



Controlo e limitação do sistema AVAC de um autocarro eléctrico

RUI ALEXANDRE MOREIRA DE SOUSA

novembro de 2020

CONTROLO E LIMITAÇÃO DO SISTEMA AVAC DE UM AUTOCARRO ELÉTRICO

Rui Alexandre Moreira de Sousa



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas
Outubro de 2020

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Rui Alexandre Moreira de Sousa, Nº 1130633, 1130633@isep.ipp.pt

Orientação científica: Ramiro de Sousa Barbosa, rsb@isep.ipp.pt

Empresa: CaetanoBus, caetanobus@caetanobus.pt

Supervisão: Tiago Rocha, tiago.rocha@caetanobus.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas

2020

Agradecimentos

Nesta última etapa do meu percurso acadêmico, existiram muitos momentos que sem o apoio dos amigos, familiares e professores não teria conseguido finalizar.

Ao meu orientador, Eng. Ramiro Barbosa, um agradecimento especial pelo seu apoio, pela disponibilidade, sugestões, críticas e transmissão de vários conhecimentos ao longo deste percurso acadêmico.

À equipa de Engenharia da CaetanoBus, em especial ao meu orientador Eng. Tiago Rocha, que me proporcionou desde janeiro de 2020, a melhor experiência profissional que poderia ter adquirido. Sem dúvida que a transmissão dos conhecimentos de cada elemento da equipa foi fulcral para a conclusão deste projeto.

Uma palavra de agradecimento aos meus colegas e amigos que me acompanharam durante todo o meu percurso acadêmico. Foram dois anos com muitas emoções e com muitos momentos de entreaajuda.

Por fim, agradeço aos meus pais, pois foram incansáveis desde o princípio e agradeço por darem as condições necessárias para concretizar este grande objetivo.

Um muito obrigado a todos!

Resumo

A mobilidade elétrica tem um importante contributo para a mobilidade sustentável e para o aumento da eficiência energética no transporte e devido a isso, os veículos elétricos têm aumentado dia após dia, nomeadamente os autocarros elétricos.

O principal desafio nos veículos elétricos é a autonomia e nos autocarros torna-se um fator ainda mais importante, pois eles efetuam centenas de quilómetros diariamente. Por isso, no desenvolvimento dos autocarros elétricos são utilizadas diversas técnicas para otimizar o desempenho do autocarro, levando a um menor consumo de energia durante a sua operação.

Num autocarro existem vários sistemas que têm um grande impacto no consumo de energia, principalmente o sistema de climatização. Este é composto por um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e a sua principal funcionalidade é manter o conforto térmico dos passageiros. Contudo, o consumo de energia do sistema AVAC e o seu comportamento dinâmico influenciam significativamente a vida útil da bateria e a autonomia. Esta influência é bastante visível nos autocarros elétricos, porque estes têm uma ampla área para climatizar. Deste modo, a elaboração deste projeto surgiu da necessidade da empresa CaetanoBus desenvolver um *software* para controlar e otimizar o sistema AVAC de um autocarro elétrico.

No início deste projeto, foi realizado um estudo sobre a modelação dos sistemas AVAC e também sobre toda a arquitetura e comunicação presente num autocarro elétrico. Após isto, foi efetuado o desenvolvimento do *software* para controlar o sistema AVAC.

Inicialmente, o controlo do sistema AVAC foi desenvolvido a pensar no conforto térmico dos passageiros e do motorista, cumprindo os requisitos da entidade responsável pela gestão do sistema de transportes de Londres, em Inglaterra. No entanto, na fase final do projeto a empresa que comprou os autocarros elétricos solicitou que a autonomia do veículo fosse maior. Assim, após um estudo por parte da equipa de engenharia da

CaetanoBus foi decidido limitar o consumo da energia do sistema de aquecimento em 4 kWh.

Após desenvolvido o *software*, o desempenho do sistema AVAC foi avaliado através da realização de testes numa câmara climática a temperaturas baixas. Contudo, os testes foram realizados antes da implementação do algoritmo de limitação de energia. Deste modo, só foi validado o controlo do algoritmo e a avaliação do seu desempenho ficou adiada para os meses mais frios.

Palavras-Chave

Sistema AVAC, *Software*, Ventilação, Aquecimento, Autonomia, Ar Condicionado, Autocarro Elétrico, Climatização, CAN, J1939.

Abstract

Electric mobility is an important contribution to sustainable mobility and to increasing energy efficiency in transport. In this way, electric vehicles have increased day after day, especially the electric buses.

The main challenge in electric vehicles is autonomy and in buses it becomes an even more important factor, because they travel hundreds of kilometers daily. Therefore, in the development of electric buses, several techniques are used to optimize the performance of the bus, consuming less energy during its operation.

There are several systems on a bus that have a major impact on energy consumption and the air conditioning system is one of them. This system consists of a Heating, Ventilation and Air conditioning (HVAC) system and the main functionality is to maintain the thermal comfort of passengers. However, the energy consumption of the HVAC system and its dynamic behaviour significantly influence battery life and range. This influence is very visible in electric buses, because we have a large area to heat. Thus, the preparation of this project arose from the need for CaetanoBus to develop software to control and optimize the HVAC system of an electric bus.

At the beginning of the project, a study was realized on the modelling of HVAC systems and on all the architecture and communication present in an electric bus. After this, the software to control the HVAC system was developed.

Initially, the control of the HVAC system was developed in order to provide passengers and the driver with thermal comfort and to meet the requirements of the entity responsible for controlling the transport system in London, England. However, in the final phase of the project, the company which bought the electric buses, said that the range vehicles would have to be greater. Therefore, after a study by the CaetanoBus engineering team, it was decided to limit the energy consumption of the heating system to 4 kWh.

After developed the software the performance of the HVAC system was verified in tests in a climate chamber at low temperatures. However, the tests were performed before the implementation of the energy limitation algorithm. In this way, only the control of the algorithm was validated, and the evaluation of its performance was postponed until the coldest months.

Keywords

HVAC system, Software, Ventilation, Heating, Range, Air Conditioning, Electric Bus, Air Conditioning, CAN, J1939.

