com recurso a uma aplicação de emulador de terminal num *Personal Computer (PC)*. Os parâmetros estão formatados em formato hexadecimal.

4.1.2.A Configuração da ligação

A interface série do **ROVIM** aceita comandos em formato **ASCII** hexadecimal, e envia resultados e informações de estado no mesmo formato.

A interface é estabelecida através de uma ligação RS232 configurada para 57600 baud/s, 8 bit, sem paridade, e com 1 bit de paragem. O equipamento necessário para estabelecer esta ligação consiste num cabo RS232 (ou equivalente *Universal Serial Bus (USB)*), um computador com uma ligação para o cabo e uma aplicação de emulação do terminal.

4.1.2.B Sintaxe dos comandos **ROVIM T2D**

Cada comando original da interface **TE** do *firmware* dalf é invocado através de uma sequência de caracteres formatada, em que o primeiro *byte* é o identificador, que consiste numa letra do alfabeto, seguido depois pelos parâmetros do comando, em número variável. Nesta abordagem apenas estão disponíveis 26 comandos base, dos quais apenas 2 não são usados (G e H).

A interface do **ROVIM** usa o comando da letra G para extender a funcionalidade. Cada comando da extensão da interface é diferenciado dos comandos originais pelo prefixo G, seguido de um identificador numeral único. O comando da letra H é usado para mostrar uma mensagem de ajuda.

A tabela 4.4 apresenta resumidamente os comandos específicos da extensão da interface para o **ROVIM**, assim como os comandos da interface original dalf mais úteis para esta aplicação. Serve como listagem rápida dos comandos disponíveis.

Identificação dos motores

Alguns comandos da interface série atuam sobre motores, e exigem a identificação do motor sobre o qual atuar. Existem dois motores registados no *software*: o motor da tração e o motor da direção. O motor da tração é identificado pelo número 1, enquanto que o da direção é o número 2.

Alguns comandos permitem que não seja especificado o número do motor. Nesse caso atuam sobre ambos. Nestes casos esta opção é referida na sua especificação.

4.1.2.C Especificação dos comandos **ROVIM**

G10 – Ir para *Lockdown*

Sintaxe: "G10"

Este comando envia o **ROVIM** para o estado de *lockdown*. O estado de *lockdown* é descrito em 3.8.

Enquanto estiver em *lockdown*, o **ROVIM** só pode executar comandos de leitura e recuperação de erros. A tabela 4.5 lista os comandos que podem ser executados em *lockdown*.

Comando	Descrição	Sintaxe
G10	Ir para <i>lockdown</i>	G10
G11	Sair de <i>lockdown</i>	G11
G12	Parar motores, sem perder a sua configuração	G12 <mtr#>
G13	Controlar os GPIOs	G13 <opção><gpio#>
G14	Acelerar	G14 <%>
G15	Desacelerar	G15 <%>
G16	Definir marcha	G16 <dir><vel>
G17	Virar	G17 <ang>
G18	Controlo de depuração	G18 <op><val1><val2><val3>
H	Ajuda	H
O	Parar motores, perdendo a sua configuração	O <mtr#>
X	Comandar motor em velocidade (malha aberta)	X <mtr#> <dir><%>

Tabela 4.4: Resumo dos comandos úteis para o **ROVIM**.

Comando	Descrição	Motivo da permissão
G10	Ir para <i>lockdown</i>	Ações que aumentem a proteção do sistema estão sempre disponíveis
G11	Sair de <i>lockdown</i>	Consumar a recuperação
G12	Parar motores, sem perder a sua configuração	Ações que aumentem a proteção do sistema estão sempre disponíveis
G14	Acelerar	Uso pelos mecanismos internos do programa
G15	Desacelerar	Uso pelos mecanismos internos do programa
G16	Definir marcha	Uso pelos mecanismos internos do programa
G18	Controlo de depuração	Facilitar deteção de erros
H	Ajuda	Não interfere com o sistema
O	Para motores, perdendo a sua configuração	Ações que aumentem a proteção do sistema estão sempre disponíveis
X	Comandar motor em velocidade (malha aberta)	Recuperar de erros na direção

Tabela 4.5: Comandos permitidos em *lockdown*.

Se o utilizador tentar usar um comando que não esteja na lista de comandos permitidos, este é abortado e é mostrada uma mensagem de erro no terminal.

Para sair de *lockdown*, o utilizador deve seguir o procedimento descrito em [4.2.5](#).

Exemplo:

G10█ Entrar em modo de segurança

G11 – Sair de Lockdown

Sintaxe: "G11"

Este comando é usado para sair do estado de *lockdown*.

Ao invocar o comando o **ROVIM** verifica o estado do sistema, e se não existirem erros informa o utilizador para proceder à destravagem manualmente. Após detetar que o travão está destravado, finaliza o procedimento. O **ROVIM** fica então pronto a ser utilizado.

Exemplo:

G11█ Sai do modo de segurança

Límite de tempo para desbloquear o travão

O procedimento de saída de *lockdown* está equipado com um temporizador de segurança. Após indicar ao utilizador que já pode desbloquear o travão, este tem 20 segundos para o fazer. Caso contrário, o *software* reativa os procedimentos internos de segurança e não vai ser possível sair com sucesso do estado de *lockdown*.

Tempo de espera após a travagem

A travagem e destravagem do travão de emergência não é instantânea. Para assegurar a consistência dos seus estados, o programa espera 6 segundos após começar a travar até prosseguir com a sua execução. Se nesse período o utilizador contrariar esta acção, destravando o travão com recurso ao painel de controlo, vai criar uma inconsistência temporária entre o *software* e o *hardware*. O sistema recupera revertendo para o estado mais seguro, o de *lockdown*. Por isso o utilizador deve fazer este compasso de espera de cada vez que o **ROVIM** entra em *lockdown* até tentar destravá-lo.

No caso da travagem após a destravagem este problema não se coloca.

G12 – Parar motores

Sintaxe: "G12 D0"

D0 = Motor# (1=Tração, 2=Direção)

Se o argumento não for especificado, este comando pára ambos os motores.

Este comando serve para parar os motores de forma controlada e sem perder a sua configuração, ao contrário do comando O. Este é o comando preferencial de paragem dos motores.

Exemplo:

G12 01█	Pára o motor da tração
G12█	Pára ambos os motores

G13 – Controlar os GPIO

Sintaxe: "G13 D0 D1"

D0 = Opção (1=Set, 2=Reset, 3=Toggle, 4=Get)

D1 = GPIO#

Este comando permite aceder aos pinos programáveis de entrada e saída do microcontrolador. É usado principalmente pelas funções internas do *software* do ROVIM, mas está acessível aos utilizadores.

Não é necessário nem recomendado usar este comando durante a utilização normal do veículo.

Exemplo:

G13 01 0D█	Trava o travão de emergência	1
G13 01 0E█	Erro - não é possível definir valor de pinos de entrada	1
G13 02 09█	Liga a marcha trás em modo autónomo	1
G13 03 0F█	Altera a ativação do travão de mão	1
G13 04 0E█	Retorna 1 se o interruptor de emergência estiver pressionado, ou 0, se estiver solto	1
G13 04 09█	Retorna 0 se a marcha atrás estiver ligada em modo autónomo, 1 em caso contrário	1

G14 – Acelerar

Sintaxe: "G14 D0"

D0 = % do acelerador (0-100)

Este comando controla o acelerador do motor da tração do ROVIM, em modo autónomo de condução, de modo semelhante ao acelerador de punho. É usado internamente pelo *software* do ROVIM.

Outros parâmetros necessários para movimentar o veículo são controlados pelo comando G16 pelo que este comando deve ser usado apenas após definir o tipo de marcha. Em condições normais de condução este comando não é necessário, mas pode ser usado sem restrições.

Exemplo:

G14 0█	Coloca o acelerador a 0 %
G14 32█	Coloca o acelerador a 50 %

G15 – Desacelerar

Sintaxe: "G15 D0"

D0 = % do desacelerador (0-100)

Este comando controla a recuperação de energia do motor da tração do ROVIM, que funciona como mecanismo de travagem controlada em modo autónomo de condução. É usado internamente pelo *software* do ROVIM.

Este comando é usado para diminuir a velocidade do veículo em condições normais de condução. Para manter o veículo imóvel ou travagens de emergência devem ser usados os comandos apropriados, respetivamente G10 e G16.

Exemplo:

G15 0■	Desativa o desacelerador
G15 64■	Liga o desacelerador ao máximo

G16 – Definir marcha

Sintaxe: "G16 D0 D1"

D0 = Direção (0=Marcha frente, 1=Marcha trás, 2=Ponto morto, 3=Imobilização)

D1 = velocidade (5-45)

Este comando define o tipo e a intensidade do movimento da tração. Existem quatro tipos de movimento: imobilização, em que o veículo pára e se mantém parado; ponto morto, em que o motor não atua no seu movimento e este pode rolar livremente; e marcha frente e marcha trás, em que o motor move o veículo na direção selecionada.

Se nenhum argumento for especificado, o veículo imobiliza-se.

O ponto morto pode ser selecionado especificando apenas o tipo de movimento. Para a marcha trás e marcha frente é necessário especificar também a velocidade desejada.

A velocidade é especificada em décimas de km/h, e não pode ser superior a 4.5 Km/h (45 Km/h/10), nem inferior a 0.5 Km/h (5 Km/h/10). O seu controlo é feito em malha aberta, pelo que, consoante as condições do terreno e de carga, pode apresentar um erro considerável. Nesse caso os comandos de aceleração (G14) e desaceleração (G15) podem ser usados para fazer ajustes.

Caso se selecione um tipo de movimento contrário ao atual, o veículo pára a marcha antes de a inverter.

Exemplo:

G16 0 20■	Coloca o veículo a andar para a frente a cerca de 3.2 Km/h
G14 40■	Ajusta o acelerador para 64 %
G16 1 4■	Erro - não é permitida uma velocidade tão baixa
G16 1 10■	Inverte a marcha a 1 Km/h
G16 2■	Coloca o veículo em ponto morto
G16 3 0■	Pára e imobiliza o veículo
G16■	Pára e imobiliza o veículo

G17 – Virar

Sintaxe: "G17 D0"

D0 = Ângulo (0-86)

Este comando permite virar a direção em modo autónomo. Se nenhum argumento for especificado, o motor é desativado e a direção mantém-se na sua posição atual.

O ângulo de viragem é definido em [3.8](#), e varia entre 0° (todo a estibordo) e 86° (todo a bombordo), sendo 43° o ponto central, em que a direção está alinhada (a moto segue em frente).

Devido à fragilidade do acoplamento mecânico (a correia salta se o binário for muito elevado), o **ROVIM** só aceita comandos de viragem se o veículo estiver em movimento.

Exemplo:

G16 0 A█	Coloca o veículo a andar a cerca de 1 Km/h
G17 2B█	Alinha a direção
G17 56█	Vira tudo a bombordo
G16█	Pára o veículo
G17█	Pára o motor da direção
G17 2B█	Erro - o ROVIM não está em movimento

G18 – Controlo de depuração

Sintaxe: "G18 D0 D1 D2 D3"

D0 = Opção (1-9)

D1 = Param#1

D2 = Param#2

D3 = Param#3

Este comando é usado para manipulação, depuração e monitorização do estado do sistema em tempo real.

Foi desenhado para ajudar ao desenvolvimento do *software*, mas pode também ser usado para tentar resolver problemas que ocorram durante a utilização do **ROVIM**. As funcionalidades deste comando não são necessárias em condições normais de utilização do **ROVIM**.

O número de argumentos varia consoante o comando a usar. A seguir são apresentadas as várias funcionalidades deste comando.

1=Imprimir nível de verbosidade

Apresenta o nível de verbosidade no ecrã. A secção [3.8](#) descreve em maior detalhe os níveis de verbosidade disponíveis.

2=Definir nível de verbosidade

Define o novo nível de verbosidade. O nível de verbosidade a definir é passado no argumento **D1**. A secção [3.8](#) descreve em maior detalhe os níveis de verbosidade disponíveis.

3=Controlar execução da tarefa de monitorização do sistema

Altera o modo de repetição da tarefa de monitorização do sistema entre automático (situação por defeito) e manual (iniciada pelo utilizador). Esta funcionalidade é útil para depurar o programa.

4=Correr a tarefa de monitorização

Inicia uma repetição da tarefa de monitorização do sistema, se possível (se estiver configurada para correr em modo manual). Esta funcionalidade é útil para depurar o programa.

5=Ligar a depuração da tarefa de geração de PWM

Liga o modo de depuração da tarefa de geração do sinal de **PWM** dos sinais de acelerador e desacelerador de modo autónomo.

O argumento **D1** é obrigatório, e define o número de períodos em que a depuração está ativada. Os argumentos **D2** e **D3** definem o sinal de **PWM** a gerar e são facultativos. Se este comando for usado para gerar um sinal, este continuará ativo após terminar a depuração.

6=Controlar o watchdog

Consoante o argumento **D1**, reinicia o contador do *watchdog*, ou o sistema completo.

7=Bloquear/Desbloquear comandos interditados em lockdown

Altera a limitação à execução dos comandos interditados em *lockdown*. Esta interdição pode também ser manipulada durante o funcionamento normal.

8=Calibrar a conversão da velocidade

Esta funcionalidade não está disponível de momento.

9=Mostrar de novo mensagens de erro

O *software* mostra uma mensagem para cada erro, quando é detetado. A mensagem de erro é mostrada apenas uma vez até este ser resolvido. Esta funcionalidade reinicia o limitador interno do programa para que seja mostrada de novo. É útil para ajudar a determinar as causas de um erro.

Exemplo:

G18 01█	Mostra o nível de verbosidade
G18 02 0F█	Repõe o nível de verbosidade predefinido
G18 03█	Altera o modo de repetição da tarefa de monitorização do sistema
G18 04█	Corre a tarefa de monitorização
G18 05 05 01 14█	Estabelece o acelerador a 20 % e arranca a depuração da tarefa de geração de PWM durante 5 períodos do sinal
G18 06 01█	Reinicia o sistema
G18 07█	Altera a limitação à execução dos comandos interditados em <i>lockdown</i>
G18 09█	Mostra informação sobre os erros atuais

H – Ajuda

Sintaxe: "H"

O comando de ajuda apresenta a seguinte mensagem:

Dalf ROVIM T2D Help.

Usage: H

Available help topics:

C	Read ADC.
E	Show encoder count.
G [cmd code] [args...]	Custom Commands. See below.
H	Show this message.
I	Reset software.
U	Show motor status.
V	Show motors velocity.
X2 [dir] [duty cycle]	Move direction motor in open loop.

[dir] can be: '0' - move to port, or '1' - move to starboard.

Custom commands:

G10	Go to lockdown.
G11	Release from lockdown, if the system is good to go.
G12 [mtr]	Stop motor [mtr]. If [mtr] is omitted, both motors are stopped.
G14 [PWM]	Set the decelerator (braking energy recovery) to [PWM]%%.
G15 [PWM]	Set the accelerator to [PWM]%%.
G16 [type] [speed]	Set the vehicle to move in direction [type] at speed [speed].

Possible directions are:

0 - Forward;
1 - Reverse;
2 - Neutral (coast);
3 - Hill hold (maintain position).

Speed is expressed in tenths of Km/h (km/10/h) and varies between 0 and 45.

G17 angle turn direction to [angle].

Do not forget that all inputs through this interface are in hexadecimal and all outputs of the sta

Example usage:

X2 00 30 - Moves the direction to port at 48% of full power

G16 00 20 - Moves the vehicle forward at ~3.2 Km/h

G17 1B - Turn the vehicle 16° to starboard.

GPIO pin count on Dalf board J5 and J6 expanders:

(male socket seen from above)

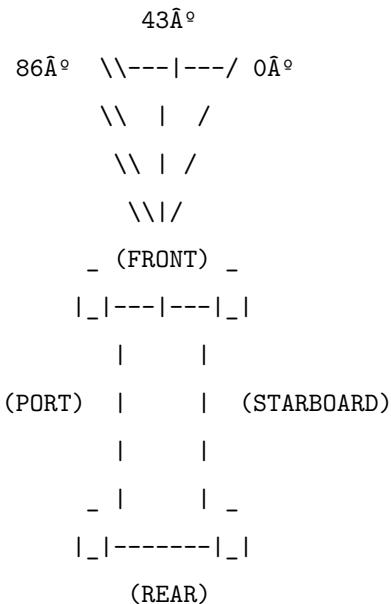
|1 3 5 15|

|2 4 6 16|

GPIOs are:

1, decelerator
2, brake unclamp switch
3, accelerator
4, traction voltage sensor
5, activate traction
6, brake clamp switch
7, brake unclamper
8, direction error switch
9, engage reverse
10, brake unclamp command
11, engage forward
12, auto mode switch
13, brake clamper
14, emergency stop condition
15, engage handbrake

Direction angle representation (motorcycle seen from above):



The direction angle (the argument for command G17) starts at full starboard - 0° and goes until full

Motor 1 is the traction motor and motor 2 is the direction motor. However, motor 1 must be controlled

Dalf board led blinking information:

LED1 ON - traction motor is either moving or ready to move through auto mode.

LED1 OFF - traction motor is not ready to move with auto mode.

LED2 ON or blinking - direction motor is either moving or being powered.

LED2 OFF - direction motor is not being powered.

LED3 OFF - No errors.
LED3 blinking - ROVIM is in lockdown mode.
MTR1 ON green - traction motor is being accelerated on auto mode.
MTR1 ON red - traction motor is being decelerated on auto mode.
MTR2 ON green - direction is moving to port.
MTR2 ON red - direction is moving to starboard.
MTR1 and MTR2 intensity depends on the PWM duty cycle.
For further reference please consult the users manual.

4.1.3 Interface I²C

A interface I²C é uma interface binária implementada em cima do protocolo I²C e destina-se a comunicar com um dispositivo externo.

O dalf está configurado como escravo. O protocolo de comunicação é definido em [22].

