



Sistemas de Instrumentação e de Controlo para Aplicação em um Veículo Utilitário Elétrico

Mestrado em Engenharia Automóvel

Leonardo Jacob Marteleira da Costa

Leiria, setembro de 2022



Sistemas de Instrumentação e de Controlo para Aplicação em um Veículo Utilitário Elétrico

Mestrado em Engenharia Automóvel

Leonardo Jacob Marteleira da Costa

Trabalho de Dissertação realizado sob a orientação do Professor Doutor Carlos Daniel Henriques Ferreira e coorientação do Professor Nuno Manuel Lucas Vieira Lopes, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria

Leiria, setembro de 2022

Originalidade e Direitos de Autor

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Automóvel, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

Gostaria de deixar uma palavra de apreço muito especial ao meu orientador Professor Carlos Ferreira e ao Engenheiro Diogo Costa, não só pelo acompanhamento e orientação do presente projeto, mas também por todo o percurso académico que me proporcionaram e por todas as experiências e conhecimentos transmitidos.

Ao meu colega e amigo Pedro Sousa, por todos os momentos partilhados ao longo dos anos e pela parceria na maioria dos trabalhos propostos ao longo do percurso académico. Pela motivação transmitida e pela troca de conhecimento, muito obrigado.

Agradeço ao coorientador Professor Nuno Lopes pelo acompanhamento no projeto e pela partilha de conhecimento, não só no presente trabalho, mas também na minha formação.

Um obrigado ao Engenheiro Nuno Pires por todo o auxílio prestado e pela prontidão em contribuir para o sucesso do projeto.

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria pela disponibilização do espaço, de equipamentos e materiais para a realização do projeto.

Por último, agradeço com muito carinho a todos os familiares e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do projeto e em todo o meu percurso académico.

Muito Obrigado!

Este trabalho foi apoiado pelo projeto CAVALI – Cadeia de Valor do Lítio, POCI-01-0247-FEDER-047728, co-financiado pelo COMPETE 2020, Portugal 2020 e União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de módulos eletrónicos de instrumentação e controlo para aplicação em um veículo utilitário com propulsão elétrica. Pretendeu-se não só aumentar a fiabilidade do veículo, com um aumento da monitorização do estado de funcionamento do mesmo e respetiva atuação em sistemas de controlo, mas também contribuir para um aumento da sua segurança para os ocupantes.

Com base na revisão bibliográfica realizada, onde foram identificadas as necessidades que conduziram à concessão dos módulos eletrónicos e justificadas as decisões tomadas para os mesmos, foram desenvolvidos cinco módulos eletrónicos e adicionalmente proposto um esquema para o circuito de refrigeração do veículo.

Desenvolveu-se um módulo de interface isolado para atuação do controlador do motor elétrico, um sistema de alerta acústico, uma unidade de monitorização do sistema de alimentação de baixa tensão do veículo, uma unidade de monitorização e controlo do circuito de refrigeração e, por fim, um interface gráfico do utilizador, para apresentação das variáveis relevantes acerca do estado de funcionamento do veículo e para a atividade de condução. Para todos os módulos mencionados foi desenvolvido o *firmware* específico para a aplicação pretendida e, à exceção do interface gráfico, foram selecionados os componentes integrantes dos módulos e desenvolvido o *hardware* e as placas de circuito impresso de raiz. Todos os módulos referidos foram concebidos com *hardware* específico para permitir a integração dos mesmos no barramento de comunicação CAN do veículo.

Com o intuito de validar a eletrónica desenvolvida foram realizados ensaios práticos a todos os módulos. Foram confirmadas as suas capacidades de monitorização e controlo das grandezas e atuadores pretendidos, e validada a comunicação segundo o protocolo de comunicação CAN estabelecido. Após análise dos resultados obtidos, verificando-se resultados positivos nos ensaios práticos realizados, concluiu-se o correto funcionamento dos módulos eletrónicos desenvolvidos.

Palavras-chave: veículo elétrico, sistema de alerta acústico, gestão térmica de veículos elétricos, inversor/controlador, placa de circuito impresso, interface gráfico.

Abstract

The present work aimed to develop electronic instrumentation and control modules for application in a utility vehicle with electric propulsion. The goal was not only to increase the vehicle's reliability with an increase in the monitoring of the vehicle's operating status and respective performance in control systems, but also to contribute to an increase in its safety for the occupants.

Based on the bibliographic review carried out, where the needs that led to the granting of the electronic modules were identified and the decisions taken for them were justified, five electronic modules were developed and in addition a scheme for the cooling circuit of the electric utility vehicle was proposed.

An isolated interface module was developed for the actuation of the electric motor controller, an acoustic vehicle alerting system, a monitoring unit for the vehicle's low voltage supply system, a monitoring and control unit for the cooling system and a graphical user interface for presentation of relevant variables about the vehicle's operating state and for the driving activity. For all the modules mentioned, the specific software was developed for the intended application and, with the exception of the graphic interface, the components of the modules were selected and the hardware and printed circuit boards were developed from scratch. All the mentioned modules were designed with specific hardware to allow their integration into the vehicle's CAN communication bus.

To validate the developed electronics, practical tests were carried out on all modules in order to verify their monitoring and control capabilities of the desired variables and actuators, and to validate the communication according to the CAN communication protocol. After analysing the results obtained, verifying positive results from the practical tests carried out, the correct functioning of the developed electronic modules was concluded.

Keywords: electric vehicle, acoustic vehicle alerting system, thermal management of electric vehicles, inverter/controller, printed circuit board, graphic interface.

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	xi
Lista de tabelas.	xiv
Lista de siglas e acrónimos.....	xv
1. Introdução	1
1.1. Contextualização do Projeto.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Estrutura do Relatório	2
2. Estado da Arte	3
2.1. Controladores/Inversores de Veículos Elétricos.....	3
2.1.1. Controlador ZAPI ACE3 – Projeto E-UTV	5
2.1.2. Outros exemplos: Controladores SIGMADRIVE e SEVCON GEN4	7
2.2. Sistema de Alerta Acústico do Veículo - AVAS.....	9
2.2.1. Som: Definição e Conceitos Associados	9
2.2.1.1. Frequência	9
2.2.1.2. Pressão sonora	10
2.2.1.3. Equipamentos de medição de filtro ponderadores.....	11
2.2.2. Regulamentação: UNECE R138	13
2.2.3. Sistemas de Alerta Acústicos Existentes em Veículos Elétricos.....	17
2.3. Sistema de Gestão Térmica de Veículos Elétricos	19
2.3.1. Sistemas de Gestão Térmica de Baterias	20

2.3.1.1.	Sistemas de Controlo Térmico de Baterias Existentes em Veículos: Nissan Leaf, Toyota Prius, BMW I3, Audi Q7, Tesla e GM Volt	21
2.3.2.	Sistemas de Gestão Térmica do Habitáculo do Veículo	23
2.3.3.	Sistemas de Gestão Térmica do Motor Elétrico e Eletrónica de Potência	25
2.3.4.	Exemplos de Sistemas de Gestão Térmica de Veículos.....	26
2.3.4.1.	Marca Optemus®	26
2.3.4.2.	Renault®	28
2.4.	Interface de Utilizador e Multimédia	30
2.4.1.	Sentidos Interativos	30
2.4.2.	Instrumentação	31
2.4.3.	Painéis de Instrumentação	32
3.	Circuito de Gestão Térmica do E-UTV	35
4.	Desenvolvimento Eletrónico	37
4.1.	<i>Control By Wire - CBW</i>	37
4.1.1.	Objetivo do Módulo	37
4.1.2.	Arquitetura do <i>Hardware</i>	38
4.1.3.	Arquitetura do <i>Software</i>	39
4.1.4.	Componentes Utilizados	42
4.1.4.1.	Entradas Analógicas de Baixa Tensão	42
4.1.4.2.	Processamento de Sinal.....	43
4.1.4.3.	Saídas de Potência de Alta Tensão.....	43
4.1.5.	Projeto da PCB	44
4.2.	AVAS.....	45
4.2.1.	Objetivo do Módulo	45
4.2.2.	Arquitetura do <i>Hardware</i>	46
4.2.3.	Arquitetura do <i>Software</i>	47
4.2.4.	Componentes Utilizados	50
4.2.4.1.	Processamento de Sinal.....	50
4.2.4.2.	Saídas do Módulo.....	50
4.2.5.	Projeto da PCB	51
4.2.6.	Criação dos Efeitos Sonoros	51

4.3.	Unidade de Monitorização dos DC/DC	53
4.3.1.	Objetivo do Módulo	53
4.3.2.	Arquitetura do <i>Hardware</i>	53
4.3.3.	Arquitetura do <i>Software</i>	55
4.3.4.	Componentes Utilizados.....	57
4.3.4.1.	Processamento de Sinal	57
4.3.4.2.	Entrada Analógicas.....	58
4.3.5.	Projeto da PCB	58
4.4.	Unidade de <i>Cooling</i>.....	59
4.4.1.	Objetivo do Módulo	59
4.4.2.	Arquitetura do <i>Hardware</i>	59
4.4.3.	Arquitetura do <i>Software</i>	61
4.4.4.	Componentes Utilizados.....	63
4.4.4.1.	Entradas Analógicas	63
4.4.4.2.	Processamento de Sinal	63
4.4.4.3.	Saídas de Potência	64
4.4.5.	Projeto da PCB	64
5.	Interface Gráfico do Utilizador	67
5.1.	<i>Hardware</i> Selecionado	67
5.2.	Arquitetura do <i>Software</i>.....	68
5.3.	Design Gráfico do Interface.....	68
5.4.	Funcionalidades do Interface Gráfico	69
6.	Testes Experimentais Efetuados às Unidades Desenvolvidas.....	71
6.1.	CBW.....	71
6.1.1.	Controlo via CAN desabilitado	72
6.1.2.	Controlo via CAN habilitado.....	74
6.2.	AVAS	75
6.3.	Unidade do <i>Cooling</i>	76

6.3.1.	Validação da Medição de Temperatura.....	76
6.3.2.	Validação da Medição de Caudal.....	78
6.3.3.	Validação do Controlo de Atuadores	79
6.4.	Unidade de Monitorização dos Conversores DC/DC.....	81
6.4.1.	Validação da Aquisição de Corrente	81
6.4.2.	Validação da Aquisição de Tensão	82
6.4.3.	Validação da Aquisição de Temperatura	83
7.	Conclusão	85
7.1.	Trabalho Futuro.....	86
	Referências Bibliográficas	87

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Constituição genérica de um veículo elétrico [1].	3
Figura 2.2 - Sinais de entrada e de saída típicos de um inversor [2].	5
Figura 2.3 - Controlador aplicado no projeto E-UTV - ZAPI ACE 3 [3].	5
Figura 2.4 - Esquema de montagem ZAPI ACE 3 [3].	6
Figura 2.5 - Esquema de montagem SIGMADRIVE PMT835M [4].	8
Figura 2.6 - Esquema de montagem SEVCON GEN4 SIZE4 [5].	8
Figura 2.7 - Representação gráfica de ondas sonoras: (A) som puro, (B) som composto por uma frequência fundamental e um harmónico, (C) som composto por uma frequência fundamental e vários harmónicos [7].	10
Figura 2.8 - Curvas dos filtros de ponderação A e C [11].	12
Figura 2.9 - Esquema da colocação dos sonómetros para a captação do aviso sonoro [12].	15
Figura 2.10 - Temperatura de funcionamento dos sistemas elétricos vs motor de combustão [16].	20
Figura 2.11 - <i>Pack</i> de baterias do Toyota Prius [17].	22
Figura 2.12 - <i>Pack</i> de baterias do BMW I3 [18].	22
Figura 2.13 - Sistema de controlo térmico da bateria da marca Tesla [19].	22
Figura 2.14 - Sistema de controlo térmico da bateria do Chevrolet Volt [20].	23
Figura 2.15 - Sistema de aquecimento elétrico [22].	24
Figura 2.16 - Sistema de aquecimento do habitáculo com reaproveitamento de energia térmica [22].	24
Figura 2.17 - Comparação da autonomia de três modelos de automóveis elétricos na estação de inverno [23].	25
Figura 2.18 - Sistemas típicos de arrefecimento de motores elétricos [24].	26
Figura 2.19 - Sistema de refrigeração com tubos de calor [25].	26
Figura 2.20 - Influência da temperatura na autonomia de um veículo elétrico [26].	27
Figura 2.21 - Circuito de refrigeração típico de um veículo elétrico [26].	27
Figura 2.22 - Diagrama do controlo eletrónico do sistema de refrigeração do veículo [26].	28
Figura 2.23 - Esquema do circuito de gestão térmica, estudo Renault [27].	29
Figura 2.24 - Modos de funcionamento do sistema de gestão térmica apresentado pela Renault [27].	30
Figura 2.25 - Evolução do painel de instrumentação automóvel [10].	33
Figura 3.1 - Circuito hidráulico de gestão térmica do E-UTV.	36

Figura 3.2 - Placa de arrefecimento do <i>pack</i> de baterias [29].	36
Figura 4.1 - Diagrama de blocos do módulo CBW.	38
Figura 4.2 - Conexões do módulo CBW.	39
Figura 4.3 - Fluxograma do módulo CBW.	42
Figura 4.4 - Placa do módulo CBW, vista 2D.	44
Figura 4.5 - Módulo CBW para aplicação no veículo.	45
Figura 4.6 - Diagrama de blocos do módulo AVAS.	46
Figura 4.7 - Conexões do módulo AVAS.	47
Figura 4.8 - Fluxograma do módulo AVAS.	49
Figura 4.9 - Módulo AVAS, vista 2d.	51
Figura 4.10 - Módulo AVAS para aplicação no veículo.	51
Figura 4.11 - Ambiente de desenvolvimento dos efeitos sonoros, <i>software</i> Audacity.	52
Figura 4.12 - Diagrama de blocos do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.	54
Figura 4.13 - Conexões do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.	55
Figura 4.14 - Fluxograma do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.	57
Figura 4.15 - Placa do módulo de monitorização dos conversores DC/DC, vista 2D.	58
Figura 4.16 - Módulo de monitorização dos conversores DC/DC para aplicação no veículo.	59
Figura 4.17 - Caixa dos conversores DC/DC.	59
Figura 4.18- Diagrama de blocos da unidade de <i>cooling</i> .	60
Figura 4.19 - Conexões da unidade de <i>cooling</i> .	61
Figura 4.20 - Fluxograma da unidade de <i>cooling</i> .	63
Figura 4.21 - Unidade de <i>cooling</i> , vista 2D.	64
Figura 4.22 - Unidade de <i>cooling</i> térmica para aplicação no veículo.	65
Figura 5.1 - Diagrama de blocos do interface gráfico do utilizador.	67
Figura 5.2 - Placa de desenvolvimento STM32F469I-disco [36].	68
Figura 5.3 - Página de introdução.	69
Figura 5.4 - Páginas do interface gráfico.	70
Figura 6.1 - Esquema da montagem prática realizada para avaliação do módulo CBW.	71
Figura 6.2 - Saída DRIVE desabilitada. Linha azul: Sinal de entrada; Linha vermelha: Sinal de saída.	73
Figura 6.3 - Saída DRIVE habilitada. Linha azul: Sinal de entrada; Linha vermelha: Sinal de saída.	73

Figura 6.4 - Saída DRIVE habilitada por CAN. Linha azul: Sinal de entrada; Linha vermelha: Sinal de saída.	74
Figura 6.5 - Esquema de montagem para validação do módulo AVAS.	75
Figura 6.6 - Esquema de montagem para validação da medição de temperatura com recurso aos termístores NTC.....	77
Figura 6.7 - Esquema de montagem para validação da medição de caudal.	79
Figura 6.8- Esquema de montagem para validação do controlo de atuadores.	80
Figura 6.9 - Resultado do ensaio para um PWM de 24%. Linha azul: Sinal de <i>duty cycle</i> do atuador.	81
Figura 6.10 - Esquema de montagem para validação da aquisição de corrente.....	82
Figura 6.11 - Esquema de montagem para validação da aquisição de tensão.....	83
Figura 6.12 - Esquema de montagem para validação da aquisição de temperatura.....	84

Lista de tabelas.

Tabela 2.1 - Exemplos da intensidade sonora de situações do dia a dia [8].	11
Tabela 2.2 - Intensidade sonora mínima requerida pela norma em dB(A) [12].	14
Tabela 2.3 - Fator de correção ao resultado da avaliação do sistema AVAS [12].	17
Tabela 2.4 - Resultados obtidos da pressão sonora, em dB(A), com e sem sistema de AVAS [13].	19
Tabela 4.1 - Estrutura da mensagem CAN do módulo CBW.	40
Tabela 4.2 - Estrutura da mensagem CAN do módulo AVAS.	47
Tabela 4.3 - Estrutura das mensagens CAN do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.	56
Tabela 4.4 - Estrutura da mensagem CAN da unidade de <i>cooling</i> .	62
Tabela 6.1 - Resultados dos ensaios realizados ao módulo AVAS.	76
Tabela 6.2 - Curva característica do termístor NTC Amphenol GE-2102 [31].	77
Tabela 6.3 - Resultados dos ensaios de validação da medição de temperatura.	78
Tabela 6.4 - Resultados dos ensaios de validação da medição de caudal.	79
Tabela 6.5 - Valores de PWM estabelecidos para o controlo do atuador.	80
Tabela 6.6 - Resultados dos ensaios de validação da aquisição de corrente.	82
Tabela 6.7 - Resultados dos ensaios de validação da aquisição de tensão.	83
Tabela 6.8 - Resultados dos ensaios de validação da aquisição de tensão.	84

Lista de siglas e acrónimos

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
AVAS	<i>Acoustic Vehicle Alerting System</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
BTMS	<i>Battery Thermal Management System</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CBW	<i>Control by Wire</i>
E-UTV	<i>Electric Utility Vehicle</i>
HUD	<i>Heads-up Display</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCM	<i>Phase Change Material</i>
PPTC	<i>Polymeric Positive Temperature Coefficient</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
TFT	<i>Thin-Film Transistor</i>
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

1. Introdução

1.1. Contextualização do Projeto

Numa realidade em que os veículos com motorização elétrica se vêm a afirmar cada vez mais e ganham força no mercado tornando-se a opção de eleição de muitos entusiastas, a formação na área dos veículos elétricos no ramo da Engenharia Automóvel torna-se indispensável para acompanhar a evolução tecnológica e as tendências para um futuro próximo.

O projeto do veículo utilitário elétrico, também denominado de E-UTV, do inglês *Electric Utility Vehicle*, foi criado com o objetivo de desenvolver um veículo elétrico versátil que permita servir de elemento didático para auxiliar na formação de novos técnicos e engenheiros. É também objetivo permitir ter uma base de testes sólida para o desenvolvimento de eletrónica e realização de testes a componentes constituintes destes tipos de veículos tais como, por exemplo, *packs* de baterias.

O presente projeto surgiu com a necessidade do desenvolvimento de eletrónica base para instrumentação e controlo do veículo e para solucionar questões de segurança fundamentais para o sucesso do E-UTV, tendo em consideração o fator custo, sendo esta ainda uma das desvantagens dos veículos elétricos.

1.2. Objetivos

No âmbito do presente projeto pretende-se desenvolver múltiplos módulos eletrónicos que permitam aumentar a segurança do E-UTV para os seus utilizadores e para o próprio veículo, instrumentando-o para uma maior disponibilização de informação acerca do seu estado de funcionamento e controlo nas mais diversas condições a que este for sujeito.

Mais especificamente os objetivos traduzem-se no desenvolvimento de:

- Um módulo isolado para realizar o interface entre o utilizador e o controlador do motor, com o intuito de aumentar a segurança do veículo para os ocupantes;

- Um avisador sonoro para permitir aos que partilham o mesmo espaço do E-UTV ter uma maior perceção da sua presença quando este se desloca a velocidades baixas, visto que a motorização elétrica se caracteriza por ser silenciosa;
- Uma unidade de monitorização do sistema de alimentação da baixa tensão para aumentar a informação disponível acerca do estado de funcionamento do veículo;
- Um esquema elétrico do circuito de controlo do sistema de refrigeração do E-UTV tendo em consideração o que existe no mercado para garantir o funcionamento de todos os componentes elétricos de potência nas suas gamas de temperatura de funcionamento ótimas;
- Um interface gráfico para apresentação das variáveis que traduzem o estado de funcionamento do E-UTV ao utilizador.

1.3.Estrutura do Relatório

Em termos de estrutura e organização, o relatório divide-se em sete capítulos sendo o primeiro destinado à contextualização do projeto e à identificação dos objetivos estabelecidos para a realização do presente trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica onde são introduzidos os conceitos teóricos relevantes para um melhor entendimento do projeto e justificadas as decisões tomadas quanto aos módulos desenvolvidos e ao seu modo de operação.

O terceiro capítulo destina-se à apresentação do circuito de gestão térmica idealizado para aplicação no E-UTV e à explicação do seu funcionamento.

No capítulo 4 é exposto todo o desenvolvimento eletrónico realizado, com foco no objetivo detalhado de cada um dos módulos, nas arquiteturas de *hardware* e *software* adotadas, na explicação dos componentes eletrónicos utilizados, no projeto das placas de circuitos impresso e no relatório de custo de cada um.

O capítulo 5 é exclusivo à apresentação do interface gráfico desenvolvido.

No capítulo 6 apresentam-se os ensaios experimentais realizados aos módulos eletrónicos com o intuito de efetuar uma validação dos mesmos para posterior aplicação no veículo, com a respetiva análise e discussão de resultados.

Por fim, o capítulo 7 apresenta as principais conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros, para continuação e otimização do projeto.

2. Estado da Arte

Neste capítulo apresenta-se a pesquisa bibliográfica realizada para o desenvolvimento do presente projeto. Procurou-se justificar a concepção dos módulos eletrónicos considerando o que existe atualmente no mercado e nas necessidades inerentes aos objetivos do projeto, fundamentando a teoria com base na bibliografia consultada e sempre que possível com exemplos de dispositivos e componentes de marcas comerciais ou estudos realizados retirados de artigos públicos.

2.1. Controladores/Inversores de Veículos Elétricos

A tendência crescente da utilização de veículos elétricos na atualidade levou a que várias marcas automóveis desenvolvessem os seus próprios modelos, cada um com as suas individualidades, mas ao mesmo tempo, com bastantes semelhanças. A Figura 2.1 apresenta através de um diagrama de blocos a constituição genérica de um veículo elétrico de uma forma simplificada, com foco nos componentes essenciais para o funcionamento do veículo [1].

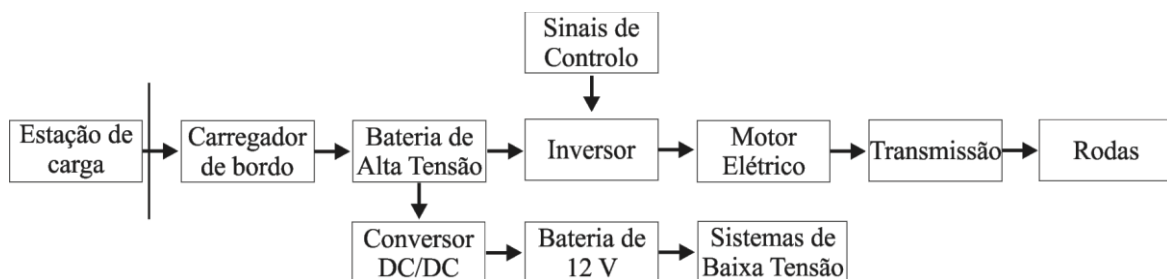


Figura 2.1 - Constituição genérica de um veículo elétrico [1].

Na sua constituição básica um veículo elétrico possui:

- Uma bateria de alta tensão para o armazenamento de energia;
- Um conversor DC/DC responsável por converter a alta tensão proveniente da bateria principal do veículo para uma tensão na gama entre 13 a 14 V de modo a carregar uma bateria de baixa tensão que, por sua vez, fornece energia para a eletrónica e sistemas elétricos de baixa tensão do veículo;

- O inversor ou controlador, com a finalidade de converter a corrente contínua proveniente da bateria de alta tensão, para corrente alternada, de modo a acionar o motor elétrico e a controlá-lo com base em determinados sinais de controlo;
- O carregador de bordo, que tem como objetivo converter a corrente alternada proveniente da estação de carga para corrente contínua para ser possível carregar a bateria de alta tensão.

Destacando o papel do inversor na arquitetura apresentada, para além da conversão de corrente elétrica mencionada, este componente possui uma função crucial no desempenho e no controlo do motor elétrico. Equipado internamente com um microcontrolador é responsável por adquirir sinais de controlo acerca do estado do veículo e enviados pelo utilizador de modo a determinar a velocidade de rotação do motor e o binário que este transmite ao sistema de transmissão e conseqüentemente às rodas. O inversor também é responsável pela regeneração de energia quando o motor funciona como gerador, como por exemplo durante uma travagem, para aproveitar a energia elétrica gerada com a finalidade de carregar a bateria de alta tensão do veículo aumentando assim a sua autonomia [2].

Na Figura 2.2 pode-se observar um diagrama que apresenta alguns exemplos dos sinais de controlo que o microcontrolador do inversor adquire e a respetiva resposta em função dos mesmos.

Os sinais mencionados podem ser provenientes de sensores instalados no veículo tais como a temperatura do motor, a velocidade do veículo, tensão e temperatura da bateria de alta tensão. Ou de ações do utilizador, como por exemplo a seleção da direção de deslocamento do veículo, para a frente ou marcha atrás, a posição dos pedais do acelerador e do travão, o estado de interruptores que podem possuir funcionalidades de seleção de mapas de potência se aplicável, entre outros.

Em resposta aos sinais de entrada o microcontrolador do inversor permite a execução de várias funcionalidades como por exemplo determinar a velocidade de rotação e o binário para atuar o motor elétrico, controlar atuadores por histerese ou disponibilizar informação para a interface acerca do estado geral do inversor e do motor.



Figura 2.2 - Sinais de entrada e de saída típicos de um inversor [2].

2.1.1. Controlador ZAPI ACE3 – Projeto E-UTV

Para a aplicação do veículo a desenvolver, o E-UTV, foi selecionado o controlador ACE 3, da marca ZAPI®, apresentado na Figura 2.3. Trata-se de um controlador com uma tensão nominal de 80 V e uma corrente de 225 A, o que perfaz uma potência aproximada de 20 kW. De entre as várias funcionalidades e ligações de entrada e de saída que o controlador possui, o foco do presente estudo incide sobre os sinais de controlo que o utilizador deve fornecer ao controlador, para o seu funcionamento [3].



Figura 2.3 - Controlador aplicado no projeto E-UTV - ZAPI ACE 3 [3].