Índice

| | |
|--|-------------|
| AGRADECIMENTOS | I |
| RESUMO | III |
| ABSTRACT | V |
| ÍNDICE | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| ÍNDICE DE TABELAS..... | XIII |
| ACRÓNIMOS | XV |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO | 1 |
| 1.2. EMPRESA | 3 |
| 1.3. OBJETIVOS | 4 |
| 1.4. CALENDARIZAÇÃO | 5 |
| 1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO | 5 |
| 2. SISTEMAS AVAC PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS..... | 7 |
| 2.1. ESTUDO DA MODELAÇÃO DOS SISTEMAS AVAC PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS | 7 |
| 2.2. SOLUÇÕES DE SISTEMAS AVAC PARA AUTOCARROS ELÉTRICOS | 15 |
| 3. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVOS | 21 |
| 3.1. INTRODUÇÃO | 21 |
| 3.2. MODOS DE TRANSMISSÃO | 22 |
| 3.3. PROTOCOLO CAN | 23 |
| 3.4. APLICAÇÃO SAE J1939 DO PROTOCOLO CAN | 29 |
| 3.5. PROTOCOLO LIN | 33 |
| 3.6. COMPARAÇÃO DOS PROTOCOLOS CAN VS LIN | 35 |
| 4. ARQUITETURA DO SISTEMA AVAC | 37 |
| 4.1. SISTEMA AVAC..... | 37 |
| 4.2. <i>HARDWARE</i> | 40 |
| 4.3. <i>LAYOUT</i> DO SISTEMA AVAC | 64 |
| 5. IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE | 67 |
| 5.1. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO | 68 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.2. | SISTEMA DE AQUECIMENTO..... | 70 |
| 5.3. | FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO | 84 |
| 5.4. | VENTILAÇÃO DO SISTEMA AVAC | 84 |
| 5.5. | CONTROLO DO AR CONDICIONADO..... | 85 |
| 5.6. | INTERFACE VISUAL COM O MOTORISTA..... | 87 |
| 6. | TESTES E RESULTADOS..... | 89 |
| 6.1. | INTRODUÇÃO..... | 89 |
| 6.2. | TESTE DE AQUECIMENTO NA CABINE DO MOTORISTA | 92 |
| 6.3. | TESTE DE AQUECIMENTO 1..... | 95 |
| 6.4. | TESTE DE AQUECIMENTO 2..... | 104 |
| 6.5. | RESULTADOS FINAIS..... | 110 |
| 7. | CONCLUSÕES | 113 |
| 7.1. | TRABALHOS FUTUROS..... | 114 |
| | REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS..... | 115 |
| | ANEXO A. REQUISITOS DO SISTEMA AVAC..... | 119 |
| | ANEXO B. REQUISITOS DE TESTE DA TFL | 123 |
| | ANEXO C. <i>DATASHEET</i> DO SENSOR DE TEMPERATURA DE ÁGUA..... | 129 |
| | ANEXO D. <i>DATASHEET</i> DO SENSOR DE TEMPERATURA DE AR..... | 131 |
| | ANEXO E. <i>DATASHEET</i> DO CONTACTOR | 133 |
| | ANEXO F. <i>DATASHEET</i> DA VÁLVULA DE ÁGUA | 135 |
| | ANEXO G. DEFINIÇÃO DO <i>SETPOINT</i> | 137 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Relação entre a autonomia e potência necessária para os sistemas auxiliares [1]..... | 2 |
| Figura 2 Autocarro elétrico fabricado pela CaetanoBus..... | 3 |
| Figura 3 Logotipo da empresa CaetanoBus..... | 4 |
| Figura 4 Comparação do consumo de energia entre um veículo EV e ICE. Análise da perda de autonomia para diferentes temperaturas ambiente [10] | 9 |
| Figura 5 Estrutura e componentes de um sistema AVAC de zona única em um EV [8] | 11 |
| Figura 6 Desempenho do controlo climático automotivo em diferentes climas [10]..... | 14 |
| Figura 7 Desempenho do controlo climático automotivo para diferentes perfis de condução [10]. | 15 |
| Figura 8 Requisitos da potência de aquecimento necessária de acordo com o fator de temperatura externa [27] | 17 |
| Figura 9 Relação entre o modelo OSI e os padrões ISO..... | 25 |
| Figura 10 Representação de uma rede CAN conforme ISO11898 [36]..... | 26 |
| Figura 11 Representação de sinal diferencial na comunicação CAN [36]..... | 27 |
| Figura 12 Relação da velocidade por comprimento do cabo CAN [38] | 27 |
| Figura 13 Formatos das mensagens CAN [32]..... | 28 |
| Figura 14 Identificador CAN no padrão J1939 [40]..... | 31 |
| Figura 15 Especificação PGN65102 norma SAE J1939 [41]..... | 32 |
| Figura 16 Estrutura de mensagens no Protocolo de Transporte J1939 [40]..... | 33 |
| Figura 17 Formato da mensagem LIN [42] | 34 |
| Figura 18 <i>Transceiver</i> LIN e representação dos níveis lógicos [42]..... | 35 |
| Figura 19 Representação de uma rede LIN [42]..... | 35 |
| Figura 20 Exemplo de uma rede CAN e LIN | 36 |
| Figura 21 Divisão do autocarro por zonas..... | 38 |
| Figura 22 Tipologia geral do sistema implementado..... | 39 |
| Figura 23 Tipologia da rede B-CAN | 39 |
| Figura 24 Painel geral do Viriciti | 40 |
| Figura 25 Actimux Master 25 STD1 | 42 |
| Figura 26 Diagrama das funções do Master 25 [44]..... | 43 |
| Figura 27 Tipos de sensores de nível [45]..... | 45 |
| Figura 28 Sensor de nível de água [46] | 45 |
| Figura 29 Sensor de nível no estado normalmente aberto e normalmente fechado [46]..... | 46 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 30 | Posicionamento do sensor de nível no sistema AVAC..... | 47 |
| Figura 31 | Resistência elétrica da Grayson..... | 48 |
| Figura 32 | Posicionamento do sensor de temperatura da água. | 49 |
| Figura 33 | Curva caraterística do sensor de temperatura de água | 50 |
| Figura 34 | Curva caraterística para o intervalo de [-10 °C, 40 °C]..... | 51 |
| Figura 35 | Curva caraterística para o intervalo de]40 °C, 80 °C] | 52 |
| Figura 36 | Curva caraterística para o intervalo de]80 °C, 110 °C] | 52 |
| Figura 37 | Sensor de temperatura do ar interior | 54 |
| Figura 38 | Curva caraterística do sensor de temperatura do ar | 55 |
| Figura 39 | Princípio de funcionamento de um convetor [48] | 56 |
| Figura 40 | Convetor da Grayson | 57 |
| Figura 41 | Variação da velocidade do ventilador com a tensão de entrada..... | 58 |
| Figura 42 | Contactora [47] | 58 |
| Figura 43 | Estimativa do número máximo de ciclos do contactora [Anexo E]..... | 59 |
| Figura 44 | Bomba de Água Elétrica [49]..... | 60 |
| Figura 45 | Conectores da bomba de água [49] | 61 |
| Figura 46 | Válvula de 3 vias..... | 62 |
| Figura 47 | Diagrama de ligação dos fios [Anexo F] | 63 |
| Figura 48 | <i>Switch cut-out</i> térmico | 64 |
| Figura 49 | Esquema do sistema de aquecimento com o sentido do caudal | 64 |
| Figura 50 | Modelo 3D do sistema AVAC com vista de lado..... | 65 |
| Figura 51 | Modelo 3D do sistema AVAC com a localização dos principais componentes | 65 |
| Figura 52 | Localização fotográfica dos componentes do sistema de aquecimento | 65 |
| Figura 53 | Modelo V [52] | 68 |
| Figura 54 | Estrutura do <i>software</i> do sistema de aquecimento..... | 70 |
| Figura 55 | Diagrama geral do funcionamento do sistema de aquecimento | 71 |
| Figura 56 | Diagrama do modo de funcionamento do sistema de aquecimento | 72 |
| Figura 57 | Diagrama de ativação do estado <i>Heating check</i> | 73 |
| Figura 58 | Diagrama com a ativação da bomba de água..... | 73 |
| Figura 59 | Teste ao caudal do sistema de aquecimento | 74 |
| Figura 60 | Fluxograma da histerese da temperatura do ar exterior | 75 |
| Figura 61 | Diagrama do funcionamento dos convetores do salão dos passageiros | 77 |
| Figura 62 | Diagrama do funcionamento das resistências elétricas dos aquecedores | 79 |
| Figura 63 | Variação do número de resistências ligadas com as condições de energia e temperatura exterior | 81 |