Esta interface não suporta troca assíncrona de informação. Para além disso, o formato binário do protocolo de comunicação dificulta a interpretação da informação por humanos, ao contrário da interface série. Assim, é especialmente útil para interagir com o módulo Sensores e Navegação (SeN), e é esta a sua principal utilidade.

A interface I²C é funcionalmente idêntica à interface série, que está documentada em 4.1.2.

A interface I²C não está ainda preparada para operar o ROVIM.

4.2 funcionalidades

To do (49)

4.2.1 Chave dos fluxogramas

Os símbolos dos fluxogramas deste capítulo são apresentados na figura 4.1, e são os seguintes:

Processo Retângulo que representa uma ação do utilizador;

Entrada/saída Paralelograma que representa uma tarefa executada pelo ROVIM que o utilizador pode ouvir ou observar;

Decisão Losango que representa um pedido ao utilizador, para validar um teste ou escolher entre várias opções;

Início/fim Retângulo de cantos arredondados que indica o inicio e o fim do processo representado pelo fluxograma;

Sentido de execução Seta, de um símbolo de um fluxograma para outro, que representa a transferência de controlo, e a sequência da leitura.

O nome de cada símbolo indica a sua ação no fluxograma.

4.2.2 Ligar

O fluxograma da figura 4.2 apresenta o procedimento a seguir para ligar o ROVIM.



Figura 4.1: Chave dos fluxogramas deste capítulo.

4.2.2.A Verificações de segurança

Antes de ligar o **ROVIM**, o utilizador deve passar em revista o estado do veículo, para se assegurar que os sistemas se encontram operacionais e assim evitar acidentes. Os pontos a ter em atenção são:

1. O sistema de travagem. Por ser o subsistema fundamental para a segurança do veículo, é importante verificar que está tudo bem, nomeadamente que os componentes estão apertados;
2. Garantir que os pneus estão cheios;
3. Garantir que a correia da direção se encontra bem apertada, caso se pretenda condução autónoma;
4. Garantir que não os componentes não estão molhados;
5. As baterias. Garantir que não estão deslocadas, e que as suas ligações estão desimpedidas.

Em condições normais estas verificações serão sempre passadas com sucesso, mas é importante estar ciente delas, especialmente após longos períodos de inatividade ou após utilização do veículo por outras pessoas.

4.2.2.B Configuração inicial dos seletores

A fim de assegurar que o arranque se processa sem erros, o utilizador deve garantir que o interruptor de emergência e os seletores do painel de controlo do **ROVIM** se encontram no seguinte estado:

Tração Desl.;

M/A Manual;

F/N/T Neutro;

Ativar tração Bloq.;

Interruptor de emergência Solto.

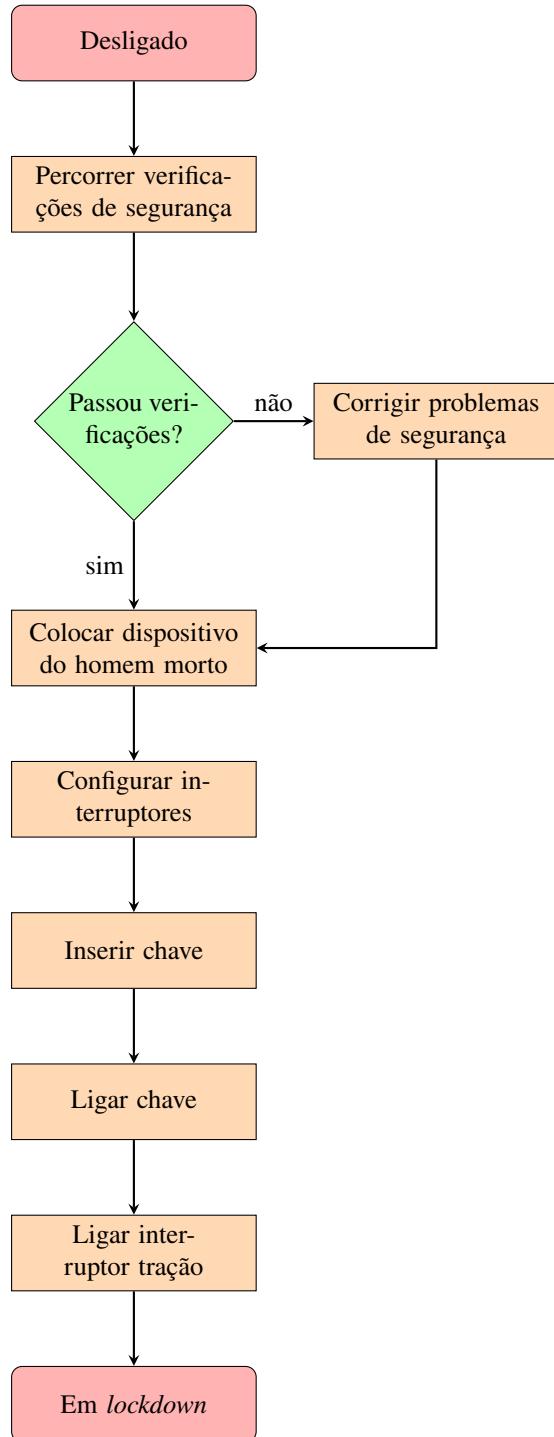


Figura 4.2: Fluxograma do processo de ligar.

4.2.3 Desligar

O fluxograma da figura 4.3 apresenta o procedimento para desligar o ROVIM.

4.2.4 Travagem de emergência/Ir para *lockdown*

O ROVIM está preparado para entrar automaticamente em *lockdown* quando detetar um erro grave. Mas o utilizador pode também enviá-lo deliberadamente, das seguintes formas:

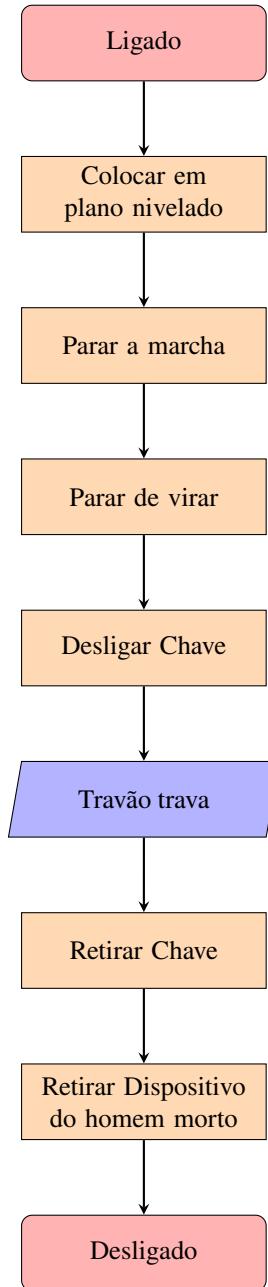


Figura 4.3: Fluxograma do processo de desligar.

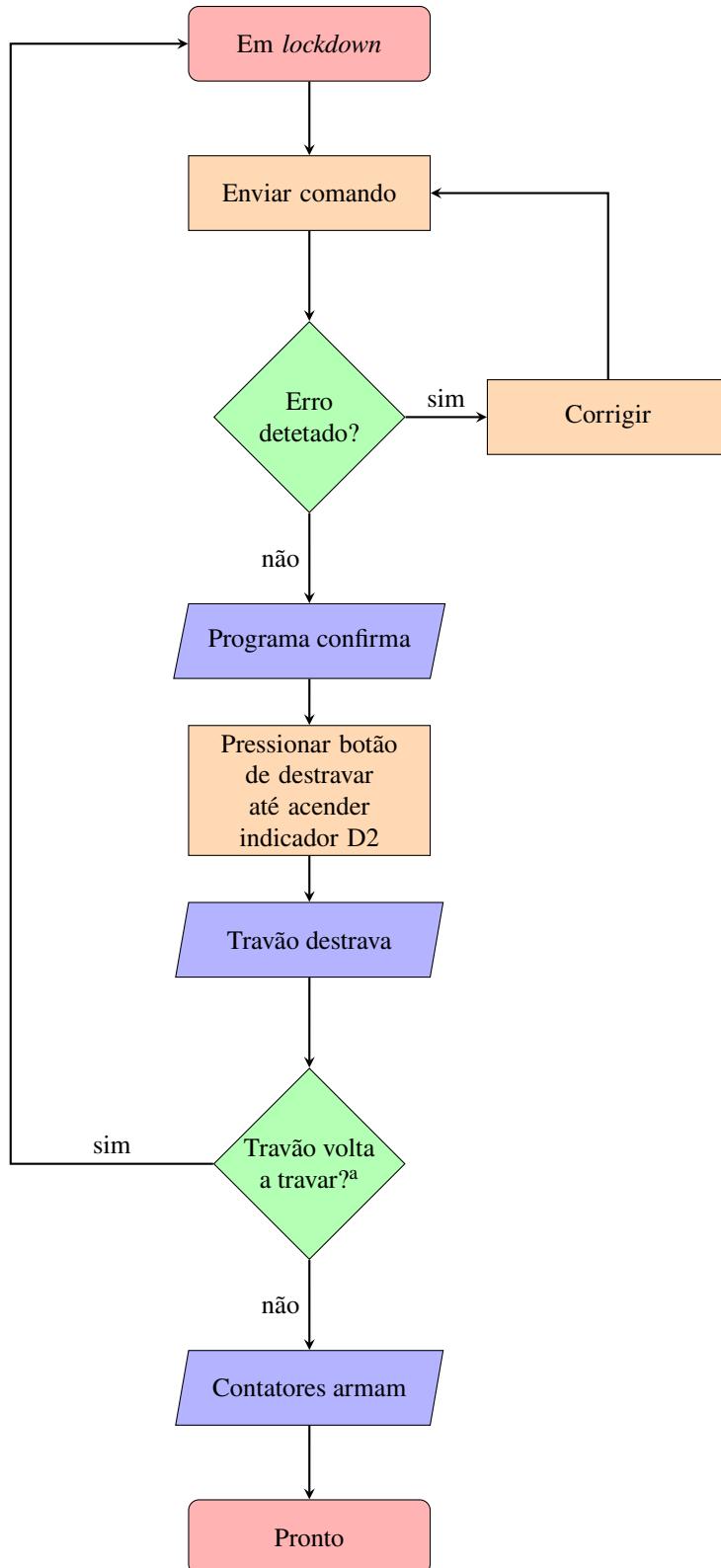
- Ativando o interruptor de emergência;
- Retirando o dispositivo do homem morto;
- Enviando um comando pela porta série (G10).

O estado de *lockdown* é descrito com mais detalhe em [3.8](#).

4.2.5 Sair de *lockdown*

O ROVIM arranca e termina sempre no estado de *lockdown* apesar de não ter ocorrido nenhum erro, por razões de segurança.

O fluxograma da figura 4.4 apresenta o procedimento para sair deste modo.



^aO travão volta a travar após soltar o botão de destravagem se tiver passado o limite de 20s para a destravagem, ou se ocorrer outro erro durante a destravagem

Figura 4.4: Fluxograma do processo de sair do estado de *lockdown*.

Nas situações em que aconteça um erro e o programa entre neste modo de segurança, é necessário primeira-

mente recuperar do erro. Só quando não o programa não detetar erros é que sai com sucesso deste estado.

4.2.6 Alternar modos de condução

Para poder comutar entre modos de condução é necessário que a moto esteja ligada e pronta. O fluxograma da figura 4.5 apresenta o procedimento para comutar entre modo manual e autónomo. O fluxograma da figura 4.6 apresenta o procedimento para comutar entre modo autónomo e manual.

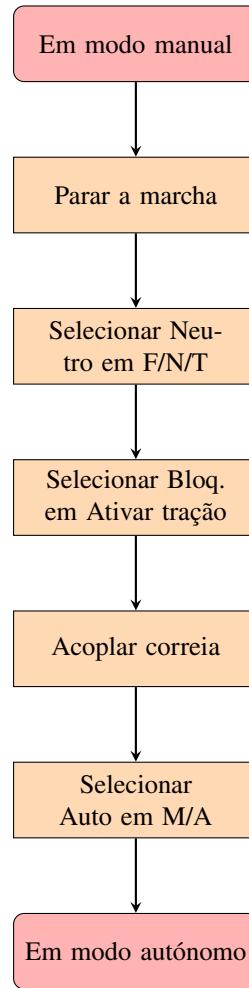


Figura 4.5: Fluxograma do processo de comutação para modo autónomo de condução.

Alternar o modo de condução implica alterar o modo de controlo do motor da tração e o modo de acionamento da direção.

O modo de controlo da tração pode ser escolhido através de um seletor no painel de controlo. Já para alterar o modo de acionamento da direção é preciso acoplar ou desacoplar a correia do sistema, consoante se queira, respetivamente, transitar do modo manual para o autónomo ou vice-versa.

Na figura 3.10 estão identificados os componentes do atuador da direção. Para desacoplar a correia é necessário desacoplar o seu esticador, com recurso a duas chaves de bocas. Depois disso a correia fica larga e cai livremente, deixando de haver transmissão de binário entre o redutor e a coluna da direção. Acoplar a correia consiste no processo inverso: colocar a correia no sitio e aconchegar o esticar, e depois apertar bem.



Figura 4.6: Fluxograma do processo de comutação para modo manual de condução.

É importante que a correia esteja o mais esticada possível e que o esticador esteja bem apertado. A correia é o ponto mais frágil do acoplamento e, quanto mais solta estiver, mais salta e impede a transmissão de binário.

4.2.6.A Arranque em modo manual

Para evitar erros no *software* é necessário ligar a moto sempre como o seletor M/A em modo Manual. Tal não implica que se mude o modo de condução e que se desacople a correia da direção – trata-se apenas de uma limitação do sistema. Portanto, para prosseguir no modo de condução autónomo após reiniciar o veículo, basta omitir o passo de acoplar a correia ao procedimento da figura 4.5.

4.2.7 Selecionar marcha

Só após selecionar a marcha do veículo é possível controlar o motor da tração para gerar movimento. Existem dois tipos de marcha: marcha frente e marcha trás.

O seletor F/N/T seleciona, quando em modo manual, nas posições Frente e Trás as marchas para a frente e para trás, respetivamente. Depois de selecionada a marcha, a velocidade do veículo é controlada com recurso ao acelerador.

Em modo autónomo o comando G16 permite selecionar o tipo de marcha e a velocidade desejada, permitindo efetivamente mover o veículo. Não é possível selecionar a marcha sem colocar o veículo em movimento em modo autónomo.

4.2.8 Acelerar

O acelerador funciona de modo diferente para os dois modos de condução. Em modo manual é um tradicional acelerador analógico de punho. Em modo autónomo este é controlado pelo comando G14.

O controlo do acelerador só tem efeito após selecionar a marcha, como explicado em [4.2.7](#).

4.2.9 Desacelerar

Desacelerar o **ROVIM** consiste em reduzir deliberadamente a sua velocidade, sem recorrer ao travão elétrico. A forma de o fazer apresenta bastantes diferenças entre os dois modos de condução.

Em modo de condução manual é o travão das rodas da frente, controlado pela *manete* no guiador, que cumpre essa função.

Em modo de condução autónomo é acionada a travagem regenerativa do controlador da tração, controlada pelo comando G15.

4.2.10 Virar

Em modo de condução manual a direção é controlada no guiador, como em qualquer moto-quatro. Em modo autónomo o ângulo de viragem é especificado através do comando G17. Devido às limitações do atuador, o veículo tem que estar em movimento para se poder virar em modo autónomo. Ao alternar entre modos de condução é necessário ajustar a correia, como indicado em [4.2.6](#).

4.2.11 Colocar em ponto morto

Em ponto morto, o veículo move-se livremente, sem a interferência do motor. Em modo manual, o modo Neutro do seletor F/N/T corresponde à funcionalidade do ponto morto. Em modo autónomo, esta é ativada com recurso ao comando G16.

4.2.12 Imobilizar

É possível imobilizar o veículo sem atuar o travão de emergência e entrar em *lockdown*. O veículo não está efetivamente travado – apenas é ligada a travagem regenerativa, que resiste ao movimento. Esta capacidade é suficiente para manter o veículo imóvel em terrenos ligeiramente inclinados. Caso esta funcionalidade seja ativada com o veículo em movimento, este será desacelerado com recurso à travagem regenerativa até parar, mantendo-se depois imóvel.

Em modo manual esta funcionalidade é ativada em ponto morto, ao bloquear a tração com recurso ao seletor Ativar tração.

Em modo autónomo, o comando G16 permite selecionar esta funcionalidade.

4.3 Exemplo típico de utilização

Uma situação típica de utilização da T2D consiste em três fases principais: arrancar, conduzir e desligar.

O arranque consiste em ligar a moto (ver 4.2.2), sair de *lockdown* (ver 4.2.5), selecionar o modo de condução (ver 4.2.6) e selecionar a marcha (ver 4.2.7). O ROVIM está então pronto a ser conduzido.

A condução consiste em acelerar (ver 4.2.8), desacelerar (ver 4.2.8), virar (ver 4.2.8) e alterar a tipo de movimento (ver 4.2.7, 4.2.11, 4.2.12). Estas operações permitem ao utilizador seguir uma determinada trajetória, por si definida.

Ocasionalmente, o sistema pode detetar um erro e entrar em *lockdown*. Nesse caso é necessário identificá-lo e resolvê-lo (ver 4.4). Só depois é possível sair de *lockdown* e retomar a condução normal.

Quando terminar o turno de condução, é necessário desligar o ROVIM (ver 4.2.3) e acondicioná-lo num local seguro até à próxima utilização.