A Figura 2.4 mostra o esquema de montagem do controlador referido. Os sinais de controlo atuados pelo utilizador do veículo, pretendidos na aplicação do projeto E-UTV, encontram-se destacados pelas linhas tracejadas de cor azul. Estes dizem respeito aos sinais de *Drive* e *Reverse*, que servem para definir se o veículo se desloca para a frente ou para trás respetivamente, o sinal do travão de mão para bloquear o motor, o sinal do sensor do banco, que deteta a presença do condutor no respetivo assento para permitir que o veículo apenas funcione e se desloque na sua presença e o sinal da chave que é o interruptor principal que permite ligar o controlador do motor.

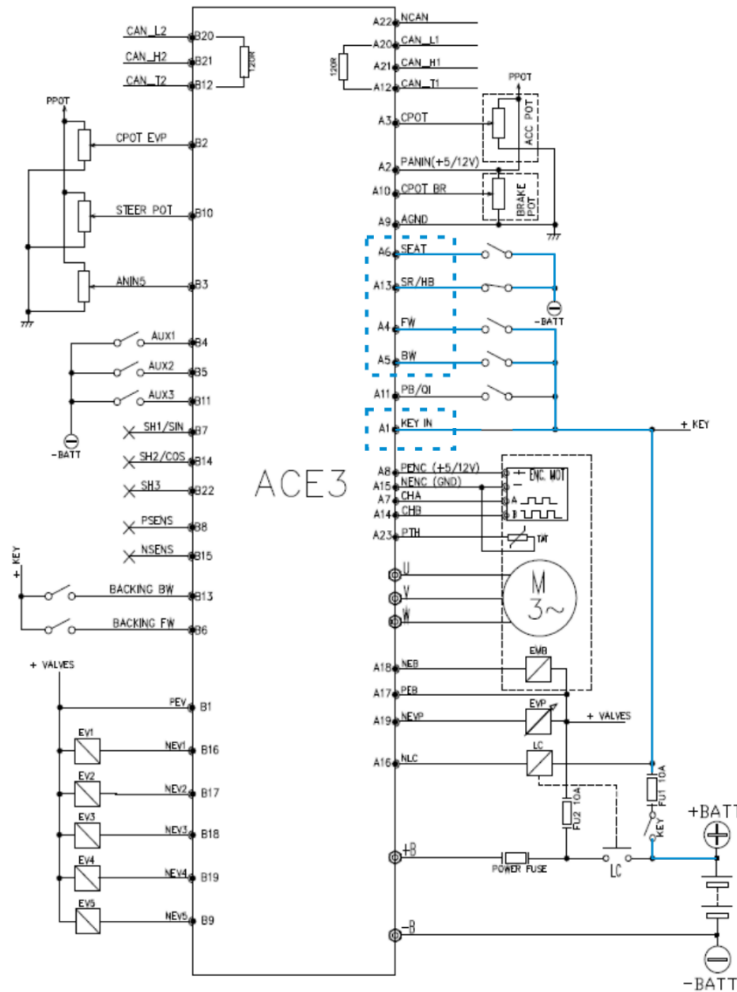


Figura 2.4 - Esquema de montagem ZAPI ACE 3 [3].

Constatou-se que, devido à arquitetura do *hardware* do controlador, estes sinais são asseridos com alta tensão, sendo o sinal do travão de mão e do sensor do banco asseridos com massa da bateria de alta tensão, e os restantes sinais referidos asseridos com o sinal positivo da bateria. Para melhor interpretação as ligações elétricas dos sinais mencionados foram destacadas com uma linha contínua azul na Figura 2.4. Esta particularidade representa um perigo para os utilizadores do E-UTV, uma vez que, tendo estes controlos de estar acessíveis ao utilizador, ao operarem com alta tensão, em caso da existência de um curto-circuito ou uma falha no isolamento por exemplo, pode levar à ocorrência de um acidente.

Com o intuito de aumentar a segurança do veículo, eliminando a presença de sinais de alta tensão na zona de manuseamento dos utilizadores, viu-se a necessidade de desenvolver uma unidade de controlo de baixa tensão para o efeito, denominada de *Control by Wire – CBW*.

2.1.2. Outros exemplos: Controladores SIGMADRIVE e SEVCON GEN4

Para além do controlador selecionado para o projeto, outras opções foram estudadas com o intuito de compreender e comparar a metodologia de montagem dos equipamentos no veículo. De seguida apresentam-se dois exemplares de outras marcas que, dadas as suas características, poderiam ser opções válidas para aplicar no E-UTV.

A Figura 2.5 apresenta o esquema de montagem do controlador da marca SIGMADRIVE[®], modelo PMT835M, com uma tensão nominal de funcionamento de 80 V e capacidade de fornecer continuamente uma corrente de 120 A. Foram destacadas a azul as mesmas conexões referidas no subcapítulo anterior, sendo aquelas que seriam utilizadas caso fosse este controlador o selecionado para aplicar no veículo. De igual modo, pode observar-se que, todos os sinais necessários para a correta operação do E-UTV são referenciados à bateria de alta tensão, neste caso à massa com a exceção do sinal da chave, que liga diretamente ao polo positivo da bateria [4].

Na Figura 2.6 pode observar-se o esquema de montagem do controlador GEN4, do fabricante SEVCON[®], uma terceira opção válida para aplicação no E-UTV, que, na versão de 80 V nominais, apresenta três modelos que diferem entre si na corrente nominal de funcionamento, possuindo os modelos SIZE 2, SIZE 4 e SIZE 6, com correntes nominais de 75 A, 140 A e 210 A respetivamente. A mesma lógica de análise das ligações necessárias para o processamento dos sinais pretendidos foi utilizada [5].

Concluindo, com base nos esquemas de montagem apresentados, retirados das fichas técnicas dos três controladores, pode afirmar-se que a necessidade do aumento da segurança para os ocupantes do veículo que levou ao desenvolvimento do módulo CBW existiria mesmo que se pretendesse utilizar outra opção de inversor, visto que a referência à bateria de alta tensão dos sinais de controlo dos inversores é um fator comum entre vários controladores de diversos fabricantes.

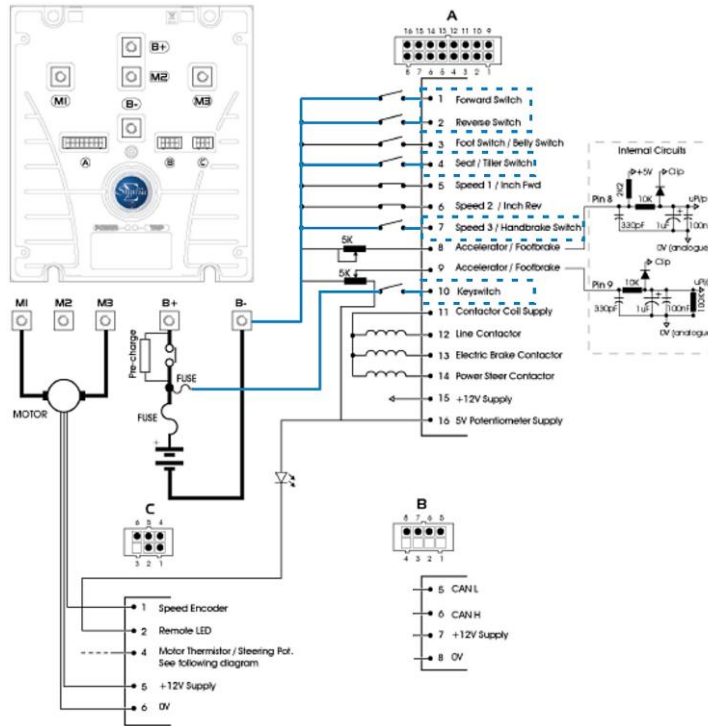


Figura 2.5 - Esquema de montagem SIGMADRIVE PMT835M [4].

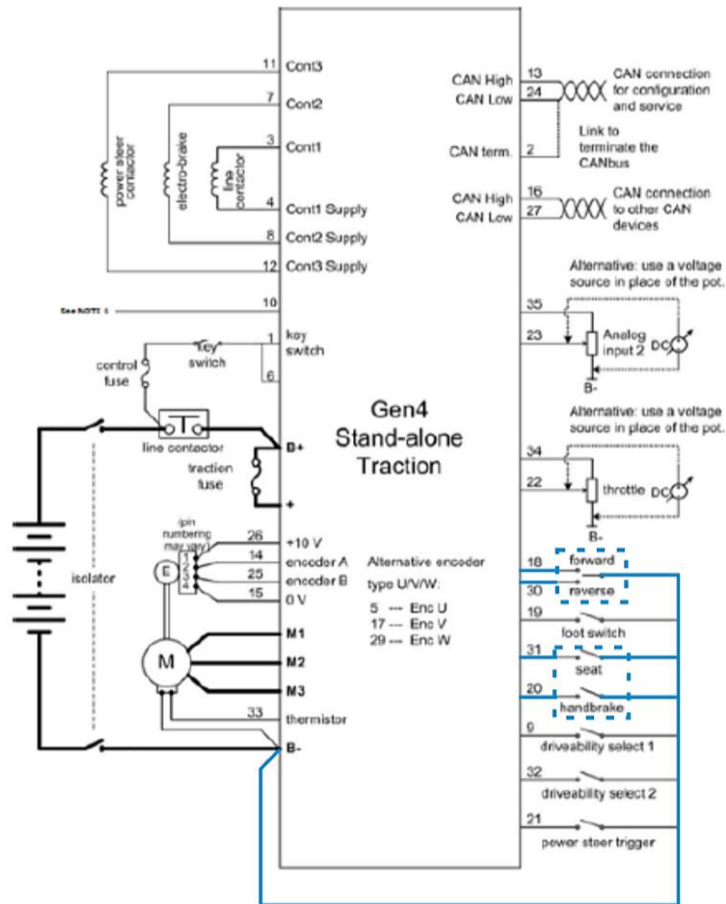


Figura 2.6 - Esquema de montagem SEVCON GEN4 SIZE4 [5].

2.2.Sistema de Alerta Acústico do Veículo - AVAS

Nos dias que correm cada vez mais veículos elétricos circulam nas estradas tomando o lugar dos veículos com motores de combustão interna. As suas características de funcionamento, nomeadamente o facto de possuírem motorização elétrica que produz uma poluição sonora muito inferior comparativamente aos veículos movidos a combustíveis fósseis, levantaram uma questão relacionada com a segurança de todos os ocupantes da via pública. Veículos totalmente elétricos, ou híbridos a operar em modo elétrico são substancialmente mais silenciosos, especialmente em situações em que circulam em velocidades baixas, visto que a partir de uma certa velocidade, o barulho do rolamento dos pneus na estrada já representa um som audível para os restantes utilizadores da via. Esta característica silenciosa deste tipo de veículos representa um perigo especialmente para peões e ciclistas e mais particularmente para pessoas com incapacidade visual uma vez que com esta condição a audição é um dos sentidos mais importantes para circularem em segurança [6].

2.2.1. Som: Definição e Conceitos Associados

O termo som, ou seja, tudo que ouvimos, corresponde a oscilações da pressão do ar que conseguem ser captadas pelo ouvido humano. Contudo, a nossa capacidade auditiva possui certos limites pelo que nem todas as variações de pressão são percebidas pelo ser humano [7].

2.2.1.1. Frequência

Ao número de variações da pressão no ar, por unidade de tempo, dá-se o nome de frequência, expressada em Hertz (Hz). Relativamente a este parâmetro o ouvido humano tem a capacidade de captar sons com uma frequência compreendida entre 20 Hz e 20000 Hz. Qualquer ruído fora dessa gama é impercetível ao ouvido humano [7].

Se pensarmos no espectro das cores, todas as cores para além do vermelho, verde e azul resultam de uma combinação destas três, ou de duas delas. A mesma analogia pode ser feita com o som. Praticamente todos os sons que ouvimos e conhecemos são constituídos por mais do que uma frequência, e não por uma só. Ao abordar este tema podemos com isto considerar um som puro se for constituído por uma frequência única, ou um som composto, se for formado por mais do que uma frequência. Num som composto dá-se o nome de frequência fundamental àquela que for a principal do som, isto porque existe sempre uma que se destaca

face às restantes, tipicamente por ter uma maior amplitude, sendo as restantes frequências denominadas de harmônicos. A Figura 2.7 apresenta graficamente as formas de onda de um som puro e de um som composto. Na figura, pode-se observar que nas representações dos sons compostos, este são constituídos por uma frequência fundamental F e por harmônicos correspondentes a frequências múltiplas da fundamental com menor amplitude.

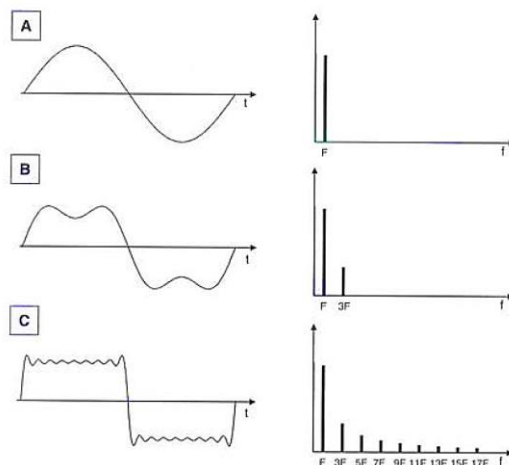


Figura 2.7 - Representação gráfica de ondas sonoras: (A) som puro, (B) som composto por uma frequência fundamental e um harmônico, (C) som composto por uma frequência fundamental e vários harmônicos [7].

2.2.1.2. Pressão sonora

Outro parâmetro fundamental para caracterizar um som é a intensidade do mesmo, isto porque, mesmo que um som esteja dentro da gama de frequências audíveis pelo nosso ouvido, se não possuir uma intensidade grande o suficiente, não é detetado pelo nosso sistema auditivo. A intensidade sonora expressa-se em Pascal (Pa) e, para este parâmetro, os limites são de 0,00002 Pa e 200 Pa, sendo que este segundo valor representa o limiar da dor. Dada a disparidade entre o valor mínimo e o valor máximo para o parâmetro da intensidade, bem como o número de casas decimais existentes para representar um som com uma intensidade média, como o discurso entre duas pessoas por exemplo, adotou-se a escala Decibel (dB). O dB não representa uma unidade física, servindo apenas para comparar valores. Aplicado ao som, o dB compara a pressão sonora de um som, com o valor de referência (0,00002 Pa) através da equação 1 [7].

$$SPL = 20 \log \left(\frac{\text{pressão}}{0,00002} \right) \quad (1)$$

Onde:

- SPL (*Sound Pressure Level*) é a pressão sonora do som considerado [dB]
- Pressão é a intensidade do som considerado [Pa]

Tendo em consideração a equação apresentada pode-se afirmar que na escala dB, os limites da audição humana, relativamente à intensidade de um som, variam entre os 0 dB e os 140 dB.

A Tabela 2.1 apresenta valores típicos da intensidade sonora de situações comuns do dia a dia para uma melhor percepção da escala de medição utilizada para representar este parâmetro [8].

Tabela 2.1 - Exemplos da intensidade sonora de situações do dia a dia [8].

Intensidade sonora [dB]	Exemplo
10-20	Sussurro
40-50	Ruído ambiente de uma zona urbana
60	Conversa normal entre duas pessoas
70	Veículo ligeiro em funcionamento
90	Veículo pesado em funcionamento
100	Martelo pneumático
110	Concerto de música ao vivo
120	Descolagem de um avião comercial

2.2.1.3. Equipamentos de medição de filtro ponderadores

Para ser possível determinar a intensidade sonora de um determinado ruído foram desenvolvidos equipamentos de medição para o efeito. Tendo em conta a natureza do conceito de som, o equipamento básico para a medição do parâmetro mencionado é nada mais nada menos que um sensor de pressão sonora. De uma forma simplificada, o transdutor eletroacústico, ou microfone, transforma a pressão sonora num sinal elétrico equivalente que, após o seu processamento, dá ao utilizador o valor da intensidade do som na escala dB. Este tipo de equipamento denomina-se de sonómetro [9].

Uma particularidade destes aparelhos de medição é que, tipicamente, o resultado apresentado ao utilizador é dado na escala dB(A) ou dB(C). Isto significa que a intensidade sonora dada pelo aparelho não corresponde exatamente à real, característica do som analisado. As letras (A) e (C) correspondem a filtros ponderadores aplicados à intensidade sonora medida pelo

aparelho para fazer uma correção ao seu valor. A existência destes filtros justifica-se pelo facto da percepção humana da intensidade de um som ser dependente da frequência, ou seja, sons com a mesma intensidade, mas com frequências diferentes, são percebidos de formas diferentes em termos de intensidade pelo nosso sistema auditivo. Existem vários filtros ponderadores que aplicam valores de correção diferentes à intensidade sonora de um determinado ruído, nomeadamente os filtros A, B, C e D. Contudo os mais comuns e os que normalmente estão disponíveis nos sonómetros são os filtros A e C. A Figura 2.8 apresenta as curvas de ponderação dos dois filtros mais comuns, que mostram os valores da correção a aplicar à intensidade sonora em função da frequência do som em análise [10].

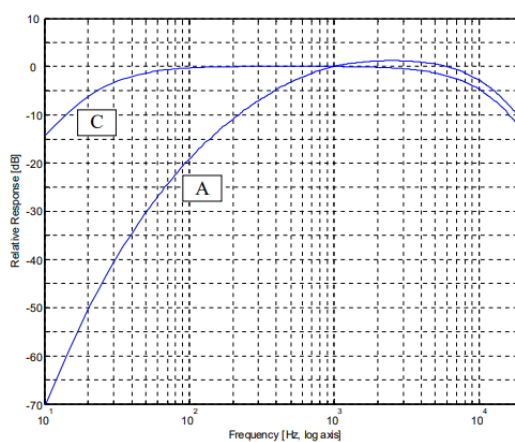


Figura 2.8 - Curvas dos filtros de ponderação A e C [11].

O filtro ponderador A é o indicado pela maioria das normas e legislações que abordam o tema do som uma vez que é o que mais aproxima a intensidade de um determinado som àquilo que é a percepção do ouvido humano, especialmente em ruídos com uma frequência média ou baixa, onde o fator de correção é maior. Nesta gama encontram-se muito dos sons aos quais estamos expostos nas atividades do nosso quotidiano [9].

O filtro ponderador C também é indicado por algumas normas, sendo mais aplicado para sons como uma intensidade elevada, como sons de impacto por exemplo. Por ter uma curva de correção quase plana, das medições de intensidade sonora com a ponderação C, resultam valores aproximados a medições sem qualquer ponderação.

2.2.2. Regulamentação: UNECE R138

Devido aos perigos associados às baixas emissões de ruído por parte dos veículos elétricos e híbridos a operar em modo elétrico, algumas organizações, principalmente americanas, tais como a *World Blind Union* (associação dedicada ao apoio de pessoas invisuais), forçaram o desenvolvimento de uma norma para assegurar a segurança dos peões com esta condição na via pública. Posto isto, foram criados regulamentos internacionais para assegurar um valor mínimo de emissão de ruído por parte deste tipo de veículos.

A Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (*UNECE - United Nations Economic Commission for Europe*) introduziu em outubro de 2016 o regulamento número 138 como resposta a este problema. Este regulamento impõe que todos os veículos homologados depois de 1 de julho de 2019 têm de cumprir com os seus requisitos. Acrescenta ainda que, até 1 de julho de 2021 todos os veículos considerados silenciosos, devem cumprir também com o regulamento. Para isso, veículos elétricos e híbridos requerem a instalação do sistema AVAS, para emitir um aviso sonoro cumprindo desta forma o valor mínimo de ruído estipulado pela lei [6].

O regulamento estabelece a gama de velocidades para a qual o sistema AVAS deve operar, definindo o intervalo de funcionamento do sistema de alerta sonoro entre, pelo menos, os 0 e os 20 km/h do veículo, inclusive. Para velocidades superiores a 20 km/h concluiu-se que os ruídos emitidos pelo deslocamento do carro, tal como o barulho do rolamento dos pneus na estrada, tornam o carro suficientemente audível, podendo-se desligar o aviso sonoro [12].

Na norma é definido o valor de intensidade sonora mínima para duas velocidades de teste constantes, caso o veículo esteja a mover-se em frente, ou para a sinalização de um movimento de marcha atrás. Para cumprir com os requisitos, o sistema AVAS deve possuir uma intensidade sonora igual ou superior a 50 dB(A) para uma velocidade constante de 10 km/h, 56 dB(A) para uma velocidade de 20 km/h e 47 dB(A) caso o veículo se desloque de marcha atrás, nunca ultrapassando um limite máximo de 75 dB(A). Veículos não equipados com o sistema AVAS, que ultrapassem os valores estabelecidos com uma margem superior a 3 dB(A), são dispensados de utilizar este equipamento.

Dado que os sons emitidos por este sistema se tratam de sons compostos por várias frequências, uma vez que são mais agradáveis ao ouvido do que sons completamente puros de uma só frequência, a norma apresenta os valores da intensidade sonora mínima para cada

uma das frequências individualmente e para o som global formado por todas as frequências. Na Tabela 2.2 apresenta-se o nível de intensidade sonora mínima, em dB(A), estabelecido pela norma.

Tabela 2.2 - Intensidade sonora mínima requerida pela norma em dB(A) [12].

Frequência [Hz]	Velocidade Constante de 10 km/h [dB(A)]	Velocidade Constante de 20 km/h [dB(A)]	Marcha atrás [dB(A)]
160	45	50	47
200	44	49	
250	43	48	
315	44	49	
400	45	50	
500	45	50	
630	46	51	
800	46	51	
1000	46	51	
1250	46	51	
1600	44	49	
2000	42	47	
2500	39	44	
3150	36	41	
4000	34	39	
5000	31	36	
Som composto	50	56	

Para além do referido, caso o veículo se desloque em frente, o conjunto de regras para este sistema requer que o som emitido pelo AVAS aumente de frequência proporcionalmente com o aumento da velocidade do veículo, de forma a simular uma aceleração, dentro de uma gama de frequência compreendida entre os 160 Hz e os 5000 Hz. A frequência do som emitido deve aumentar pelo menos 0,8 % por cada 1 km/h desde os 5 até aos 20 km/h inclusive. Considerando um som composto por várias frequências, caso várias frequências constituintes do som variem com a velocidade, apenas uma delas precisa de cumprir com este requisito. Para o caso de movimentos de marcha atrás, o regulamento apenas requer que o som emitido seja diferente do utilizado para deslocações em frente.

Relativamente aos testes práticos para homologar os sistemas AVAS a norma é bastante detalhada quanto às condições sob as quais os testes devem ser realizados, tais como, o espaço de testes não conter num objeto que possa de alguma forma refletir a onda sonora

emitida num raio de 50 m. A estrada onde o veículo circula deve estar seca e sem conter nenhum resíduo que possa absorver a onda de pressão como por exemplo detritos soltos. As condições atmosféricas devem ser favoráveis, com temperaturas entre os 5 e os 40 °C e com uma velocidade máxima do vento de 5 m/s à altura dos sonómetros, devendo as condições atmosféricas ser registadas durante a realização dos testes, nomeadamente a temperatura, humidade relativa e pressão barométrica. São estes os exemplos das principais regras para a realização de testes em espaços exteriores, sendo que existe também um conjunto de regras para a realização de testes em espaços fechados com todas as condições para que o espaço envolvente não influencie o resultado das medições [12].

Para a captação das ondas sonoras emitidas pelo sistema AVAS o regulamento requer a colocação de dois sonómetros, um de cada lado do veículo, a uma distância de 2 m do eixo longitudinal do mesmo, sendo que este se deve deslocar em linha reta à velocidade de teste mencionada pela norma. A Figura 2.9 mostra esquematicamente a forma como devem ser colocados os microfones dos sonómetros considerando um movimento do veículo do ponto A para o ponto B.

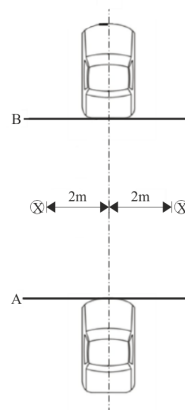


Figura 2.9 - Esquema da colocação dos sonómetros para a captação do aviso sonoro [12].

Outro fator a ter em consideração durante a realização das medições é o ruído ambiente, visto que este pode influenciar significativamente os resultados dos ensaios ao sistema AVAS. A norma apresenta um procedimento a aplicar para, com base na intensidade sonora ambiente, avaliar a fiabilidade dos resultados de um teste num determinado local. O procedimento é constituído pelos seguintes pontos:

- Utilizando os mesmos sonómetros que se pretendem utilizar na avaliação do sistema AVAS, na localização definida para o teste, deve-se adquirir a intensidade sonora

ambiente continuamente por um período de pelo menos 10 segundos, garantindo que este período não corresponde a um regime transiente do som ambiente e está livre de qualquer perturbação pontual que possa ocorrer, como a queda de um objeto ou a passagem de um veículo. Os valores de pressão sonora máxima adquiridos por ambos os sonómetros durante este período, em dB(A), devem ser registados como o ruído ambiente (L_{amb}) quer para o lado esquerdo, quer para o lado direito do eixo de deslocamento do veículo.

- A diferença entre os extremos dos valores adquiridos, ou seja, entre as pressões sonoras máxima e mínima registada por cada sonómetro, no intervalo de tempo considerado, também deve ser registada ($\Delta L_{amb, p-p}$).
- Adquiridos os valores da pressão sonora do ambiente, seguidamente deve-se proceder com a avaliação do sistema AVAS, registando o valor da pressão sonora do mesmo (L_{AVAS}).

Na Tabela 2.3 apresentam-se os fatores de correção a aplicar à intensidade sonora adquirida do sistema AVAS em função do ruído ambiente. Interpretando-a, observa-se que os resultados apenas são válidos se:

- A diferença entre as pressões sonoras máxima e mínima registadas por cada sonómetro for superior a 2 dB(A) e a diferença entre as intensidades sonoras do sistema AVAS e do ambiente for superior a 10 dB(A) ($\Delta L_{amb, p-p} > 2 \text{ dB(A)}$ e $L_{AVAS} - L_{amb} \geq 10 \text{ dB(A)}$).
- A diferença entre as pressões sonoras máxima e mínima registadas por cada sonómetro for inferior ou igual a 2 dB(A) e a diferença entre as intensidades sonoras do sistema AVAS e do ambiente for superior a 3 dB(A) ($\Delta L_{amb, p-p} \leq 2 \text{ dB(A)}$ e $L_{AVAS} - L_{amb} \geq 3 \text{ dB(A)}$).

Confirmando-se a validade dos resultados caso a diferença entre as intensidades sonoras do sistema AVAS e do ambiente ($\Delta L = L_{AVAS} - L_{amb}$) seja superior a 10 dB(A), não é necessária qualquer correção ao resultado pois isto significa que o som emitido pelo sistema de aviso sonoro sobrepõe-se consideravelmente ao ruído ambiente, não tendo este influência no resultado do teste. No outro extremo, caso a diferença referida seja inferior a 3 dB(A), o resultado do teste não é válido, pois o ruído ambiente possui um nível sonoro muito aproximado ao sistema AVAS. Com diferenças compreendidas entre 3 e 10 dB(A) deve-se

aplicar o fator de correção correspondente, calculando assim o valor de intensidade sonora do sistema AVAS corrigida, com recurso à equação 2.