| | |
|--|-----|
| Figura 64 Fluxograma da função para detetar o contactor com maior vida | 82 |
| Figura 65 <i>Layout</i> da interface da ferramenta de diagnóstico | 84 |
| Figura 66 Botão para controlar os extratores..... | 84 |
| Figura 67 Fluxograma do controlo dos extratores | 85 |
| Figura 68 Controlador do AC do motorista | 86 |
| Figura 69 Ecrã de interface com o motorista..... | 87 |
| Figura 70 Visualização dos dados do teste em tempo real..... | 91 |
| Figura 71 Configurador da velocidade do ventilador na cabine do motorista..... | 92 |
| Figura 72 Ventiladores de ar do painel na cabine do motorista | 93 |
| Figura 73 Ventilação do ar na área LE e LD dos pés da cabine do motorista..... | 93 |
| Figura 74 Gráfico completo da temperatura do teste de aquecimento na cabine do motorista | 94 |
| Figura 75 Gráfico da temperatura do teste de aquecimento na cabine do motorista (apenas um período do teste)..... | 95 |
| Figura 76 Entrada da ventilação frontal no salão dos passageiros | 97 |
| Figura 77 Entrada da ventilação traseira no salão dos passageiros | 97 |
| Figura 78 Sensores de temperatura ambiente da câmara na parte LE e LD traseira | 99 |
| Figura 79 Sensores de temperatura ambiente da câmara na parte LD e LE frontal | 100 |
| Figura 80 Sonda de temperatura da cabine do motorista | 100 |
| Figura 81 Sonda de temperatura interna na zona frontal e na zona média do autocarro | 100 |
| Figura 82 Sensor de temperatura interno na zona traseira do autocarro | 101 |
| Figura 83 Saída de ventilação frontal e traseira do salão com sensores de temperatura | 101 |
| Figura 84 Gráfico de temperatura do teste de aquecimento do autocarro (gráfico completo)..... | 102 |
| Figura 85 Gráfico de temperatura do teste de aquecimento do autocarro (período de teste) | 103 |
| Figura 86 Temperatura do ar de ventilação no salão dos passageiros..... | 103 |
| Figura 87 Gráfico da temperatura de teste de aquecimento simultâneo (gráfico completo) | 108 |
| Figura 88 Gráfico de temperatura de teste de aquecimento simultâneo (período de teste) | 109 |
| Figura 89 Temperatura do ar de ventilação do salão dos passageiros..... | 109 |
| Figura 90 Leituras dos sensores de temperatura interiores do autocarro | 110 |
| Figura 91 Estado do convetor traseiro do salão dos passageiros | 111 |
| Figura 92 Ciclo de ação dos contactores conforme a limitação de energia..... | 111 |
| Figura 93 Variação da temperatura da água com o ciclo de ativação dos contactores | 112 |
| Figura 94 Nível de água do sistema de aquecimento..... | 112 |
| Figura 95 Curvas para os diferentes modos de <i>Setpoint</i> | 137 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Calendarização do projeto | 6 |
| Tabela 2 Comparação entre os protocolos CAN e LIN | 36 |
| Tabela 3 Componentes gerais do sistema AVAC | 41 |
| Tabela 4 Características técnicas do sensor de nível [46]..... | 46 |
| Tabela 5 Características da resistência elétrica da Grayson..... | 47 |
| Tabela 6 Características do sensor de temperatura da água | 49 |
| Tabela 7 Dados do cálculo do erro das aproximações lineares | 51 |
| Tabela 9 Descrição do conector do convertor | 57 |
| Tabela 10 Características técnicas do contactor | 59 |
| Tabela 11 Características técnicas da bomba de água [49]..... | 61 |
| Tabela 12 Características técnicas da válvula de 3 vias..... | 62 |
| Tabela 13 Características técnicas do <i>cut-out</i> térmico..... | 63 |
| Tabela 14 Mensagens da bomba de água..... | 74 |
| Tabela 15 Descrição das falhas graves do sistema de aquecimento | 76 |
| Tabela 16 Configuração da velocidade dos convetores | 78 |
| Tabela 17 Significado dos valores retornados pela equação (15) | 81 |
| Tabela 18 Cálculo do mês <i>unix time</i> | 83 |
| Tabela 19 Descrição das funções do controlador do AC | 86 |
| Tabela 20 Símbolos informativos do estado do sistema AVAC | 87 |
| Tabela 21 Instrumentação utilizada nos testes | 91 |
| Tabela 22 Medições do fluxo de ar da ventilação na cabine do motorista | 94 |
| Tabela 23 Medição do fluxo de ar no assento do motorista | 94 |
| Tabela 24 Medições do fluxo de ar da ventilação na cabine do motorista no teste de aquecimento | 96 |
| Tabela 25 Medição do fluxo de ar no assento do motorista no modo aquecimento | 96 |
| Tabela 26 Medições do fluxo de ar da ventilação na cabine do motorista no teste de aquecimento | 98 |
| Tabela 27 Velocidade do fluxo de ar no assento do passageiro da frente do salão em operação normal | 98 |
| Tabela 28 Fluxo de ar da ventilação traseira do salão em operação normal -no modo aquecimento | 98 |
| Tabela 29 Velocidade do fluxo de ar no assento do passageiro traseiro do salão em operação normal | 99 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 30 Fluxo de ar de ventilação da cabine do motorista durante o período de aquecimento na zona do motorista | 105 |
| Tabela 31 Fluxo de ar do assento do motorista durante o período de aquecimento na zona do motorista..... | 105 |
| Tabela 32 Fluxo de ar de ventilação da cabine do motorista durante o período de aquecimento do autocarro..... | 105 |
| Tabela 33 Fluxo de ar do assento do motorista durante o período de aquecimento do autocarro.. | 106 |
| Tabela 34 Fluxo de ar da ventilação frontal do salão em operação normal..... | 106 |
| Tabela 35 Fluxo de ar do assento do passageiro da frente do salão em operação normal | 106 |
| Tabela 36 Fluxo de ar da ventilação traseira do salão em operação normal..... | 107 |
| Tabela 37 Fluxo de ar do assento traseiro do passageiro em operação normal | 107 |
| Tabela 38 Dados da variação da resistência com a temperatura | 130 |
| Tabela 39 Variação da resistência com a temperatura do sensor de temperatura do ar | 132 |
| Tabela 40 Diferentes modos de <i>setpoint</i> | 138 |

Acrónimos

| | | |
|---------|---|--|
| AC | – | Ar Condicionado |
| ACK | – | <i>Acknowledge</i> |
| AVAC | – | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado |
| BAM | – | <i>Broadcast Announce Message</i> |
| BMS | – | <i>Battery Management System</i> |
| CAN | – | <i>Controller Area Network</i> |
| CANH | – | CAN High |
| CANL | – | CAN Low |
| CRC | – | <i>Cyclic Redundancy Check</i> |
| CTS | – | <i>Clear to Send</i> |
| CSMA/CA | – | <i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance</i> |
| DLC | – | <i>Data Length Code</i> |
| ECU | – | <i>Electronic Control Unit</i> |
| EDO | – | Equações Diferenciais Ordinárias |
| EOF | – | <i>End of Frame</i> |
| EoMA | – | <i>End of Message Acknowledge</i> |
| FBD | – | <i>Function Block Diagram</i> |

| | |
|-----|---|
| HLR | – <i>High Level Requeriment</i> |
| HMI | – <i>Human-Machine Interface</i> |
| ICE | – <i>Internal Combustion Engine</i> |
| IDE | – <i>Identifier Extension Bit</i> |
| IFS | – <i>Interframe Space</i> |
| LD | – Lado Direito |
| LE | – Lado Esquerdo |
| LIN | – <i>Local Interconnect Network</i> |
| LLC | – <i>Logical Link Control</i> |
| LLR | – Low Level Requeriment |
| MAC | – <i>Medium Access Control</i> |
| MCP | – Modelo de Controlo Preditivo |
| NRZ | – <i>Non-Return to Zero</i> |
| NTC | – <i>Negative Temperature Coefficient</i> |
| OSI | – <i>Open Systems Interconnection</i> |
| PGN | – Parameter Group Number |
| PLC | – <i>Programmable Logic Controller</i> |
| POU | – Unidades de Organização de Programas |
| PMV | – <i>Predicted Mean Vote</i> |
| RTR | – <i>Remote Transmission Request</i> |

| | | |
|-----|---|--|
| RTS | – | <i>Request to Send</i> |
| SAE | – | <i>Society of Automotive Engineers</i> |
| SFC | – | <i>Sequential Function Charts</i> |
| SoC | – | <i>State of Charge</i> |
| SOF | – | <i>Start of Frame</i> |
| SoH | – | State of health |
| SPN | – | <i>Suspect Parameter Number</i> |
| SRR | – | <i>Substitute Remote Request</i> |
| ST | – | <i>Structured Text</i> |
| TFL | – | <i>Transport For London</i> |
| VAV | – | Volume Ar Variável |
| VE | – | Veículos Elétricos |