4.4 Resolução de problemas

O utilizador está sujeito a gerar erros durante a utilização do ROVIM. Quando acontecem, é necessário detetá-los e corrigi-los. As maneiras de detetar erros no ROVIM, por ordem de utilidade, são:

- Inspeção ao *hardware*. A inspeção visual permite detetar muitas situações de erro. Casos como botões ou seletores de controlo mal configurados, indicações visuais dos LEDs, interruptores de fim de curso ativados são comuns e podem ser detetados através da inspeção visual;
- Mensagens de erro do *software*. O *software* imprime uma mensagem quando deteta um erro. Esta mensagem contém informação útil para a sua correção;
- Códigos de erro do controlador da tração. O controlador da tração tem a capacidade de detetar erros. Em caso de erro, este faz piscar os LEDs de erro na tração com um padrão que varia consoante o seu código. Os códigos dos erros do controlador, e as suas causas e soluções podem ser consultadas no manual técnico, [9];
- Controlo de depuração da interface série. As funcionalidades do comando G18 da interface série permitem ajudar a identificar erros desconhecidos. Em condições normais de condução não é necessário recorrer a este comando;
- Programador do controlador da tração. O programador do controlador permite obter informação adicional de estado e diagnóstico relacionada com o controlador da tração. Em condições normais de condução não é necessário recorrer a este comando;
- Consulta dos autores do projeto. Se todas as restantes técnicas falharem, os autores do projeto podem ajudar a identificar e resolver erros.

4.4.1 Problemas conhecidos

Os problemas conhecidos da T2D são:

1. A velocidades baixas (menos de 1 Km/h) o sensor de velocidade não tem exatidão;
2. É possível o motor da direção continuar ligado após a paragem do veículo.

5

Conclusão

Objetivo Resumo da tese para quem a leu.

- Topicos de escrita**
- especificações da plataforma
 - Limitações da plataforma
 - Comparar as especificações com os objetivos iniciais

Notas a escrever O objetivo principal, de produzir um protótipo funcional foi atingido, ainda que com algumas limitações, aceitáveis para esta fase do processo de prototipagem e produção.

Limitações de ordem logística e de equipamento (ferramenta disponível, experiência, material disponível para compra) tiveram impacto considerável no desenvolvimento do projeto. Conclui-se daqui que num projeto prático deste tipo as considerações tecnológicas representam apenas parte dos constrangimentos. Para as baterias não sei como evitar que se mexam.

Para a zona morta, soldar a coluna da direção em vez de parafusar.

Para o salto da correia, usar uma corrente (talvez de bicicleta), com alguma folga, e uma "chave" do estilo da usada para prender a engrenagem ao veio do motor, facilmente removível, para resolver o problema do salto.

O hardware parece bastante precário, especialmente ao nível das placas elétronicas, mas também das baterias, mas pode ser usado com confiança por utilizadores conhecedores da plataforma. Para isso foi produzido um manual do utilizador. [To do \(50\)](#)

5.1 Trabalhos futuros

Refinação do protótipo. Dois caminhos de melhoramento: refinação do hardware atual, e construção de um novo protótipo com as lições aprendidas.

Refinação do hw atual:

passo seguinte, por este veículo ainda ter um potencial de refinamento muito grande.

Testes: desenhar um programa de testes de aceitação comprehensivo, que premita aumentar o grau de confiança no veículo e caracterizar melhor as propriedades do veículo. Usar estes testes para identificar áreas de melhoria na construção de um novo veículo.

Integrar os módulos superiores. Novo protótipo:

corrigir erros.

Integrar requisitos de elevada fiabilidade, autonomia, custo baixo, e reproduzibilidade (standardização de peças, definição de medidas).

Poupar dinheiro, redimensionando componentes (motores, controlador de tração). Ponderar o estado de novas tecnologias de baterias para aumentar a capacidade.

Parâmetro	Valor	Unidades	Observações
Peso	To do (51)	Kg	Tara
Capacidade das baterias	4.05	KWh	Baterias novas
Tensão de fim de vida das baterias	71.6	V	Não aceitam mais carga
Tensão de descarga das baterias	72	V	
Raio rodas traseiras	0.28	m	Pneus no ar, com rastro novo
Relação redução tração	19.0(63)		
Velocidade máxima teórica	32.252	Km/h	
Velocidade máxima	4.5	Km/h	Limitada por <i>software</i>
Velocidade mínima	0.5	Km/h	Limitada por <i>software</i>
Brecagem máxima teórica	90	°	
Brecagem	86	°	Limitada por <i>software</i>
Limite de tempo para destravagem	20	s	
Tempo de espera após a travagem	6	s	
Identificador do motor de tração	1		
Identificador do motor de direção	2		
Código de marcha frente	0		
Código de marcha trás	1		
Código de ponto morto	2		
Código de imobilização	3		
Taxa de símbolos da ligação série	57.6	kbaud/s	

Tabela 5.1: Parâmetros do ROVIM

Bibliografia

- [1] C. C. Chan, “The state of the art of electric and hybrid vehicles [prolog],” *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 2, pp. 245–246, Feb 2002.
- [2] “Introduction to gears,” guia, KOHARA GEAR INDUSTRY CO., LTD., 2006.
- [3] J. de Santiago, H. Bernhoff, B. Ekergård, S. Eriksson, S. Ferhatovic, R. Waters, and M. Leijon, “Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 475–484, Feb 2012.
- [4] S. M. A. Sharkh and M. T. N. Mohammad, “Axial field permanent magnet dc motor with powder iron armature,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 3, pp. 608–613, Sept 2007.
- [5] N. Hashemnia and B. Asaei, “Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles,” in *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on*, Sept 2008, pp. 1–5.
- [6] (2016) Saitetta Group. [Online]. Available: <http://www.saiettaengineering.com/motors/>
- [7] K. Yiu, “Battery technologies for electric vehicles and other green industrial projects,” in *Power Electronics Systems and Applications (PESA), 2011 4th International Conference on*, June 2011, pp. 1–2.
- [8] T. D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, 1992.
- [9] *Sigmadrive PM Traction Technical Manual*, PG Drives Technology, 2008.
- [10] *Agni Motor Thermistor Information*, nota técnica, EV Power.
- [11] *KTY81 series*, manual técnico, NXP B.V., 2008.
- [12] *RS DC Servomotors*, manual técnico, PARVEX SAS, 2003.
- [13] *General Purpose Relays*, manual técnico, Tyco Electronics Corporation, 2011.
- [14] *2N2219; 2N2219A NPN switching transistors*, manual técnico, Philips Electronics N.V., 1997.
- [15] *BC546/547/548/549/550*, manual técnico, Fairchild Semiconductor Corporation, 2002.
- [16] *Worm gearboxes*, manual técnico, S.T.M., S.p.a.
- [17] “Catálogo de polias,” Eurocorreias, Lda., 2012.
- [18] *Model 533, 534, 535*, manual técnico, Vishay Intertechnology, Inc., 2012.

- [19] *NE555 SA555 - SE555*, manual técnico, STMicroelectronics, 2008.
- [20] *16-Bit I/O Expander with Serial Interface*, manual técnico - modelos MCP23017/MCP23S17, Microchip-Technology Inc., Feb. 2007.
- [21] *DALF-I; Rev F Motor Control Board*, Owner's Manual, Embedded Electronics, LLC., Aug. 2008.
- [22] *DALF-I; Rev F Motor Control Board*, I2C2 Interface, Embedded Electronics, LLC., Jun. 2007.
- [23] B. Shamah, M. D. Wagner , S. Moorehead, J. Teza, D. Wettergreen, and W. R. L. Whittaker, "Steering and control of a passively articulated robot," in *SPIE, Sensor Fusion and Decentralized Control in Robotic Systems IV*, vol. 4571, October 2001.
- [24] "Modelação e simulação," 2008.
- [25] "Controlo," 2007.
- [26] K. Rajashekara, "History of electric vehicles in general motors," in *Industry Applications Society Annual Meeting, 1993., Conference Record of the 1993 IEEE*, Oct 1993, pp. 447–454 vol.1.
- [27] *Saietta Motors Workshop Manual*, Saietta Group, 2015. [Online]. Available: http://www.saiettaengineering.com/se_website/wp-content/uploads/2015/11/Saietta-Motors-Workshop-Manual_Nov-2015.pdf
- [28] S. Lloyd, M. McFadden, D. Jennings, and R. L. D. C. Baron, *OSMC project documentation v4.25*, documentação técnica, 2002.
- [29] D. Moeller, *Simplified OSMC motor control*, esquema elétrico, Nov. 2001.
- [30] (2016) Lynch Motor Company Ltd. [Online]. Available: http://lynchmotors.co.uk/technical-reports/vehicles/electric-vehicle_drive.html
- [31] *PIC18F8722 Family Data Sheet*, MicrochipTechnology Inc., 2004.
- [32] "Genesis NP range overview," brochura, EnerSys Inc., Feb. 2005.
- [33] *Genesis NP55-12/NP55-12FR*, manual técnico, EnerSys Inc., May 2003.
- [34] "Standard metric keys and keyways for metric bores with one key • couplings," tabelas com as dimensões da norma ISO/R773, The Falk Corporation, Jul. 1996.
- [35] Catálogo de engrenagens, Eurocorreias, Lda., 2012.
- [36] "Bearings specification tables," catálogo, JTEKT Corporation, 2009.
- To do (52)

A

Apêndice A - código do programa

O código fonte usado na programação da placa de controlo da T2D é demasiado extenso para ser aqui listado, pelo que é fornecido num ficheiro complementar a esta dissertação. Uma cópia exata destes ficheiros, assim como outros ficheiros usados no projeto está acessível em: <https://github.com/ROVIM-T2D/ROVIM-T2D-Brain/tree/v1.0>.

Os ficheiros `main.c` e `dalf.h` são alterações aos ficheiros originais fornecidos com a placa Dalf para esta aplicação, e são licenciados pela *Embedded Electronics, LLC*.

A biblioteca `dalf.lib` é também necessária para gerar o programa, mas não é listada aqui por não ter sido alterada da versão original, por estar em formato binário, e por regras de licenciamento restritas. A licença destes ficheiros pode ser consultada no site do fornecedor, em: <http://www.embeddedelectronics.net/documents/Ver160/EULA.pdf>.

Os ficheiros listados no ficheiro são:

- `main.c`
- `dalf_ext.c`
- `dalf.h`
- `config.h`
- `p18f6722.h`
- `rovim_t2d.c`
- `rovim_t2d.h`
- `rovim.h`
- `rovim_config_t2d_development.h`

B

Apêndice B - Esquemas elétricos

Este apêndice inclui os esquemas elétricos dos componentes da **T2D**, que estão organizados em dois conjuntos: o sensor de velocidade e os restantes circuitos.

Os circuitos (à exceção do sensor de velocidade, que é uma peça única e independente) estão divididos em partes lógicas de acordo com a sua função no veículo, da seguinte forma:

1 - Alimentações Baterias e outras fontes de alimentação, e sua divisão nas diferentes alimentações dos circuitos;

2 - Tração Ligações do controlador da tração;

3 - Instrumentação Indicadores e comandos discretos;

4 - Travão Ligações de controlo do travão;

5 - Segurança Circuitos de controlo do corte da alimentação dos controladores dos motores;

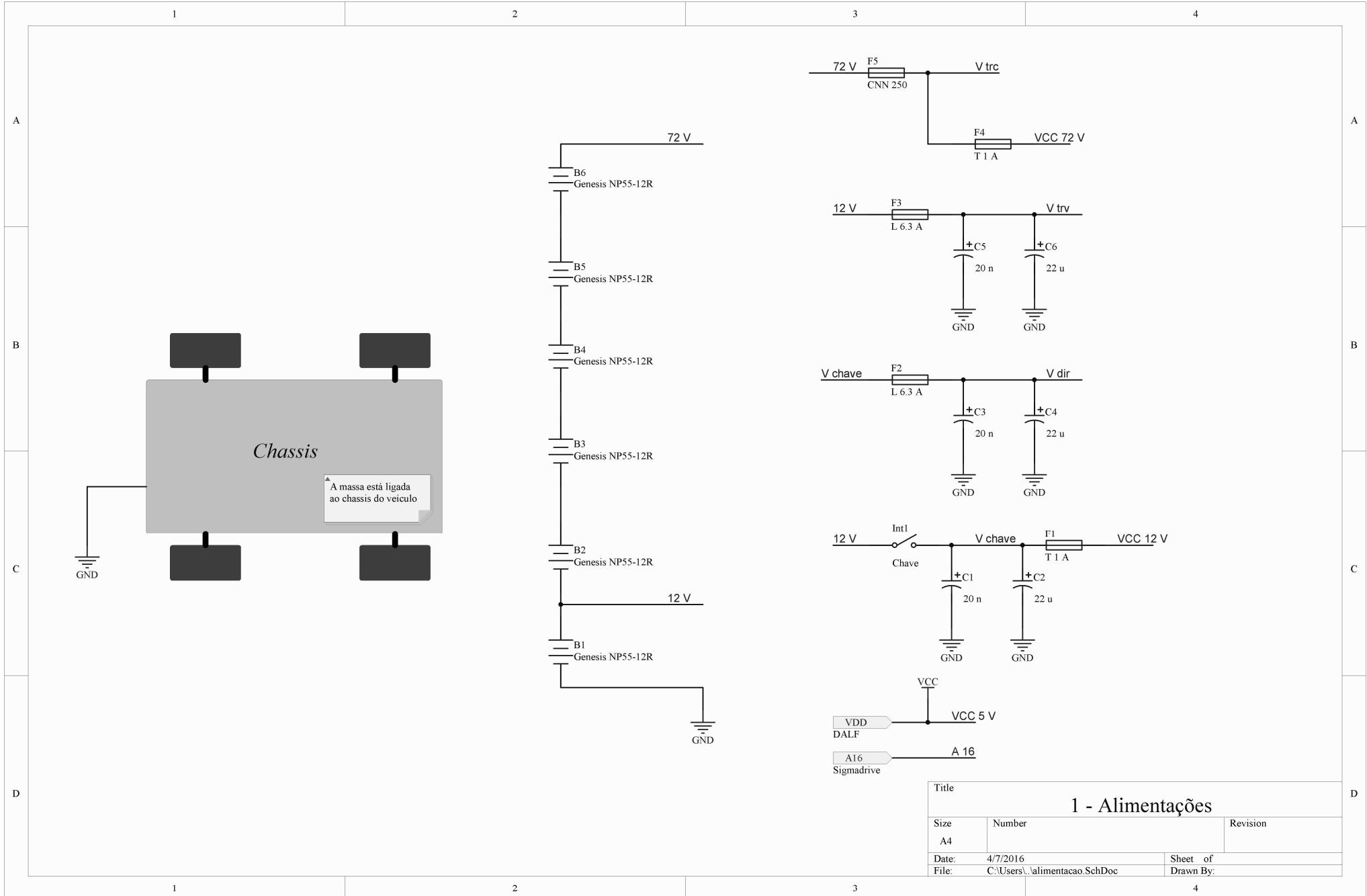
6 - Direção Ligações do controlador da direção;

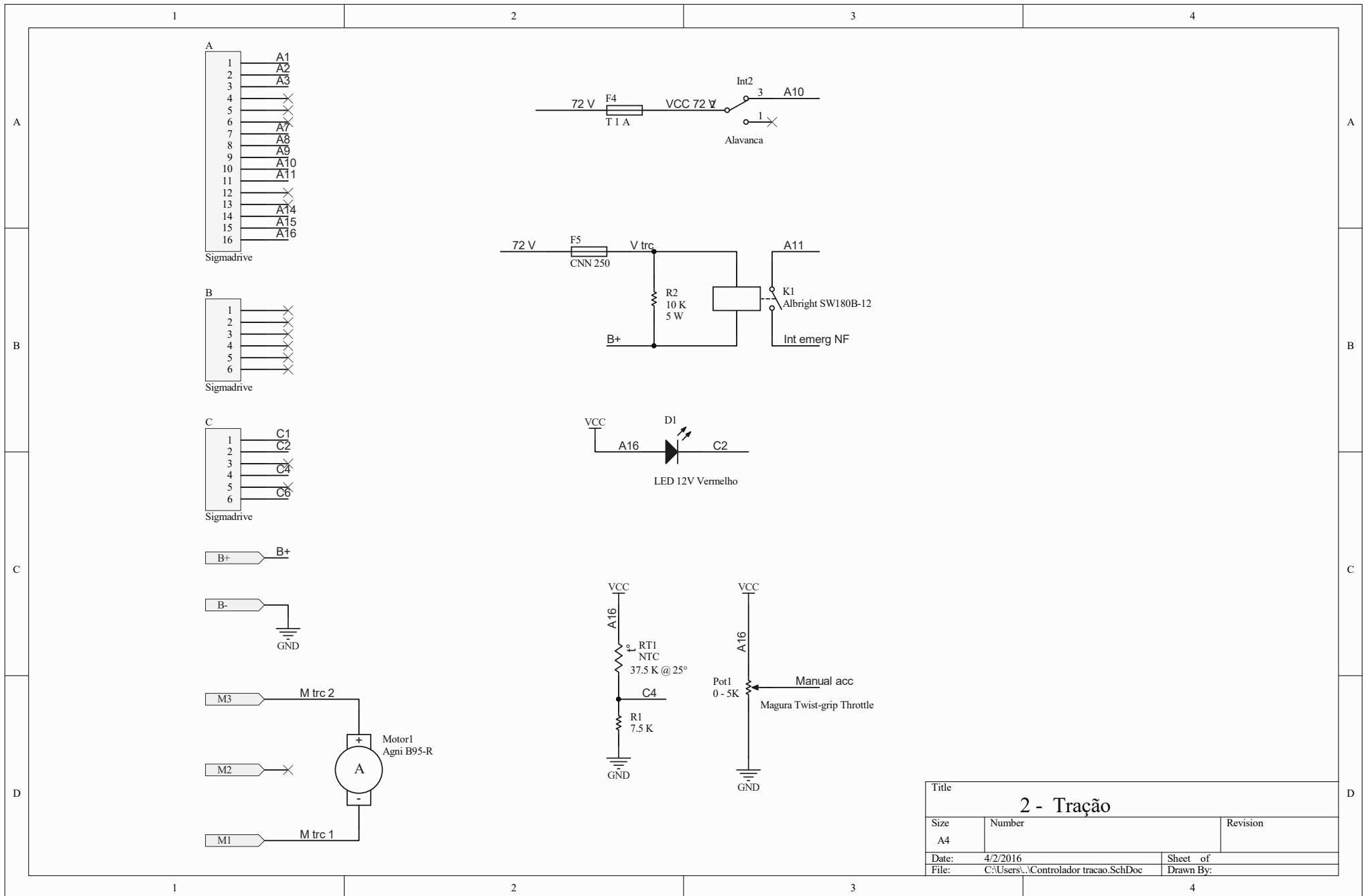
7 - Comutação manual/autónomo Circuitos de seleção do modo de condução;