Tabela 2.3 - Fator de correção ao resultado da avaliação do sistema AVAS [12].

Diferença entre as pressões sonoras máxima e mínima captadas pelo sonómetro $\Delta L_{amb, p-p}$ [dB(A)]	Diferença entre as pressões sonoras do sistema AVAS e do ambiente $\Delta L = L_{AVAS} - L_{amb}$ [dB(A)]	Correção a aplicar L_{corr} [dB(A)]
> 2	$\Delta L \geq 10$	Não é necessário aplicar correção
	$8 \leq \Delta L < 10$	0,5
	$6 \leq \Delta L < 8$	1,0
	$4,5 \leq \Delta L < 6$	1,5
	$3 \leq \Delta L < 4,5$	2,5
≤ 2	$\Delta L < 3$	Não é possível realizar uma medição válida

$$L_{AVAS\ corr} = L_{AVAS} - L_{corr} \quad (2)$$

Onde:

- $L_{AVAS\ corr}$ corresponde à pressão sonora do sistema AVAS após aplicar o fator de correção [dB(A)]
- L_{AVAS} é a pressão sonora do sistema AVAS adquirida pelo sonómetro antes de aplicar o fator de correção [dB(A)]
- L_{corr} é o fator de correção a aplicar, com base na Tabela 2.3 [dB(A)]

2.2.3. Sistemas de Alerta Acústicos Existentes em Veículos Elétricos

Um estudo realizado por Felix Laib e J. Alexander Schmidt [13], apresenta resultados bastante interessantes de sistemas de alerta acústicos de veículos de marcas de renome no mercado automóvel. O artigo tem como principal objetivo estudar a influência da emissão de sons artificiais no ruído ambiente urbano dado o aumento considerável da utilização de veículos elétricos na atualidade, questionando até que ponto o sistema AVAS pode tornar-se incomodativo para os utentes da via pública e afetar a qualidade de vida devido à poluição sonora.

Com a apresentação dos resultados deste estudo no presente relatório pretende-se quantificar a diferença da emissão sonora de um veículo elétrico com e sem o sistema de alerta sonoro

instalado e ter um termo comparativo para o sistema AVAS desenvolvido no projeto. Para além do referido, observar-se-á também a coerência entre os sistemas de alerta sonoros existentes nos veículos comercializados e o regulamento em vigor para os mesmos.

No artigo apresentado os ensaios aos sistemas AVAS dos veículos elétricos em estudo foram realizados com todas as condições de ensaio em conformidade com o Regulamento do Parlamento Europeu 540/2014. Este regulamento existe para estabelecer um valor máximo de intensidade sonora emitida pelos veículos com o objetivo de reduzir a poluição sonora [14].

Na Tabela 2.4 revelam-se os resultados dos testes efetuados aos veículos em estudo. Numa primeira análise pode verificar-se a falta de conformidade dos resultados com os limites mínimos de intensidade sonora para o sistema AVAS estabelecidos pela norma UNECE R138. Contudo, esta diferença pode justificar-se pela distância à qual foram colocados os microfones dos sonómetros para a captação do som durante os testes (7,5 metros), visto que a norma mencionada e a norma utilizada pelos autores do estudo diferem neste parâmetro. Segundo a bibliografia consultada, na propagação de uma onda sonora, a sua intensidade diminui 6 dB com o aumento da distância de captação para o dobro [7].

Posto isto, matematicamente é possível estimar o valor da intensidade sonora dos sistemas AVAS dos veículos em estudo caso fossem adquiridos com os microfones colocados a 2 metros. Com a aproximação dos microfones para a distância referida na norma UNECE R138 os valores adquiridos nos testes deveriam crescer todos cerca de 12 dB. Desta forma todos os resultados observados estariam em concordância com a norma referida validando assim a homologação dos sistemas de alerta sonoro que equipam os veículos.

Tabela 2.4 - Resultados obtidos da pressão sonora, em dB(A), com e sem sistema de AVAS [13].

Marca e modelo	SPL com AVAS (10/20/30 km/h) [dB(A)]	SPL sem AVAS (10/20/30 km/h) [dB(A)]	Diferença entre ambos os ensaios (10/20/30 km/h) [dB(A)]
Hyundai Ioniq	49/56/60	43/54/60	6/2/0
Opel Ampera	49/52/57	42/51/58	7/1/0
Nissam Leaf	47/52/58	44/52/58	3/0/0
Renault Zoe	54/58/60	43/53/60	11/5/0
VW e-Golf	51/57/62	50/56/62	1/1/0

2.3.Sistema de Gestão Térmica de Veículos Elétricos

O sistema de gestão térmica dos veículos elétricos possui a principal função de regular a temperatura de funcionamento dos componentes de alta tensão, nomeadamente da bateria, do motor elétrico, do inversor, do carregador de bordo e do conversor DC/DC, assegurando que todos operam na gama de temperatura de maior eficiência, e garantir o conforto dos ocupantes através do controlo da temperatura do sistema de ar condicionado. Para além disso, a gestão térmica de um veículo elétrico possui uma influência muito considerável na autonomia do mesmo, sendo a eficiência do sistema de refrigeração crucial para o desempenho do veículo [15].

Os sistemas elétricos operam a temperaturas bastantes mais baixas do que os sistemas convencionais com motor de combustão. Na Figura 2.10 pode observar-se esquematicamente a comparação das temperaturas de funcionamento ótimas dos principais componentes do sistema de alta tensão de um veículo elétrico e de um típico motor de combustão. A primeira nota a retirar da análise da imagem diz respeito ao facto de os componentes do veículo elétrico possuírem gamas de temperatura de funcionamento bastante distintas. Um motor elétrico e o respetivo inversor, operam com elevada eficiência numa gama de temperatura compreendida entre os 0 °C e os 65 °C, enquanto a bateria de alta tensão, devido à sua tecnologia, tipicamente de lítio, opera numa gama reduzida, compreendida entre os 20 °C e os 35 °C. Comparativamente à temperatura ótima de funcionamento de um motor de combustão, de cerca de 90 °C, pode concluir-se então que a afirmação inicial se verifica, operando os componentes do veículo elétrico em gamas de

temperatura inferiores. Quanto ao conforto dos ocupantes, este é garantido com uma temperatura ambiente dentro do habitáculo sensivelmente entre os 20 °C e os 25 °C [16].

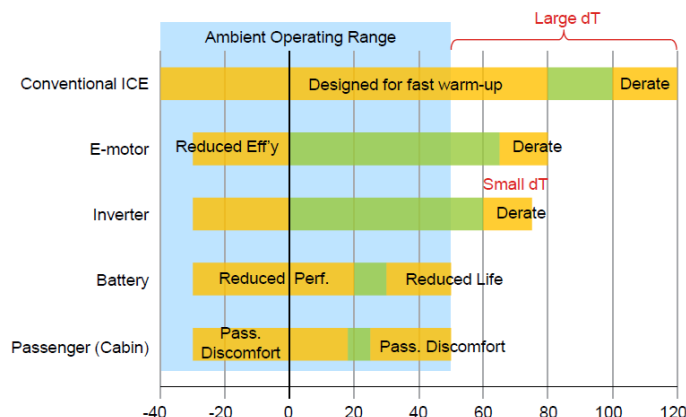


Figura 2.10 - Temperatura de funcionamento dos sistemas elétricos vs motor de combustão [16].

A disparidade entre as temperaturas de funcionamento dos componentes de alta tensão de um veículo elétrico e a temperatura de funcionamento do ar condicionado, dado que todas têm de ser controladas pelo sistema de gestão térmica do veículo, leva a que num veículo elétrico a bateria, o motor e a respetiva eletrónica de potência, e o sistema de ar condicionado, possuam circuitos de refrigeração diferentes e independentes, podendo ou não efetuar trocas de calor entre si [15].

2.3.1. Sistemas de Gestão Térmica de Baterias

Os sistemas de gestão térmica de baterias, também conhecidos por BTMS, do inglês *Battery Thermal Management System*, dependendo da metodologia de arrefecimento da bateria, podem ser separados em três categorias, os de refrigeração a ar, por convecção natural ou forçada, a líquido e à base da mudança de estado de matéria ou PCM (*Phase Change Material*) [15].

Os BTMS de refrigeração a ar apresentam vantagens ao nível de simplicidade, facilidade na manutenção e custos reduzidos na sua implementação. Em comparação às tecnologias que utilizam líquido de refrigeração, possuem uma eficiência consideravelmente mais baixa, tendo a refrigeração por líquido a capacidade de arrefecer a bateria num intervalo de tempo bastante mais reduzido devido às suas capacidades superiores de transmissão de calor. Para além disso, os sistemas líquidos permitem também o aquecimento das baterias caso necessário através do aumento de temperatura do líquido de refrigeração, permitindo assim a interação entre os diversos circuitos de refrigeração do veículo promovendo trocas de calor

entre eles se necessário. Os PCM apresentam-se como uma opção para situações mais extremas promovendo o controlo da temperatura da bateria através da mudança de estado de matéria entre as fases vapor-líquido e sólido-líquido.

A seleção da tecnologia do BTMS deve ser realizada tendo em consideração a aplicação pretendida. No caso do E-UTV, optou-se pela utilização de um sistema de gestão térmica de baterias com refrigeração por líquido devido à sua eficiência comparado aos sistemas de refrigeração por ar, pela simplicidade face aos PCM, e por ser a tecnologia de BTMS mais utilizada em automóveis com motorização elétrica devido à sua relação custo/benefício.

Dada a reduzida eficiência das baterias em temperaturas baixas, no inverno por exemplo, para além de que a sua operação nestas condições reduz a sua vida útil a longo prazo, vários métodos de pré-aquecimento de baterias foram desenvolvidos. O aquecimento da bateria pode ser realizado através de uma resistência PTC (*Positive Temperature Coefficient*), sendo este o método com a tecnologia mais simples e mais fácil de controlar, através do aquecimento do líquido como referido anteriormente, ou com recurso à tecnologia PCM. Os métodos mais comuns são o aquecimento através da resistência PTC e do líquido de refrigeração sendo que esta segunda opção apresenta a desvantagem de necessitar de componentes externos como por exemplo placas dissipadoras de calor com circuito de líquido embutido e bombas de circulação de líquido de refrigeração, sendo assim sistemas mais complexos e volumosos. Por outro lado, ao ser possível aproveitar o calor dissipado por outros circuitos e incorporar bombas de calor, revelam-se sistemas mais eficientes.

2.3.1.1. Sistemas de Controlo Térmico de Baterias Existentes em Veículos: Nissan Leaf, Toyota Prius, BMW I3, Audi Q7, Tesla e GM Volt

Atualmente no mercado automóvel existem diversas abordagens ao sistema de refrigeração de baterias uma vez que os fabricantes optam por metodologias distintas para controlar termicamente o *pack* de baterias dos seus veículos.

As marcas Nissan® e Toyota®, nos seus modelos Leaf e Prius, respetivamente, adotaram sistemas semelhantes recorrendo a refrigeração a ar, controlando a temperatura das suas baterias por convecção. A Figura 2.11 mostra o *pack* de baterias do Toyota Prius, realçando a canalização de ar pelo mesmo. Neste modelo é utilizada uma ventoinha para forçar a convecção aumentado assim a capacidade de refrigeração deste tipo de sistema.



Figura 2.11 - Pack de baterias do Toyota Prius [17].

Outros fabricantes optam pelo controlo térmico com recurso a sistemas de refrigeração com líquido. A BMW[®] no modelo I3, e a Audi[®] no automóvel Q7 e-tron, utilizando células com uma forma prismática optam por sistemas com placas de arrefecimento sobre as quais assentam os módulos de baterias, refrigerando-os assim por condução. Na Figura 2.12 apresenta-se esquematicamente a bateria do BMW I3 onde é visível a arquitetura sistema mencionado.

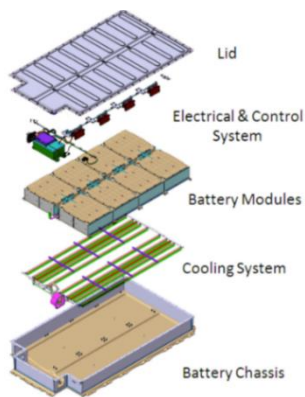


Figura 2.12 - Pack de baterias do BMW I3 [18].

No caso da Tesla[®], dada a geometria cilíndrica das células que a marca utiliza, o sistema de controlo térmico consiste numa serpentina metálica percorrida internamente por líquido de refrigeração montada no interior do *pack*, em contacto com as células na sua superfície lateral como representado na Figura 2.13.



Figura 2.13 - Sistema de controlo térmico da bateria da marca Tesla [19].

A General Motors®, com o Chevrolet Volt, uma vez que utiliza células prismáticas de saco nas suas baterias, optou por utilizar placas de refrigeração de alumínio entre cada par de células. A Figura 2.14 mostra a placa de arrefecimento utilizada no veículo.

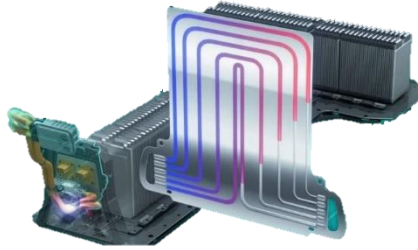


Figura 2.14 - Sistema de controlo térmico da bateria do Chevrolet Volt [20].

2.3.2. Sistemas de Gestão Térmica do Habitáculo do Veículo

O controlo da temperatura do habitáculo do veículo para além de possuir um papel fundamental no conforto dos ocupantes desempenha também uma função importante na segurança dos mesmos, permitindo funções tais como o desembaciamento dos vidros.

Em ambientes com temperaturas elevadas a comodidade dos ocupantes é assegurada pelo sistema de ar condicionado que nos veículos elétricos incorpora a arquitetura do sistema de alta tensão. Nas situações mais extremas, tipicamente com temperatura ambiente acima da gama de temperatura de funcionamento da bateria, ou caso seja necessário remover uma quantidade de calor considerável à mesma devido às suas condições de funcionamento, o mesmo sistema de ar condicionado é comumente utilizado para arrefecer o líquido de refrigeração do circuito da bateria visto que com o sistema de arrefecimento passivo, através do radiador, não é possível arrefecer o líquido abaixo da temperatura ambiente, conseguindo-se este feito com recurso ao *chiller* do circuito da bomba de calor.

Em ambientes frios, ao contrário dos veículos com motor de combustão interna nos quais o calor gerado pelo motor é utilizado para aquecimento do habitáculo, os veículos elétricos necessitam de despendar energia elétrica da bateria para cumprir esse objetivo. Este aquecimento é habitualmente realizado através de um aquecedor elétrico que recorre a uma resistência PTC para o efeito, como esquematizado na Figura 2.15 [15] [21].

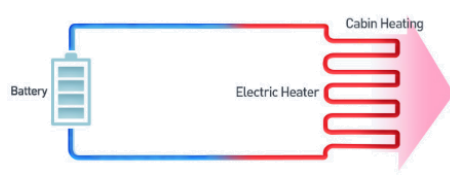


Figura 2.15 - Sistema de aquecimento elétrico [22].

Ambas as situações apresentam um impacto bastante negativo na autonomia do veículo visto que o sistema de ar condicionado representa um gasto de energia considerável para a bateria do veículo. Uma solução que contribui positivamente para este efeito passa pela utilização de um sistema de bomba de calor que reaproveita o calor gerado pelos componentes do veículo tais como o motor elétrico e a eletrónica de potência por exemplo, de modo a reduzir a energia requisitada à bateria para o aquecimento do habitáculo aumentando o rendimento da bomba de calor, como mostra a Figura 2.16.

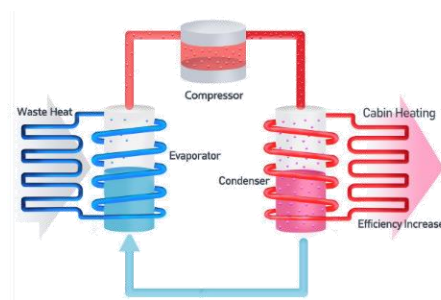


Figura 2.16 - Sistema de aquecimento do habitáculo com reaproveitamento de energia térmica [22].

Estudos realizados pela marca Hyundai[®] nesta área apresentam valores comparativos relativamente a outras marcas de automóveis de modo a se ter uma noção do impacto do reaproveitamento do desperdício de energia térmica nos veículos elétricos. Na Figura 2.17 a Hyundai[®] compara o seu modelo Ionic Electric ao Nissan Leaf e ao BMW i3. Todos os veículos são equipados com bombas de calor com reaproveitamento de energia térmica para aquecimento do habitáculo, contudo, quanto ao modelo Ionic Electric, a marca refere que este é equipado com uma bomba de calor mais eficiente permitindo apresentar uma autonomia de 76 % em ambientes frios, nomeadamente durante a estação de inverno, relativamente à sua autonomia nominal em condições de operação ideais, ou seja, uma perda de 24 %. Os outros dois modelos, possuindo bombas de calor com uma eficiência mais reduzida apresentam perdas de autonomia mais elevadas, 33 % no caso do Nissan Leaf e 36 % no caso do BMW i3 [23].

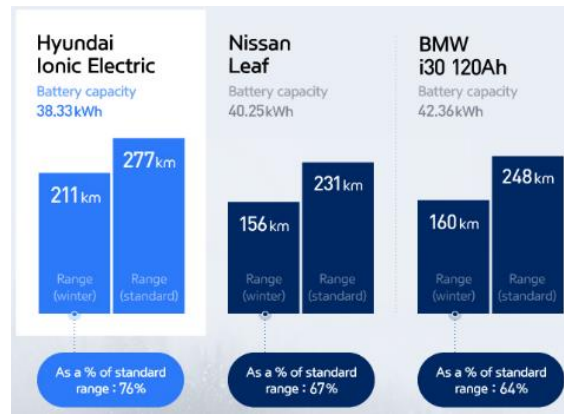


Figura 2.17 - Comparação da autonomia de três modelos de automóveis elétricos na estação de inverno [23].

2.3.3. Sistemas de Gestão Térmica do Motor Elétrico e Eletrônica de Potência

Os sistemas de refrigeração a ar, por serem menos eficientes na dissipação de calor, atualmente são opções precárias devido às elevadas exigências das aplicações dos sistemas elétricos, que devido às suas potências de funcionamento elevadas requerem uma dissipação de calor eficaz. Por este motivo os sistemas de refrigeração a líquido são mais utilizados, uma vez que, dadas as suas características e capacidades térmicas, são eficientes no controlo de temperatura dos componentes referidos contribuindo assim para um aumento da sua eficiência, fiabilidade e vida útil [15].

A refrigeração do motor elétrico pode ser realizada de diversas formas, tais como, por condução através das massas metálicas do próprio motor como por exemplo da carcaça, por convecção, natural ou forçada, recorrendo a um líquido de refrigeração ou a ar. Na Figura 2.18 apresentam-se as metodologias tipicamente utilizadas para a refrigeração de motores elétricos. Representada com a letra (a) existe a opção de refrigeração a ar, neste caso por convecção forçada utilizando uma ventoinha acoplada ao veio do motor. Na figura (b) a refrigeração por condução com recurso a um encapsulamento térmico percorrido por líquido. Com a letra (c) uma tipologia de refrigeração que recorre a tubos de calor. Esta tecnologia, esquematizada na Figura 2.19, baseia-se na mudança de estado de um fluído no interior de um tubo selado. Na zona de evaporação, junto dos enrolamentos do motor, o fluído absorve calor aumentando a temperatura gradualmente até atingir o estado gasoso. O gás devido a uma pequena diferença de pressão gerada no interior do tubo pela diferença de temperatura entre as duas extremidades, percorre o tubo até à zona de condensação, onde volta a mudar de estado, libertando calor. O líquido retorna à zona de evaporação por ação de um núcleo capilar que o conduz, iniciando um novo ciclo [24]. Por fim, no sistema de refrigeração de

um motor elétrico pode recorrer-se à conjugação das várias possibilidades existentes, tal como mostra a Figura 2.18 (d).

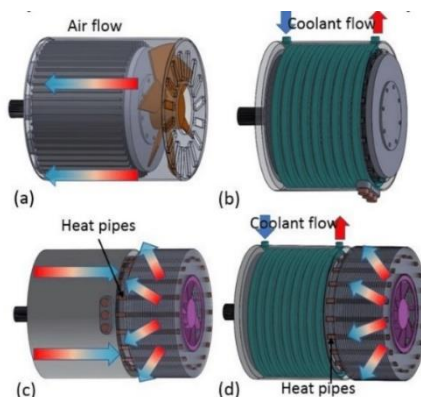


Figura 2.18 - Sistemas típicos de arrefecimento de motores elétricos [24].

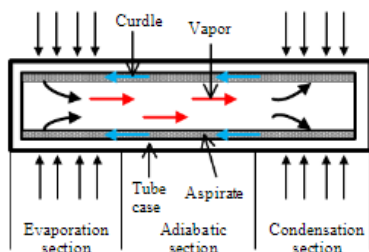


Figura 2.19 - Sistema de refrigeração com tubos de calor [25].

2.3.4. Exemplos de Sistemas de Gestão Térmica de Veículos

2.3.4.1. Marca Optemus®

A marca Optimised Energy Management and Use® (Optemus®), dedicada ao estudo de métodos de otimização de sistemas de energia para veículo elétricos, apresentou num dos seus estudos focado em sistemas de refrigeração a Figura 2.20, defendendo que os sistemas de ar condicionado e o sistema de controlo da temperatura da bateria de alta tensão do veículo são os principais sistemas que reduzem a sua autonomia. Na imagem são utilizadas como exemplo três situações distintas: um situação de referência com uma temperatura ambiente de 20 °C em que o veículo possui a sua autonomia máxima, um dia quente, com uma temperatura ambiente de 35 °C em que é utilizado o ar condicionado para refrigerar o interior do automóvel para conforto dos ocupantes, que como resultado possui uma redução da autonomia em 18 % e por último o extremo oposto, um dia com uma temperatura ambiente negativa, de -10 °C, em que é utilizado o sistema de aquecimento da bateria resultando na redução da autonomia em 36 % [26].

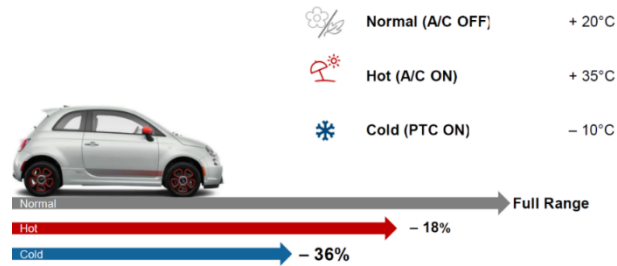


Figura 2.20 - Influência da temperatura na autonomia de um veículo elétrico [26].

A necessidade de aumentar a autonomia dos veículos elétricos associada à elevada influência que a gestão térmica do veículo possui neste campo, conduziu ao aumento da complexidade dos sistemas de refrigeração deste tipo de veículos bem como na eletrónica de controlo dos mesmos. Na Figura 2.21 a Optemus[®] apresenta a configuração típica do sistema de refrigeração de um veículo elétrico. Esta é constituída por três circuitos independentes, tal como fora mencionado anteriormente. A vermelho observa-se o circuito que engloba o motor elétrico, o respetivo controlador e o carregador de bordo, refrigerado por convecção através de um radiador exclusivo para este circuito. A cinzento está representado o circuito da bateria, este possui uma resistência de aquecimento PTC para ser utilizada em casos em que a temperatura ambiente está a baixo da temperatura mínima de funcionamento ótimo da bateria, permitindo assim aumentar a sua temperatura rapidamente, um radiador próprio, e uma conexão ao *Chiller* do circuito de ar condicionado, representado a tracejado, com a finalidade de arrefecer a bateria em casos em que é necessário reduzir a sua temperatura a baixo da temperatura ambiente, o que seria impossível apenas com a convecção no radiador.

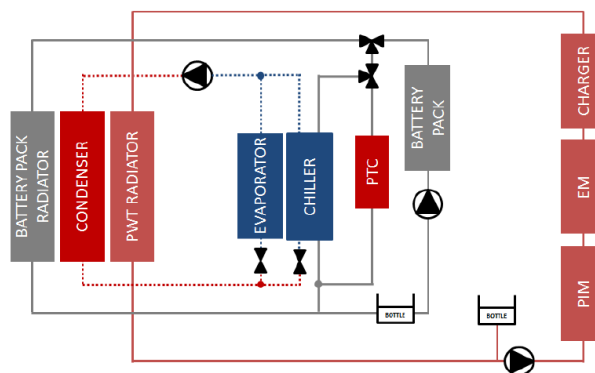


Figura 2.21 - Circuito de refrigeração típico de um veículo elétrico [26].

No que diz respeito à eletrónica de controlo, com base no esquema anterior e de forma a garantir o funcionamento de todos os sistemas na sua gama de temperatura de maior eficiência, esta necessita de ter a capacidade de controlar três bombas de água independentemente, as ventoinhas dos radiadores, múltiplas válvulas direcionais para controlar a direção do fluxo dos fluídos de refrigeração dos vários circuitos, adquirir informação de diferentes sensores, tais como, sensores de temperatura e caudalímetros, garantir o conforto dos ocupantes do veículo através do sistema de controlo térmico do habitáculo e comunicar com as restantes unidades do veículo, resultando no diagrama apresentado pela Figura 2.22.

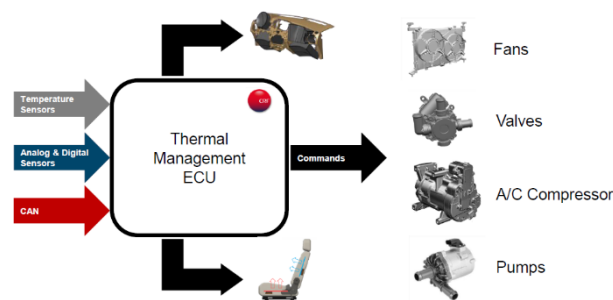


Figura 2.22 - Diagrama do controlo eletrónico do sistema de refrigeração do veículo [26].

2.3.4.2. Renault®

O grupo Renault® publicou um estudo destinado ao projeto de um sistema de gestão de baterias para aplicação automóvel realizado por um especialista em física térmica e inovação da marca. Nele contém o esquema apresentado na Figura 2.23. No esquema proposto pode-se observar que o circuito global é constituído por três circuitos interligados entre si destinados à gestão térmica da bateria, representado a azul, do motor e da eletrónica de potência a verde e pelo circuito do ar condicionado a lilás, estando assim em concordância com a restante pesquisa bibliográfica do presente relatório [27].