1. INTRODUÇÃO

Este projeto foi desenvolvido na empresa CaetanoBus, no âmbito da unidade curricular Tese/Dissertação, do 2º ano do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica e Computadores (MEEC), do Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE), do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Como uma população crescente leva ao aumento da mobilidade, o impacto da urbanização é mais sentido nas cidades. Isso resulta em oportunidades e riscos para os sistemas de tráfego, que já estão operando com capacidade total. Uma solução é um sistema de transporte público com zero emissões. Os autocarros totalmente elétricos abrem caminho para a mobilidade elétrica nas cidades. Além de serem livre de emissões também são praticamente silenciosos.

Já há algum tempo, as empresas de transporte de passageiros têm optado por autocarros híbridos ou 100% elétricos. O principal desafio nos autocarros elétricos é o fornecimento de energia para o veículo como um todo, incluindo todos os sistemas auxiliares, uma vez que a autonomia de um autocarro elétrico depende diretamente da energia disponível.

Conforme se pode verificar na Figura 1, a autonomia depende, entre outras coisas, da energia consumida pelos sistemas auxiliares e pela temperatura ambiente.

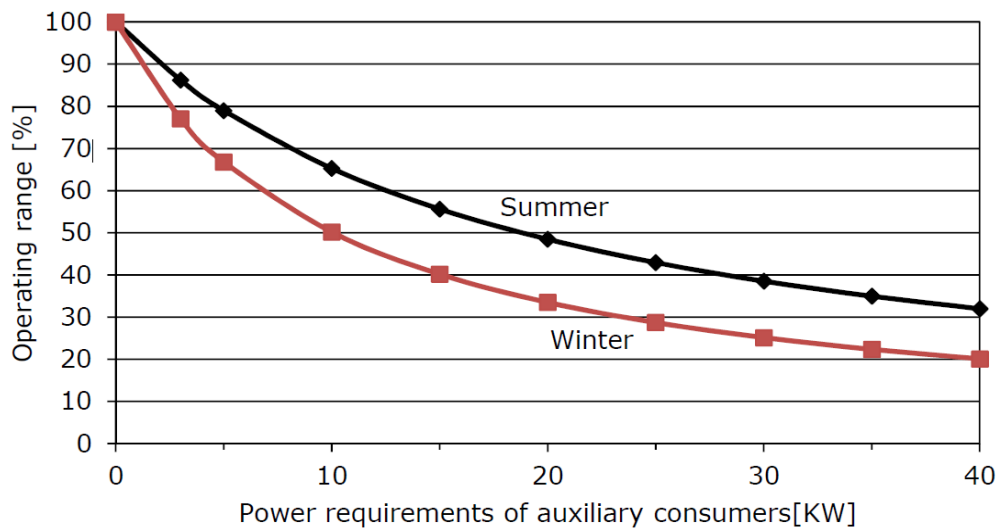


Figura 1 Relação entre a autonomia e potência necessária para os sistemas auxiliares [1]

Devido à baixa densidade de energia das baterias de tração atuais e ao fornecimento limitado de calor residual utilizável, existe um déficit de energia básico nas aplicações de AVAC (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado) nos Veículos Elétricos (VE). Para compensar este déficit energético, é necessário procurar soluções inovadoras em que os sistemas de ar condicionado e aquecimento aproveitem da melhor forma os recursos energéticos existentes. Assim resultará um aumento sustentado da eficiência dos VE e, portanto, uma maior autonomia.

Manter a temperatura interna de um autocarro consome muito energia, devido ao grande interior, às enormes superfícies das janelas e à abertura frequente das portas. Como não existe nenhum calor residual utilizável devido à alta eficiência do motor elétrico durante a operação, o consumo total de energia de um autocarro totalmente elétrico pode quase dobrar, especialmente durante a época que é necessário aquecer. Esse alto consumo de energia adicional tem um grande impacto na autonomia. É devido a isso que é necessário otimizar o controlo dos sistemas AVAC de modo a minimizar o consumo de energia e garantir o máximo alcance.

Deste modo, foi desenvolvido um controlo otimizado do sistema AVAC para um autocarro elétrico construído pela empresa. Na Figura 2 é possível visualizar o autocarro e.City Gold da CaetanoBus.



Figura 2 Autocarro elétrico fabricado pela CaetanoBus

1.2. EMPRESA

A CaetanoBus (Figura 3), empresa do Grupo Salvador Caetano, é o maior fabricante de carroçarias e autocarros em Portugal.

A maioria dos seus produtos destinam-se à exportação e estão ao serviço de operadores de transporte um pouco por todo o mundo. É uma empresa que usa a tecnologia, a inovação e o *design* para estar sempre um passo à frente, mais próxima do futuro.

A empresa fabrica autocarros e produz carroçarias montadas em chassis de várias marcas e com diferentes especificações para serviços de transporte urbano, turismo, aeroporto e miniautocarro, bem como outros produtos, com soluções diferenciadoras para nichos de mercado.

A Mobilidade Elétrica veio para ficar e na CaetanoBus esta forma de mobilidade amiga do ambiente já faz parte do dia-a-dia há cerca de três décadas, período em que começou a

estudar, desenvolver e testar a mobilidade elétrica como solução eficaz para o transporte coletivo de passageiros. Logo em 1984, foi apresentada a proposta dos troleicarros com tração EFACEC, sendo estas unidades destinadas aos STCP, para o Circuito Elétrico do Porto, e aos SMTUC, para o Circuito Elétrico de Coimbra. Mais tarde, em 1993, foram desenvolvidos e entregues 8 modelos Cobus 200EL com destino à Alemanha.

Hoje, a CaetanoBus possui uma oferta consolidada em produtos de mobilidade elétrica para cidades e aeroportos, resultado da elevada capacidade técnica em desenvolver soluções de mobilidade e engenharia únicas e orientadas para os seus Clientes.



Figura 3 Logotipo da empresa CaetanoBus

1.3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é controlar e otimizar o sistema AVAC de um autocarro elétrico. Para isso subdividiu-se a realização do projeto em várias tarefas, tais como:

- Leitura do estado de arte referente ao funcionamento dos sistemas AVAC em veículos;
- Perceber a arquitetura de um autocarro elétrico;
- Perceber os sistemas de comunicação automotivos;
- Estudo e integração do *hardware* utilizado no sistema de AVAC;
- Desenvolver o *software* para controlar o sistema AVAC;
- Desenvolver o algoritmo de limitação da energia do sistema de aquecimento;
- Validação do sistema AVAC;
- Avaliação do desempenho do sistema AVAC.