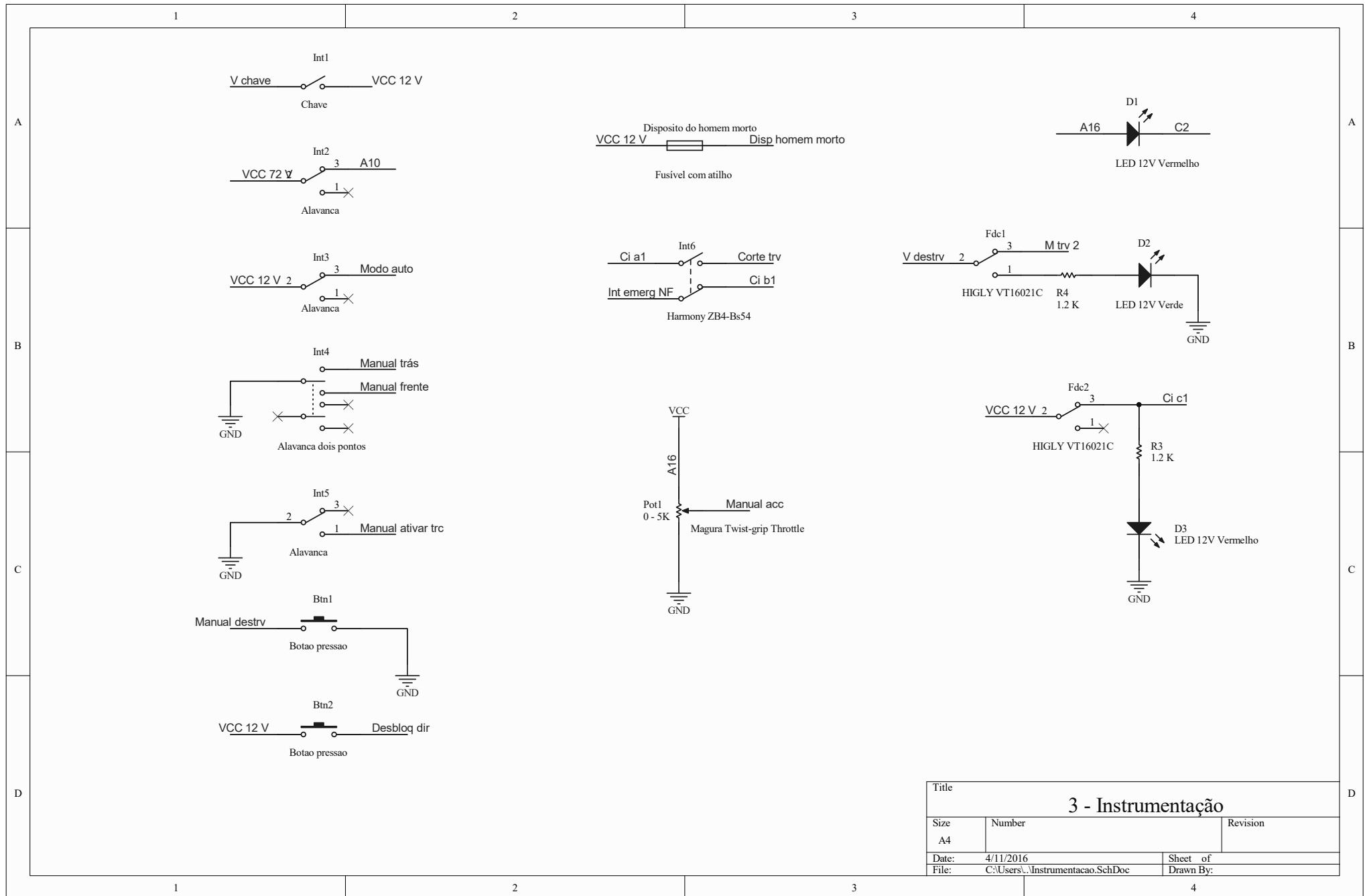
8 - Microcontrolador Ligações de e para o controlador da **T2D**;

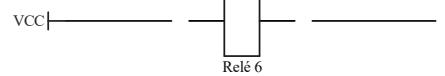
9 - Ligações placas artesanais Ligações entre as placas dos circuitos desenvolvidos para a **T2D**.

Cada nó e componente de cada conjunto de circuitos tem um identificador único, mas estes podem aparecer repetidos em mais que um esquema, de modo a facilitar a interpretação das funções desenhadas.