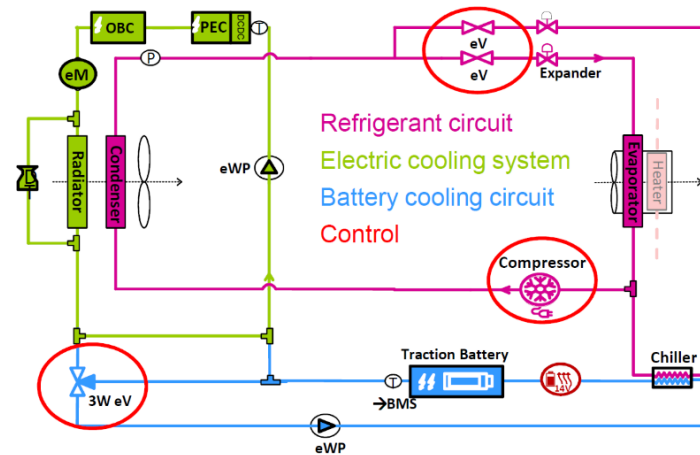


Figura 2.23 - Esquema do circuito de gestão térmica, estudo Renault [27].

Na Figura 2.24 demonstram-se os modos de funcionamento do sistema de gestão térmica mencionado. Referente à bateria, na figura (a) observa-se um modo de funcionamento com refrigeração passiva onde todos os circuitos operam de uma forma independente, sendo a bateria refrigerada unicamente por efeito de convecção com o ar ambiente em torno da mesma. A figura (b) apresenta uma refrigeração com recurso a líquido conectando o circuito da bateria em série com o do motor elétrico, posicionando a bateria imediatamente a seguir ao radiador visto ser o elemento com a menor temperatura de funcionamento do circuito. Desta forma, em teoria, o líquido será arrefecido no radiador e mesmo que aqueça ligeiramente na passagem pela bateria, esse aumento de temperatura não será problemático para o motor e para a eletrónica de potência. Em casos em que o circuito com o radiador não tenha a capacidade de arrefecer a bateria tanto quanto necessário, o circuito da bateria é conectado ao *chiller* do circuito do ar condicionado, tal como mostra a figura (c).

A interligação entre circuito é realizada por válvulas direcionais de caudal e tal como se pode observar nos esquemas, o circuito global possui duas bombas de água. Posto isto, relativamente à eletrónica de controlo esta terá de ter a capacidade de gerir os circuitos independentemente, controlando as várias válvulas, as duas bombas, a ventoinha dos radiadores e todos os sensores necessários para garantir o bom funcionamento do sistema.

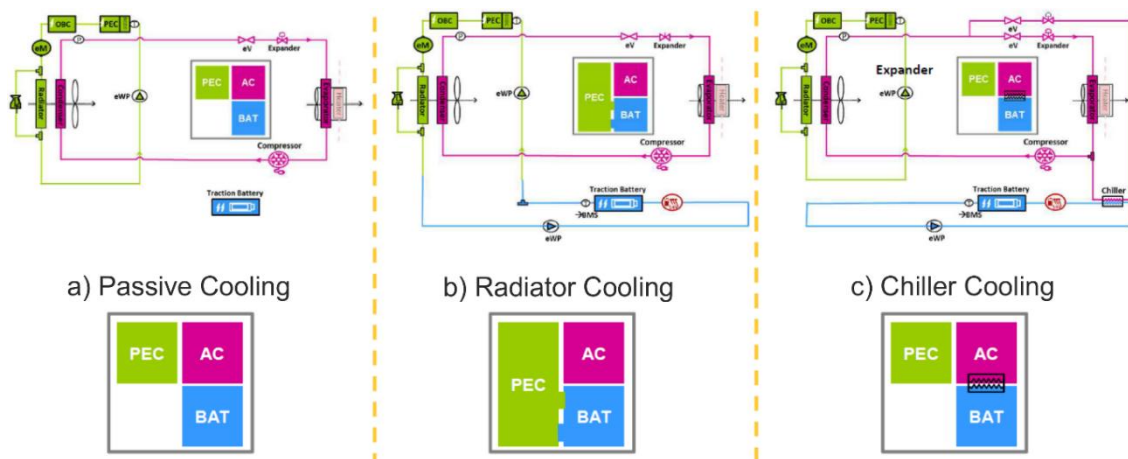


Figura 2.24 - Modos de funcionamento do sistema de gestão térmica apresentado pela Renault [27].

2.4. Interface de Utilizador e Multimédia

Durante o processo de condução é imposta ao ser humano uma necessidade de processar continuamente um grande fluxo de informação originado não só pelo seu veículo, mas também pelos restantes ocupantes da via como outros condutores, por exemplo, e até da própria sinalização da via. Pela quantidade de informação a processar e as inúmeras distrações que possam desviar a atenção do condutor daquilo que é realmente relevante, todos os elementos informativos dirigidos ao condutor devem ser-lhe apresentados e direcionados de uma forma direta, de simples análise, permitindo uma rápida compreensão. No próprio veículo a informação relevante acerca do estado de funcionamento do mesmo e para ajudar no processo de condução deve ser transmitida ao condutor em mostradores e equipamentos digitais que cumpram as condições enunciadas, ao mesmo tempo que satisfazem requisitos ergonómicos [10].

2.4.1. Sentidos Interativos

- **Visão:** Independentemente do ambiente em que se encontre, no ser humano predomina o sentido da visão. Outros condutores, peões, as marcações das faixas de rodagem, objetos existentes na via, sinais de trânsito, entre muitas outras coisas, são detetadas através deste sentido. Deste modo o sentido visão apresenta-se como sendo de extrema importância para o ambiente de condução, sendo esta diretiva aplicada não só ao que o condutor vê conscientemente, ou seja, aquilo em que foca a sua visão, mas também à visão periférica. Por este motivo o desenvolvimento dos interfaces automotivos e a sua interação com o condutor deve ser cuidadosamente avaliado de forma a contribuir de uma forma positiva para a segurança na estrada.

- **Audição:** O sentido de audição no processo de condução é comumente associado a sinaléticas de perigo ou de aviso, quer sejam sons emitidos por outros utilizadores da via como a utilização da buzina, por exemplo, ou de sistemas auxiliares à condução como é o caso do som emitido caso o condutor inicie a marcha do veículo sem o cinto de segurança devidamente colocado. Apesar de os avisos sonoros não requererem que o condutor desvie o olhar da estrada podem ser sinónimos de distração, pelo que a sua utilização e a natureza dos sons utilizados devem ser tidos em consideração para contornar esta condição.
- **Tato:** O tato providencia ao condutor uma sensação de resposta a ações como são o caso do acionamento de botões, comutação de interruptores, ou a utilização dos pedais do acelerador ou do travão, por exemplo. Este sentido é utilizado e requerido de uma forma contínua aquando da condução para o controlo do volante e dos pedais, pelo que controlos manuais adicionais podem prejudicar a prática da condução e levar à desatenção de quem ocupa o lugar ao volante.

2.4.2. Instrumentação

Num veículo, tipicamente existem quatro áreas destinadas à instalação de dispositivos de carácter informativo ou de comunicação que são utilizadas em função da natureza e do objetivo do equipamento a aplicar: o painel de instrumentos, o para-brisas, a consola central e a traseira do habitáculo.

O ocupante do veículo destinatário da informação que se pretende apresentar determina a área de comunicação a utilizar para um determinado dispositivo. Informações de carácter dinâmico, como por exemplo, a velocidade do veículo, e do estado de funcionamento do mesmo, tais como temperatura do motor e nível de combustível ou percentagem de bateria disponível caso se trate de um veículo elétrico, às quais o condutor necessita de estar atento e responder durante o processo de condução, devem ser apresentadas numa área que ocupe o seu campo de visão primário para um fácil e rápido acesso. Para este tipo de informações podem ser consideradas boas localizações o painel de instrumentos diretamente por trás do volante, ou o para-brisas, com a aplicação de um *head-up display* (HUD) que reflete uma imagem no vidro. Tipicamente variáveis que refletem o estado do veículo consideradas não críticas, informações mais extensas ou interfaces de operação, como por exemplo, o ajuste do sistema de climatização ou o sistema de navegação, são apresentadas na consola central do veículo. Em veículo mais espaçosos e luxuosos, a parte traseira do habitáculo,

nomeadamente nas costas dos bancos do condutor e do passageiro da frente, pode ser equipada com equipamentos de entretenimento tais como ecrãs ou *tablets* para utilização dos passageiros que viajam nos bancos traseiros.

2.4.3. Painéis de Instrumentação

Inicialmente, nos primeiros veículos, a ideologia por trás do desenvolvimento dos painéis de instrumentação assentava na relação de benefício-custo, procurando equipamentos eficientes com um preço de desenvolvimento baixo, uma vez que a quantidade de variáveis a apresentar aos ocupantes do veículo era bastante reduzida, nomeadamente a velocidade do veículo, a velocidade de rotação do motor e a sua temperatura e o nível de combustível. Com o desenvolvimento tecnológico que conduziu a um crescente número de informações relevantes a apresentar surgiram painéis de instrumentos mais complexos, com inúmeros manómetros, mostradores numéricos e luzes indicadoras de avisos, tal como apresenta a Figura 2.25 (a).

Atualmente os painéis de instrumentação necessitam de possuir a capacidade de exibir não só uma quantidade de informação consideravelmente maior, mas também mais complexa comparativamente aos painéis das primeiras gerações. Esta condição conduziu à utilização de mostradores com capacidades gráficas que oferecem uma maior liberdade aos fabricantes no modo de apresentação da informação. Esta tendência resultou no que a maioria dos fabricantes hoje em dia utilizam, mantendo os manómetros presentes no painel de instrumentos complementando-os com mostradores digitais, como mostra a Figura 2.25 (b) e (c). Em alguns casos, os fabricantes optam por não recorrer a manómetros, apresentando a informação de uma forma numérica ou gráfica, ou a reproduzi-los virtualmente nos mostradores digitais mantendo uma arquitetura visual semelhante aos anteriores, ficando o painel de instrumentos com o *design* exemplificado na Figura 2.25 (d).

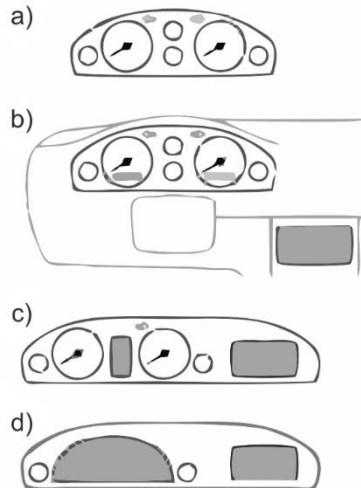


Figura 2.25 - Evolução do painel de instrumentação automóvel [10].

Na atualidade uma das tecnologias mais utilizadas para os mostradores digitais é a instalação de LCDs (do inglês, *Liquid Crystal Display*) com tecnologia *Thin Film Transistor* (TFT) que permite uma fácil leitura e compreensão devido à elevada resolução de cores.

Em suma, a função principal do painel de instrumentação é de comunicar informação para o condutor com uma determinada precisão. A utilização de mostradores analógicos permite uma resposta extremamente rápida face a mudança da grandeza associada, como a velocidade de rotação do motor, apresentando a desvantagem de a precisão deste tipo de mostradores ser reduzida. Contudo em algumas ocasiões a sua utilização permite uma interpretação mais rápida da informação por parte do condutor. As técnicas de apresentação da informação e o *layout* do painel de instrumentos revela-se de extrema importância para uma melhor experiência de condução tendo uma influência direta no fator segurança. Pretende-se um esquema do painel e uma combinação entre todos os instrumentos disponíveis ao condutor que permitam que este tenha a capacidade de captar a informação relevante e compreendê-la despendendo do menor tempo possível neste processo [28].

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Circuito de Gestão Térmica do E-UTV

Neste capítulo pretende-se apresentar o conceito do circuito de gestão térmica desenvolvido para aplicação no projeto E-UTV. O circuito foi desenvolvido com base na bibliografia consultada tendo em consideração o facto de o E-UTV ser um veículo utilitário sem um habitáculo fechado, pelo que não será incluído o sistema de ar condicionado neste projeto, tendo desta forma o circuito o objetivo de controlar termicamente o *pack* de baterias e a eletrónica de potência.

Foi planeado um sistema de refrigeração composto por dois circuitos independentes, um exclusivamente para o *pack* de baterias do veículo e outro para a eletrónica de potência que inclui o motor elétrico, o inversor, o carregador e os conversores DC/DC. A escolha justifica-se pela disparidade da gama de temperaturas de funcionamento dos componentes de ambos os circuitos. Com o objetivo de aumentar a eficiência do sistema e consequentemente a autonomia do veículo, este foi projetado de modo a permitir trocas de calor entre ambos os circuitos através de um permutador de calor permitindo aproveitar o calor dissipado pela eletrónica de potência para aquecimento do *pack* de baterias em climas frios, reduzindo a necessidade de despende de energia elétrica para essa função. A Figura 3.1 mostra esquematicamente o circuito hidráulico desenvolvido para testes e posterior aplicação no veículo.

Relativamente ao circuito de gestão térmica, foram utilizadas duas bombas de água, uma para cada subsistema, dois radiadores para situações de operação em regime de refrigeração passiva e três válvulas direcionais que permitem controlar o percurso do líquido de refrigeração. A válvula identificada com a notação V1 permite desacoplar o carregador de bordo do circuito da eletrónica de potência caso o veículo não esteja em carregamento, eliminando assim uma perda de carga. A válvula V2 tem a função de permitir ou não que o líquido de refrigeração do circuito do *pack* de baterias circule pelo permutador de calor. No caso da válvula V3, esta tem a função de controlar a passagem do fluido pelo radiador e pelo BTMS.

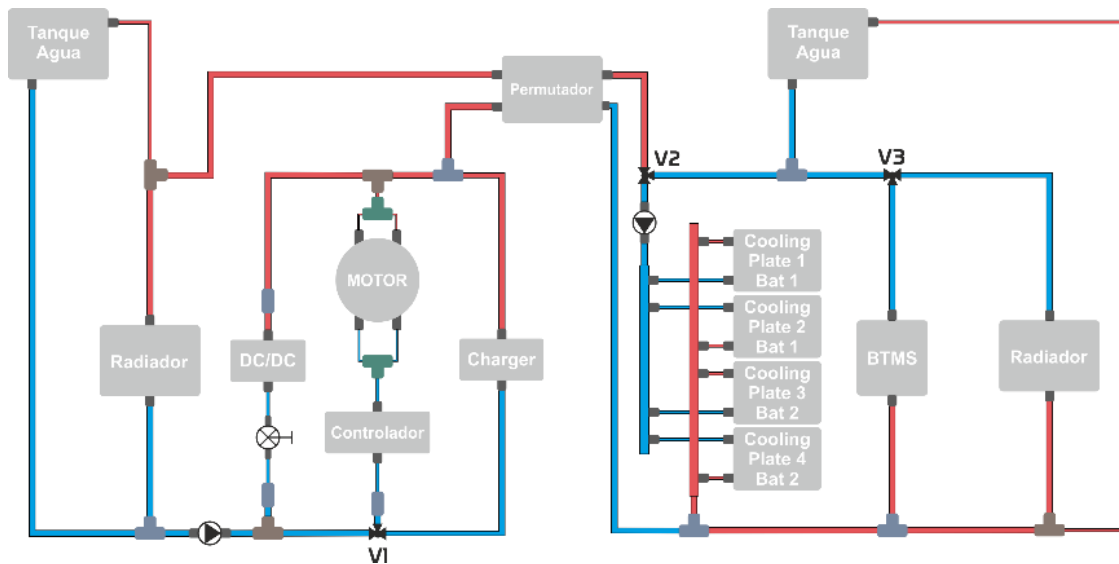


Figura 3.1 - Circuito hidráulico de gestão térmica do E-UTV.

No E-UTV optou-se por utilizar dois *packs* de baterias de 48 V conectados em série para perfazer uma tensão total de 96 V, visto ser este o nível de tensão pretendido para o projeto. O controlo térmico do pack de baterias é realizado com recurso a placas de arrefecimento como exemplificado na Figura 3.2. As placas seleccionadas para aplicação foram as ATS-TCP-1004, do fabricante Advanced Thermal Solutions®, com as dimensões 305 x 178 x 15 mm. Dadas as dimensões dos *packs* de baterias e da placa de arrefecimento, foram utilizadas duas placas para cada *pack*, tal como ilustra o esquema apresentado anteriormente.



Figura 3.2 - Placa de arrefecimento do *pack* de baterias [29].

A arquitetura do sistema de refrigeração desenvolvido permite um controlo independente de ambos os circuitos para responder às necessidades térmicas de cada um e um aproveitamento de energia para aquecimento da bateria visto que este processo representa uma poupança considerável de energia elétrica, com a finalidade de tornar o E-UTV um veículo o mais eficiente quanto possível e maximizar a sua autonomia.

4. Desenvolvimento Eletrónico

Neste capítulo pretende-se apresentar e explicar detalhadamente os módulos eletrónicos desenvolvidos para aplicação no veículo utilitário elétrico. Para cada módulo é realizado um esclarecimento acerca do motivo pelo qual foi desenvolvido, são apresentadas as arquiteturas de *hardware* e *software* adotadas, os componentes utilizados para a sua conceção, o projeto da placa de circuito impresso desde a sua idealização em *software* até estar finalizada e pronta a aplicar no veículo e por fim um relatório de custo com a indicação do seu preço.

4.1. *Control By Wire* - CBW

4.1.1. Objetivo do Módulo

O módulo *Control By Wire* (CBW) foi desenvolvido a pensar na segurança dos ocupantes do E-UTV. O veículo está equipado com um motor de alta tensão e o respetivo controlador que opera numa gama de tensões que vai desde os 72 V até aos 96 V. Para operar o motor, são necessários alguns sinais para o controlador que devem ser controlados através de interruptores analógicos presentes no habitáculo do veículo, nomeadamente, os sinais de “*DRIVE*” e “*REVERSE*” responsáveis por fazer o motor rodar num sentido de fazer o veículo andar para a frente ou para trás respetivamente, o sinal de “*PARK*” com a funcionalidade de bloquear o motor para deixar o veículo estacionado e o sinal de “*SEAT*” que corresponde ao interruptor do banco do condutor, sendo assim um sistema adicional de segurança, que faz com que o controlador só atue o motor caso o condutor esteja sentado ao volante do veículo.

Como referido, o controlador do motor trabalha numa gama que já se pode considerar de alta tensão, o que obriga a que os sinais analógicos mencionados tenham igualmente de operar na mesma gama de tensões do controlador. O facto de estes interruptores analógicos terem de estar presentes no habitáculo e acessíveis ao utilizador do E-UTV representa um perigo para o mesmo, visto que, caso exista algum problema elétrico, nomeadamente um cabo solto, um curto-circuito ou um defeito do interruptor, o utilizador fica exposto a uma tensão elétrica que lhe pode causar danos por electrocução. De modo a solucionar este problema de segurança foi criado o CBW que permite isolar a alta tensão do controlador fazendo com que os interruptores analógicos presentes no habitáculo do veículo possam ser todos asserridos com baixa tensão eliminando assim os riscos elétricos para o utilizador do E-UTV. Com o CBW, é possível manter todas as ligações de alta tensão concentradas na

traseira do veículo junto ao motor elétrico e ao respetivo controlador, uma vez que com este módulo, os interruptores analógicos acessíveis ao utilizador operam numa gama de tensão até aos 12 V sendo o módulo responsável pela posterior conversão do sinal de baixa tensão proveniente do habitáculo para um sinal de alta tensão para o controlador do motor.

4.1.2. Arquitetura do *Hardware*

Analisando a arquitetura do módulo CBW podem ser distinguidas três secções, as entradas de baixa tensão que recebem os sinais analógicos dos interruptores do habitáculo do veículo, a zona de controlo responsável pelo processamento da informação e as saídas de potência de alta tensão para o controlador do motor. A Figura 4.1 apresenta o diagrama de blocos do módulo.

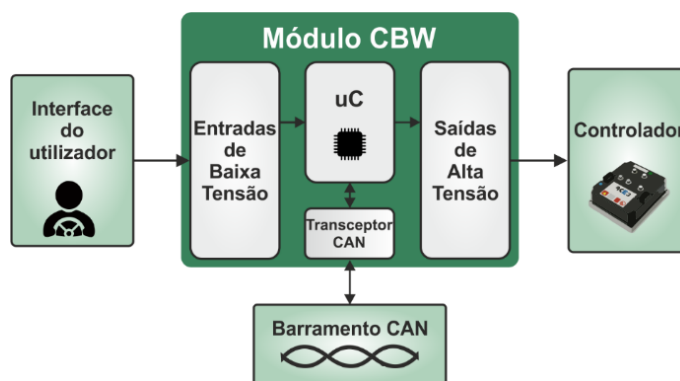


Figura 4.1 - Diagrama de blocos do módulo CBW.

O CBW foi desenvolvido com o intuito de permitir a atuação do controlador quer por interruptores de baixa tensão, quer por comunicação através do barramento CAN, possuindo assim uma maior versatilidade no controlo dos sinais. As ligações entre as entradas e as saídas e o microcontrolador foram realizadas com recurso a componentes isolados para salvaguardar o microcontrolador em situações de picos de corrente ou existências de curto-circuitos. Na ficha foram atribuídos dois pinos ao circuito de *interlock* de modo a desligar o contactor desabilitando a alta tensão no veículo caso a caixa do módulo seja aberta enquanto a alta tensão está habilitada de forma a prevenir acidentes por electrocução.

Em relação à integração do módulo CBW no veículo, nomeadamente com o controlador do motor e com a alimentação de alta tensão, apresenta-se o esquema de montagem na Figura 4.2. Nele constam adicionalmente as ligações a efetuar entre o controlador e o motor elétrico existentes para o E-UTV com a respetiva nomenclatura dos pinos de todas as fichas.

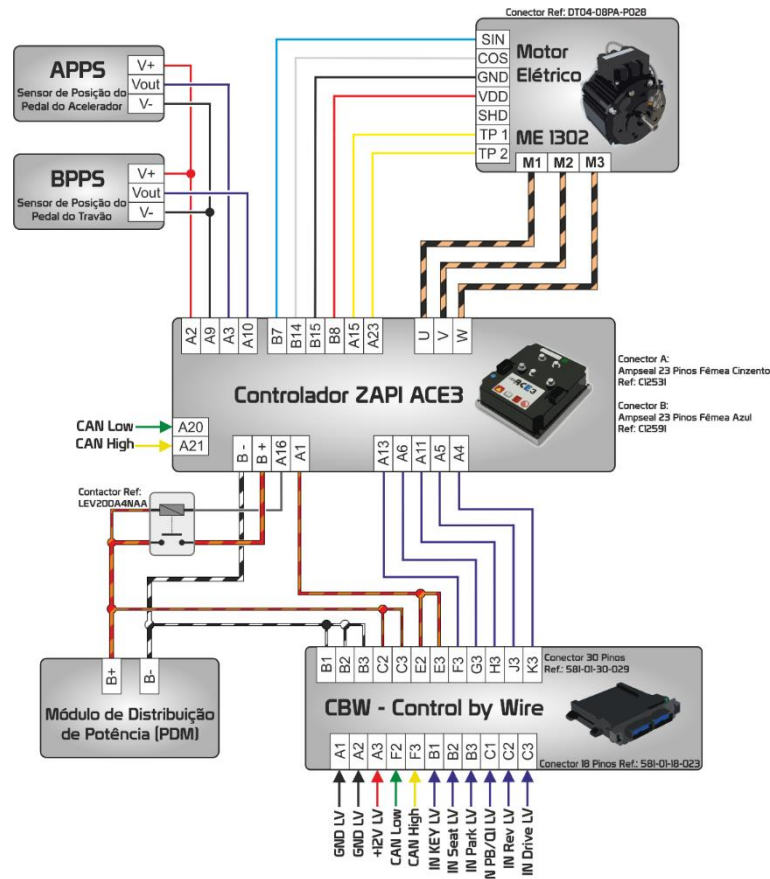


Figura 4.2 - Conexões do módulo CBW.

4.1.3. Arquitetura do Software

No que à programação do módulo diz respeito, o *software* do CBW, bem como o dos módulos apresentados mais adiante no presente relatório, foi desenvolvido focado na simplicidade e fiabilidade, tornando-o prático, facilmente ajustável a novas condições de funcionamento e com o intuito de evitar o risco da existência de *bugs* e erros de processamento.

O *software* dos módulos realizados para este projeto foi desenvolvido com recurso à plataforma Arduino® por esta se revelar uma opção que oferece um ambiente de programação simples de usar, acessível até a utilizadores com pouca experiência na área, com microcontroladores compatíveis de baixo custo, inúmeros exemplos e bibliotecas gratuitos e com uma plataforma de apoio e uma comunidade bastante extensa [30].

O barramento de comunicação CAN do E-UTV utiliza o protocolo CAN 2.0 A, ou *Standart* CAN, sendo este o protocolo utilizado também na programação de todos os módulos eletrónicos desenvolvidos. Neste tipo de comunicação utilizam-se mensagens com 11 *bits*

reservados ao endereço da mesma permitindo assim um total de 2048 mensagens com endereços diferentes, cada uma com 8 *bytes* de informação para comunicação entre módulos. A velocidade estabelecida para todos os módulos apresentados neste relatório é de 500 kbit/s sendo este parâmetro configurável para futuras aplicações, caso exista a necessidade.

A Tabela 4.1 mostra a codificação da mensagem CAN utilizada pelo módulo CBW para o seu funcionamento. Esta possui o endereço número 100, em notação hexadecimal, e são utilizados 6 dos 8 *bytes* disponíveis para informação. Visto que no CBW apenas se pretende interpretar o estado de interruptores de forma a saber a sua posição, ligado ou desligado, os *bytes* de informação da mensagem apenas tomam dois valores, operando como variáveis *booleanas*, possuindo o valor “0” caso o interruptor esteja desligado ou o valor “1” caso esteja ligado.

O *byte 0* tem a função de indicar se o controlo das saídas de alta tensão por CAN se encontra habilitado ou não, uma vez que o CBW tem a particularidade de operar como um módulo completamente analógico desativando esta funcionalidade, ou seja, os interruptores das entradas de baixa tensão do CBW atuam diretamente as saídas de alta tensão sem qualquer processamento de informação.

Estando o controlo por CAN no estado ativo, o *byte 1* é responsável por ativar a saída de alta tensão associada à chave, com a funcionalidade de ligar o controlador, e os *bytes* numerados de 2 a 5 pelos sinais de controlo do motor, o sinal de “*PARK*” para bloquear ou desbloquear o motor, o sinal “*SEAT*” que se trata de uma segurança associada ao sensor de banco que apenas permite que o motor rode caso o condutor esteja sentado ao volante, e os sinais de “*DRIVE*” e “*REVERSE*” que definem o sentido de rotação do motor, respetivamente.