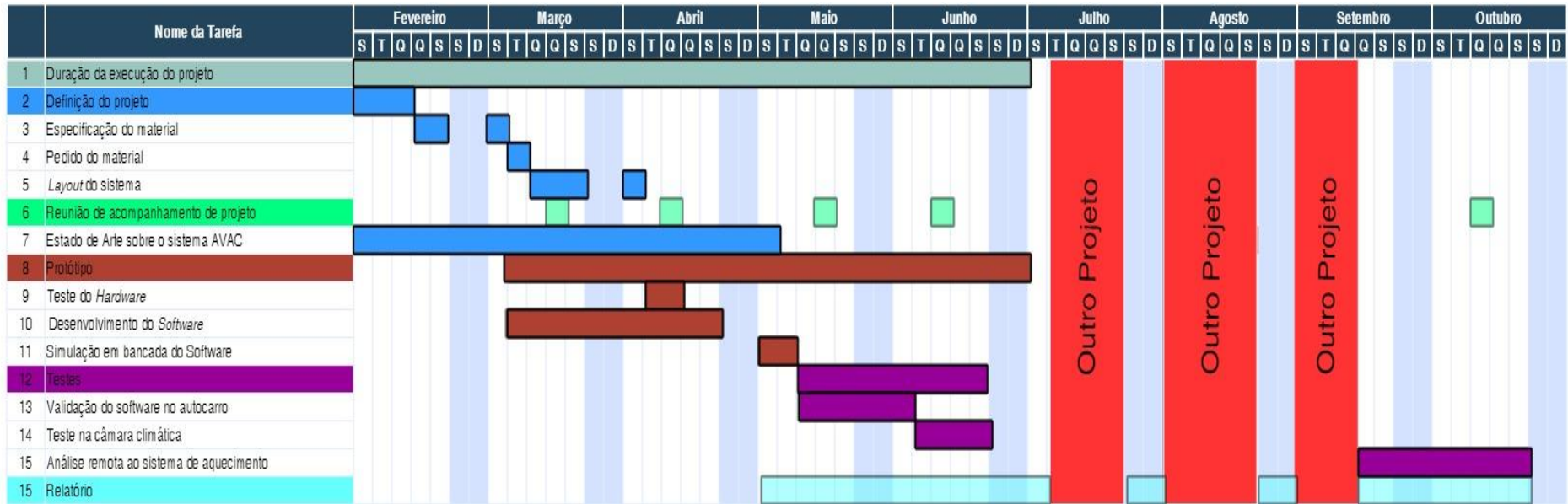
1.4. CALENDARIZAÇÃO

Na Tabela 1 está presente a planificação do desenvolvimento do projeto. Esta planificação sofreu várias alterações, especialmente devido à situação pandémica que se vive nos dias de hoje. Durante este projeto também houve um período de cerca de dois meses e meio em que não foi possível trabalhar neste projeto devido ao desenvolvimento de outro projeto de grande dimensão na empresa.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório está dividido em 7 capítulos. No Capítulo 1 é realizada uma breve introdução ao tema do projeto, são definidos os objetivos do trabalho e a duração das etapas do desenvolvimento do projeto. No Capítulo 2 são apresentados os conceitos teóricos sobre os sistemas AVAC em veículos elétricos e como efetuar a sua modelação. No Capítulo 3 é aprofundado o estudo sobre os sistemas de comunicação automotivos, onde é descrito o funcionamento da comunicação CAN, pois é essencial na comunicação nos veículos elétricos. No Capítulo 4 é explicada a arquitetura do sistema AVAC, o funcionamento geral do sistema e também é descrito todo o *hardware* utilizado no desenvolvimento do sistema AVAC para o autocarro elétrico. No quinto Capítulo é explicado todo o *software* desenvolvido para controlar o sistema AVAC e no penúltimo Capítulo são expostos os testes realizados e os resultados obtidos. Por último, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Tabela 1 Calendarização do projeto



2. SISTEMAS AVAC PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Neste capítulo serão descritos conceitos importantes e necessários para a apresentação do estudo realizado neste trabalho, nomeadamente modelações de sistemas AVAC em veículos elétricos.

2.1. ESTUDO DA MODELAÇÃO DOS SISTEMAS AVAC PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos (VE) foram introduzidos como um meio de transporte de zero emissões [1], de modo a abordar as questões ambientais como por exemplo: emissão de gases do efeito estufa (GEE), poluição do ar e poluição sonora [3]. Os VE tornaram-se viáveis devido ao avanço significativo no *design* e fabrico de baterias [4][5].

No entanto, os VE apresentam novos desafios em termos de autonomia e duração da bateria. O alcance é limitado à capacidade da bateria disponível, que é restringida pelas características técnicas da bateria, por exemplo tamanho, custo e volume [6][7]. Por outro lado, o *State of Health* (SoH), representa a capacidade da bateria em comparação com o

valor nominal que se degrada devido ao desgaste da bateria ao longo do tempo. Este desgaste depende significativamente do consumo de energia de todo o veículo e quanto maior o desgaste menor é a autonomia do veículo. Além disso, quando a capacidade da bateria diminui cerca de 20%, esta se torna inútil, o que impõe um custo significativo da substituição da bateria nos veículos elétricos [8][9][10]. Estes problemas foram atenuados através da implementação de componentes eletrônicos de potência mais avançados e eficientes, como por exemplo: células de bateria com mais energia e potência e um *power train* mais eficiente. Além disso, também é implementado um sofisticado sistema de controlo de bateria denominado por *Battery Management System* (BMS) de modo a garantir a segurança da bateria durante a sua utilização. Além disso, os BMS tentam equilibrar a utilização das células da bateria para melhorar a capacidade disponível da mesma, aumentar a autonomia e prolongar a vida útil da bateria [11][12].

Na maioria das soluções para melhorar a autonomia e a vida útil da bateria, foi detalhada a quantidade de energia requerida pelo motor através de estimações e medições das forças do veículo [13]. No entanto, o consumo total de energia dos veículos elétricos não se limita apenas ao motor elétrico, pois existem outros sistemas auxiliares nos VE que consomem energia. O Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) é um sistema auxiliar quase sempre usado nos veículos elétricos. Este sistema tem consumos bastantes significativos de energia, dependendo das condições do ambiente do veículo. Nos veículos de motor de combustão interna (ICE) o sistema AVAC usa o calor gerado pelo motor para aquecer o habitáculo. Portanto, somente a ventilação consome energia para manter a temperatura do habitáculo durante o clima frio. No entanto, nos veículos elétricos não existe calor gerado pelo motor elétrico para ser usado pelo sistema AVAC. Assim, pode existir um aumento significativo do consumo de energia do AVAC, uma vez que é necessária mais energia para gerar calor.

Na Figura 4 é analisado o consumo da energia do sistema AVAC de um veículo elétrico (Tesla Motor S 60KWh)[14] e de um veículo com motor de combustão interna (Toyota Corolla) [15]. A eficiência dos motores nos VE e nos veículos ICE mudam para diferentes temperaturas ambiente, no entanto o seu consumo permanece o mesmo em comparação com o sistema AVAC. Este sistema precisa de gastar energia tanto em climas quentes como em climas frios de modo a arrefecer/aquecer o habitáculo do veículo. Analisando a Figura

4, a percentagem do consumo de total de energia em VE (cerca de 20%), é mais significativa do que em veículos ICE (cerca de 9%). Portanto, isso aumenta o desgaste da bateria e, assim, afeta significativamente a vida útil da bateria e a autonomia do VE (podendo diminuir até 13%) [16].