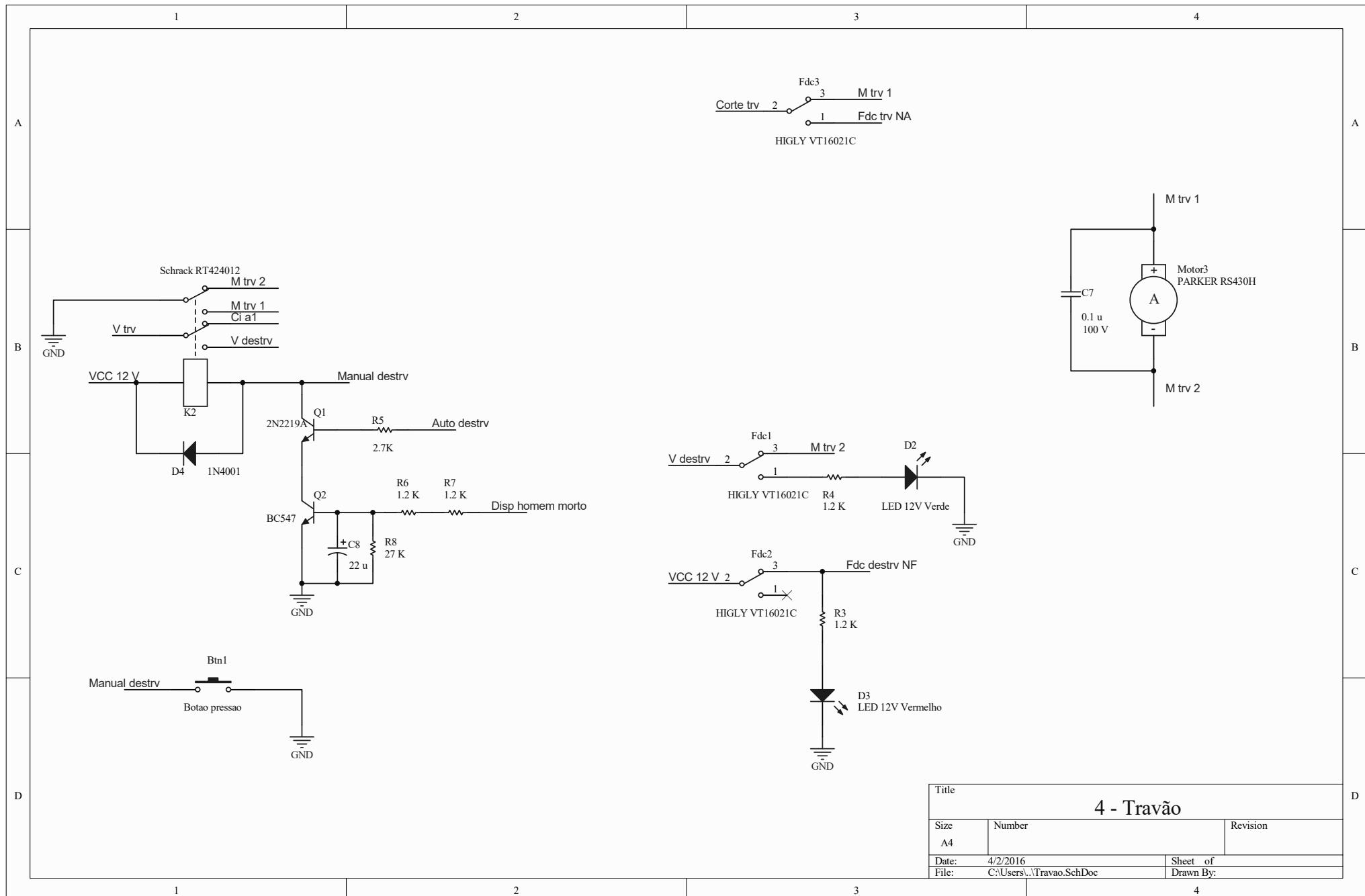


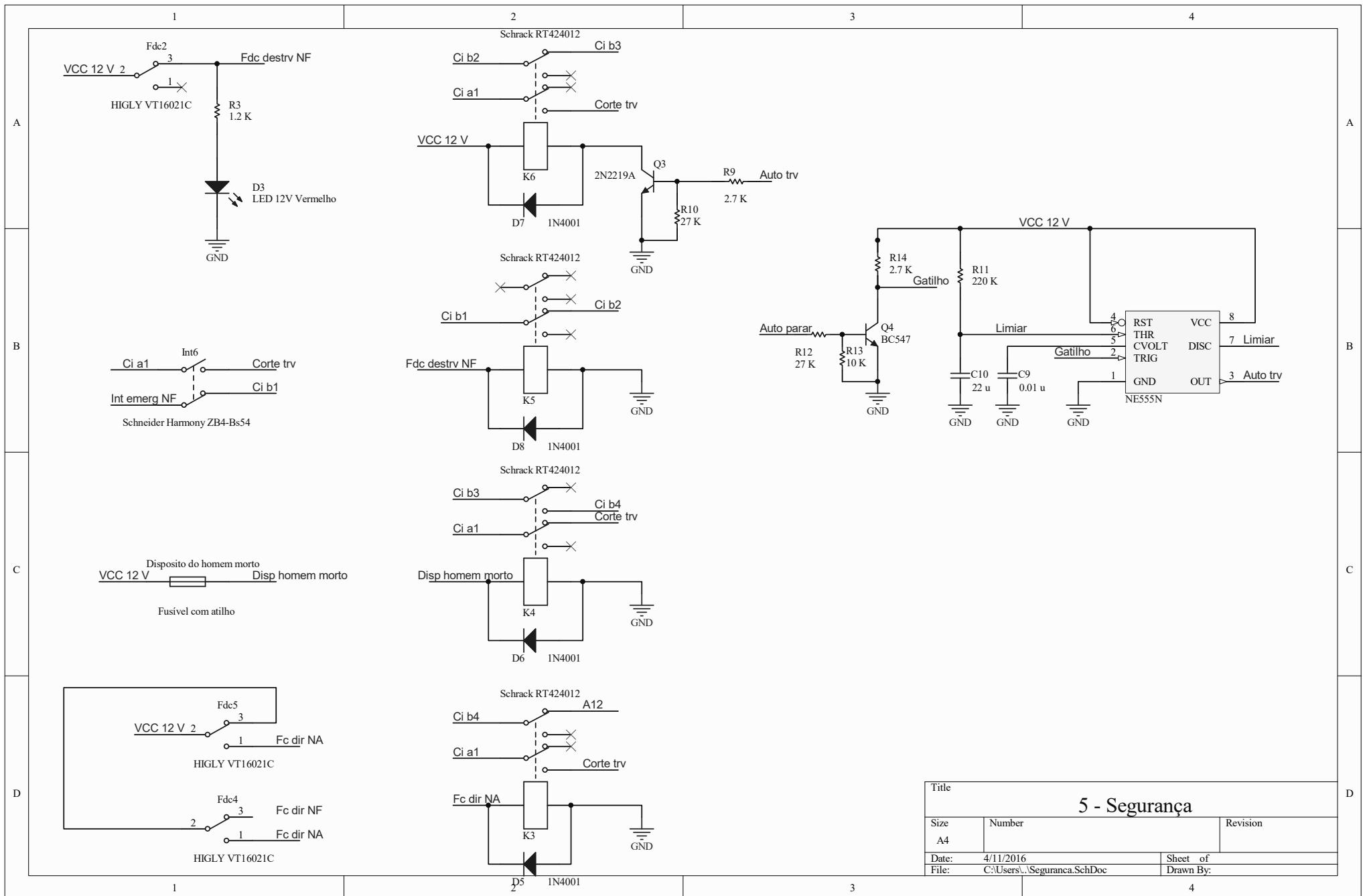




R9
2.7K

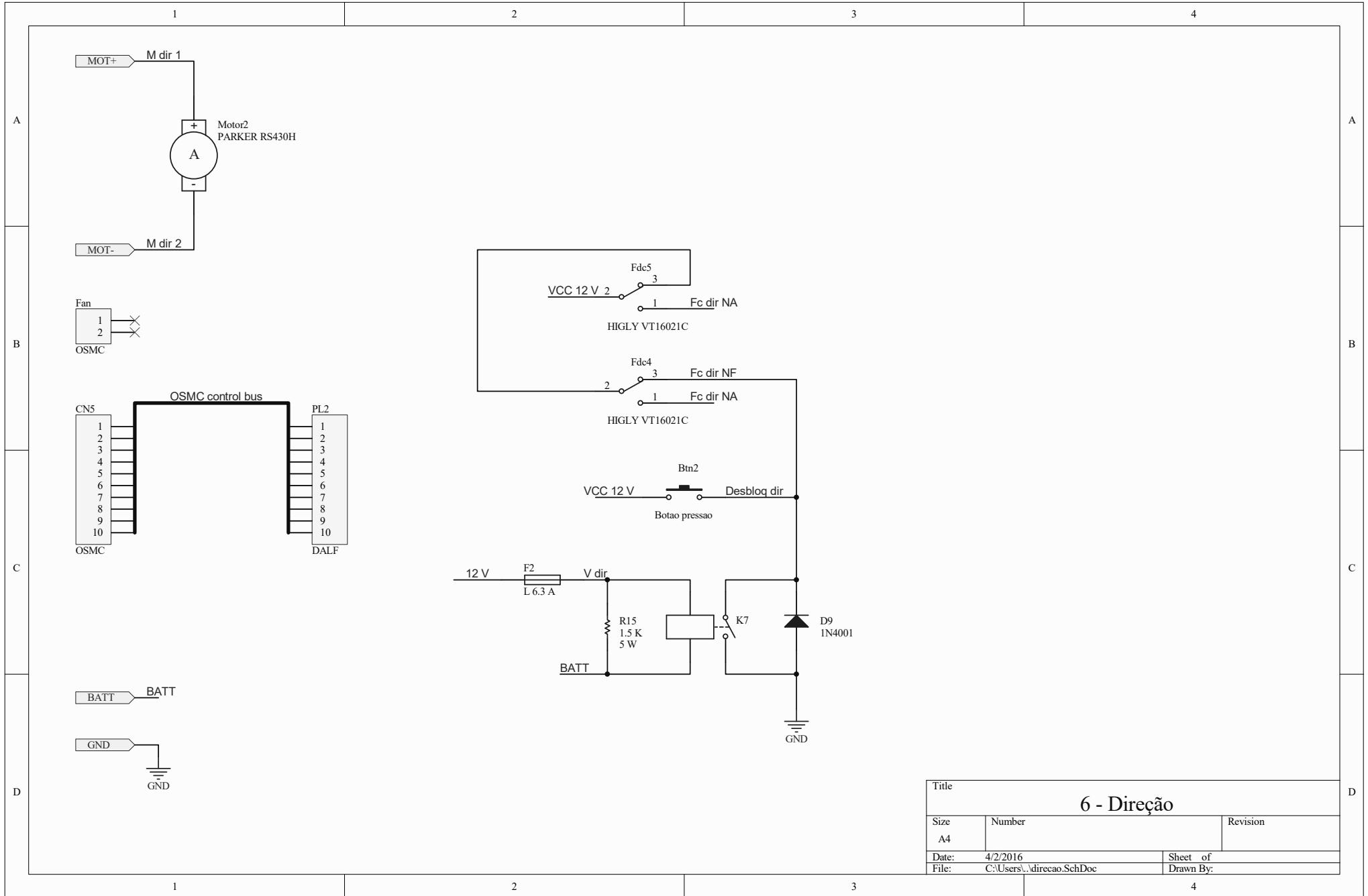
Parar

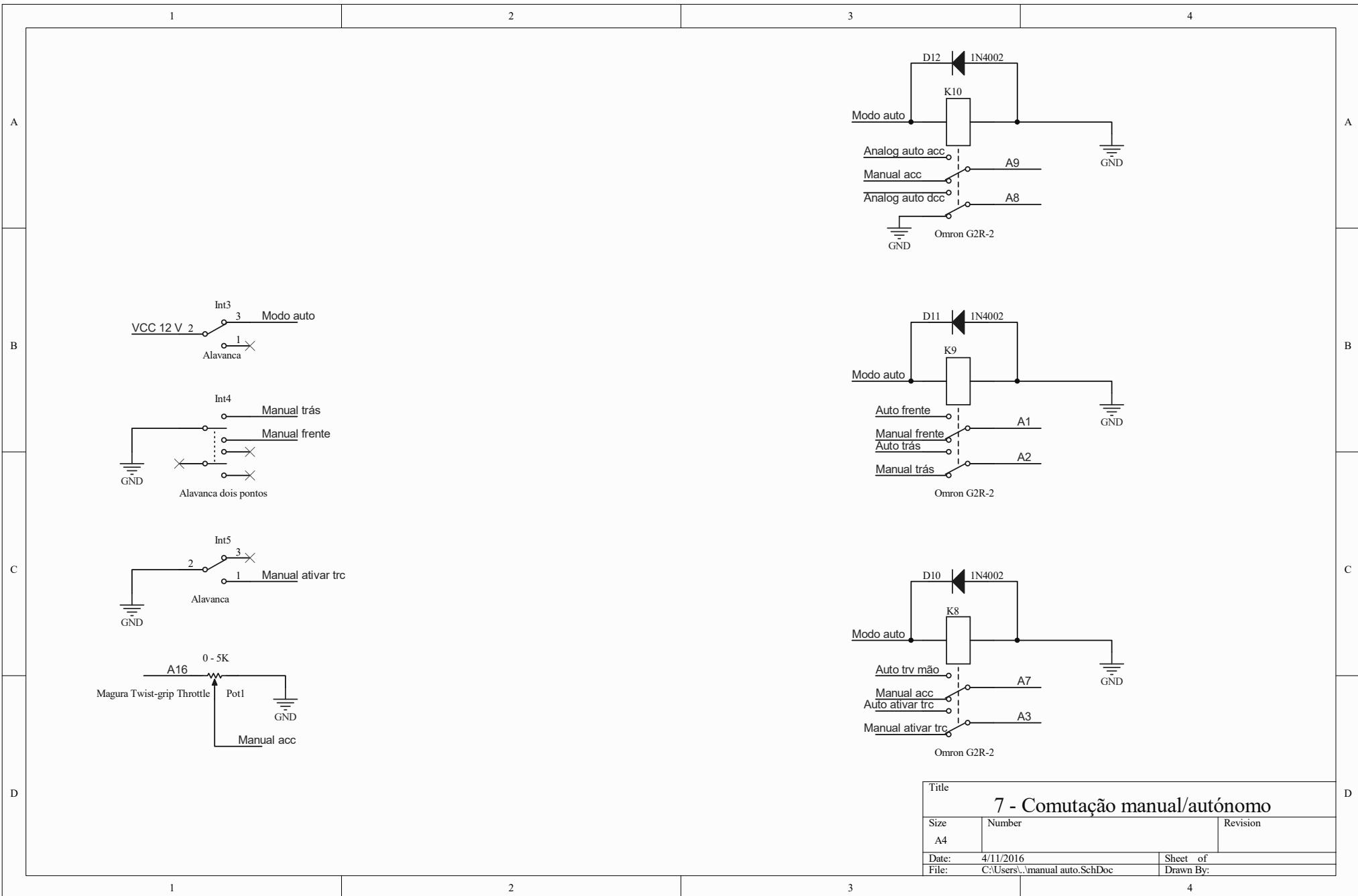


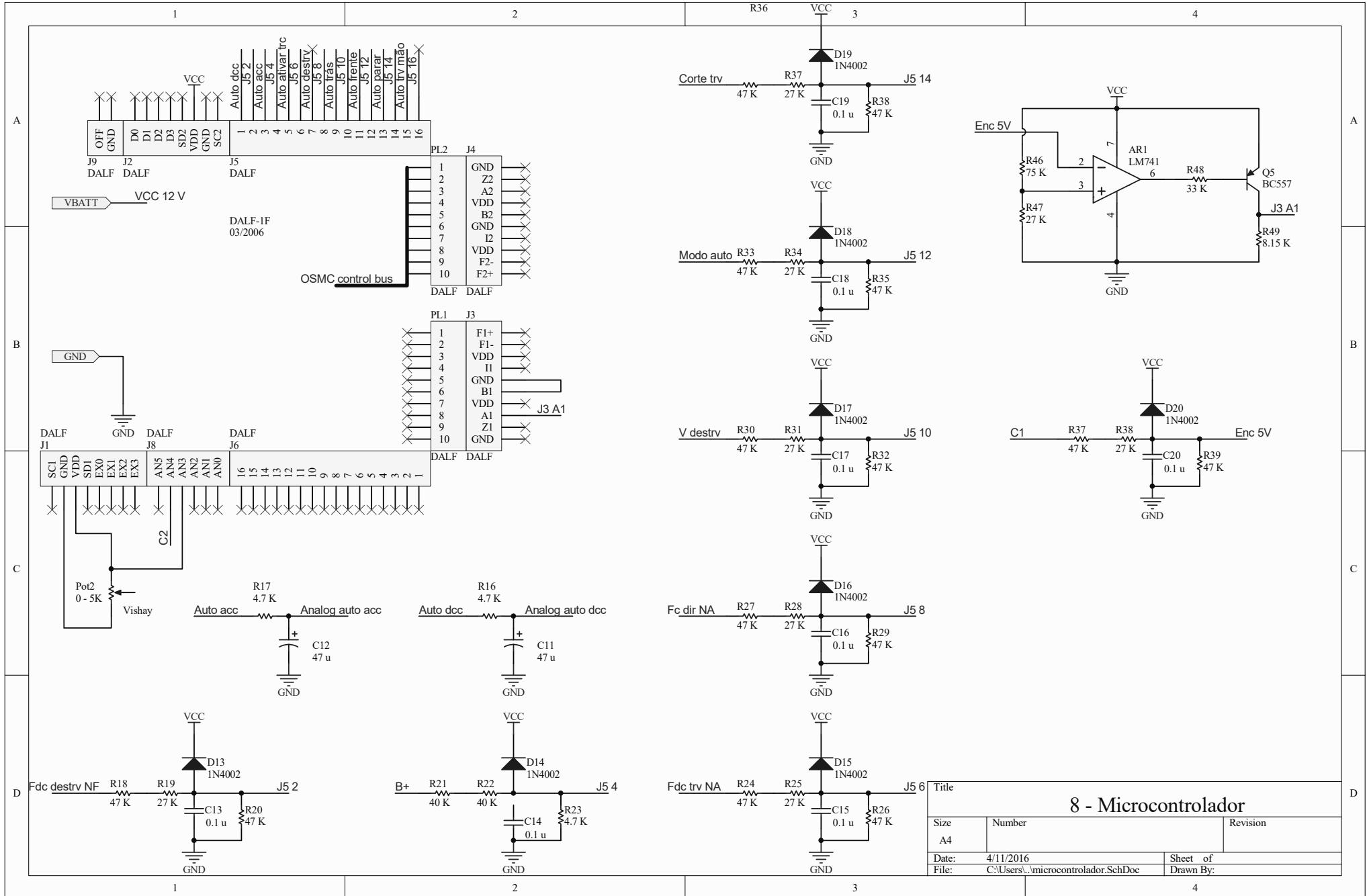


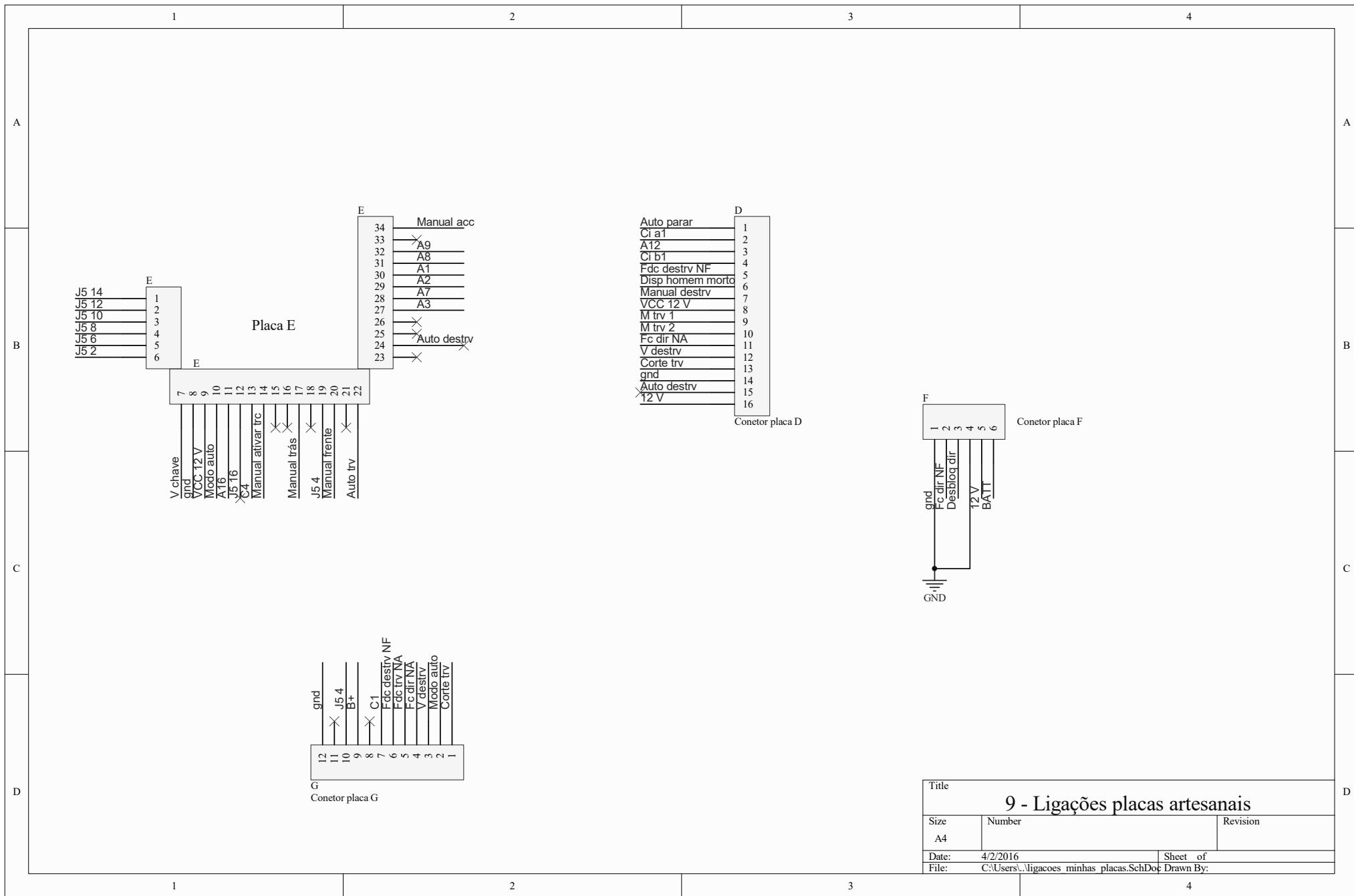
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date: 4/11/2016	Sheet of	
File: C:\Users\Segurança.SchDoc	Drawn By:	

5 - Segurança









A

A

B

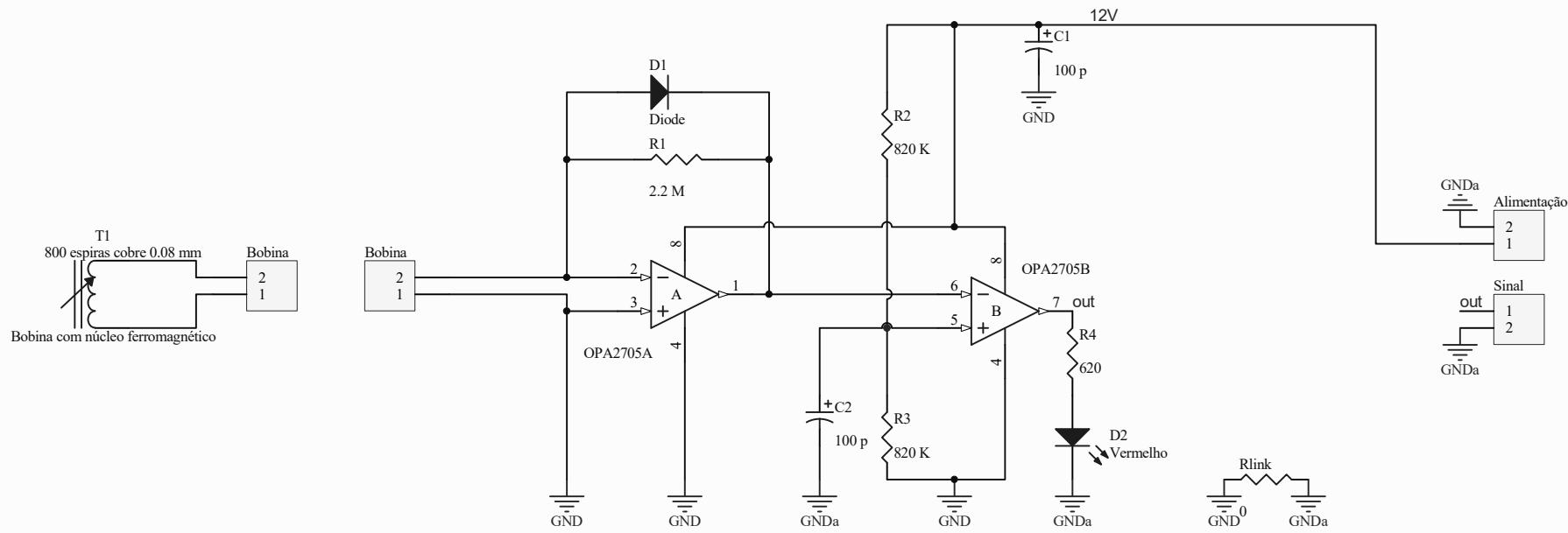
B

C

C

D

D



Title		
Encoder		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/8/2016	Sheet of
File:	C:\Users\...\Encoder PCB.SchDoc	Drawn By:

C

Apêndice C - Configurações

Este apêndice lista a configuração embarcada dos parâmetros configuráveis dos componentes da **T2D**. Estes incluem o programa do controlador da tração e o programa original do *firmware* dalf. Apenas os parâmetros alterados do *firmware* dalf são aqui listados; os restantes podem ser consultados em [21].

Os parâmetros *adjustments* do Sigmadrive PMT835M [9, capítulo 2] e o seu valor final são listados na tabela C.1.

Código	Texto programador	Valor programado
1.1	Accel	3.5 s
1.2	Decel	1.0 s
1.3	Creep	0.0 %
1.4	SpdMaxF	20.0 %
1.5	SpdMaxR	20.0 %
1.6	Sp1/Inch	50.0 %
1.7	Sp2/Time	50.0 %
1.8	Sp3	0.0 %
1.9	DBrake	150.0 A
1.10	NBrake	10.0 A
1.11	FBrake	150.0 A
1.12	DBrkRamp	3.0 s
1.13	DBrkEnd	0.5 s
1.14	NBrkRamp	3.0 s
1.15	NBrkEnd	0.0 s
1.16	RegSpd	15.0 %
1.17	MaxCurr	50.0 A
1.18	BattV	78.0 V
1.19	PStrDly	5.0 s
1.20	EBrkDly	0.5 s
1.21	AccMin	0.0 V
1.22	AccMax	5.0 V
1.23	AuxMin	0.0 V
1.24	AuxMax	5.0 V
1.25	MotMin	0.2 V
1.26	MotMax	4.8 V
1.27	VmaxSpd	32.0 km/h
1.28	BDIreset	75.0 V
1.29	BDIempty	72.0 V
1.30	BDIwarn	50.0 V
1.31	BDIcut	25.0 %
1.32	BDIspeed	100 %
1.33	DMcut	10.0 %

1.34	DMrev	75.0 %
1.35	DMspeed	75.0 %
1.36	StdByDly	0.0

Tabela C.1: Parâmetros ajustáveis do controlador Sigmadrive PMT835M.

As configurações do controlador Sigmadrive PMT835M [9, capítulo 4] e o seu valor final são listados na tabela C.2.

Código	Texto programador	Valor programado
3.1	Lin/Curv	8
3.2	Spd/Torq	0
3.3	Bpro/Off	0
3.4	Arol/Off	0
3.5	Spd/Inch	0
3.6	Spd3/Hbk	1
3.7	PsF/FR/S	0
3.8	Ride/Wlk	0
3.9	Key/Drv	0
3.10	Of/M/M&W	2
3.11	Of/D/V/K	2
3.12	InitDisp	0
3.13	MTempTyp	0
3.14	Accel 8/9	1
3.15	Si/DL/DR	0
3.16	- n/a -	0
3.17	CAN node	0

Tabela C.2: Configurações do controlador Sigmadrive PMT835M.

As configurações do motor programadas no controlador Sigmadrive PMT835M [9, capítulo 5] e o seu valor final são listados na tabela C.3.

Os campos do *parameter block* do *firmware* dalf alterados para o *software* do ROVIM e o seu valor final são listados na tabela C.4. O prefixo 0x indica que o valor está formatado em hexadecimal.

Código	Texto programador	Valor programado
4.1	TempStrt	90°
4.2	SpdRatio	201.5
4.3	SpdTeeth	36
4.4 – 4.29	- n/a -	
4.30	CurrTh	200 A
4.31	ImaxLow	130 A
4.32	IthTime	10 s
4.33	Oset1R +	10 bit
4.34	- n/a -	
4.35	Oset3F +	10 bit
4.36	Gain1R	100 %
4.37	- n/a -	
4.38	Gain3F	92 %

Tabela C.3: Configurações do controlador Sigmadrive PMT835M.

Endereço	Nome	Razão da alteração	Valor final
0x0029	VBWARN	Calibrar a alimentação usada	12000
0x002C	MAXERR	Limitar o erro do controlador à amplitude da direção	0x95
0x0037	VSP1	Maximizar o período de amostragem, devido à fraca resolução a baixas velocidades	250
0x0040	TPR1	Calibrar o sensor de velocidade	36
0x0046	MTR2_MODE1	Ativar o indicador para sensor analógico	0x32
0x0048	MTR2_MODE3	Desativar a deteção de sobrecorrente (não usada)	0x21
0x004D	VSP2	Aumentar a resolução da amostragem da posição	20
0x0054	VMIN2	Calibrar o limiar de movimentação do motor	30
0x0056	TPR2	Indicar a presença de um sensor analógico	0x0100
0x0058	MIN1	Calibrar o fim de curso de bombordo da direção	0x23
0x005A	MAX1	Calibrar o fim de curso de estibordo da direção	0xB8
0x006D	nBR	Maximizar a velocidade de transmissão da ligação série	5
0x0075	DMAX	Não é importante neste aplicação	255
0x0076	FENBL	Ativar a filtragem para AN3 e AN4	0x54
0x0077	DECAY	Frequência de corte ≈ 25 Hz	80

Tabela C.4: Alterações ao *parameter block* no *software* do ROVIM.