Tabela 4.1 - Estrutura da mensagem CAN do módulo CBW.

CBW - ID's CAN			
ID	Byte	Descrição	Valor
0x100	0	Estado do CBW	0 - Desabilitado 1 - Habilitado
	1	Sinal da Chave	
	2	Sinal «Park»	
	3	Sinal «Seat»	
	4	Sinal «Drive»	
	5	Sinal «Reverse»	
	6	-	-
	7	-	-

O funcionamento do módulo segue a lógica apresentada na Figura 4.3 onde se mostra o fluxograma do código desenvolvido e aplicado no mesmo. Ao ligar a alimentação de baixa tensão, o CBW inicia configurando em primeiro lugar os periféricos e as bibliotecas necessárias à execução do programa pretendido. Após as configurações iniciais é executado um ciclo infinito no qual em cada ciclo de execução é verificado o estado do CBW, entenda-se, se o controle via CAN está no estado habilitado ou desabilitado. Caso o *byte 0* da mensagem CAN 0x100 tome o valor “0”, o controle por CAN encontra-se desativado, pelo que o CBW opera de uma forma totalmente analógica ficando o programa sem qualquer funcionalidade. Tomando o valor “1”, o programa irá ler o estado dos restantes *bytes* de informação da mensagem e atuar a saída de alta tensão correspondente a cada *byte*, por exemplo, se o *byte 1* possuir o valor “1” a saída responsável por ligar a alimentação do controlador é atuada, ligando o controlador, se possuir o valor “0” o controlador permanece desligado.

Por questões de segurança adicionou-se ao *software* a funcionalidade de desativar todas as saídas caso se pretenda efetuar o controle das saídas por CAN, mas por algum motivo o módulo perca a conexão com o barramento de comunicação do E-UTV. Para aplicação desta funcionalidade o código foi desenvolvido de forma a permitir ao CBW contabilizar o tempo entre duas mensagens CAN consecutivas. Caso se verifique que, recebendo uma mensagem, a próxima não seja recebida num intervalo de 1 segundo, o módulo assume um estado de erro no qual desativa todas as saídas. Para voltar ao funcionamento normal é requerida uma reinicialização da alimentação do módulo.

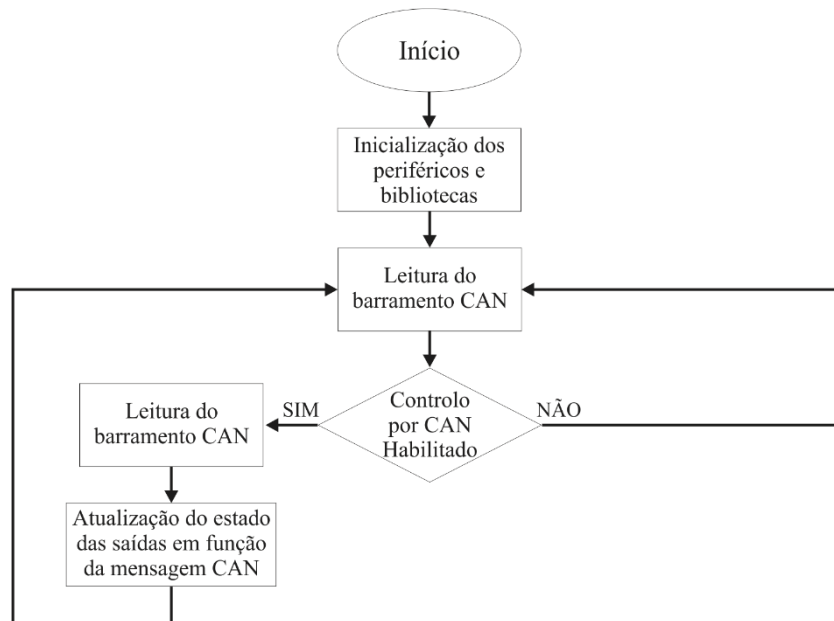


Figura 4.3 - Fluxograma do módulo CBW.

4.1.4. Componentes Utilizados

4.1.4.1. Entradas Analógicas de Baixa Tensão

- **Isoladores Capacitivos:** As entradas de baixa tensão foram desenvolvidas com o intuito de receber sinais analógicos numa gama de 5 V a 12 V. Tendo em conta que o processamento da informação neste módulo é feito por um microcontrolador de 5 V, foram utilizados nas entradas os isoladores capacitivos Si8710BD que não só isolam a zona de processamento da placa da zona de entradas analógicas protegendo assim o microcontrolador, como permitem que as entradas possam operar na gama referida, de 5 V a 12 V, garantindo que o sinal de saída do isolador é sempre um sinal de 5 V para o microcontrolador.
- **Fusíveis Rearmáveis PPTC:** Também referente às entradas dos sinais analógicos, de modo a garantir a segurança do módulo contra eventuais curto-circuitos ou más ligações por exemplo, foram utilizados fusíveis do tipo PPTC que permitem limitar a corrente dos sinais de entrada no CBW. Tendo em conta a aplicação pretendida e as características dos isoladores capacitivos, uma vez que estão montados em série com os fusíveis, considerou-se um limite máximo de corrente de 100 mA.

4.1.4.2. Processamento de Sinal

- **Conversor DC/DC:** Optou-se por utilizar um conversor comutado e isolado, que permite o ajuste do nível de tensão de 12 V para o nível de tensão necessário para a alimentação do sistema de instrumentação (5 V).
- **Microcontrolador:** O microcontrolador escolhido foi o AT90CAN128 por este possuir uma capacidade de memória, velocidade de processamento e número de portas suficientes para a aplicação pretendida e pelo facto de possuir incorporada comunicação CAN.
- **Portas Lógicas OR:** O CBW tem como objetivo acionar saídas de alta tensão para o controlador do motor. Visto que se optou por desenvolver o módulo com capacidade de processar os sinais de entrada quer por via analógica quer por comunicação CAN, as portas lógicas OR foram utilizadas para efetuar o acionamento das saídas pretendidas independentemente da via pela qual o sinal de entrada é recebido.
- **Porta Lógica XOR:** A porta lógica XOR foi utilizada como um meio de segurança pois impede que o controlador do motor receba os comandos de “*DRIVE*” e “*REVERSE*” em simultâneo, ou seja, elimina a hipótese de o utilizador por lapso acionar o motor em ambos os sentidos de rotação ao mesmo tempo, o que poderia danificar o motor. Esta é responsável por habilitar ou desabilitar os relés sólidos que enviam os sinais de alta tensão de “*DRIVE*” e “*REVERSE*” para o controlador do motor.
- **FTDI:** Foi utilizado um FTDI que permite que o microcontrolador seja programado na própria placa e que a qualquer momento seja possível fazer uma reprogramação do microcontrolador do CBW.

4.1.4.3. Saídas de Potência de Alta Tensão

- **Relés Sólidos Para o Controlo das Saídas de Alta Tensão:** Os relés sólidos são responsáveis pelo acionamento das saídas de alta tensão permitindo assim o controlo dos sinais enviados para o controlador do motor por parte do CBW. Foram utilizados os relés sólidos CPC1004NTR que possuem a vantagem de serem relés isolados permitindo assim a separação entre as massas de baixa e alta tensão.
- **Relé Sólido Para o Controlo do Sinal da Chave:** Foi utilizado o relé sólido G3VM-101HR2 uma vez que possui uma maior capacidade de condução de corrente elétrica do que os referidos anteriormente. Este relé é responsável por receber um

sinal equivalente à ignição do veículo e conseqüentemente fazer o acionamento do controlador do motor.

4.1.5. Projeto da PCB

O desenvolvimento da placa de circuito impresso (PCB) para o módulo CBW foi realizado tendo por objetivo desenhar uma placa com dimensões reduzidas e esteticamente apelativa, sem comprometer o distanciamento necessário entre os componentes do circuito de alta tensão de forma a garantir o correto isolamento do circuito elétrico.

Foram utilizados planos de massa para os circuitos de 12 V e de 5 V com o objetivo de simplificar as ligações a efetuar entre componentes na placa. Uma vez que o circuito de instrumentação é isolado do sistema de 12 V, foram criados planos de massa distintos para cada um dos níveis de tensão como mostra a Figura 4.4, que apresenta uma vista a duas dimensões da placa desenvolvida com as respectivas ligações elétricas. Por segurança, para o circuito de alta tensão não foi utilizado nenhum plano de massa.

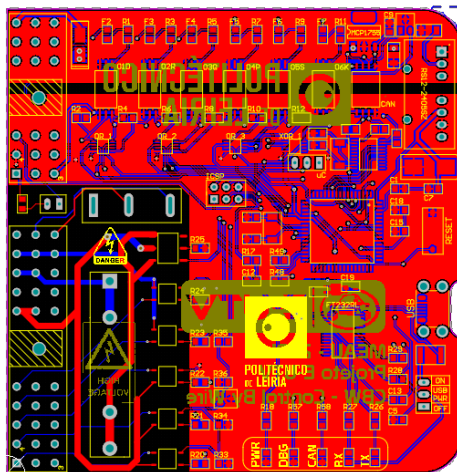


Figura 4.4 - Placa do módulo CBW, vista 2D.

O dimensionamento das pistas e das vias para as conexões entre componentes foi realizado recorrendo a calculadoras *online* desenvolvidas para o efeito garantindo sempre o sobredimensionamento das ligações com o intuito de reduzir o calor gerado na placa para assegurar o bom funcionamento do módulo especialmente em utilizações contínuas durante longos períodos de tempo.

Após o processo de soldadura manual obteve-se a placa final para aplicação no veículo representada na Figura 4.5.

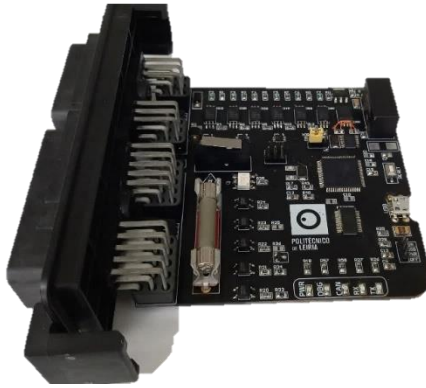


Figura 4.5 - Módulo CBW para aplicação no veículo.

Relativamente ao custo do desenvolvimento e produção do módulo de *Control by Wire*, pela irrelevância do preço dos condensadores e das resistências, estes componentes não foram considerados para o cálculo do custo total do módulo CBW. Somando todas as partes, componentes e produção da placa de circuito impresso, a produção do módulo CBW representa um custo de cerca de 111 € para o projeto do E-UTV [31] [32].

4.2.AVAS

4.2.1. Objetivo do Módulo

Pretende-se um módulo capaz de cumprir as principais normas existentes relativamente aos sistemas de alerta acústico para veículos elétricos, nomeadamente em termos de intensidade sonora para tornar o veículo mais audível aquando o movimento em velocidade baixas, compreendidas entre os 0 e os 20 km/h. Para tal o AVAS foi desenvolvido com a capacidade de efetuar trocas de informação com o barramento de comunicação CAN do veículo para emitir um alerta sonoro de frequência variável em função da sua velocidade de forma a simular um som de aceleração. Adicionalmente foi acrescentada a funcionalidade de ser possível emitir um sinal sonoro no momento em que a alta tensão do E-UTV é habilitada ou desabilitada de modo a alertar os ocupantes destes acontecimentos. Tal como em inúmeros veículos elétricos existentes no mercado, o módulo AVAS pode ser ligado e desligado através do barramento CAN.

4.2.2. Arquitetura do *Hardware*

Para cumprir com os requisitos pretendidos, o módulo AVAS é composto pelo interface CAN responsável por conectar o microcontrolador ao barramento de comunicação do veículo, por um amplificador de som utilizado para aumentar a potência acústica do módulo, de modo a ser possível atingir intensidades sonoras com valores na ordem dos estipulados pela legislação e com um leitor de cartões de memória SD, visto que os alertas sonoros emitidos pelo AVAS tratam-se de diferentes faixas sonoras guardadas no cartão de memória que são reproduzidas em função da mensagem CAN obtida pela leitura do barramento de comunicação. Na Figura 4.6 observa-se o diagrama de blocos do módulo de alerta acústico.

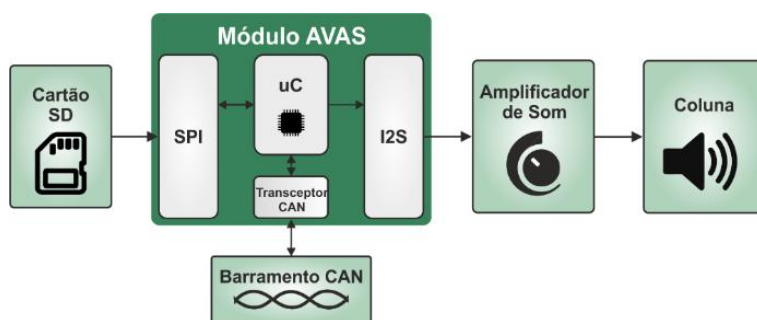


Figura 4.6 - Diagrama de blocos do módulo AVAS.

Relativamente a conexões do módulo com o exterior, necessita de ser conectada a coluna e quatro ligações com o veículo para ficar operacional, as alimentações positiva e negativa, e a ligação ao barramento CAN. A Figura 4.7 apresenta o diagrama de montagem do módulo AVAS. O conector principal da unidade possui uma saída de 5 V de instrumentação para a eventualidade de ser necessária para alguma ligação externa, e conexão para um pino digital do microcontrolador com capacidade de controlar um atuador através de modulação por largura de pulso (*PWM - Pulse Width Modulation*) que permite, por exemplo, ligar um *buzzer* ao módulo para substituir a coluna, ou para ter o segundo avisador sonoro com outras funções, com a capacidade de emitir um sinal sonoro com frequência variável também.

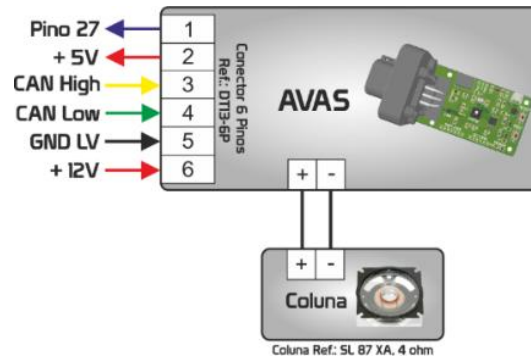


Figura 4.7 - Conexões do módulo AVAS.

4.2.3. Arquitetura do *Software*

Para o módulo AVAS foi utilizada a mensagem CAN identificada pela numeração hexadecimal 0x60. Nela é contida a informação acerca do estado do AVAS, se está habilitado ou não, uma vez que, tal como foi referido na apresentação do módulo, o avisador sonoro pode ser ligado ou desligado pelo utilizador, acerca do estado da alta tensão e da velocidade do veículo, sendo estas as três variáveis necessárias ao funcionamento do módulo desenvolvido. A Tabela 4.2 mostra a codificação da mensagem referida.

Tabela 4.2 - Estrutura da mensagem CAN do módulo AVAS.

AVAS - ID's CAN			
ID	Byte	Descrição	Valor
0x60	0	Estado do AVAS	0 - Desabilitado / 1 - Habilitado
	1	Estado da Alta Tensão	0 - Desabilitada / 1 - Habilitada
	2	Velocidade do Veículo [km/h]	-
	3	Mudança Engrenada	0 - Neutro 1 - Drive 2 - Reverse
	4	-	-
	5	-	-
	6	-	-
	7	-	-

O *software* foi desenvolvido segundo a lógica do fluxograma representado na Figura 4.8. Habilitando a alimentação de baixa tensão do veículo o AVAS inicia configurando inicialmente as bibliotecas e os periféricos do microcontrolador utilizados para a execução do programa. Seguidamente é verificado o estado da alta tensão do veículo. Caso esteja desabilitada o AVAS permanece sem funcionalidade ficando o programa “preso” nesta verificação aguardando pela sua ativação. Quando habilitada, o módulo consulta o cartão de memória para importar a faixa de áudio com o som que sinaliza este acontecimento reproduzindo-a na coluna, através do amplificador. Após a ativação da alta tensão do E-UTV, ao desligá-la, o módulo reproduz um aviso sonoro diferente do primeiro alertando os ocupantes de que a alta tensão foi desabilitada.

Por questões de segurança a funcionalidade de emitir um som de alerta para o estado da alta tensão foi imposta independentemente de o módulo AVAS estar habilitado ou desabilitado pelo utilizador, sendo que ao desabilitar o AVAS apenas fica sem efeito a emissão dos sons relativos à velocidade do veículo que simulam a sua aceleração. Caso o sistema de alerta sonoro esteja no estado habilitado, o módulo adquire do barramento de comunicação a informação relativa à velocidade do veículo e, caso esta tome um valor compreendido entre 1 e 20 km/h, é importada do cartão de memória a faixa de áudio respetiva ao valor da velocidade e reproduzida na coluna. Foi criada uma faixa para cada 1 km/h de variação, perfazendo um total de 20 faixas de áudio, com a frequência crescente à medida que a velocidade aumenta.

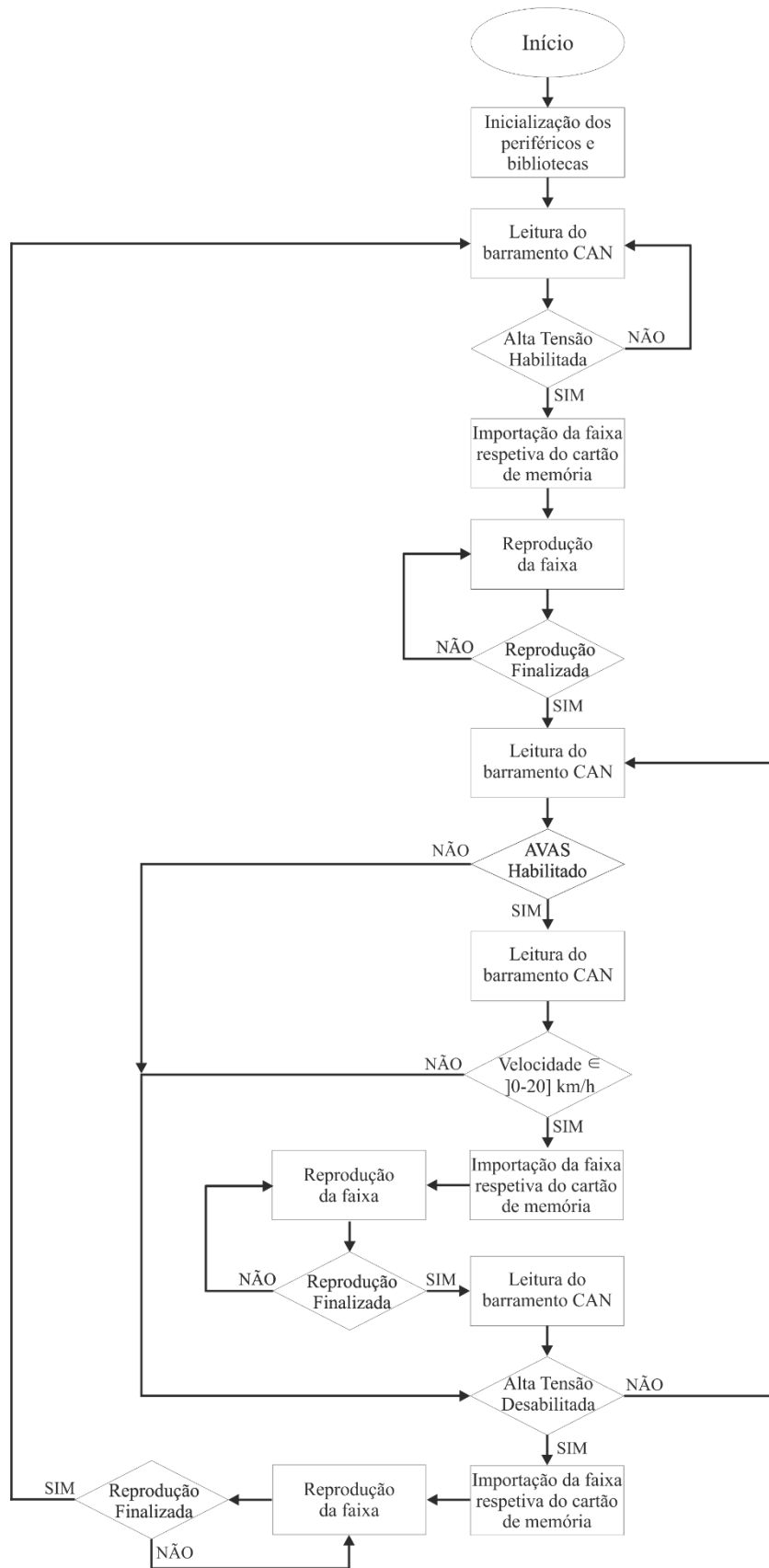


Figura 4.8 - Fluxograma do módulo AVAS.

4.2.4. Componentes Utilizados

4.2.4.1. Processamento de Sinal

- **Microcontrolador:** Para o AVAS foi escolhido o microcontrolador ESP32 pelas suas capacidades de processamento, por possuir incluído o interface CAN tal como o microcontrolador utilizado no CBW, e principalmente por possui como periférico o protocolo de comunicação I2S (*Inter Integrated Circuit Sound*). Este protocolo de comunicação trata-se de um protocolo síncrono utilizado para transmitir informações de som entre dois dispositivos de áudio digital permitindo assim a comunicação entre o microcontrolador e o amplificador de som.
- **Conversores DC/DC:** Para o conversor DC/DC foi escolhido o componente P78E05, que converte 12V, provenientes da bateria de baixa tensão, em 5 V para alimentar o sistema de instrumentação. Adicionalmente utilizou-se um segundo conversor DC/DC, de referência MIC5219-3.3, com uma potência inferior ao primeiro, com o objetivo de efetuar uma redução dos 5 V de saída do primeiro DC/DC para 3,3 V, de forma a alimentar o microcontrolador visto que o ESP32 possui uma tensão operacional de 3,3 V.
- **Transcetor CAN:** O transcetor CAN MCP2562 foi utilizado para ajustar o nível de tensão do barramento de comunicação CAN para um nível de tensão suportada pelo microcontrolador.
- **FTDI:** Como interface entre o protocolo USB e o protocolo série foi utilizado o FTDI CP2102N visto que este componente tem uma tensão operacional compreendida entre os 3 V e os 3,6 V sendo assim compatível com o ESP32.

4.2.4.2. Saídas do Módulo

- **Amplificador:** O AVAS para a aplicação pretendida possui um único atuador, a coluna, que emite o sinal sonoro. Foi utilizado o amplificador de áudio digital de classe D MAX98357A. Trata-se de um amplificador com capacidade de operar com um nível de tensão compreendido entre 2,5 V a 5,5 V sendo a sua potência proporcional à tensão de alimentação. Possui uma potência de 3,2 W para uma coluna com uma bobine de 4 Ohm de impedância. Este amplificador foi selecionado especialmente pelo modo de atuação visto que foi concebido para operar com microcontroladores que suportem o protocolo de comunicação I2S.

4.2.5. Projeto da PCB

No *software* Altium Designer[®] foi desenvolvida a placa de circuito impresso do módulo AVAS. Tal como no caso do módulo anteriormente apresentado, as pistas foram dimensionadas de modo a garantir o bom funcionamento da placa suportando correntes superiores às esperadas em condições de funcionamento normal da placa. A Figura 4.9 mostra as ligações elétricas realizadas na placa de circuito impresso do módulo AVAS.

Na Figura 4.10 apresenta-se o módulo AVAS finalizado, após o processo de soldadura de componentes, para aplicação no veículo. O cálculo do valor monetário acrescentado ao projeto E-UTV pelo módulo AVAS é cerca de 47 € [31] [32].

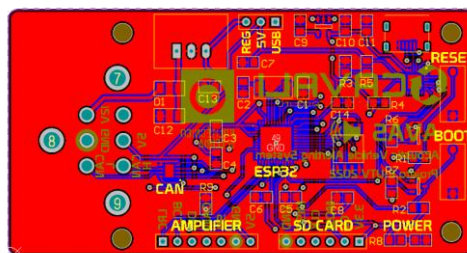


Figura 4.9 – Módulo AVAS, vista 2d.

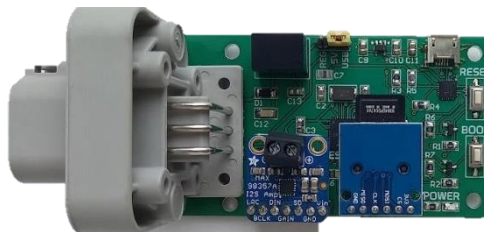


Figura 4.10 - Módulo AVAS para aplicação no veículo.

4.2.6. Criação dos Efeitos Sonoros

As faixas com os efeitos sonoros reproduzidas pelo módulo AVAS foram desenvolvidas com recurso ao *software* Audacity[®][33].

Com base na norma enunciada na apresentação dos sistemas de alerta sonoros para veículos elétricos do presente relatório, no caso de o veículo se deslocar em frente, foram desenvolvidas faixas sonoras para velocidades compreendidas entre os 0 e os 20 km/h. Para isso, foi retirada uma faixa base do *website* Zapsplat[®] que, passando por um processo de edição, resultou no efeito sonoro emitido pelo módulo AVAS aquando da deslocação em frente do E-UTV a baixas velocidades [34]. A Figura 4.11 mostra o ambiente de trabalho do

software referido no qual se pode observar em primeiro lugar a faixa base utilizada, seguida das faixas destinadas às velocidades de 1km/h e de 2km/h respetivamente, após o processo de edição. Estas faixas possuem uma duração de 200 ms para permitirem alguma resolução sonora durante a aceleração do E-UTV uma vez que o AVAS, após iniciar a reprodução de uma das faixas, apenas efetua a reprodução de uma faixa diferente quando a primeira terminar. A duração das faixas afeta simultaneamente o tempo de resposta do módulo e a qualidade do som emitido, pelo que a definição deste parâmetro constitui uma relação de compromisso entre ambos.