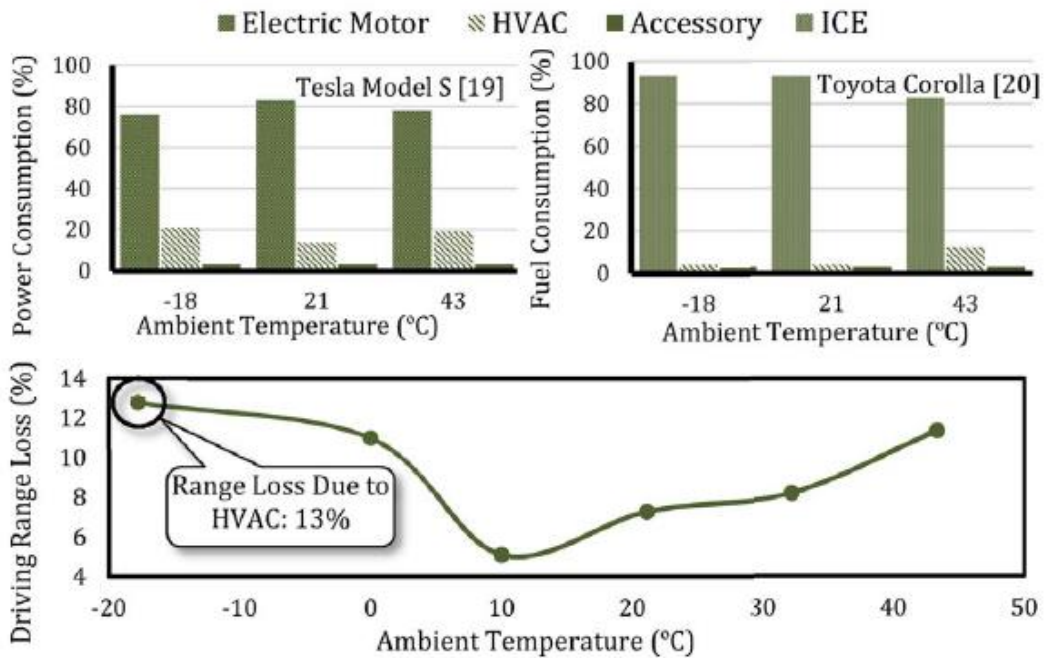


Figura 4 Comparação do consumo de energia entre um veículo EV e ICE. Análise da perda de autonomia para diferentes temperaturas ambiente [10]

O sistema AVAC é monitorizado e controlado por um sistema climático automotivo, de modo a proporcionar conforto térmico aos passageiros. Existem várias metodologias de controlo climático automotivo na literatura com diferentes desempenhos em termos de consumo de energia e manutenção do conforto térmico para os passageiros [17]. Normalmente, os controlos climáticos automotivos tentam fornecer um ambiente térmico uniforme para os passageiros. Nessas metodologias existem diversas variáveis que são utilizadas pelo sistema de controlo AVAC para aquecer/arrefecer o veículo, entre as quais estão a temperatura interior do veículo, a temperatura ambiente e a radiação solar [18].

O conforto térmico de um ser humano pode ser modelado através do modelo *Predicted Mean Vote* (PMV). Este modelo está entre os modelos de conforto térmico mais reconhecidos. Ele foi desenvolvido usando princípios de balanço de calor e dados experimentais coletados numa câmara climática sob condições de estado estacionário [21].

Por outro lado, o modelo adaptativo foi desenvolvido com base em centenas de estudos de campo com a ideia de que os ocupantes interagem dinamicamente com o ambiente, ou seja, podem controlar seu ambiente térmico por meio de roupas, abertura/fecho de janelas, ventiladores, aquecedores pessoais entre outros.

A influência do sistema AVAC no modelo PMV foi analisada para diversas condições climáticas [22]. Foi demonstrado que os passageiros podem não ter o maior conforto térmico num ambiente térmico uniforme. Devido a isso, foram introduzidas outras metodologias para proporcionar um ambiente térmico não uniforme para os passageiros, de modo a melhorar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia do sistema AVAC [20]. Essas metodologias que são conhecidas como controlos climáticos automotivos multizona, utilizam um sistema de ventilação sofisticado com controlo de volume de ar variável (VAV). A vantagem disso é o controlo preciso da temperatura, humidade e fluxo de ar para passageiros em cada zona, o que pode melhorar o conforto térmico e reduzir significativamente o consumo de energia.

A estrutura do sistema AVAC contém ventiladores de velocidade variável para fornecer ar de suprimento à (s) zona (s) do veículo. Existem vários tipos de válvula e mecanismos para controlar o fluxo de ar em diferentes partes do sistema AVAC. Uma válvula de controlo de fluxo ar é usada para controlar a mistura do ar externo e o ar recirculado. Alguns sistemas AVAC utilizam um sensor de poluição atmosférica para fechar a entrada de ar externa, se detetar hidrocarbonetos ou outros maus odores.

O aquecedor e o ar condicionado no sistema AVAC (evaporador, condensador, compressor, etc.) controlam a temperatura do ar trocando calor. Na Figura 5 é possível visualizar a estrutura de um sistema AVAC de zona única. O comportamento termodinâmico e físico dos componentes dentro de um sistema AVAC pode ser modelado usando várias equações diferenciais ordinárias (EDO) de baixa ordem. Apesar da simplicidade (comparada às equações termodinâmicas de ordem superior), o modelo fornece informações suficientes para analisar o comportamento transitório do sistema. Além disso, adicionar mais botões de controlo, sensores e zonas controladas ao sistema AVAC torna a modelação e as estimativas mais complexas e desafiadoras. A humidade pode ser um fator importante que afeta o consumo de energia do AVAC, mas normalmente não é diretamente medida ou

controlada. Portanto, a temperatura representa uma temperatura equivalente do ar seco na qual o ar seco tem a mesma entalpia específica que a mistura real do ar húmido [23].

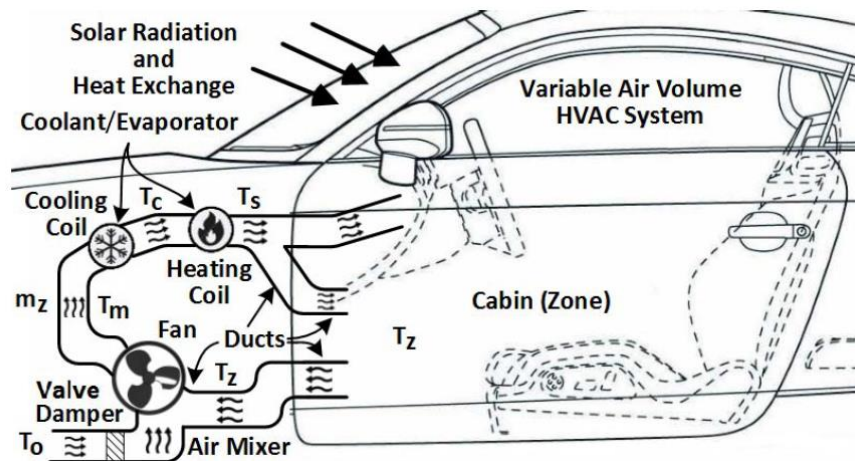


Figura 5 Estrutura e componentes de um sistema AVAC de zona única em um EV [8]

A temperatura dentro da cabine (T_z) é influenciada pelo ar de fornecido (T_s). Este ar é condicionado pela troca de calor com o exterior e pela radiação solar. A equação do balanço de energia é usada para descrever o comportamento termodinâmico da temperatura da cabine [8]. A mudança de temperatura da cabine depende da capacitância térmica do ar, das estruturas e assentos dentro da cabine (M_c) e da capacidade de calor do ar (c_p). A taxa de fluxo de ar na cabine (\dot{m}_z) também influencia a mudança de temperatura.