D

Apêndice D - Lista de componentes

Id. ¹	Qt. ²	Componente	Descrição	Subsistema ³
C1	1	<i>Chassis</i>	<i>Chassis</i> , rodas, eixo traseiro com carro de transmissão e sistemas de travagem e viragem de uma moto-quatro Suzuki quadsport lt-160	<i>Chassis</i>
C2	Indef. ⁴	Ferro sortido	Ferro usado nas estruturas de fixação de componentes ⁵ e outras adaptações soldadas ao <i>Chassis</i>	<i>Chassis</i>
C3	Indef.	Material de fixação	Porcas, parafusos, anilhas, anilhas de mola, cavilhas e outros materiais não discriminados de diversas medidas, usados na fixação rígida dos componentes, entre si, ou ao <i>chassis</i>	
C4	1	Plataforma inferior	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, à medida para a estrutura inferior	<i>Chassis</i>
C5	1	Mini-plataforma inferior	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, entre a estrutura inferior e a coluna da direção	<i>Chassis</i>
C6	2	Tábuas de madeira	Tábuas de madeira, cortadas à medida, fixadas verticalmente à parte frontal da estrutura de suporte das plataformas, para contenção das baterias	<i>Chassis</i>
C7	1	Plataforma superior bombordo	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, à medida para o lado de bombordo da estrutura superior	<i>Chassis</i>
C8	1	Plataforma superior estibordo	Plataforma de madeira MDF cortada, furada e escareada, à medida para o lado de estibordo da estrutura superior	<i>Chassis</i>
C9	7	Cantoneiras de madeira	Cantoneiras de madeira, de tamanhos diversos, coladas à plataforma inferior, para contenção das baterias ao nível da base	<i>chassis</i>
C10	6	Baterias NP55-12R	Baterias recarregáveis seladas de ácido-chumbo, de 12 V	Baterias
C11	4	Elásticos de retenção de cargas	Elásticos, de tamanhos diversos, com ganchos de ferro nas pontas, para abraçar e conter as baterias ao nível do topo	
C12	1	Carregador de baterias 12 V	Carregador de baterias de ácido-chumbo de 12 V	
C13	1	Carregador de baterias 72 V	Carregador de baterias de ácido-chumbo de 72 V	
C14	1	Agni B-95R	Motor DC com escovas	
C15	1	Carreto de 11 dentes	Carreto compatível com o carreto instalado no veio traseiro	Redutor da tração
C16	2	Engrenagens dentes	42 Engrenagens cilíndricas, de módulo 2, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [35]	Redutor da tração
C17	1	Engrenagem dentes	21 Engrenagem cilíndrica, de módulo 2, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [35]	Redutor da tração
C18	1	Engrenagem dentes	14 Engrenagem cilíndrica, de módulo 2, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [35]	Redutor da tração
C19	2	Rolamentos Koyo 6001	Rolamentos ranhurados de esferas, como especificação do catalogo Koyo [36]	Redutor da tração

¹Identificação

²Quantidade

³Peça a que o componente pertence, se aplicável

⁴Quantidade indefinida

⁵Que são: 1) Estrutura central de fixação das plataformas; 2) estrutura de suporte do redutor da direção; 3) estrutura de fixação do motor da tração; 4) estrutura de fixação do sensor de velocidade; 5) estrutura de fixação do sensor de posição

C20	2	Rolamentos 6003	Koyo	Rolamentos ranhurados de esferas, como especificação do catalogo Koyo [36]	Redutor da tração
C21	1	Chave de veio		Chave para fixação de engrenagem ao veio do motor de tração, de acordo com a norma ISO/R773 [34]	Redutor da tração
C22	1	Espaçador para veio		Espaçador para segurar engrenagem no veio do motor	Redutor da tração
C23	1	Fixador para carroto		Bolacha com furo para fixar carroto acoplado ao redutor no veio	Redutor da tração
C24	1	Chapa motor		Chapa estrutural de fixação dos componentes do redutor do motor, de acordo com o desenho "chapa motor"do apêndice D	Redutor da tração
C25	1	Chapa corrente		Chapa estrutural de fixação dos componentes do redutor do motor, de acordo com o desenho "chapa corrente"do apêndice D	Redutor da tração
C26	1	Veio 16 mm		Veio de fixação de engrenagens do redutor do motor, de acordo com o desenho "veio 16.12"do apêndice D	Redutor da tração
C27	1	Veio 17 mm		Veio de fixação de engrenagens do redutor do motor, de acordo com o desenho "20.23"do apêndice D	Redutor da tração
C28	Indef.	Material de fixação do redutor		Freio, parafusos, anilhas e anilhas de mola de diversas medidas usadas na fixação dos componentes do redutor do motor de tração	Redutor da tração
C29	1	Corrente		Corrente original da moto-quatro	
C30	1	PCB sensor		Placa eletrónica, de cerca de 11 mm por 22 mm com o circuito do esquema Encoder impresso (exceto bobina e núcleo) ^{To do (55)}	Svel. ⁶
C31	1	OPA Surface Mount Device (SMD)	2705	Amplificador operacional rail-to-rail	Svel.
C32	2	C 100 pF SMD		Condensadores de polímero	Svel.
C33	1	R 2.2 MΩ SMD		Resistência	Svel.
C34	2	R 820 kΩ SMD		Resistências	Svel.
C35	1	R 620 Ω SMD		Resistência	Svel.
C36	1	LED SMD	vermelho	LED	Svel.
C37	1	Díodo SMD		Díodo de retroação ^{To do (56)}	
C38	4	Pinos SMD		Pinos conetores para soldar em placa SMD	Svel.
C39	1	Bobina artesanal		Bobina em fio de cobre de 0.08 mm com 800 espiras	Svel.
C40	1	Enrolador bobina		Enrolador oco, de cerca de 10 mm de diametro exterior, onde assentam espiras de uma bobina	Svel.
C41	1	Ímane neodímio		Ímane permanente cilíndrico, de cerca de 10 mm de diametro, para sensor de relutância variável	Svel.
C42	1	Núcleo ferromagné- tico		Material ferromagnético cilíndrico para sensor de relutância variável	Svel.
C43	1	Tubo PVC		Tubo de PVC com cerca de 5 cm de comprimento, oco, de cerca de 12 mm de diametro interior	Svel.
C44	1	Cabo de fita		Cabo de fita, de 3 fios, com ≈ 5 cm de comprimento	Svel.
C45	1	Adaptador velocidade	sensor	Adaptador de ferro, feito sob medida, para fixar o sensor de velocidade no suporte	
C46	1	Braçadeira mangueria	man- gueira	Braçadeira para mangueira de jardim	

⁶Sensor de velocidade

C47	1	Plataforma travão	Plataforma em chapa de 2 mm para fixar em cima da forquilha traseira, onde assenta o motor do travão
C48	4	Anilhas borracha	Anilhas com cerca de 3 mm de espessura, para fixar na plataforma do travão
C49	2	Parker RS430H	Servomotores DC
C50	1	Braçadeira topo motor	Fixador em chapa, feito sob medida, para fixar o topo do motor do travão à forquilha e à plataforma
C51	1	Braçadeira trás motor	Braçadeira em chapa, feita sob medida, para fixar o corpo do motor do travão à forquilha traseira e à plataforma
C52	1	Adaptador veio-parafuso	Adaptador cilíndrico em latão com rosca concêntrica M10 de um topo e furo \varnothing 11 mm concêntrico do outro, e furo radial \varnothing 4 mm alinhado com furo no veio do motor onde prende
C53	1	Varão roscado M10	Parafuso sem fim do travão, com cerca de 40 cm de comprimento
C54	1	Pivô travão	Peça, feita sob medida, com rosca longitudinal M10, com duas saíências laterais, para prender ao parafuso sem fim do travão
C55	1	Fixador travão–pivô	Conjunto agregador do pivô e alavanca do travão, constituído por: parafuso e porca M12x50 mm, espaçador \varnothing 12 mm, duas barras ferro 40x5 mm furadas em ambas as pontas
C56	1	Guia do travão	Peça feita sob medida que engata no fixador travão–pivô e corre ao longo do suporte dos sensores de fim de curso e os ativa
C57	5	HIGLY VT16021C	Sensores de fim de curso de alavanca
C58	Indef.	Material fixação travão	Parafusos, rebites, anilhas, anilhas de mola e porcas de diversas medidas usados na fixação dos componentes do travão
C59	1	STM RMI S28 To do (57)	Redutor de parafuso sem fim e coroa, de relação de redução de 49
C60	1	Polia 27 T 5 30 [17]	Polia dentada passe métrico "T5" – DIN 7721–2, material alumínio UNI 9006 – T6, 30 dentes, 16 mm espessura
C61	1	Polia 27 T 5 60 [17]	Polia dentada passe métrico "T5" – DIN 7721–2, material alumínio UNI 9006 – T6, 60 dentes, 16 mm espessura
C62	1	Correia T5 460 mm	Correia dentada de passe métrico "T5", de 460 mm de perímetro
C63	1	Veio para redutor	Veio em latão, feito sob medida, para acoplar ao redutor da direção, e onde fixa a polia C60
C64	1	Engrenagem 120 dentes	Engrenagem cilíndrica, de módulo 1, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [35]
C65	1	Engrenagem 12 dentes	Engrenagem cilíndrica, de módulo 1, ângulo de pressão de 20°, material C 43 UNI 7847, de acordo com o catálogo eurocorreias 2012 [35]
C66	1	Potenciômetro 5 kΩ	Potenciômetro de três voltas, 5 kΩ Vishay To do (58)
C67	2	Parafusos M4x35	Parafusos para batente de fim de curso
C68	Indef.	Material fixação direção	Parafusos, porcas, anilhas, anilhas de mola, barras de metal e calvilhas de diversas medidas usados na fixação dos componentes da direção
C69	1	Sigmadrive PMT835M	Controlador de motor DC de 4 quadrantes
C70	1	Agni B95-R	Motor DC de ímanes permanentes de fluxo axial
C71	1	Albright SW180B-12	Contator de DC de 80 V

C72	1	Fusível ANL	CNN250	Fusível de encaixe ANL de 250 A	
C73	1	Porta fusível ANL		Encaixe ANL para fusível	
C74	1	Resistência 5 W	10 kΩ	Resistência de pré-carga	
C75	1	Acelerador punho		Acelerador de punho direito potenciométrico, de 5 kΩ	
C76	1	Schneider BS54	ZB4	Botão de emergência com contacto normalmente fechado	
C77	1	Schneider BZ105	ZB4	Contacto normalmente aberto para botão Schneider ZB4 BS54	
C78	2	Fusíveis 6.3 A	5 × 20	Fusíveis de 6.3 A, de 5 mm × 20 mm	
C79	2	Fusível 522.717	ESKA	Fusível cerâmico de 1 A, de 5 mm × 20 mm, I ² S=1.10	
C80	1	Fusível 6 × 32 1 A		Fusível de 1 A, de 6 mm × 32 mm	H.morto ⁷
C81	3	Guita		Guita de ≈ 3 m para acionamento do dispositivo do homem morto	H.morto
C82	1	Encaixe para fusível 6 × 32		Engate do dispositivo do homem morto	H.morto
C83	1	Caixa de arrumação		Caixa de arrumação de plástico transparente, de cerca de 25 cm × 25 cm × 50 cm com tampa	
C84	1	Painel de instrumentação		Cantoneira em chapa para fixagem de instrumentação de painel	
C85	2	Placas de acrílico		Placas de acrílico para fixação das placas eletrónicas	
C86	1	Dalf 1-F		Placa de microcontrolador	Micro Controlador (μ C)
C87	1	OSMC v4.24		Ponte em H para comando de motores DC	
C88	1	Cabo de fita 10 fios		Cabo de fita, de 10 fios, com cerca de 20 cm, fêmea–fêmea	
C89	1	Cabo de fita 16 fios		Cabo de fita, de 16 fios, com cerca de 20 cm, com conector fêmea numa ponta	
C90	4	PCB 115x160		PCB de 115 mm × 160 mm	
C91	2	LEDs vermelhos		LEDs through-hole de 12 V vermelhos	
C92	1	LED verde		LED through-hole de 12 V verde	
C93	6	Díodos 1N4001		Díodos retificadores through-hole	
C94	11	Díodos 1N4002		Díodos retificadores through-hole	
C95	4	R 1.2 kΩ		Resistências through-hole 1/4 W	
C96	1	R 1.5 kΩ 5 W		Resistência de potência through-hole	
C97	3	R 2.7 kΩ		Resistências through-hole 1/4 W	
C98	2	R 4.7 kΩ		Resistências through-hole 1/4 W	
C99	1	R 7.5 kΩ		Resistência through-hole 1/4 W	
C100	1	R 8.15 kΩ		Resistência through-hole 1/4 W	
C101	1	R 10 kΩ		Resistência through-hole 1/4 W	
C102	10	R 27 kΩ		Resistências through-hole 1/4 W	

⁷Dispositivo do homem morto

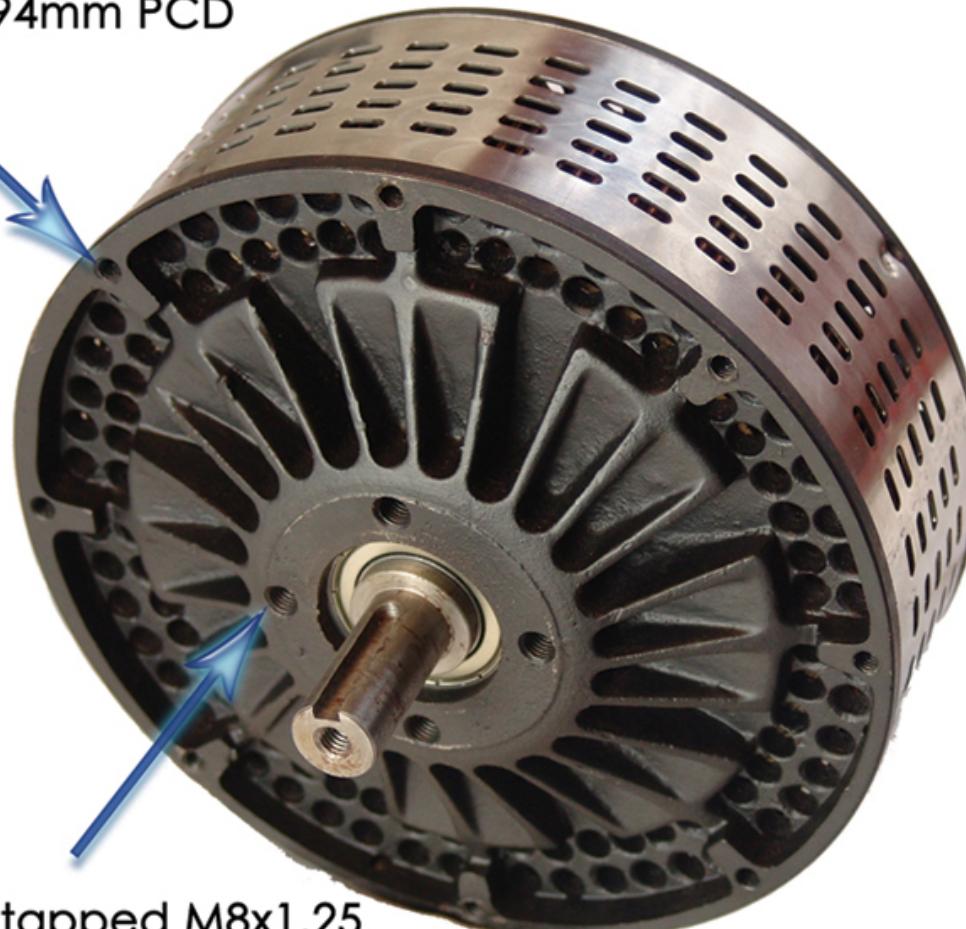
C103	1	R 33 kΩ	Resistência <i>through-hole</i> 1/4 W
C104	2	R 40 kΩ	Resistências <i>through-hole</i> 1/4 W
C105	15	R 47 kΩ	Resistências <i>through-hole</i> 1/4 W
C106	1	R 75 kΩ	Resistência <i>through-hole</i> 1/4 W
C107	1	R 220 kΩ	Resistência <i>through-hole</i> 1/4 W
C108	1	C 0.01 µF 100 V	Condensador polímero <i>through-hole</i>
C109	1	C 0.01 µF	Condensador eletrolítico <i>through-hole</i>
C110	3	C 20 nF	Condensadores eletrolíticos <i>through-hole</i>
C111	6	C 0.1 µF	Condensadores eletrolíticos <i>through-hole</i>
C112	3	C 20 µF	Condensadores eletrolíticos <i>through-hole</i>
C113	2	C 22 µF	Condensadores eletrolíticos <i>through-hole</i>
C114	3	C 47 µF	Condensadores eletrolíticos <i>through-hole</i>
C115	1	LM741	Amplificador operacional <i>through-hole</i>
C116	1	NE555	Temporizador <i>through-hole</i> de uso genérico
C117	2	2N2219A	TJBs NPN <i>through-hole</i> de elevada corrente
C118	2	BC547	TJBs NPN <i>through-hole</i> para comutação e amplificação
C119	2	BC557	TJBs PNP <i>through-hole</i> para comutação e amplificação
C120	6	Schrack RT424012	Relés PCB Double Pole Double Throw (DPDT) de 12 V 8 A
C121	3	Omron G2R-2	Relés PCB DPDT de 12 V
C122	1	Interruptor chave	Interruptor com chave unipolar 1 A de painel
C123	2	Botões de pressão	Botões unipolares Single Pole Single Throw (SPST) 1 A de painel
C124	3	Interruptores alavanca	Interruptores de alavanca de painel DPDT ON-ON 3 A
C125	1	Interruptor alavanca	Interruptor de alavanca de painel Single Pole Triple Throw (SP3T) ON-OFF-ON 3 A
C126	Indef.	Manga termoretrátil	Manga termoretrátil de várias dimensões
C127	Indef.	Cabo de corrente preto	Cabo elétrico de elevado calibre To do (59), preto
C128	Indef.	Cabo de corrente vermelho	Cabo elétrico de elevado calibre To do (60), vermelho
C129	Indef.	Fio de microfone	Fio para microfone, blindado
C130	Indef.	Fio elétrico diverso	Fio elétrico de diversos calibres e cores, unifilar e multifilar, usado nas ligações elétricas
C131	Indef.	Etiquetas autocolantes	Etiquetas autocolantes
C132	Indef.	Bornes diversos	Bornes de diversas medidas e feitios usados nas ligações elétricas
C133	3	Fichas microfone	Pares de fichas fêmea e macho blindadas, para cabo de microfone
C134	1	Ficha 16 pinos	Ficha Molex SMD Micro Fit 3.0 fêmea, de 16 pinos
C135	1	Ficha 6 pinos	Ficha Molex SMD Micro Fit 3.0 fêmea, de 6 pinos

E

Apêndice E - desenhos técnicos das peças do redutor do motor de tração

INSTALLATION DIMENSIONS

8 holes tapped M6x1.0
on 194mm PCD



4 holes tapped M8x1.25
on 60mm PCD

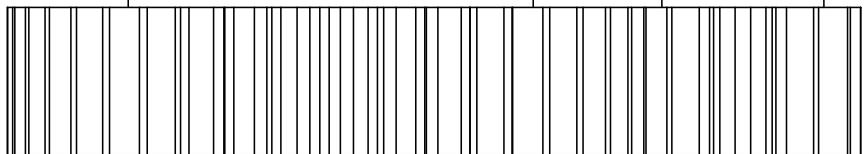
Shaft - 19mm diameter x 40mm long
with ISO keyway & centre
hole tapped M8x1.25

1 2 3 4 5 6

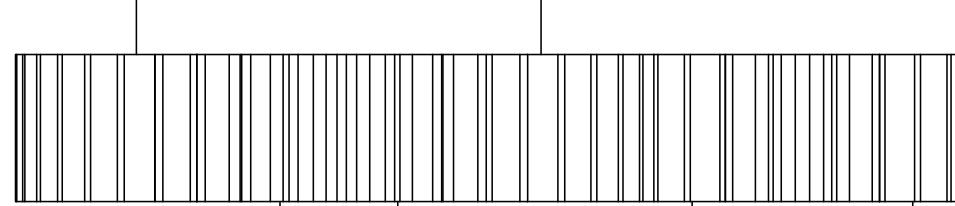


6

11



7



10

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A.					