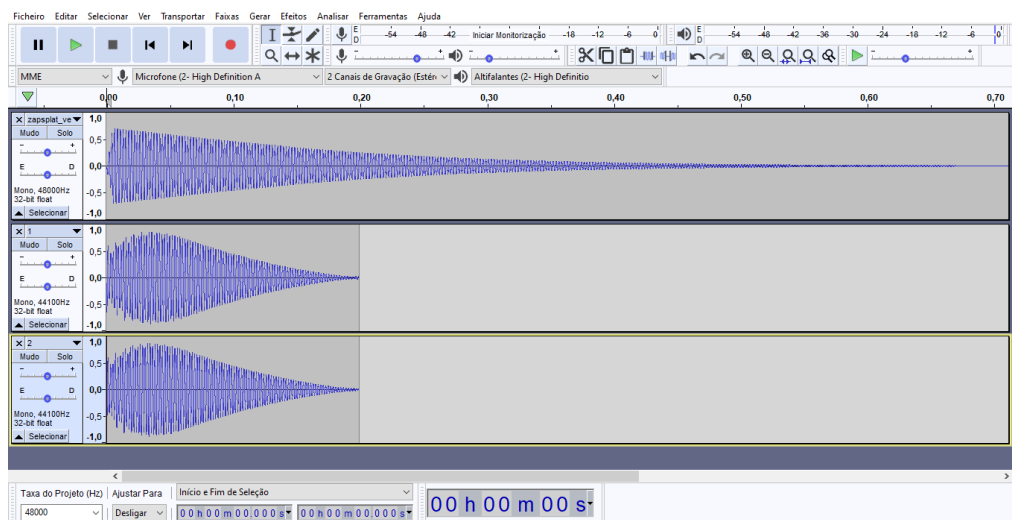


Figura 4.11 - Ambiente de desenvolvimento dos efeitos sonoros, *software* Audacity.

De modo a cumprir com a legislação, que enuncia que a frequência do som emitido pelo veículo deve aumentar pelo menos 0,8 % por km/h dentro de uma gama compreendida entre os 160 Hz e os 5000 Hz, foi atribuída uma frequência fundamental de 500 Hz ao efeito sonoro do primeiro km/h e impostos incrementos de 1 % a este valor por cada unidade de variação de velocidade. Desta forma a faixa correspondente aos 2 km/h possui uma frequência fundamental de 505 Hz, a dos 3 km/h uma frequência de 510,05 Hz e assim sucessivamente.

Para sinalizar o movimento de marcha atrás foi utilizado o mesmo procedimento. Utilizou-se como ponto de partida um efeito sonoro base que, após edição, resultou na faixa reproduzida pelo AVAS. Para a marcha atrás a legislação não requer alterações à frequência do som emitido em função da velocidade pelo que foi desenvolvida uma única faixa com uma frequência fundamental de 1000 Hz para sinalizar o referido movimento.

De forma a alertar os ocupantes do veículo quanto ao estado do sistema de alta tensão, habilitado ou desabilitado, foi utilizado o *website* Wideo[®], que permite a criação de faixas sonoras a partir de um texto escrito, sendo desta forma possível criar um efeito sonoro no qual o módulo cita a variação de estado do sistema de alta tensão [35]. Ao habilitar a alta tensão do veículo o módulo reproduz a frase “*High Voltage Enabled*” e ao desligar o mesmo a frase “*High Voltage Disabled*”.

4.3.Unidade de Monitorização dos DC/DC

4.3.1. Objetivo do Módulo

O E-UTV é equipado com dois conversores DC/DC responsáveis pela redução da tensão proveniente do *pack* de baterias para um nível que permita carregar a bateria auxiliar responsável por alimentar o sistema de baixa tensão do veículo, convertendo a entrada de 96 V numa saída de 13,6 V.

O módulo de monitorização dos conversores DC/DC foi desenvolvido com o intuito de complementar a informação disponível do que acontece no E-UTV, aumentando assim o controlo sobre todo o veículo. Esta unidade é responsável, tal como o nome indica, pela supervisão dos conversores no que diz respeito à potência debitada, temperatura de operação e corrente consumida.

4.3.2. Arquitetura do *Hardware*

O módulo mencionado foi concebido com a finalidade de adquirir valores de sensores e enviá-los para o barramento de comunicação CAN, para apresentação dos mesmos ao utilizador e processamento por outras unidades do veículo. Foi idealizado para monitorizar a tensão de saída de ambos os DC/DC, a corrente elétrica fornecida por estes ao sistema de baixa tensão, a corrente consumida ao sistema de alta tensão e a sua temperatura de funcionamento. Na Figura 4.12 apresenta-se o diagrama de blocos do módulo.

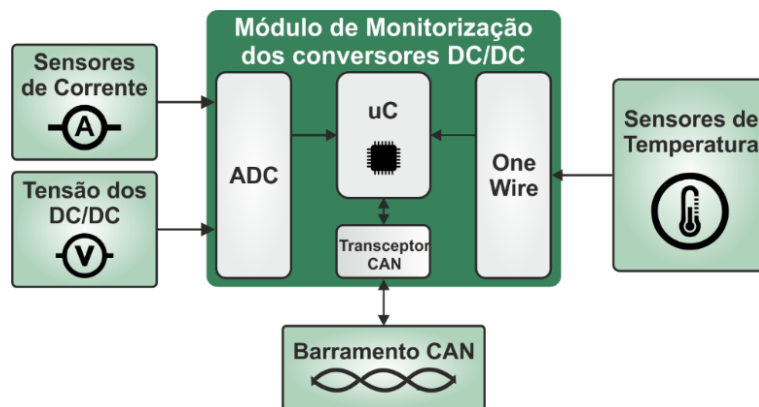


Figura 4.12 – Diagrama de blocos do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.

De modo a cumprir com os requisitos pretendidos a unidade de monitorização é dotada de cinco entradas analógicas, projetadas para a conexão de três sensores de corrente de efeito de *hall* com saída em tensão e para a ligação do positivo da saída dos conversores DC/DC para aquisição da sua tensão de saída, uma vez que duas das entradas analógicas são internamente ligadas a um divisor de tensão que permite ao microcontrolador obter esta informação. Adicionalmente existem duas ligações a um pino digital do microcontrolador destinadas à conexão de sensores de temperatura digitais com interface *one-wire*, perfazendo assim um total de sete sensores conectados à unidade. Por fim, foi implementado um transceptor CAN para a comunicação com o barramento para o envio dos dados medidos através dos sensores.

A Figura 4.13 mostra as ligações elétricas a efetuar para conectar o módulo no veículo com a respetiva numeração dos pinos de todas as fichas. Para além do conector principal com as ligações de alimentação e comunicação com o barramento CAN, o módulo possui três fichas de quatro pinos para a conexão dos sensores de corrente, duas fichas de três pinos para os sensores de temperatura, uma ficha de dois pinos para a medição da tensão de saída dos DC/DC e uma ficha também de dois pinos para o sinal de *enable* dos conversores, sendo que este sinal é recebido através do conector principal por uma unidade externa sem ser processado pelo módulo apresentado. Esta ligação existe devido ao facto de se pretender colocar os conversores numa caixa fechada juntamente com a unidade de monitorização levando assim à necessidade de uma ligação acessível pelo exterior para ligar e desligar os conversores. De modo a simplificar o esquema, na figura apresenta-se a ligação de apenas um sensor de corrente e um sensor de temperatura visto que os restantes são conectados da mesma forma.

Para a aplicação pretendida optou-se pelos sensores de corrente L31S100S05FS da marca TAMURA®, com uma tensão de alimentação operacional de 5 V e uma capacidade de medição máxima de 100 A. Para medição de temperatura, pelos sensores DS18B20, com uma tensão de alimentação de 5 V, capacidade de medição desde -55 °C até 125 °C e precisão de 0,5 °C [31].

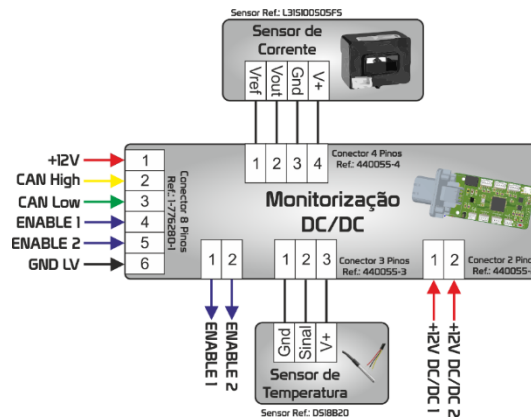


Figura 4.13 – Conexões do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.

4.3.3. Arquitetura do Software

O módulo de monitorização dos conversores DC/DC tendo unicamente a função de adquirir dados provenientes de sensores, convertê-los em grandezas físicas e enviá-los para CAN, possui destinadas as mensagens com os endereços 0x63 e 0x64 para as quais possui a função apenas de escrita.

A Tabela 4.3 mostra a codificação das mensagens CAN enviadas para o barramento de comunicação por parte do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.

Tabela 4.3 - Estrutura das mensagens CAN do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.

Módulo de Monitorização dos Conversores DC/DC - ID's CAN				
ID	Byte	Descrição	Offset	
0x63	0	Temperatura do DC/DC 1 [°C]	(T + 40) x 10	
	1			
	2	Temperatura do DC/DC 1 [°C]		
	3			
	4	Tensão DC/DC 1 [V]		x 10
	5			
	6	Tensão DC/DC 1 [V]		
	7			
0x64	0	Corrente de Saída do DC/DC 1 [A]	x 10	
	1			
	2	Corrente de Saída do DC/DC 2 [A]		
	3			
	4	Corrente de Consumida pelos DC/DC [A]		
	5			
	6	-		-
	7	-		-

Quanto à lógica de programação do módulo, esta segue a metodologia apresentada no fluxograma da Figura 4.14. Ligando o módulo, este realiza as configurações iniciais das bibliotecas e periféricos utilizados e, após a inicialização, executa um ciclo infinito no qual adquire os valores dos sensores de corrente e da tensão de saída dos conversores DC/DC através das entradas analógicas do periférico ADC (*Analog to Digital Converter*), converte esses valores para as respetivas grandezas físicas, adquire a temperatura medida pelos termístores com recurso ao protocolo de comunicação *OneWire*, aplica os valores de *offset* a todas as variáveis e envia-as para o barramento CAN do E-UTV.

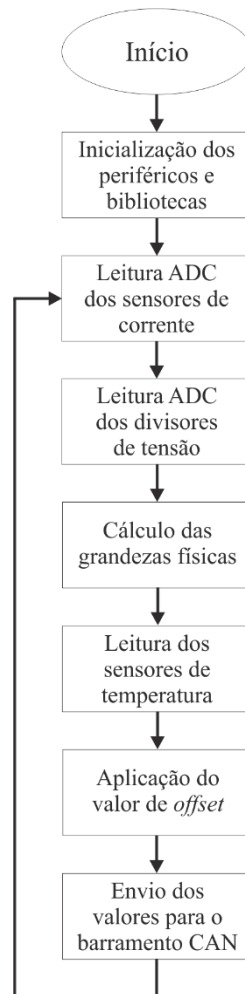


Figura 4.14 - Fluxograma do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.

4.3.4. Componentes Utilizados

4.3.4.1. Processamento de Sinal

- **Microcontrolador e FTDI:** Relativamente aos componentes para a conceção do módulo foram seleccionados o microprocessador e o FTDI utilizados no módulo CBW pelas vantagens referidas no subcapítulo anterior.
- **Transcetor CAN:** Recorreu-se ao transcetor CAN MCP2551 com o intuito de realizar a interface entre o protocolo de comunicação CAN do microcontrolador e o barramento de comunicação físico do E-UTV, tal como no AVAS, sendo que a tensão operacional deste transcetor é de 5 V, a mesma do microcontrolador da placa.
- **Conversor DC/DC:** Para o conversor DC/DC foi escolhido o componente P78E05, tal como no módulo AVAS.

4.3.4.2. Entrada Analógicas

- **Amplificador Operacional:** Recorreu-se a um amplificador operacional de referência MCP6H02 para conexão à saída do divisor de tensão utilizado para a aquisição do valor da tensão de saídas dos conversores DC/DC por parte do microcontrolador.

4.3.5. Projeto da PCB

A placa de circuito impresso, realizada no *software* Altium[®], foi desenvolvida de forma a ter dimensões reduzidas, uma vez se pretende que seja colocada na caixa já existente para os conversores DC/DC, sendo desta forma as dimensões da placa delimitadas à partida para a construção do módulo. Para além disso, dada a necessidade de conectar diversos sensores, foi tido em atenção o facto de tornar a placa intuitiva para as ligações eléctricas, com todas as fichas legendadas para o efeito. Os componentes foram colocados apenas na face superior da placa uma vez que o local destinado à montagem da mesma no veículo é no fundo da caixa, permitindo assim que o módulo encoste à base da caixa para um suporte mais eficiente.

Na Figura 4.15 observa-se a vista de duas dimensões com as ligações eléctricas realizadas na PCB.

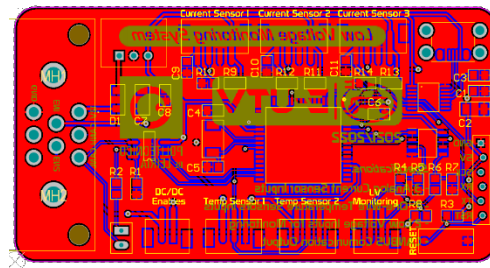


Figura 4.15 - Placa do módulo de monitorização dos conversores DC/DC, vista 2D.

Na Figura 4.16 pode-se observar o módulo de monitorização dos conversores DC/DC finalizado com os respetivos componentes soldados na placa de circuito impresso.

Como referido, o módulo em questão foi desenvolvido com o intuito de ser aplicado numa caixa juntamente com os conversores DC/DC de forma a ficar com este sistema isolado e protegido de elementos externos. A Figura 4.17 apresenta a caixa adaptada com os componentes pertencentes dispostos nos respetivos locais de montagem.

A fabricação da PCB em conjunto com os componentes do módulo de monitorização dos DC/DC representa um acréscimo de aproximadamente 31 € ao projeto E-UTV [31] [32].

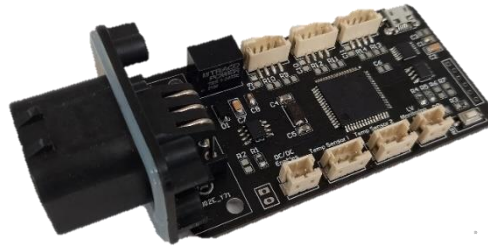


Figura 4.16 - Módulo de monitorização dos conversores DC/DC para aplicação no veículo.



Figura 4.17 - Caixa dos conversores DC/DC.

4.4. Unidade de *Cooling*

4.4.1. Objetivo do Módulo

A unidade de *cooling* foi concebida com a finalidade de responder às necessidades de controlo do sistema de gestão térmica desenvolvido para o E-UTV. O módulo possui a capacidade de monitorizar e controlar os circuitos de refrigeração da bateria e da eletrónica de potência individualmente e comunicar com as restantes unidades do veículo através do barramento de comunicação CAN.

4.4.2. Arquitetura do *Hardware*

De forma a ter um leque variado de opções e a capacidade de monitorizar e controlar os dois circuitos o módulo possui sete entradas analógicas, cinco das quais com a possibilidade de possuírem uma resistência de *pull-up* ou *pull-down* consoante a necessidade da aplicação. Para o E-UTV as entradas mencionadas destinam-se à conexão de dois caudalímetros com saída de sinal analógico e cinco termístores NTC (*Negative Temperature Coefficient*).

Adicionalmente, entradas CAN para conexão da unidade ao barramento do veículo. Relativamente às saídas da placa, esta possui quatro saídas de potência, duas delas com capacidade de suportar cargas até 5 A, e as restantes duas até 18 A, todas conectadas a MOSFETS em coletor aberto com montagem *low-side*, o que significa que conectam o atuador à massa quando asseridas. Todas as saídas possuem MOSFET *drivers* para um controlo eficaz de cargas que requerem atuação por PWM. Para a aplicação no projeto em questão, duas das saídas são destinadas à atuação de ventoinhas de refrigeração para forçar a convecção nos radiadores dos circuitos de refrigeração, e as outras duas para atuação das bombas de água. Na Figura 4.18 está representado o diagrama de blocos da unidade de *cooling* para a aplicação no veículo utilitário elétrico.

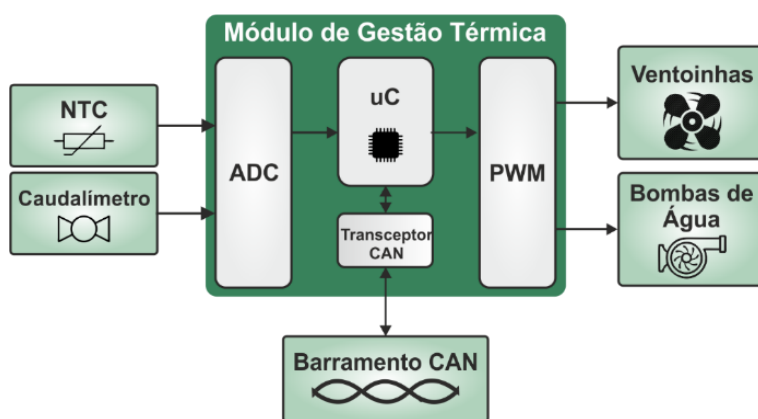


Figura 4.18- Diagrama de blocos da unidade de *cooling*.

A unidade possui dois barramentos CAN independentes caso se pretenda um controlo completamente separados dos dois circuitos e dois avisos luminosos, um que permite visualizar se a placa está alimentada ou não e outro programável oferecendo assim uma maior versatilidade ao utilizador.

Na Figura 4.19 apresenta-se o esquema de montagem do módulo com uma representação de parte das conexões a efetuar com a finalidade de simplificar a ilustração. As ligações em falta tratam-se de uma duplicação das representadas realizando-se exatamente da mesma forma nos pinos correspondentes da unidade.

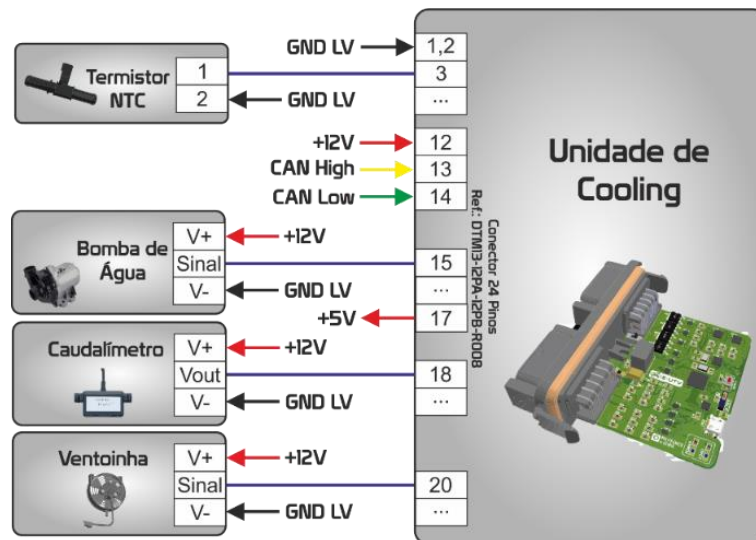


Figura 4.19 - Conexões da unidade de *cooling*.

4.4.3. Arquitetura do *Software*

A unidade responsável pela gestão térmica utiliza duas mensagens CAN para as quais envia informação endereçadas com os identificadores 0x65 e 0x66 como mostra a Tabela 4.4. A temperatura adquirida pelos termístores NTC é enviada para o barramento num único *byte* de informação com um *offset* de + 40 °C para permitir o envio de valores negativos de temperatura, tal como o caso do módulo de monitorização dos conversores DC/DC.

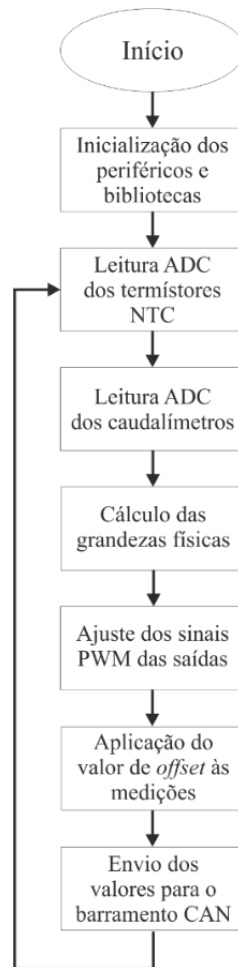
O valor adquirido pelo caudalímetro é também enviado para o barramento com um *offset* de x 10 de modo a permitir o envio de uma casa decimal, sendo assim possível enviar valores compreendidos entre 0 L/min e 25,5 L/min.

Nos *bytes* 4, 5, 6 e 7 da mensagem 0x66 estão presentes os valores percentuais que representam a velocidade dos atuadores em função do sinal PWM utilizado para atuar as saídas de potência geridas pela unidade.

Tabela 4.4 - Estrutura da mensagem CAN da unidade de *cooling*.

Unidade de Cooling - ID's CAN			
ID	Byte	Descrição	Offset
0x65	0	Temperatura NTC 1 [°C]	+ 40
	1	Temperatura NTC 2 [°C]	
	2	Temperatura NTC 3 [°C]	
	3	Temperatura NTC 4 [°C]	
	4	Temperatura NTC 5 [°C]	
	5	Caudalímetro 1 [L/min]	x 10
	6	Caudalímetro 2 [L/min]	
	7	-	-
0x66	0	-	-
	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
	4	Velocidade da Ventoinha 1 [%]	-
	5	Velocidade da Ventoinha 2 [%]	-
	6	Velocidade da Bomba de Água 1 [%]	-
	7	Velocidade da Bomba de Água 2 [%]	-

O fluxograma apresentado na Figura 4.20 esquematiza o raciocínio aplicado ao desenvolvimento do código para a unidade. Após as configurações iniciais, ao ligar a alimentação do módulo, são convertidos os valores adquiridos pelo periférico ADC do microcontrolador ao qual conectam os termístores NTC e os caudalímetros para as respetivas grandezas físicas. De seguida em função dos valores de temperatura recebidos é realizado um ajuste no valor do PWM aplicado às saídas de potência de modo a controlar o caudal e a velocidade das ventoinhas de refrigeração. Para finalizar, os valores adquiridos pelos sensores e os valores percentuais representativos da velocidade dos atuadores são enviados para o barramento de comunicação CAN. O ciclo repete-se com a exceção das configurações iniciais até que a alimentação do módulo seja desligada.

Figura 4.20 - Fluxograma da unidade de *cooling*.

4.4.4. Componentes Utilizados

4.4.4.1. Entradas Analógicas

- **Amplificador Operacional:** Relativamente às entradas da placa, foi utilizado o amplificador operacional de referência MCP6H02, com a mesma finalidade que na placa de monitorização dos conversores DC/DC, aplicado às entradas de sinal destinadas aos termístores NTC.

4.4.4.2. Processamento de Sinal

- **Microcontrolador, Conversor DC/DC e FTDI:** Para o processamento de sinal, foi utilizado o mesmo microcontrolador que no CBW e no módulo de monitorização dos DC/DC, AT90CAN128, assim como o conversor DC/DC, P78E05-1000 e o FTDI.
- **Transcetores CAN:** Para o transcetor CAN escolheu-se o modelo MCP2562, o mesmo utilizado no módulo AVAS.

4.4.4.3. Saídas de Potência

- **MOSFETS:** Para atuação das saídas foram colocados na placa MOSFETS de potência, com as referências BTS3035TFATMA1 e BV1LB045FPJ-CE1, que permitem ao utilizador conectar cargas que consumam correntes até 5 A ou 18 A, respetivamente.
- **Drivers dos MOSFETS:** Para controlo dos MOSFETS, recorreu-se aos drivers MCP14A0602 que permitem uma atuação rápida e eficaz dos atuadores em caso de necessidade de controlo com um sinal PWM.

4.4.5. Projeto da PCB

A placa de circuito impresso da unidade foi desenvolvida com o objetivo de ser o mais pequena possível sem comprometer a estética da mesma. Visto que se pretendeu utilizar grande parte dos componentes com encapsulamentos sem patas, o processo de soldadura do módulo teve de ser feito com recurso a um forno que obrigou à colocação de todos os componentes numa única face da PCB.

Na Figura 4.21 mostra-se a vista a duas dimensões da unidade com todas as ligações elétricas efetuadas na mesma.

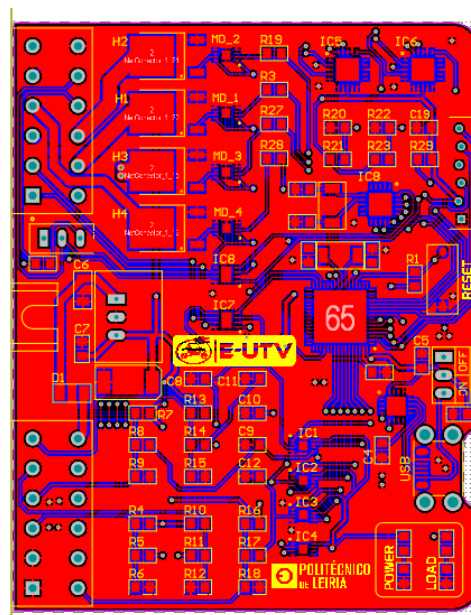


Figura 4.21 - Unidade de *cooling*, vista 2D.

Após um processo de soldadura com recurso a um forno modificado para o efeito, uma vez que na unidade de *cooling* foram utilizados alguns componentes com encapsulamentos que impossibilitam a soldadura manual, obteve-se como resultado a placa da Figura 4.22. A unidade apresentada representa um acréscimo de valor de cerca de 84 € para o projeto [31] [32].



Figura 4.22 – Unidade de *cooling* térmica para aplicação no veículo.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Interface Gráfico do Utilizador

O objetivo do interface do utilizador aplicado ao projeto E-UTV apresentado no presente relatório é permitir disponibilizar informação acerca do estado de funcionamento do veículo, mostrando valores de diversas variáveis, tais como temperaturas, tensão da bateria, velocidade do veículo, estado da alta tensão, entre outras, num ecrã LCD com funcionalidades táteis para oferecer alguma interatividade ao utilizador. O funcionamento pretendido para o interface gráfico apresenta-se esquematicamente pelo diagrama de blocos da Figura 5.1. Neste capítulo pretende-se explicar todo o trabalho de desenvolvimento do interface e o seu modo de funcionamento.

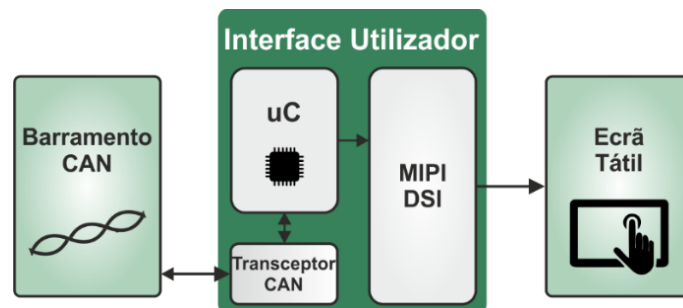


Figura 5.1 - Diagrama de blocos do interface gráfico do utilizador.

5.1. Hardware Selecionado

Para esta componente do projeto não foi desenvolvida uma unidade de controlo de raiz, ao contrário do sucedido para os restantes módulos apresentados. Em vez disso, recorreu-se à placa de desenvolvimento STM32F469I-disco, do fabricante STMicroelectronics®, uma vez que esta possui várias características que a tornam uma opção que responde às necessidades para o desenvolvimento do interface pretendido, nomeadamente, a sua elevada capacidade de processamento através do processador de 32 bits ARM Cortex M4, periférico CAN e um ecrã TFT LCD de 4 polegadas com tátil capacitivo [36]. A Figura 5.2 apresenta a placa de desenvolvimento referida.