O calor trocado com o exterior e radiação solar são modelados como cargas térmicas (\dot{Q}). A troca de calor através das paredes com a parte externa é proporcional à diferença entre a temperatura da cabine e a temperatura externa. A radiação solar e a temperatura externa são fatores variáveis no tempo que podem ser monitorizados.

O ar retornado da cabine é misturado com o ar externo e recirculado para dentro da cabine. A temperatura do ar retornado é igual à temperatura da cabine num sistema AVAC de zona única. Então, o balanço de energia no misturador de ar fornece a temperatura do ar de entrada do sistema (T_m).

O consumo de energia do sistema AVAC pode ser classificado em três partes:

- 1) Potência de refrigeração;

2) Potência de aquecimento;

3) Potência de ventilação.

Considerando o consumo de energia de refrigeração e aquecimento em termos da diferença de energia entre o fluxo de ar de entrada e saída, a troca de calor é modelada através das seguintes equações:

$$P_h = \frac{c_p}{\eta_h} \times \dot{m}_z (T_s - T_c) \quad (1)$$

$$P_c = \frac{c_p}{\eta_c} \times \dot{m}_z (T_m - T_c) \quad (2)$$

onde P_c é a energia consumida de arrefecimento e P_h a energia de aquecimento. Os parâmetros η_h e η_c descrevem as características operacionais dos processos de aquecimento e arrefecimento. O consumo de energia da ventilação (P_f) está quadraticamente relacionado com a \dot{m}_z :

$$P_f = K_f (\dot{m}_z)^2 \quad (3)$$

onde K_f é um parâmetro da eficiência dos ventiladores e as perdas de pressão.

Analisando a experiência presente em [10] verifica-se que o sistema AVAC é modelado no domínio de tempo contínuo, no entanto, a simulação e o controlo do sistema são feitos no domínio de tempo discreto. Portanto, a condição atual do sistema AVAC é modelada usando diversas variáveis de estado. O controlo climático automotivo analisa as variáveis de estado e ajusta as entradas de controlo de acordo com a metodologia. Existem várias metodologias de controlo climático automotivo que definem as relações entre as entradas de controlo e as variáveis de estado.

Por exemplo, uma metodologia simples de ligar/desligar [24], em que a temperatura da cabine (a variável de estado) é monitorizada e, se estiver em uma faixa específica, o aquecimento ou arrefecimento são desligados. No entanto, se a temperatura ultrapassar o limite do nível de conforto, o aquecimento ou o arrefecimento será ativado com base na temperatura desejada.

Num controlo climático baseado na lógica difusa [25], as regras difusas são projetadas de modo a que os atuadores se mantêm quando o *setpoint* da temperatura for atingido na região da zona de conforto.

Uma metodologia de controlo de clima mais complexo pode utilizar um modelo de controlo preditivo (MCP) para controlar o AVAC de forma otimizada. O algoritmo MPC permite que o controlador verifique uma janela de controlo, em cada etapa, de modo a estimar e otimizar as variáveis do sistema AVAC, a fim de minimizar uma função de custo predefinida. A função de custo pode ser a flutuação da temperatura da cabine, o conforto térmico do passageiro, o consumo de energia AVAC, a vida útil da bateria ou a combinação de todos. Em seguida, as entradas de controlo otimizadas são aplicadas ao sistema AVAC na próxima etapa. Quanto maior a janela de controlo do algoritmo MPC, mais variáveis do sistema AVAC são estimadas e mais dinâmicas e comportamentos são considerados na otimização. Isso pode beneficiar para chegar a uma solução mais próxima da solução ideal global.

As variáveis do sistema AVAC são estimadas para uma janela de controlo com base na variável de estado atual e nas entradas de controlo. As variáveis são otimizadas para minimizar o consumo de energia AVAC, prolongar a vida útil da bateria, reduzindo o SoH e estabilizando a temperatura da cabine em torno da temperatura alvo. O controlador precisa garantir que os limites e restrições físicas sejam verificadas. Portanto, as equações de tempo discreto e os limites são definidos como as restrições da janela de controlo do algoritmo de otimização [10].

Quando se estima que o consumo de energia do motor elétrico é baixo, há energia suficiente para o sistema AVAC ajustar a temperatura da cabine novamente ou pré-arrefecer/pré-aquecer a cabine antes que o próximo pico no consumo de energia chegue. Portanto, o desvio do SoC (*State of Charge*) e a média do SoC num ciclo de descarga/carregamento diminuirão e, assim, a degradação da bateria será reduzida. Isso melhorará autonomia e a vida útil da bateria.

Os controlos climáticos automotivos apresentam diferentes desempenhos para diferentes condições ambientais. O clima (temperatura ambiente) influencia o consumo de energia do sistema AVAC e, assim, a vida útil da bateria e a autonomia. A Figura 6 ilustra a melhoria

da vida útil da bateria (SoH) e a redução do consumo de energia AVAC em comparação com outras duas metodologias de controlo de clima para três ambientes.

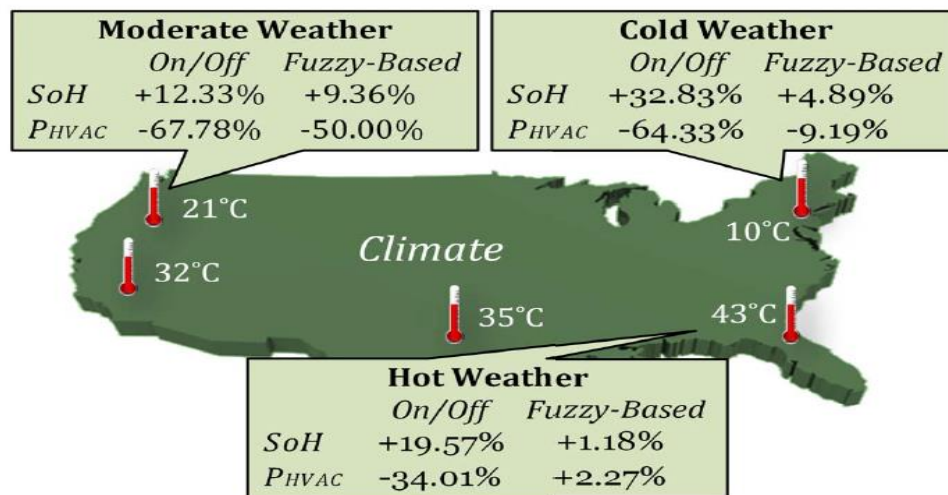


Figura 6 Desempenho do controlo climático automotivo em diferentes climas [10]

O itinerário pode influenciar o consumo de energia do sistema AVAC, geralmente devido ao tempo de condução. No entanto, no controlo climático automotivo que reconhece a vida útil da bateria, o consumo de energia do AVAC é otimizado considerando as solicitações de energia do motor elétrico que são aplicadas pela rota de condução. Portanto, o desempenho do controlo climático pode variar para diferentes perfis de condução. A Figura 7 ilustra a melhoria da vida útil da bateria em comparação com outras duas metodologias para vários ciclos de condução padrão. Pode-se verificar que à medida que a flutuação da rota de condução aumenta, o controlo climático pode ter um melhor desempenho e aproveitar essa flutuação para melhorar ainda mais a vida útil da bateria.