MATERIAL:

DWG NO.

montagem

A4

1

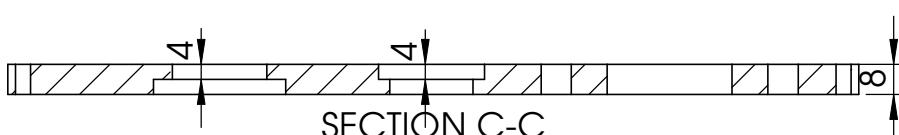
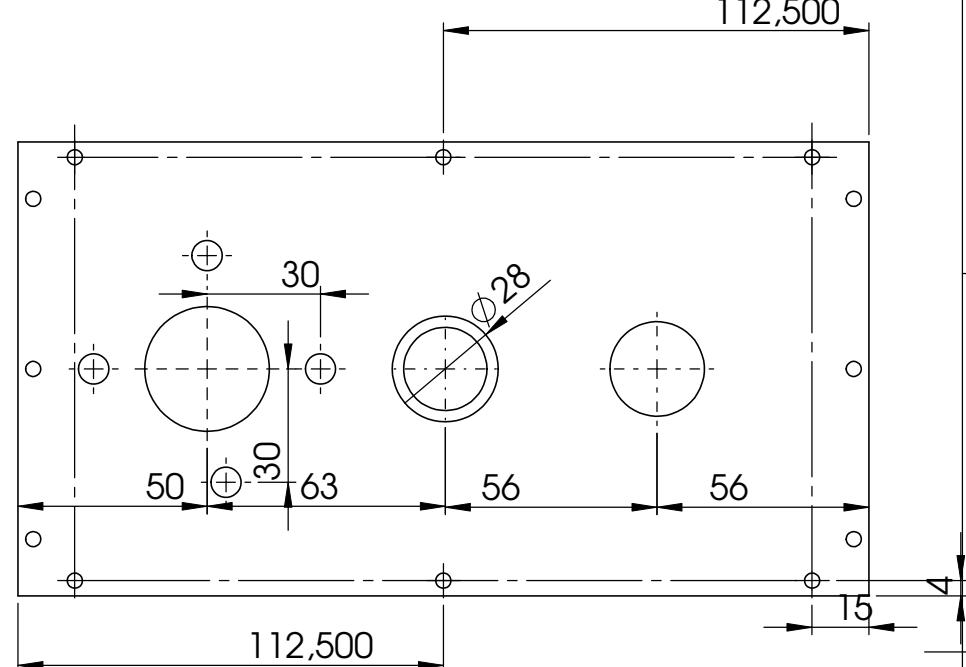
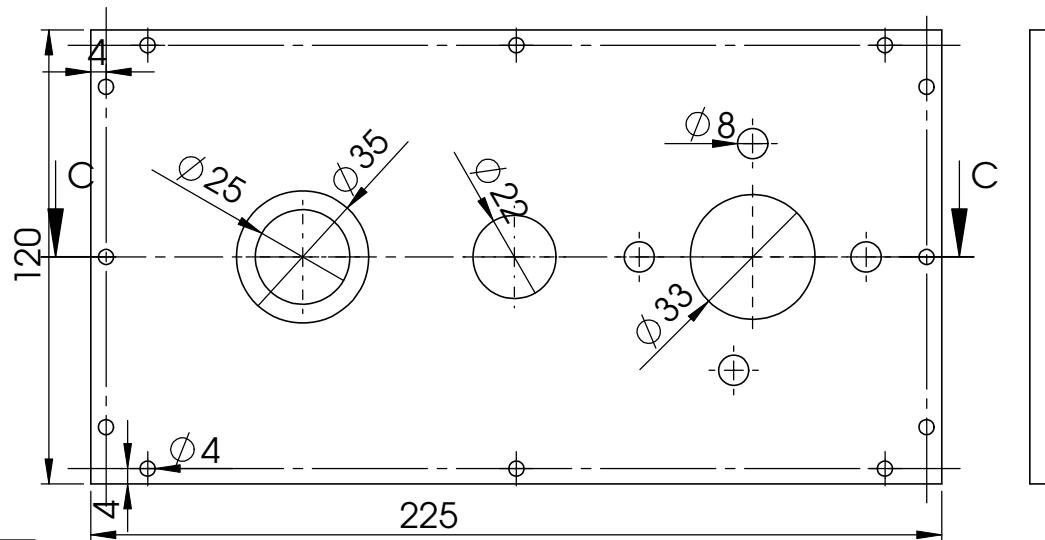
2

WEIGHT:

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1

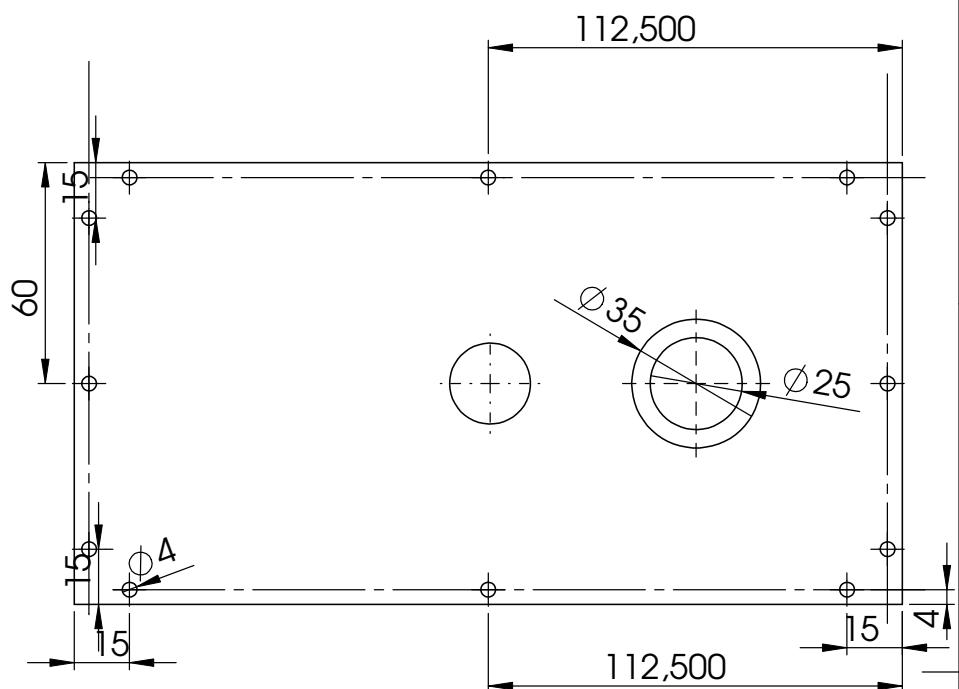
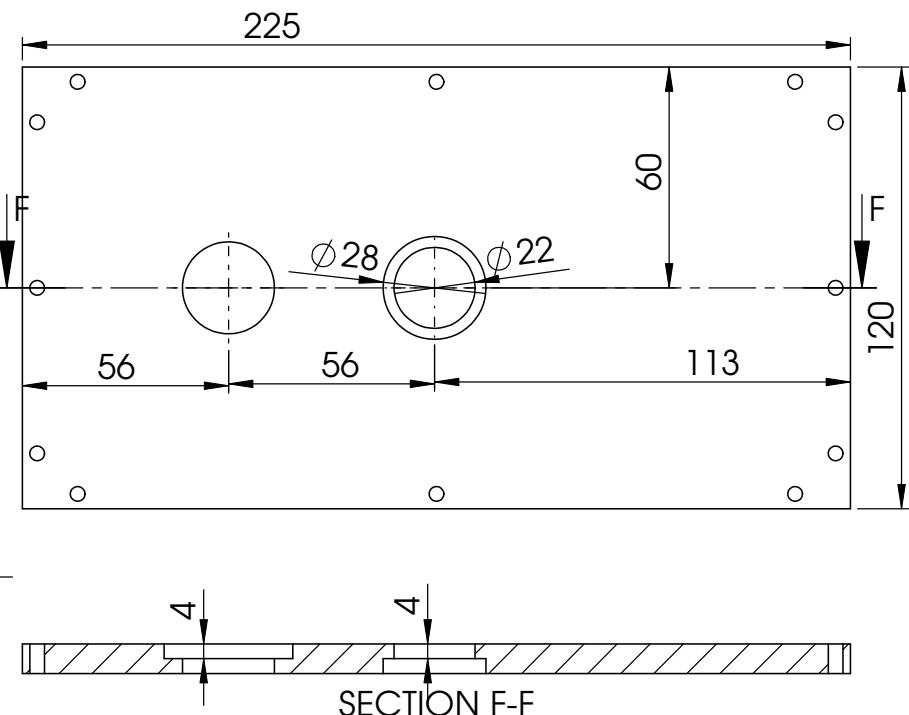
1 2 3 4 5 6



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE					
CHKD						TITLE:		
APP'D								
MFG								
Q.A								
MATERIAL:					DWG NO.	chapa motor		A4
WEIGHT:					SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1		

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A.					

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

DWG NO.

chapa corrente

A4

MATERIAL:

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

1 2 3 4 5 6

A

A

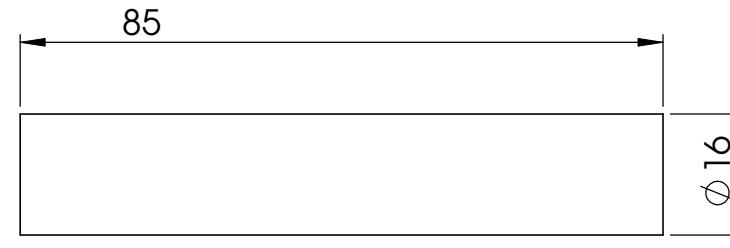
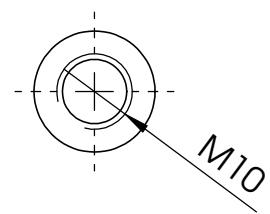
B

B

C

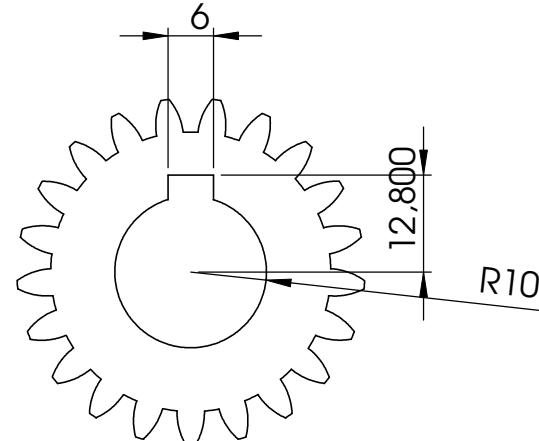
C

D

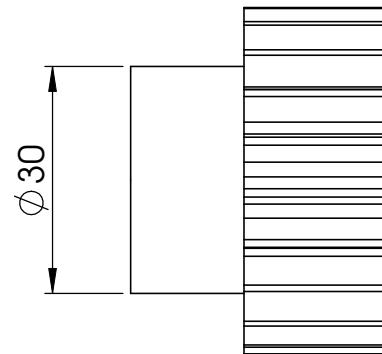


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:	
CHKD								
APPV'D								
MFG								
Q.A				MATERIAL:		DWG NO. espaçador chapa A4		
WEIGHT:						SCALE:1:1		
						SHEET 1 OF 1		

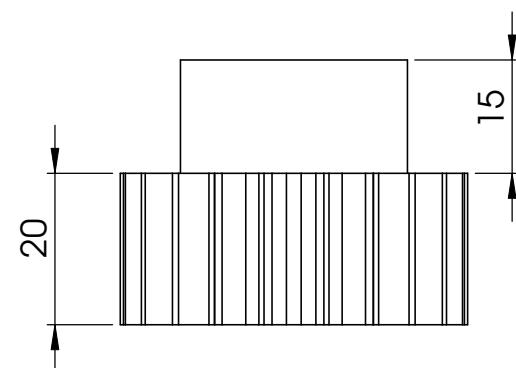
A



B



A



C

B

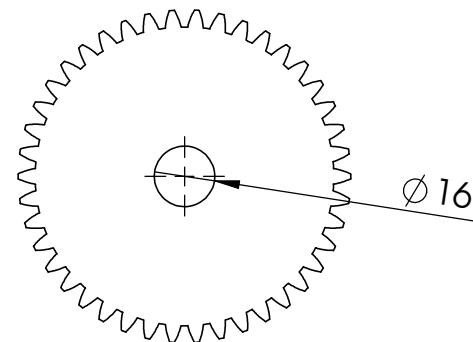
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE					
CHKD						TITLE:		
APP'D								
MFG						DWG NO.		
Q.A								
						roda 21		
1	2					WEIGHT:	SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1

C

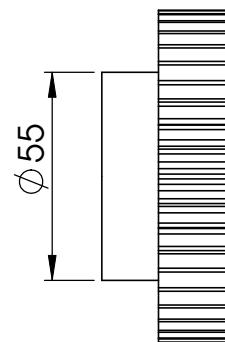
C

A4

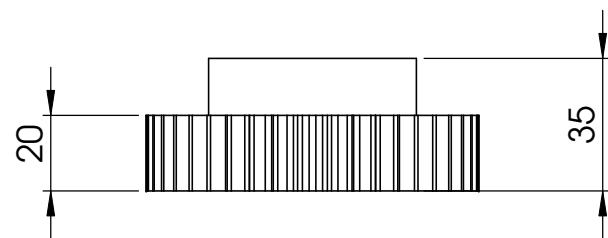
A



B



A



C

B

D

C

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		
CHKD					
APP'D					
MFG					
Q.A					

TITLE:

DWG NO.

roda 42 16

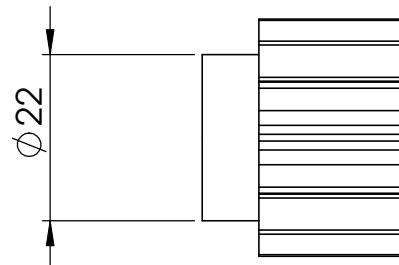
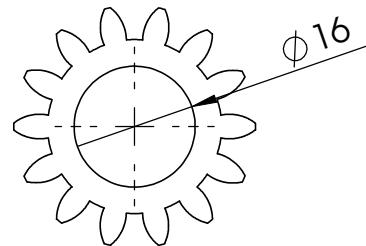
A4

WEIGHT:

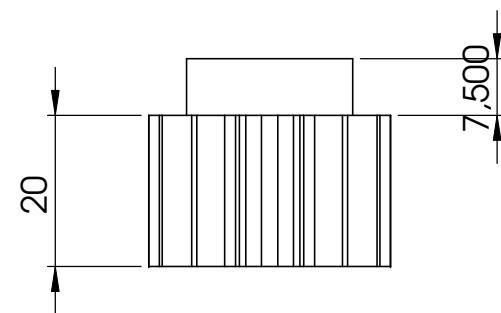
SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

A



B



A

B

C

C

D

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			
CHKD						
APPV'D						
MFG						
Q.A						

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

roda 14 16

A4

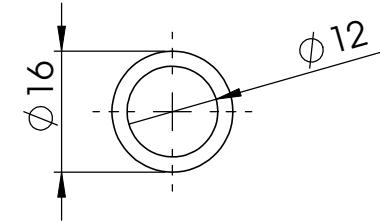
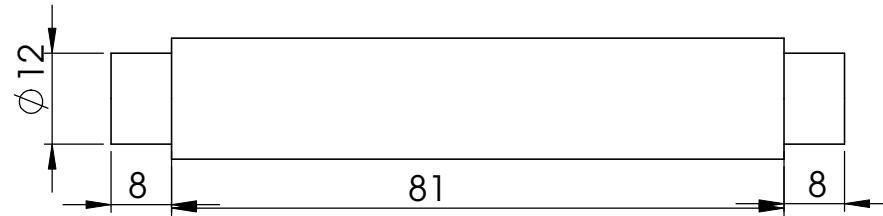
WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