Figura 5.2 - Placa de desenvolvimento STM32F469I-disco [36].

5.2.Arquitetura do *Software*

O *software* do interface gráfico foi realizado com recurso à plataforma de programação STM32CubeIDE. O código, desenvolvido em FreeRTOS, é constituído por duas tarefas. A primeira é responsável por efetuar a leitura do barramento de comunicação CAN do veículo guardando os valores relevantes em variáveis criadas para o efeito e a segunda para gerir e atualizar o ecrã com os valores das variáveis obtidos no barramento. Foi atribuída a mesma prioridade a ambas as tarefas de modo que sejam executadas à vez, nunca se sobrepondo, interrompendo o ciclo de execução uma da outra.

5.3.Design Gráfico do Interface

Para o design gráfico do interface recorreu-se ao *software* denominado de Touch GFX. Trata-se de um programa de desenvolvimento gráfico otimizado para microcontroladores STM32 permitindo desta forma explorar as vantagens gráficas dos mesmos. Possui um ambiente de trabalho intuitivo com um elevado suporte de apoio ao utilizador, permitindo a criação de múltiplas páginas e menus para aplicação no ecrã e as respetivas interações entre eles de uma forma simples.

De acordo com o que foi referido na pesquisa bibliográfica do presente relatório relativa a esta componente do projeto, procurou-se uma disposição da informação no ecrã de uma forma clara e sem ambiguidades, focando o essencial, para uma consulta e interpretação rápidas por parte do utilizador com o intuito de minimizar o fator distração.

5.4. Funcionalidades do Interface Gráfico

O interface desenvolvido permite apresentar ao utilizador o estado de funcionamento de vários componentes do veículo através de múltiplas páginas informativas. Este é constituído por quatro páginas que contêm dados atualizados de uma forma constante através do barramento CAN do E-UTV, um menu de seleção que permite ao utilizador escolher qual a página que pretende visualizar e ainda uma pequena introdução com o título do projeto ao ligar a alimentação da placa de desenvolvimento.

A Figura 5.3 mostra a página introdutória que surge gradualmente no ecrã ao ligar a alimentação do módulo. A imagem permanece visível por um curto período de tempo passando automaticamente à página principal do interface.



Figura 5.3 - Página de introdução.

A página definida como principal do interface gráfico, representada pela Figura 5.4 a), foi concebida com o intuito de mostrar ao condutor as informações mais relevantes a assimilar durante o processo de condução, nomeadamente as temperaturas do motor elétrico, do respetivo controlador e do *pack* de baterias, a velocidade do veículo e o estado de carga da bateria, sendo as últimas duas variáveis visíveis numericamente ou através de representações gráficas para uma interpretação mais rápida. Adicionalmente foram utilizados ícones que permitem determinar o estado das luzes, entenda-se, piscas, médios e máximos, o estado da alta tensão, ou seja, se os contactores se encontram fechados alimentando o veículo, ou abertos, e qual a ordem de marcha do veículo, as posições de neutro (N), *drive* (D) e *reverse* (R).

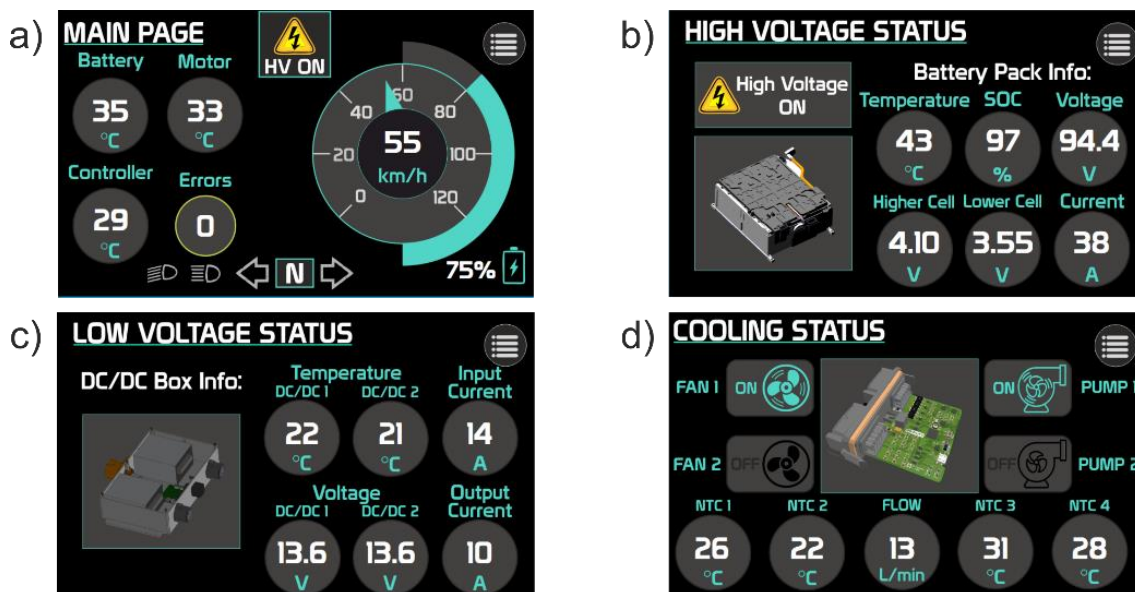


Figura 5.4 – Páginas do interface gráfico.

Foi criada uma página dedicada à informação acerca do estado do *pack* de baterias de alta tensão onde é mostrado um conjunto de dados mais detalhados e exclusivos deste componente do veículo. São apresentados novamente a temperatura da bateria e o estado de carga, aos quais acresce a informação acerca da tensão da mesma, das tensões da célula mais alta e da célula mais baixa adquiridas pelo BMS (*Battery Management System*), e da corrente elétrica instantânea solicitada ou fornecida ao *pack* de baterias. A Figura 5.4 b) ilustra a referida página.

Para mostrar o estado de funcionamento dos componentes que alimentam o sistema a baixa tensão do veículo foi igualmente criada uma página exclusiva na qual é apresentada a informação mais relevante acerca dos conversores DC/DC, como se pode verificar na Figura 5.4 c).

Tratando-se o sistema de refrigeração de um componente indispensável ao bom funcionamento do veículo, como já foi referido no presente relatório, este possui uma página informativa destinada à informação relativamente ao estado dos principais atuadores que controla, nomeadamente das ventoinhas e das bombas de água, e para os valores fornecidos por cinco sensores podendo ser mostrada a temperatura adquirida pelos termístores ou o caudal do fluido de refrigeração. Na Figura 5.4 d) apresenta-se a página mencionada.

6. Testes Experimentais Efetuados às Unidades Desenvolvidas

O presente capítulo tem como finalidade apresentar os testes experimentais realizados aos módulos eletrónicos desenvolvidos de modo a validar o seu funcionamento tanto a nível de *hardware* como de *software*. Em primeiro lugar são identificam-se os equipamentos utilizados para a avaliação do funcionamento dos módulos. Seguidamente apresenta-se um subcapítulo para cada um dos módulos onde se representa esquematicamente a montagem prática realizada para a obtenção dos resultados seguida dos mesmos, devidamente explicados.

6.1.CBW

Na avaliação experimental do módulo CBW foram realizados testes à atuação das saídas de alta tensão primeiramente com o controlo por CAN desabilitado, ou seja, controlando-as através de sinais de entrada de baixa tensão e, numa segunda fase, através do barramento CAN sem utilizar quaisquer sinais de entrada no módulo para além da comunicação. Na Figura 6.1 representa-se esquematicamente a montagem prática realizada para os testes experimentais do referido módulo.

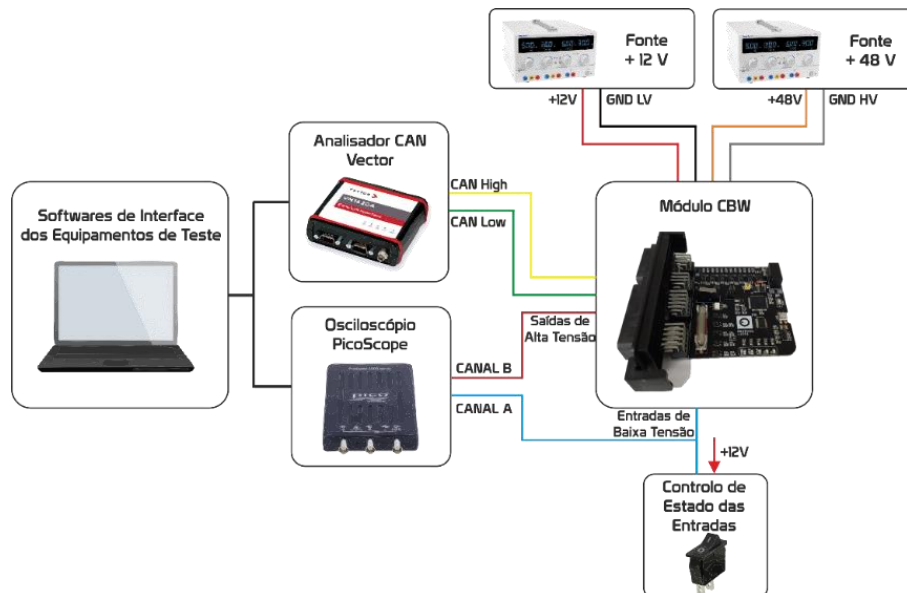


Figura 6.1 - Esquema da montagem prática realizada para avaliação do módulo CBW.

6.1.1. Controlo via CAN desabilitado

Com o controlo das saídas de alta tensão realizado através dos sinais de entrada de baixa tensão, foram utilizados os interruptores da montagem para variar o estado dos sinais de entrada de modo a observar a sua influência na atuação do CBW. Para este procedimento recorreu-se ao osciloscópio para monitorizar o sinal de entrada e da saída respetiva em simultâneo. Pela natureza dos isoladores capacitivos utilizados nas entradas do módulo é esperado que quando o sinal de entrada possuir uma tensão de 12 V a respetiva saída se encontre num estado desabilitado, sendo habilitada quando o sinal de entrada possuir uma tensão de 0 V.

A Figura 6.2 apresenta os sinais observados com recurso ao osciloscópio para o estado desabilitado da saída *DRIVE*. De forma a possibilitar a aquisição do sinal de saída do CBW, foi utilizada a funcionalidade do osciloscópio de dividir a tensão medida por 10, uma vez que a escala do *software* impossibilitava a visualização dos sinais em simultâneo sem o fator de divisão. Foi utilizado o canal A, representado a azul, para aquisição do sinal de entrada, e o canal B, a vermelho, para o sinal de saída. Tal como esperado, é possível observar que com o sinal de entrada com uma tensão de 12 V, a saída encontra-se desabilitada, com uma tensão de 0 V.

Ao conectar a entrada à massa de baixa tensão, a respetiva saída é assertada apresentando uma tensão de 48 V, valor regulado na fonte de alimentação para ligar o sistema de alta tensão, como se pode comprovar pela Figura 6.3.

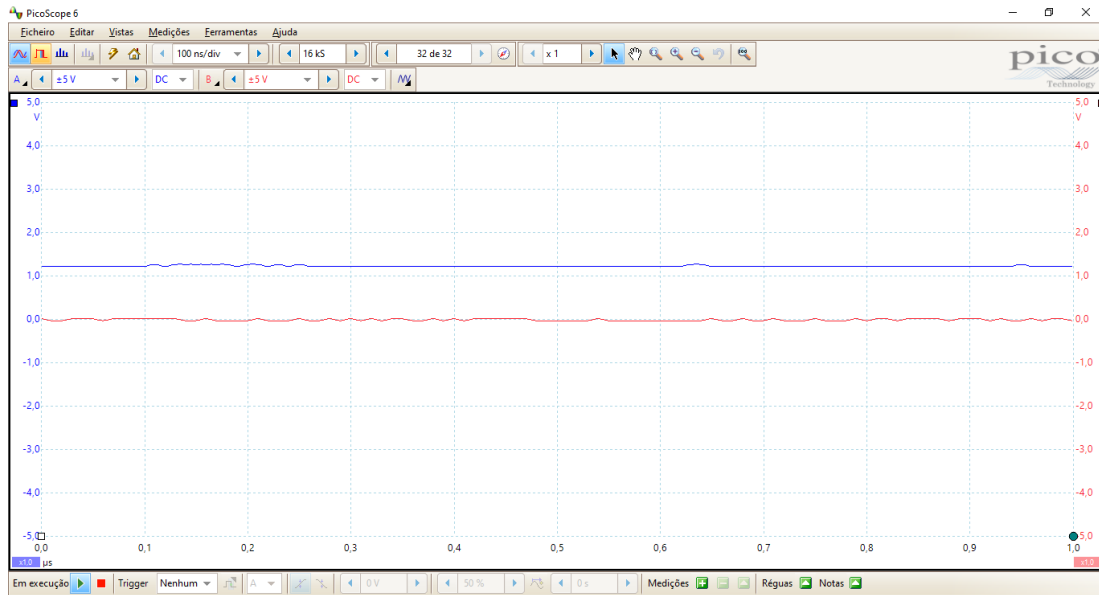


Figura 6.2 - Saída DRIVE desabilitada. Linha azul: Sinal de entrada; Linha vermelha: Sinal de saída.

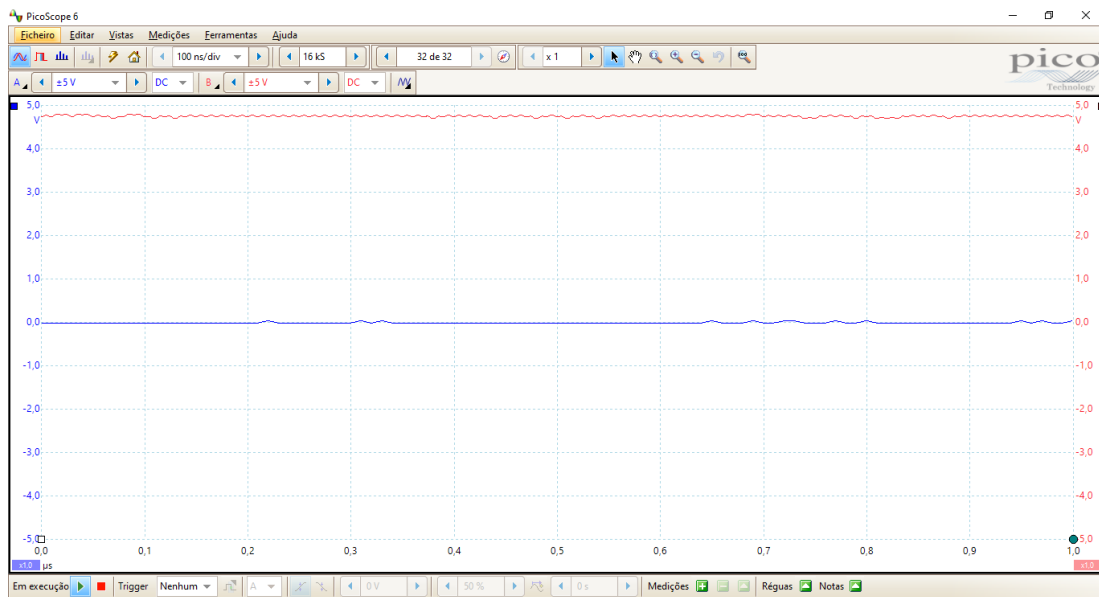


Figura 6.3 - Saída DRIVE habilitada. Linha azul: Sinal de entrada; Linha vermelha: Sinal de saída.

6.1.2. Controlo via CAN habilitado

De modo a validar o controlo as saídas do CBW por CAN foi repetido o ensaio recorrendo ao barramento de comunicação para ligar a saída *DRIVE*. Partindo do estado desabilitado, apresentado anteriormente pela Figura 6.2, foi habilitada a funcionalidade de controlo por CAN, enviando para a mensagem 0x100 o valor “1” no *byte 0*, e os sinais de chave e *DRIVE*, enviando igualmente o valor “1” para os *bytes 1 e 4* da mesma mensagem, respetivamente.

Pela análise da Figura 6.4 é possível concluir que o módulo CBW possui a atuação via barramento CAN a funcionar corretamente uma vez que é possível observar que apesar do sinal de entrada apresentar uma tensão de 12 V, que desativaria a saída sem a funcionalidade de controlo CAN, o sinal de *DRIVE* possui uma tensão de 48 V, estando desta forma ligado.

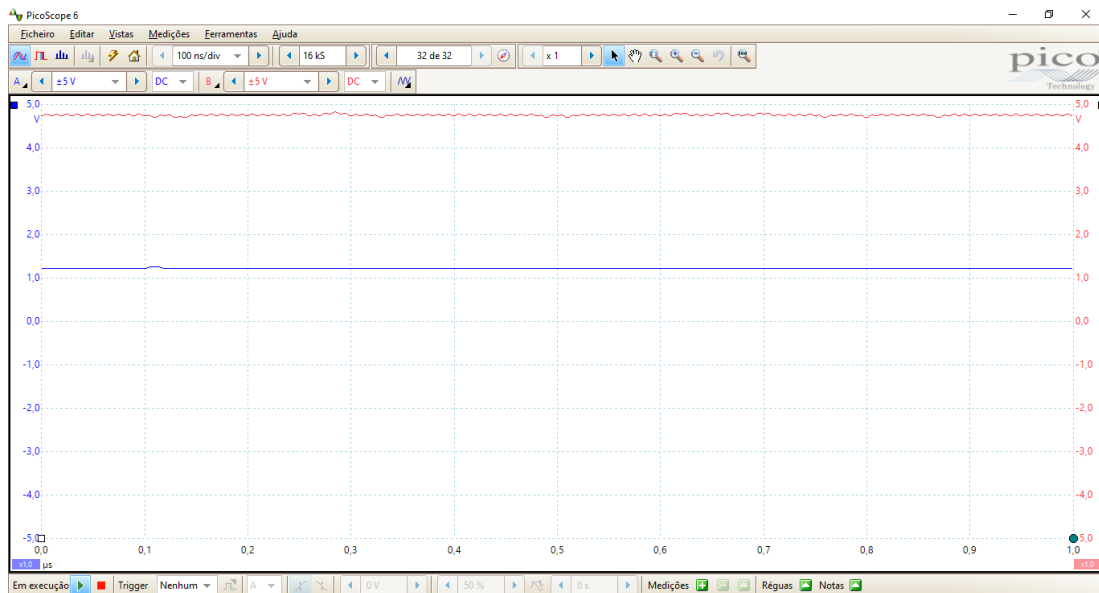


Figura 6.4 - Saída *DRIVE* habilitada por CAN. Linha azul: Sinal de entrada; Linha vermelha: Sinal de saída.

Posto isto, tendo em consideração os resultados observados pode-se concluir que o módulo CBW apresenta um funcionamento de acordo com o esperado, uma vez que apresentou uma resposta positiva a ambos os métodos de controlo.

6.2.AVAS

O ensaio prático de validação do AVAS consistiu na medição da intensidade sonora do módulo com recurso a um sonómetro, cumprindo dentro do possível o procedimento experimental da norma apresentada na revisão bibliográfica do presente relatório. Foi utilizado o analisador CAN Vector[®] VN1630 para simular um barramento de comunicação com o módulo desenvolvido de modo a ser possível enviar as mensagens relativas ao estado da alta tensão e do AVAS e à velocidade. Lateralmente, a uma distância de dois metros da coluna, foi colocado o sonómetro para adquirir a pressão sonora do som emitido. A Figura 6.5 representa o esquema da montagem prática implementada.

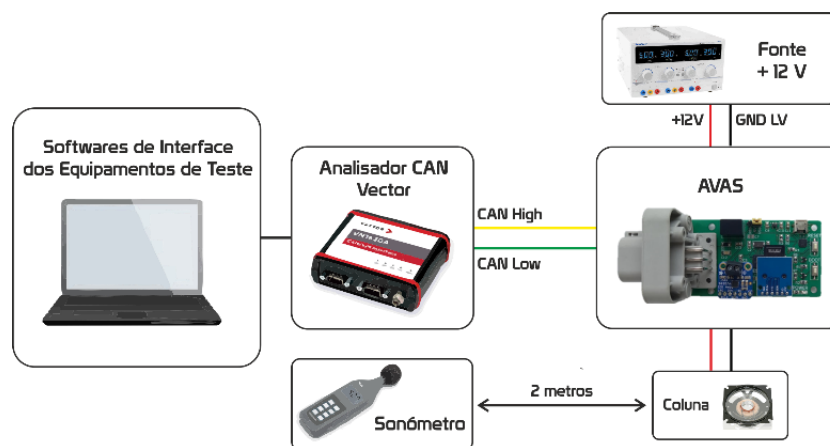


Figura 6.5 - Esquema de montagem para validação do módulo AVAS.

Foram realizados dois ensaios que diferem entre si na intensidade sonora do ruído ambiente, apresentando-se o resultado dos mesmos na Tabela 6.1. Em ambos, a intensidade sonora foi medida durante um período de 10 segundos resultando um valor médio de 33 dB de ruído ambiente para o ensaio 1, e 47 dB para o ensaio 2. De seguida registaram-se os valores das intensidades sonoras para velocidades constantes de 10 e 20 km/h, tal como referido na norma. Os dados referem-se a valores médios verificados durante intervalos de 10 segundos. Visto que nos dois ensaios a diferença entre a intensidade sonora do ruído ambiente e a do som emitido pelo AVAS foi superior a 10 dB, e em todas as medições se verificou uma diferença superior a 2 dB entre as intensidades sonoras mínimas e máximas obtidas pelo instrumento de medição, segundo a norma, não foi aplicada nenhuma correção ao valor médio adquirido.

Analisando os resultados, comparando-os com os valores de referência estabelecidos pela legislação, em ambos os ensaios o AVAS superou os valores mínimos de intensidade sonora

de 50 dB e 56 dB para as velocidades constantes de 10 e 20 km/h respetivamente, nunca ultrapassando o valor máximo legal de 75 dB. No caso da marcha atrás, a norma impõe um valor de intensidade mínimo de 47 dB, verificando-se também um resultado positivo por parte do módulo AVAS nos dois ensaios.

Tabela 6.1 - Resultados dos ensaios realizados ao módulo AVAS.

Intensidade Sonora [dB]				
Ensaio	10 km/h	20 km/h	Marcha Atrás	Ruído Ambiente
1	57	63	61	33
2	59	63	63	47

6.3. Unidade do *Cooling*

O procedimento experimental efetuado para testar a unidade de *cooling* foi realizado com a finalidade de avaliar a aquisição de temperatura da placa através dos termístores NTC, validar a leitura dos sensores de caudal e o controlo de atuadores através de modulação por largura de pulso.

6.3.1. Validação da Medição de Temperatura

O procedimento experimental para avaliar a medição de temperatura consistiu na montagem de uma resistência variável na entrada da unidade destinada ao termístor NTC, cujo valor foi estabelecido de acordo com a Tabela 6.2, com a finalidade de simular diferentes temperaturas de funcionamento do sistema de refrigeração. Após a regulação da resistência variável para valores existentes na tabela foi consultado o barramento de comunicação CAN com recurso ao analisador Vector[®], retirando deste o valor de temperatura enviado pela unidade de *cooling* para comparação com a temperatura esperada.

Tabela 6.2 - Curva característica do termistor NTC Amphenol GE-2102 [31].

Temperatura [°C]	Resistência [Ω]
-40	332776
-20	96481
0	32566
20	12486
25	10000
40	5331
60	2490
85	1071
100	678,1
120	387,3

A Figura 6.6 apresenta o diagrama da montagem implementada no ensaio prático.

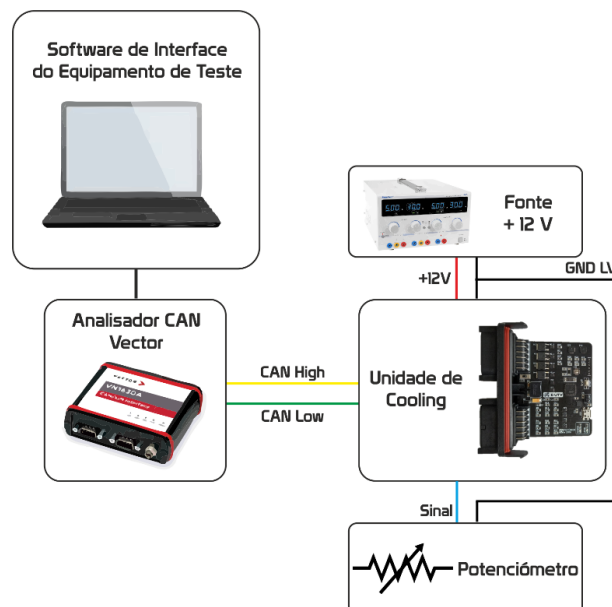


Figura 6.6 - Esquema de montagem para validação da medição de temperatura com recurso aos termístores NTC.

A calibração da resistência variável foi realizada com recurso ao multímetro 72-9275, da Tenma[®], que apresenta na sua ficha técnica uma precisão de $\pm 0.8\%$ para medição de valores de resistência elétrica [42].

O teste foi realizado para diferentes valores da resistência, apresentando-se os resultados na Tabela 6.3 onde se pode constatar que nos diversos ensaios realizados a temperatura adquirida pela unidade de *cooling* se aproximou bastante dos valores esperados. O ensaio

com o erro maior foi o ensaio 5, onde a temperatura adquirida foi de 98 °C, enquanto a esperada era de 100 °C.

Tabela 6.3 - Resultados dos ensaios de validação da medição de temperatura.

Temperatura [°C]			
Ensaio	Temperatura Esperada	Unidade de Cooling	Erro Absoluto
1	25	26	1
2	40	39	1
3	60	61	1
4	85	86	1
5	100	98	2
6	120	120	0

6.3.2. Validação da Medição de Caudal

Para testar a funcionalidade de medição de caudal, visto que o caudalímetro selecionado possui uma saída em tensão com proporcionalidade direta face à medição realizada, 0-25 L/min traduzem-se numa saída de 0-5 V, foi substituído na montagem o sensor de caudal por uma fonte de alimentação na qual foi regulada a tensão do sinal para simular diferentes condições de funcionamento. Recorreu-se ao analisador CAN para obter os valores de caudal enviados pela unidade para o barramento de comunicação de forma a compará-los com os valores esperados. O esquema da montagem prática implementada apresenta-se na Figura 6.7 e os resultados obtidos na Tabela 6.4.