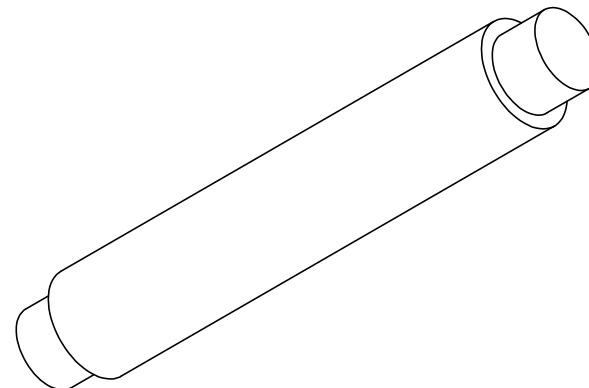
A

A



B

B



C

C

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:		
CHKD									
APP'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:			DWG NO.	veio16.12	
								A4	
1	2			WEIGHT:			SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1	

1

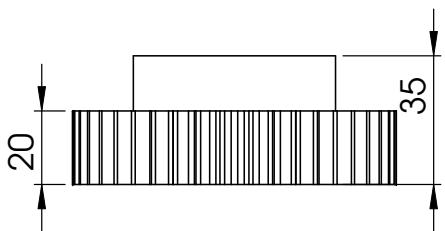
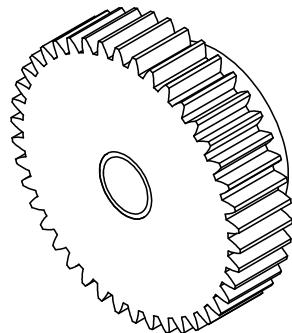
2

3

4

5

6



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN					
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL:	

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

DWG NO.

roda 42 20

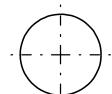
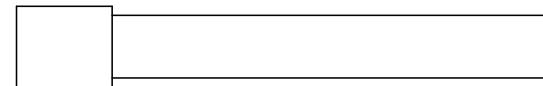
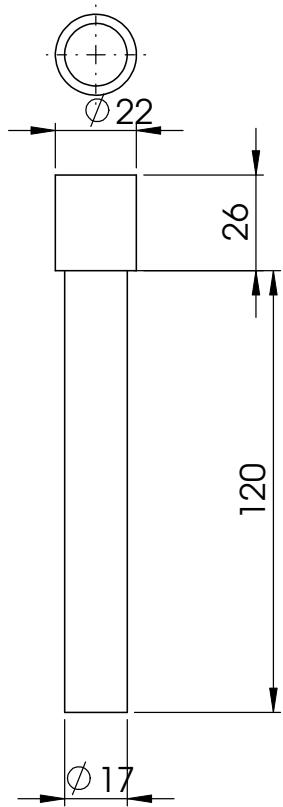
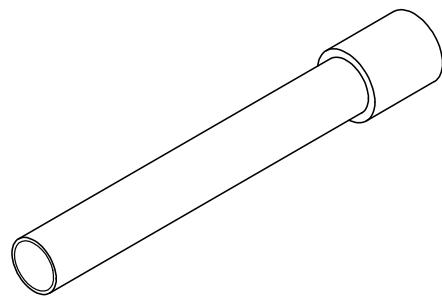
A4

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

WEIGHT:

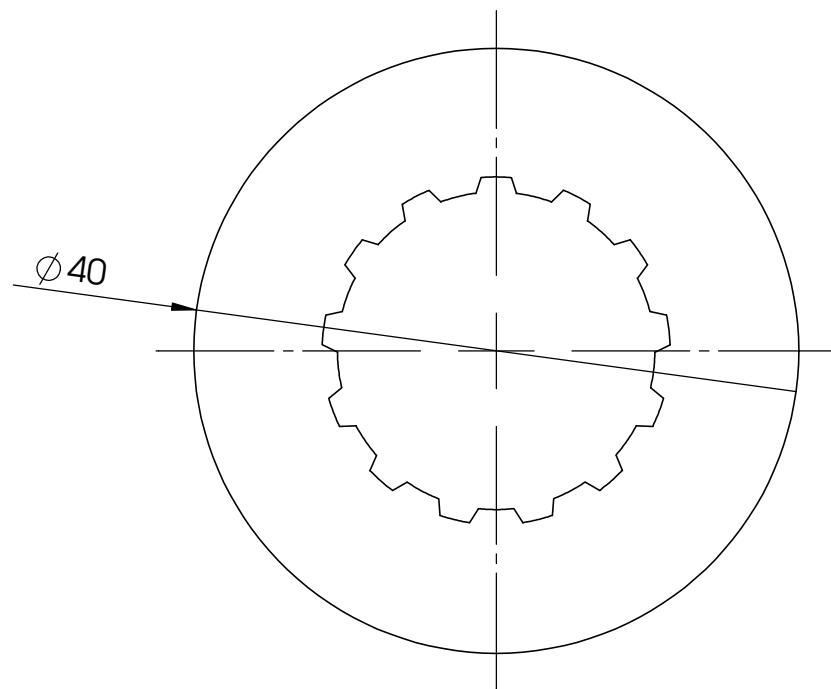
SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:	
CHK'D								
APPV'D								
MFG								
QA				MATERIAL:		DWG NO.		
1	2		WEIGHT:			SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1	

20.23 A4



A

B

C

D

A

B

C

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:	
CHKD								
APP'D						DWG NO.		
MFG								
Q.A				MATERIAL:		Bolacha		
WEIGHT:						SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1	

Os desenhos deste anexo são uma especificação aproximada do redutor *à priori*, com as limitações inerentes à falta de experiência do projetista. Não contemplam alguns pormenores técnicos avançados, como tolerâncias nos encaixes, materiais a usar, e mecanismos de fixação. Como tal, o fabricante fez algumas modificações, discutidas na errata

Informações sobre o fabricante

Vitor Ferreira & Filhos, Lda

Rua Particular à Rua Arco do Carvalhão, Letras J.F.C, 1070 Lisboa

Telefone: 213884764

www.mestredosmotores.com

Errata

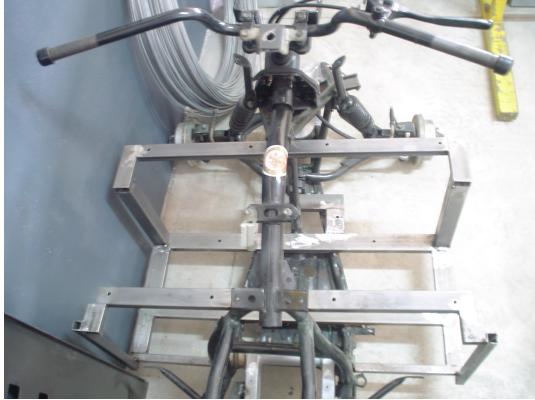
Errata referente aos desenhos das peças do redutor do motor de tração

To do (61)

Desenho	Onde se lê/vê	Deve lêr-se/vêr-se
espaçador chapa	85	87
roda 21	R10	R9.5
roda 21	12.800	12.300
roda 21		Chave (paralelipípedo quadrangular com 6 mm de lado, cantos arredondados e 35 mm de comprimento) para prender engrenagem de 21 dentes ao veio do motor, de acordo com a norma ISO/R773 [34].
20.23	Face do veio ø22 liso	Face do veio ø22 liso até 11mm após o ø17. Daí até ao topo, veio maquinado para encaixe no buraco da bolacha do desenho "bolacha". talking point (62)
20.23	Topo do veio ø22 liso	Topo do veio ø22 com rosca M8 concêntrica.
20.23	120	115, medidos a partir do veio ø22. Ranhura para freio após a medida.
bolacha		Um dos topos do cilindro tapado, com um furo M8 concêntrico.
chapa corrente	12 furos de 4 mm	4 furos M10 próximos dos cantos da placa.
chapa motor	12 furos de 4 mm	4 furos M10 próximos dos cantos da placa, à mesma distância dos da errata do desenho "chapa corrente".
montagem	Veio do motor	Espaçador cilíndrico com furo concêntrico de 19 mm e cerca de 3 mm de largura, montado no veio, antes da engrenagem.

F

Apêndice F - Fotografias



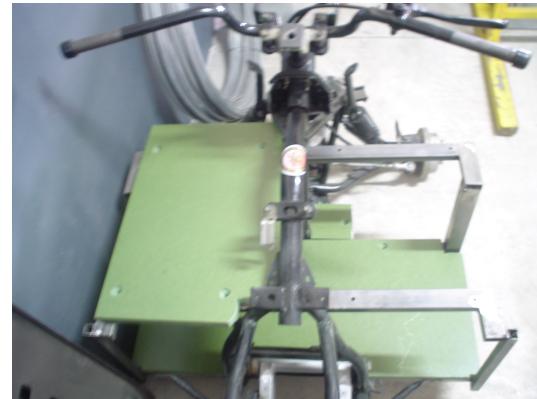
(a) Estrutura das plataformas no *chassi*, vista de cima.



(b) Estrutura das plataformas no *chassi*, vista de lado.



(c) Plataformas de madeira cortadas à medida, vistas de cima. Note-se os furos escareados.



(d) Plataformas inferior e superior de bombordo assentes na estrutura.



(e) Plataforma inferior (das baterias) com os batentes colados. Note-se que os parafusos de fixação ficam abaixo do nível da plataforma.



(f) Conjunto das baterias à carga, fora do veículo.



(g) Bateria danificada após carga fora da vida útil. Note-se que apesar de ter "inchado", a bateria não explodiu.



(h) Plataforma do motor do travão. Note-se o espaço entre a plataforma e a forquilha traseira, ocupado por anilhas de borracha.



(i) Pormenor do tambor do travão e da alavanca de acionamento.



(j) Montagem de fixação da alavanca do travão ao pivô. Apesar de não ser visível na imagem, as duas barras de ferro paralelas estão furadas em ambas as pontas.



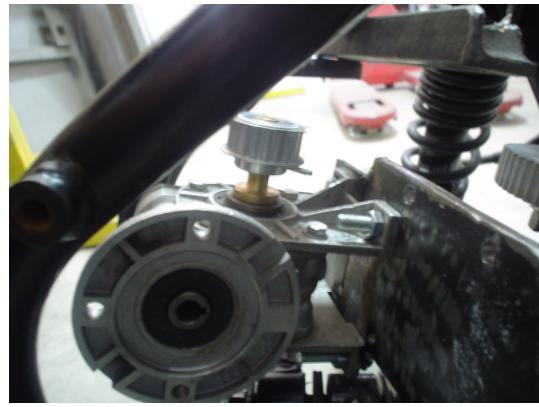
(k) Pivô do travão traseiro. As saliências cilíndricas encaixam no fixador da alavanca, e o furo no topo é a rosca onde entra o parafuso sem fim.



(l) Adaptador de latão instalado no veio do motor do travão, e braçadeira frontal de fixação do motor.



(m) Motor do travão instalado no veículo, visto de lado.
Note-se as duas braçadeiras de fixação do motor, e a porca e anilha de mola de fixação do parafuso sem fim ao adaptador.



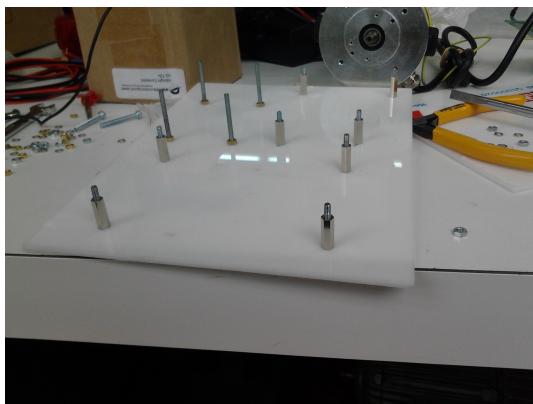
(n) Redutor da direção instalado na estrutura de suporte.
A projeção inicial saiu errada e a plataforma teve que ser alterada. Note-se também no cimo da imagem o suporte do esticador.



(o) Veio do redutor da direção com polia instalada. O veio prende no redutor através dos bocados de chapa inseridos na ranhura longitudinal, e fica com recurso ao parafuso e chapa de batente.



(p) Interruptor de fim de curso da direção com a patilha dobrada, devido à descalibração da roda dentada fixa na coluna da direção.



(q) Uma das duas placas acrílicas onde fixam as placas eletrónicas presentes na caixa.



(r) Microcontrolador instalado no veículo com ligação por porta série.



(s) Placa de circuito impresso do sensor de velocidade.

To do...

- 1 (p. A): foto com baterias e sem carro
- 2 (p. xv): Como escrever o acronimo ROVIM
- 3 (p. 3): **rever** devo dizer os critérios de seleção tecnológica antes de descrever e avaliar as tecnologias? Isso já está +- feito na secção acima, mas o chan refere quais os desafios que a tecnologia tem que responder.
- 4 (p. 5): É dada especial relevância à escolha de um propulsor usado em veículos comerciais desta dimensão (desde que cumpra os requisitos desta aplicação). Isto aumenta o grau de confiança na validade da configuração usada e faz com que haja mais documentação acerca da sua implementação prática em projetos anteriores.
- 5 (p. 8): **rever** o que dizer aqui? Apresentar o ziegler nichols? Mas ele só foi usado depois de ter falhado a modulação e identificação...
- 6 (p. 8): **rever** como enquadrar esta secção no capítulo: isto não é propriamente uma revisão da literatura, é mais uma análise de alto nível do problema
- 7 (p. 8): referir aqui os motores e acopladores a usar e controladores? e o sensor?
- 8 (p. 8): referir que não espero grande impacto na autonomia deste módulo?
- 9 (p. 8): o que dizer aqui mais? Incorporar as irregularidades do terreno?
- 10 (p. 12): Mostrar a foto com as baterias presas
- 11 (p. 12): **trabalhos futuros** fixação das baterias
- 12 (p. 12): referir que há ferro exposto na baía das baterias, os seus perigos (combinados com a deficiente fixação das baterias) e que os utilizadores precisam de ter a noção
- 13 (p. 12): mostrar foto dos apoios do motor em anexo
- 14 (p. 12): qto
- 15 (p. 13): mostrar foto em anexo
- 16 (p. 13): **trabalhos futuros** sistema de gestão, após resultados experimentais
- 17 (p. 13): mostrar em anexo foto das baterias montadas
- 18 (p. 13): qto
- 19 (p. 13): **trabalhos futuros** isolar ligações
- 20 (p. 13): **conclusão** Como apreciação global, o sistema das baterias funciona bem de forma estática e sem interferência, mas não cumpre satisfatoriamente os critérios de segurança.
- 21 (p. 13): qto?
- 22 (p. 15): figura redutor
- 23 (p. 17): **conclusao** devia ter limitado mais a velocidade pelo redutor e o binário é assustador – provavelmente destroi as engrenagens
- 24 (p. 17): mostrar foto

- 25 (p. 18): qto
- 26 (p. 19): **conclusão** devia ter usado um codificador ótico e aproveitado o fato de ter feito o reduto para maquinar o seu engate no veio
- 27 (p. 20): calcular frequencia maxima e minima de rotação do carro.
- 28 (p. 20): pq é a frequencia é uma ordem de grandeza diferente da freq do carro?
- 29 (p. 22): **trabalhos futuros** progredir o sistema para mais controlo à distância após testes
- 30 (p. 25): **conclusão** houve limitações no acesso à alguns componentes, mas não impidiu a realização dos objetivos
- 31 (p. 25): apresentar resultados do condensador
- 32 (p. 25): explicar as variaveis das formulas
- 33 (p. 26): identificar as perturbações e os diferentes terrenos onde vai andar, dizer que se pretende controlar a posição
- 34 (p. 26): confirmar modelo
- 35 (p. 26): foto anexo
- 36 (p. 27): referir que muito do trabalho foi despendido a fixar os componentes ao veículo, e puxar a brasa à minha sardinha
- 37 (p. 27): qts?
- 38 (p. 27): **trabalhos futuros** substituir as polias e correia por carretos e corrente de bicicleta, e usar o esticador para conseguir colocar e tirar a corrente à mesma
- 39 (p. 28): **conclusão** se a roda dentada maior for mexida, descalibra os fdc e anula a lógica subjacente
- 40 (p. 28): dizer que os reles não prestam para altas freqs de comutação
- 41 (p. 28): referir em algum lado os díodos de roda livre – basta uma vez
- 42 (p. 30): Isto é verdade para este motor também?
- 43 (p. 31): fazer nova versão do software com esta alteração e a do no de dentes. Alterar também no anexo c
- 44 (p. 31): **conclusão** o método de ZG é para sistemas controlados em velocidade. Ora viu-se que se não se usar o sistema todo, ele não presta, pelo que se têm que fazer para o sistema todo, e parar a resposta ao escalão antes de chegar ao fdc.
- 45 (p. 33): **trabalhos futuros** agora que o conceito já está provado, já se podem refazer as placas e ligações com fichas
- 46 (p. 38): **conclusao** É provável que o condensador do circuito de condicionamento do sensor esteja a estragar a coisa.
- 47 (p. 44): Indicar as figuras onde aparecem os inputs e outputs de hw
- 48 (p. 44): os leds que não têm componente devem dizer qual a placa a que pertencem
- 49 (p. 57): confirmar a sequência dos flowcharts

- 50 (p. 67): sacar autonomia, binário de viragem
- 51 (p. 69): apresentar peso
- 52 (p. 72): colocar bibliografia em portugues
- 53 (p. A-2): mostrar restantes ficheiros de código
- 54 (p. A-2): **Fix** a listagem do código ocupa atualmente 70 páginas
- 55 (p. D-3): indicar figura do anexo F
- 56 (p. D-3): tentar saber qual é
- 57 (p. D-4): confirmar
- 58 (p. D-4): modelo?
- 59 (p. D-6): qto?
- 60 (p. D-6): qto?
- 61 (p. E-14): fazer as correções na errata e alterar o nome dos desenhos
- 62 (p. E-14): **talking point** com a largura do carro, a bolacha não entra totalmente no veio.
- 63 (p. E-14): confirmar