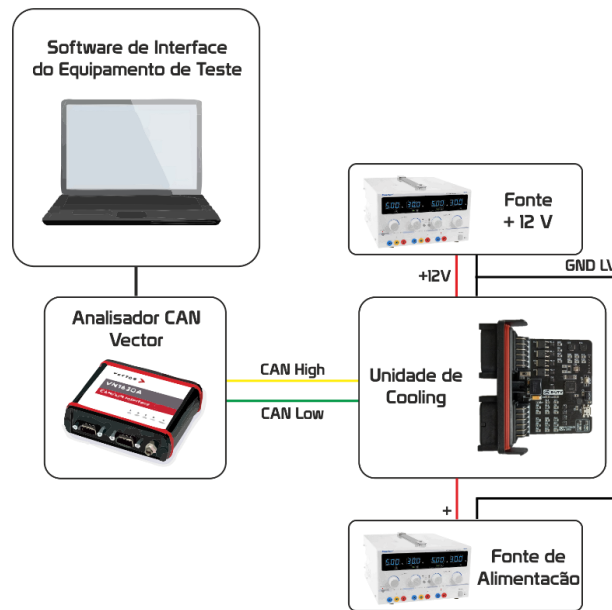


Figura 6.7 - Esquema de montagem para validação da medição de caudal.

Tabela 6.4 - Resultados dos ensaios de validação da medição de caudal.

Ensaio	Caudal [L/min]		
	Caudal Esperado	Unidade de Cooling	Erro Absoluto
1	0,0	0,0	0,0
2	2,5	2,3	0,2
3	5,0	5,2	0,2
4	7,5	7,2	0,3
5	10,0	10,0	0,0
6	12,5	12,4	0,1
7	15,0	14,6	0,4
8	17,5	17,1	0,4

6.3.3. Validação do Controlo de Atuadores

Para validação do controlo de atuadores foi imposto no *software* da unidade de *cooling* um valor de PWM para atuar as saídas às quais foi conectado o osciloscópio PicoScope. Adicionalmente foi enviado para barramento de comunicação CAN o *duty cycle* de cada um dos atuadores. O esquema da montagem realizada apresenta-se na Figura 6.8.

Foram testados valores de *duty cycle* de 24, 49, 74 e 100 %, como mostra a Tabela 6.5.

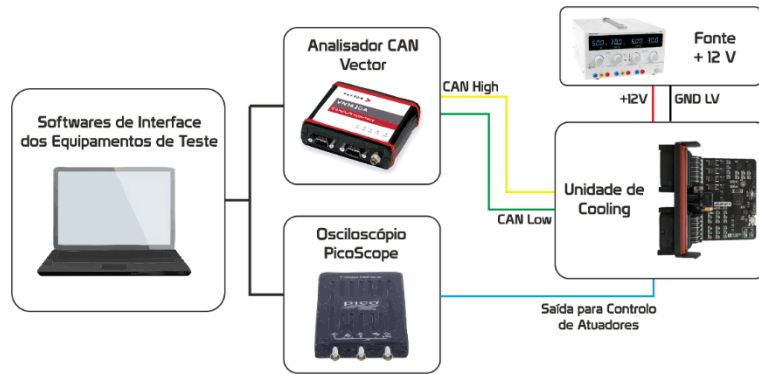


Figura 6.8- Esquema de montagem para validação do controle de atuadores.

Tabela 6.5 - Valores de PWM estabelecidos para o controle do atuador.

PWM		
Ensaio	Valor de PWM Estabelecido [0-255]	Valores de PWM Estabelecido [%]
1	0	0
2	63	24
3	127	49
4	191	74
5	255	100

Na Figura 6.9 apresenta-se o resultado do primeiro ensaio onde foi imposto um valor de atuação por PWM de 63 na programação do microcontrolador, o que equivale a um *duty cycle* de 24 %.

A lógica do ensaio aplicou-se a todos testes realizados para os restantes *duty cycles*. Em todos os resultados foram positivos existindo coerência entre o valor imposto na programação do microcontrolador, o valor enviado pela unidade para o barramento de comunicação e o valor adquirido com recurso ao osciloscópio.

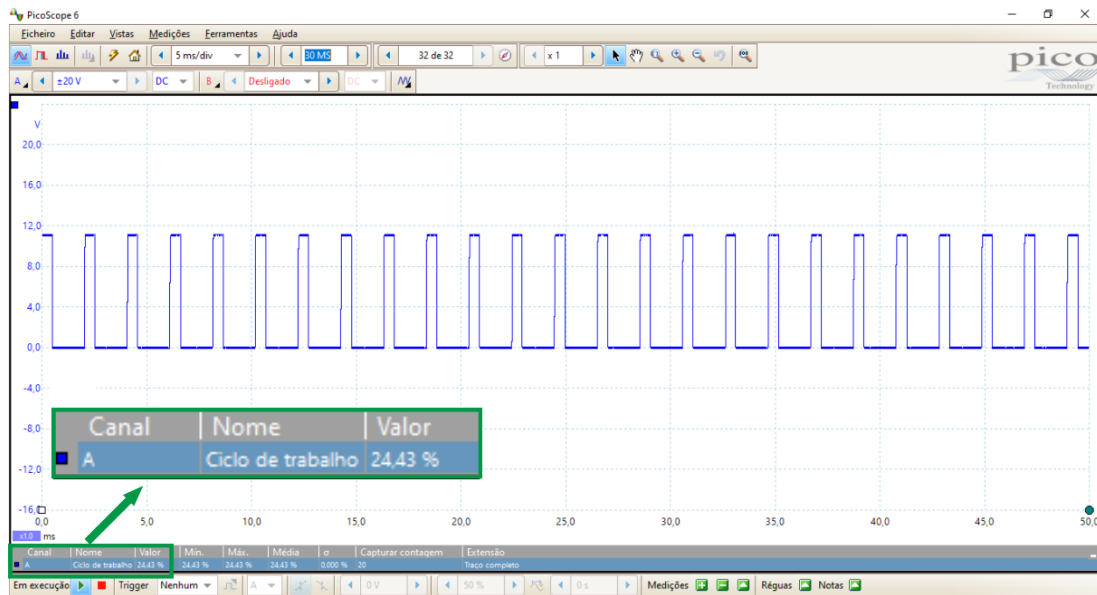


Figura 6.9 - Resultado do ensaio para um PWM de 24%. Linha azul: Sinal de *duty cycle* do atuador.

6.4. Unidade de Monitorização dos Conversores DC/DC

De forma a validar o funcionamento da unidade de monitorização dos conversores DC/DC foram avaliadas experimentalmente as suas capacidades de adquirir os valores de tensão, corrente e temperatura, e o seu posterior envio para o barramento de comunicação CAN do E-UTV.

Visto que o módulo desenvolvido permite a conexão de três sensores de corrente, dois sensores de temperatura e a monitorização da tensão de dois conversores DC/DC, na apresentação dos ensaios práticos são mostrados resultados para apenas uma entrada de cada funcionalidade, uma vez que o *hardware* e o *software* para as restantes entradas do mesmo tipo são exatamente iguais.

6.4.1. Validação da Aquisição de Corrente

O procedimento prático consistiu na montagem de uma carga conectada a uma fonte de alimentação, na qual foi variada a corrente fornecida entre testes. Em simultâneo foi medida a corrente elétrica com a pinça LEM PR30 conectada ao osciloscópio PicoScope para obter o valor de referência. A montagem prática encontra-se esquematizada na Figura 6.10.

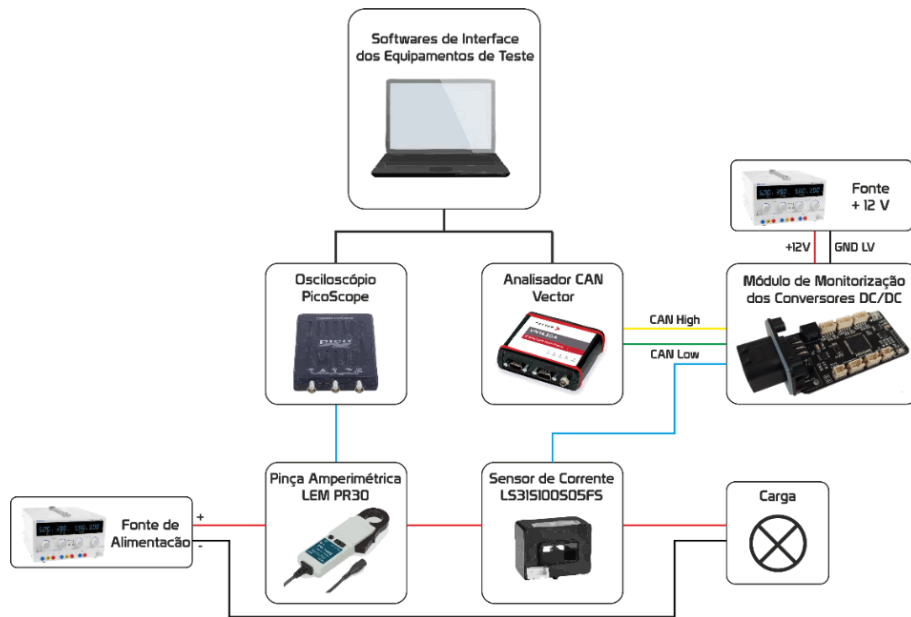


Figura 6.10 - Esquema de montagem para validação da aquisição de corrente.

Repetiu-se o procedimento para diferentes valores de corrente fornecida à carga, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 6.6. Pela análise dos resultados pode-se verificar que para correntes baixas o módulo desenvolvido com o sensor escolhido para a montagem apresenta uma boa precisão nas leituras com um desvio bastante reduzido face ao valor de referência, sendo que para correntes mais elevadas verifica-se um aumento do erro na medição atingindo um desvio de 1 A no ensaio para uma corrente de 19,9 A.

Tabela 6.6 - Resultados dos ensaios de validação da aquisição de corrente.

Ensaio	Corrente [A]		
	Osciloscópio	Módulo de Monitorização	Erro Absoluto
1	3,0	2,9	0,1
2	5,0	5,2	0,2
3	9,0	9,1	0,1
4	14,0	14,6	0,6
5	19,9	20,9	1,0

6.4.2. Validação da Aquisição de Tensão

Para validação da aquisição de tensão por parte do módulo de monitorização, no lugar destinado à conexão do DC/DC 1, foi conectada uma fonte de alimentação na qual se regulou a tensão de saída para diferentes valores, de modo a realizar múltiplos ensaios com tensões distintas. O esquema da montagem prática apresenta-se na Figura 6.11.

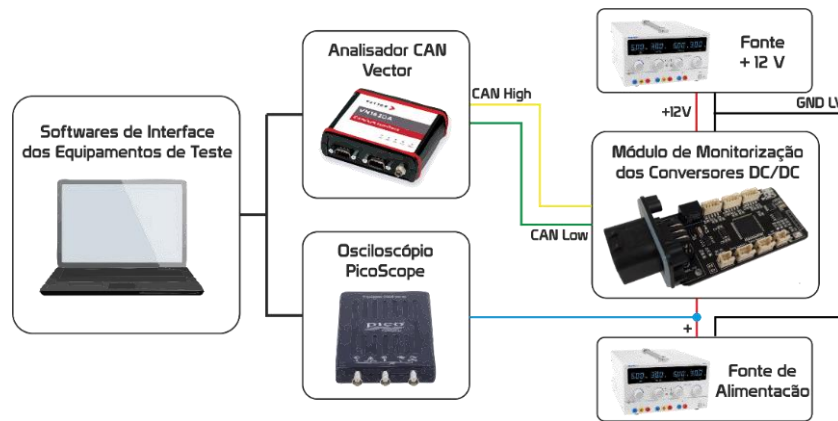


Figura 6.11 - Esquema de montagem para validação da aquisição de tensão.

No módulo de monitorização foram utilizadas duas resistências para efetuar um divisor de tensão, de modo a ajustar a tensão de saída da fonte para uma gama admissível pelo microcontrolador, sendo que a tensão máxima suportada pelo módulo, tendo em conta o dimensionamento do divisor de tensão, é de 15 V.

Repetindo o processo para diferentes valores de tensão obtiveram-se os resultados expressados na Tabela 6.7. Pela sua análise pode-se verificar a boa precisão de aquisição de tensão do módulo de monitorização comparando o valor adquirido por este com o de referência. Em todos os ensaios foi obtido um desvio de 0,1 V.

Tabela 6.7 - Resultados dos ensaios de validação da aquisição de tensão.

Tensão [V]			
Ensaio	Osciloscópio	Módulo de Monitorização	Erro Absoluto
1	3,5	3,4	0,1
2	7,0	6,9	0,1
3	10,5	10,4	0,1
4	14,0	13,9	0,1

6.4.3. Validação da Aquisição de Temperatura

Para a aquisição da temperatura, como referido da descrição do desenvolvimento do módulo em estudo, conectou-se a este o sensor de temperatura DS18B20 na posição do sensor de temperatura 1. Para valor de referência foi utilizado o equipamento e medição de temperatura Testo 735-1 com o termopar tipo K.

Os ensaios foram realizados com recurso a um recipiente onde se colocaram ambos os sensores de temperatura mergulhados em água. Entre ensaios a água foi aquecida e foram retirados valores após a estabilização da temperatura por parte de ambos os sensores, de modo a obter um conjunto de dados com temperaturas distintas. A Figura 6.12 esquematiza a montagem prática realizada.

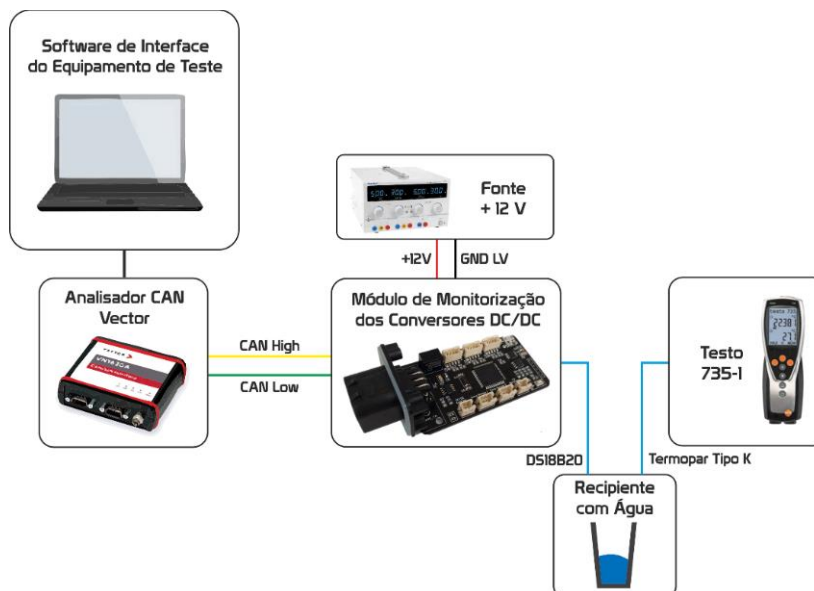


Figura 6.12 - Esquema de montagem para validação da aquisição de temperatura.

Repetiu-se o ensaio para valores de temperatura diferentes da água contida no recipiente obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 6.8 que evidencia a boa precisão de leitura de temperatura do módulo de monitorização. Pode-se constatar que o erro mais acentuado ocorreu no ensaio 4 onde se obteve um erro de 0,4 °C face ao valor de referência.

Tabela 6.8 - Resultados dos ensaios de validação da aquisição de tensão.

Ensaio	Temperatura [°C]		
	Testo 735	Módulo de Monitorização	Erro Absoluto
1	21,1	21,3	0,2
2	26,8	26,6	0,2
3	42,8	42,5	0,3
4	47,8	47,4	0,4
5	51,0	51,1	0,1
6	60,3	60,0	0,3

7. Conclusão

O trabalho apresentado consistiu no desenvolvimento de sistemas eletrónicos de instrumentação e controlo para aplicação em um veículo utilitário elétrico. O objetivo é disponibilizar informação acerca do estado de funcionamento e adicionar módulos de controlo para maximizar a sua segurança

A revisão bibliográfica foi realizada com o intuito de introduzir os conceitos teóricos fundamentais para um melhor entendimento do presente trabalho e justificar as opções tomadas para o desenvolvimento dos módulos eletrónicos apresentados e do sistema de gestão térmica projetado.

Foram desenvolvidas várias unidades eletrónicas, nomeadamente o CBW, responsável por realizar o interface entre o utilizador e o controlador do motor isolando-o, protegendo os ocupantes de potenciais contactos com o sistema de alta tensão, o AVAS, um avisador sonoro para tornar a presença do E-UTV mais perceptível a velocidades baixas, o módulo de monitorização dos conversores DC/DC, para um aumento da informação disponível, a unidade de *cooling* para controlo do sistema de gestão térmico proposto e o interface gráfico do utilizador para mostrar a este as variáveis consideradas mais relevantes acerca do estado de funcionamento do veículo.

Estabeleceram-se as arquiteturas de *hardware* e *software* para cada módulo consoante as funcionalidades pretendidas, foram escolhidos os componentes e desenvolvidas as respetivas placas de circuito impresso. A escolha dos componentes revelou-se um desafio, uma vez que o desenvolvimento do trabalho ocorreu no mesmo espaço temporal em que se verificou a crise dos componentes eletrónicos, tendo este acontecimento uma influência direta em algumas decisões tomadas.

Os ensaios práticos revelaram resultados positivos para todos os módulos desenvolvidos, uma vez que se verificou que todas as funcionalidades pretendidas foram cumpridas. A leitura de sensores por parte das unidades apresentou um erro aceitável para as especificações do projeto. Quanto à capacidade de atuação de saídas, todos os módulos apresentaram resultados em conformidade com o pretendido.

Cumpridos os objetivos estabelecidos *a priori* para o presente trabalho conclui-se, com base nos ensaios experimentais, que a eletrónica desenvolvida mostrou ser totalmente funcional, robusta e confiável para aplicação no E-UTV.

7.1. Trabalho Futuro

Com vista a uma melhoria contínua do E-UTV e ao aperfeiçoamento do trabalho desenvolvido identificaram-se potenciais alterações a realizar consideradas relevantes para o projeto.

No CBW adicionar a funcionalidade de ter *feedback* por CAN acerca do estado das entradas e das saídas, mesmo com o controlo por CAN desabilitado, uma vez que a arquitetura de *hardware* adotada para a primeira versão do módulo não o permite, operando como um módulo totalmente analógico, sem processamento, quando a operar nesta condição.

Reprogramar o módulo AVAS para que o som reproduzido quando o veículo se desloca em frente seja ininterrupto, o que não é possível com a lógica de *software* adotada uma vez que sempre que o cartão de memória é consultado ocorre uma pequena pausa no som emitido. Deste modo o cartão serviria para guardar as faixas dos avisos sonoros relativos ao acionamento ou à desativação do sistema de alta tensão, por exemplo, tal como ocorre na versão do AVAS desenvolvido.

Implementar o interface gráfico desenvolvido num ecrã de maiores dimensões para aplicação no veículo de modo a permitir uma maior facilidade na consulta do mesmo por parte dos ocupantes.

Implementar no veículo e validar o circuito de gestão térmica projetado integrando a unidade de *cooling* desenvolvida e testada para o efeito.

Terminar a caixa dos conversores DC/DC mencionada, realizando a cabeleagem necessária com a integração do módulo de monitorização desenvolvido e posterior instalação no E-UTV.

Referências Bibliográficas

- [1] T. Denton, *Electric and Hybrid Vehicles*, Routledge, 2016.
- [2] M. H. Westbrook, *The Electric Car: Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-cell Cars*, Institution of Electrical Engineers, 2001.
- [3] ZAPI, *ACE 3 INVERTER - User Manual*, 2017.
- [4] P. D. Technology, *SIGMADRIVE PM TRACTION - TECHNICAL MANUAL SK79649-01*.
- [5] SEVCON, *Gen4 Applications Reference Manual - Document no: 177/52701 Rev. 3.4*.
- [6] T. Berge e F. Haukland, “Adaptive acoustic vehicle alerting sound, AVAS, for electric vehicles,” SINTEF, Noruega, 2019.
- [7] N. Fonseca, *Introdução à Engenharia do Som*, Lisboa: FCA - Editora de Informática, 2007.
- [8] Explicatorium, “O que é ruído?,” [Online]. Available: <https://www.explicatorium.com/cfq-8/nivel-sonoro.html>. [Acedido em 25 maio 2022].
- [9] S. R. Bistafa, *Acústica aplicada ao controle do ruído*, Brasil: Blucher, 2018.
- [10] R. B. GmbH, *Bosch Automotive Handbook -9th Edition*, Alemanha: Wiley, 2014.
- [11] R. Maher, “The Decibel Scale,” Montana State University, Estados Unidos da América, 2006.
- [12] U. Nations, “Addendum 137: UN Regulation No. 138,” *Uniform provisions concerning the approval of Quiet Road Transport Vehicles with regard to their reduced audibility*, 10 outubro 2017.
- [13] F. Laib e J. A. Schmidt, “Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS) of the electric cars and its possible influence on urban soundscape.,” em *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics*, Alemanha, 2019.
- [14] O. J. o. t. E. Union, “REGULATION (EU) No 540/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL,” *The sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC*, 16 abril 2014.
- [15] J. Ma, Y. Sun, S. Zhang, J. Li e S. Li, “Energy Conversion and Management,” *Experimental study on the performance of vehicle integrated thermal management system for pure electric vehicles.*, 3 janeiro 2022.

- [16] D. C. Rouaud, "Next Generation Thermal Management for Electrified Powertrains in Heavy Duty Vehicles," 4 julho 2018.
- [17] Nigel, "Toyota Prius Gen 2 Battery," Battery Design, 2022 fevereiro 14. [Online]. Available: <https://www.batterydesign.net/toyota-prius-gen-2-battery/>. [Acedido em 17 junho 2022].
- [18] V. Muenzel, "MSc Thesis: Evaluation and Refinement of Measurement Procedures for High-Voltage Energy Storage Systems of Production Electric Vehicles," Research Gate, setembro 2011. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/BMW-i3-storage-system-layout-and-components-3_fig3_340598950. [Acedido em 17 junho 2022].
- [19] "The Truth About Tesla Model 3 Batteries," 2018 dezembro 30. [Online]. Available: <https://www.autoracing1.com/pl/142890>. [Acedido em junho 17 2022].
- [20] J. Cobb, "Tesla vs. GM: Who has the best battery thermal management?," 2015 dezembro 4. [Online]. Available: <https://www.gm-volt.com/threads/tesla-vs-gm-who-has-the-best-battery-thermal-management.337851/>. [Acedido em 17 junho 2022].
- [21] "Electric Vehicle The Crux of Mobility's Sustainable Future," Hyundai Motor Group, [Online]. Available: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/electrification/evs/>. [Acedido em 19 junho 2022].
- [22] "How heat pumps affect cold-weather range for electric vehicles?," Thermal Management Researchers and Engineers, 5 dezembro 2020. [Online]. Available: <http://www.automotivethermalmanagement.com/2020/12/05/how-heat-pumps-affect-cold-weather-range-for-electric-vehicles/>. [Acedido em 19 junho 2022].
- [23] "Kona Electric Gone Far," Hyundai Motor Group, 24 junho 2020. [Online]. Available: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/article/kona-electric-gone-far/>. [Acedido em 19 junho 2022].
- [24] C. Zutao, Y. Zhongjun, F. Jia e L. Bin, "Study of heat pipe in motor cooling: A review," em *7th International Conference on Energy Materials and Environment Engineering (ICEMEE 2021)*, China, 2021.
- [25] J. Huang, S. S. Naini, R. S. Miller e J. Wagner, "Research Gate," fevereiro 2019. [Online]. Available: A Hybrid Electric Vehicle Motor Cooling System- Design, Model, and Control. [Acedido em 20 junho 2022].
- [26] W. Ferraris, M. Casella, A. Merlo, A. Rinaldi, M. Rostagno, R. Seccardini, A. Caldevilla, A. Savi e A. Sciarretta, "Increasing the Electric Drive Range of EVs and PHEVs through New Concepts of Thermal Conditioning for ePT Systems and Cabin," Optemus, Alemanha, 2018.

- [27] J.-M. Fiard, “Multiphysics Modelling Approach to Design Battery Cooling System,” Groupe Renault, 2019.
- [28] T. Denton, *Automobile Electrical and Electronic Systems, Fourth Edition: Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair 4th Edition*, Estados Unidos da América : Routledge, 2012.
- [29] M. Eletroncis. [Online]. Available: https://pt.mouser.com/ProductDetail/Advanced-Thermal-Solutions/ATS-TCP-1004?qs=7MVldsJ5UawF76M4gz3%252BFA%3D%3D&gclid=CjwKCAjwvsqZBhAlEiwAqAHElb-SimCWppKxcTEUw0J8GE_Ik4LkcXRvkVzRrEKMt_uPVs6pbGcdlBoCDRYQAvD_BwE. [Acedido em julho 2022].
- [30] Arduino, “What is Arduino?,” 5 fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Acedido em julho 8 2022].
- [31] Mouser. [Online]. Available: <https://pt.mouser.com/>. [Acedido em 18 julho 2022].
- [32] JLCPCB. [Online]. Available: <https://jlcpcb.com/>. [Acedido em julho 2022].
- [33] Audacity, “Free, open source, cross-platform audio software,” [Online]. Available: <https://www.audacityteam.org/>. [Acedido em 18 julho 2022].
- [34] Zapsplat, “Free Sound Effects,” [Online]. Available: <https://www.zapsplat.com/>. [Acedido em 18 julho 2022].
- [35] Wideo, “Create animated videos and presentations in minutes,” [Online]. Available: <https://wideo.co/>. [Acedido em 19 julho 2022].
- [36] ST, “Discovery kit with STM32F469NI MCU,” [Online]. Available: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/32f469idiscovery.html>. [Acedido em 1 agosto 2022].
- [37] Tenma, “Digital Multimeter 72-9275,” [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1955282.pdf>. [Acedido em 9 setembro 2022].
- [38] ST, “FreeRTOS Kernel open source real time operating system for MCUs and small MPUs,” [Online]. Available: <https://www.st.com/en/partner-products-and-services/freertos-kernel.html>. [Acedido em 1 agosto 2022].
- [39] P. Technology, “PicoScope® 2000 Series,” [Online]. Available: <https://www.picotech.com/oscilloscope/2000/picoscope-2000-overview>. [Acedido em 1 setembro 2022].

- [40] Vector, “VN1600 - Network Interfaces with USB for CAN / CAN FD, LIN, K-Line, J1708 and IO,” [Online]. Available: <https://www.vector.com/int/en/products/products-a-z/hardware/network-interfaces/vn16xx/#c236771>. [Acedido em 1 setembro 2022].
- [41] Testo, “Testo 735-1 - Instrumento de medição de temperatura de 3 canais,” [Online]. Available: <https://www.testo.com/pt-PT/testo-735-1/p/0560-7351>. [Acedido em 1 setembro 2022].
- [42] TEquipment, “PR30,” [Online]. Available: <https://www.tequipment.net/LEMPR30.html>. [Acedido em 1 setembro 2022].