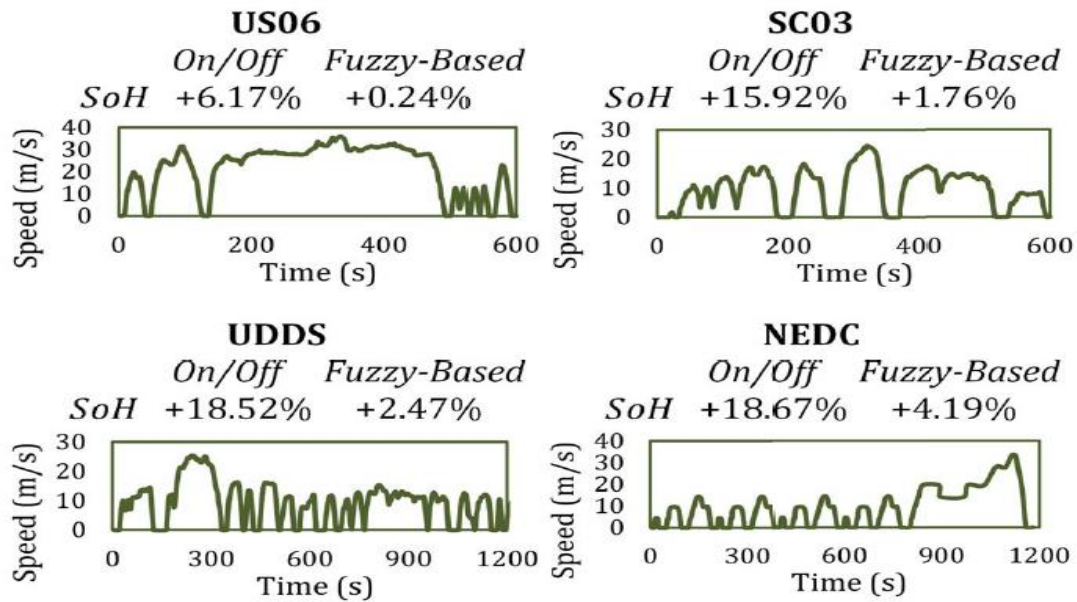


Figura 7 Desempenho do controlo climático automotivo para diferentes perfis de condução [10]

Como já foi referido, o sistema AVAC pode ter uma influência significativa no consumo de energia de veículo elétrico, na vida útil da bateria, e na autonomia. No entanto, pode ser implementado um sistema de controlo de clima de modo a melhorar a vida útil da bateria e a autonomia.

O principal desafio do projeto de controlo do clima num VE é a complexidade resultante da integração e interação entre diversos subsistemas. No entanto, a integração desses subsistemas pode ser benéfica, de modo a alcançar uma solução global ótima. Um controlador de clima VE pode exigir uma modelação sofisticada e estimativa do comportamento dinâmico físico do subsistema AVAC e outros subsistemas que podem influenciar ou serem influenciados pelo subsistema AVAC, por exemplo, bateria, clima e itinerário. Embora a abstração ou complexidade da modelação seja importante para sua validação, ela pode afetar a funcionalidade de controlo em termos de desempenho, computação e requisitos de recursos de memória [10].

2.2. SOLUÇÕES DE SISTEMAS AVAC PARA AUTOCARROS ELÉTRICOS

A energia disponível nos autocarros elétricos continua sendo um grande desafio. Num contexto de recursos limitados de energia nas baterias de tração, o uso e a interconexão

de componentes individuais altamente eficientes e uma gestão térmica inteligente são pré-requisitos importantes para a obtenção de autonomias aceitáveis.

2.2.1. AUMENTO DA AUTONOMIA NOS AUTOCARROS ELÉTRICOS

Existem dois pré-requisitos para a mobilidade no futuro: em primeiro lugar, deve-se atingir a eficiência máxima através de fatores de eficiência individuais para todos os aparelhos auxiliares, como por exemplo nos sistemas de aquecimento e ar condicionado e seus componentes. Em segundo lugar, deve-se evitar, tanto quanto possível, as perdas de energia inerentes ao veículo, por exemplo devido aos altos coeficientes de transmissão de calor da carroçaria, às massas térmicas desvantajosas e ao excesso de peso.

Além disso, ao considerar os requisitos específicos colocados num autocarro elétrico, podem ser desenvolvidas estratégias otimizadas de aquecimento e arrefecimento para esses veículos. A interconexão do sistema inteligente e eficiente em termos de energia (sistema de ar condicionado, bomba de calor, aquecedores, etc.) e uma gestão térmica eficiente sincronizada com a carga servem como base para o uso otimizado dos recursos de energia finitos do veículo e maximizam a autonomia [28].

2.2.2. REQUISITOS DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

Os requisitos de energia determinados experimentalmente para aquecimento em operações diárias demonstram que essencialmente pode ser feita uma distinção entre dois estados de operação: o pré-aquecimento antes do início das operações e o aquecimento para manter a temperatura interior definida. Os requisitos de energia para o pré-aquecimento são desproporcionalmente mais altos do que para o aquecimento normal durante a operação do autocarro. Neste contexto, o pré-condicionamento do veículo a partir de uma ficha de alimentação de energia externa assume particular importância, pois isso pode prolongar significativamente a vida útil da bateria do veículo [26].

Em operação normal, as necessidades de energia resultam das perdas de transmissão entre o interior e o exterior, especialmente quando os passageiros estão a entrar/sair do veículo. A quantidade de energia necessária para o aquecimento depende diretamente da temperatura ambiente. Estes fatores também se aplicam ao arrefecimento [27].

Na Figura 8, são mostrados os diferentes pedidos de potência de aquecimento a partir da temperatura ambiente. Para reduzir os pedidos de aquecimento é necessário verificar as áreas onde ocorre as perdas de calor. Estas perdas podem ser reduzidas substancialmente melhorando o isolamento da carroçaria e aplicando vidros com um baixo coeficiente de perdas de calor, semelhante aos isolamentos dos edifícios.

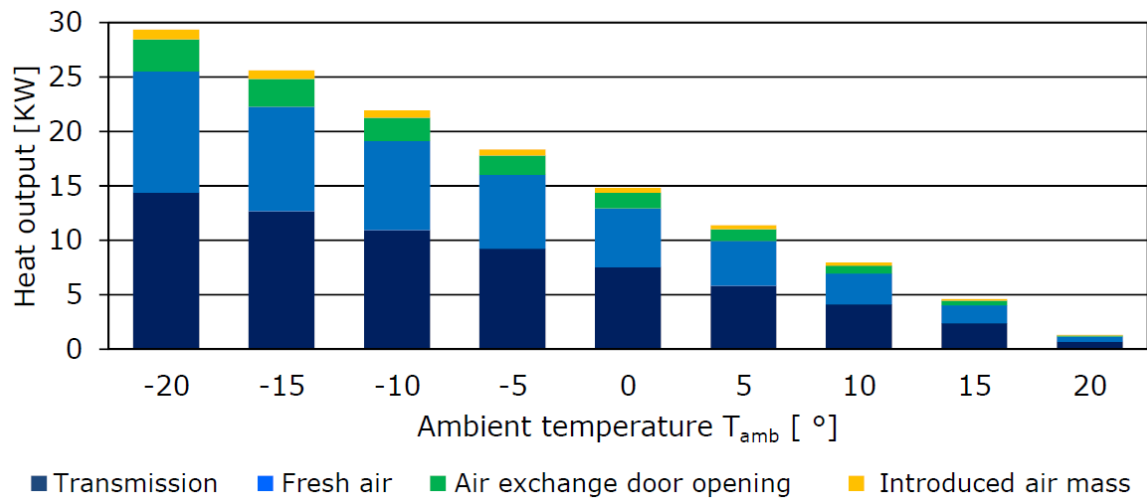


Figura 8 Requisitos da potência de aquecimento necessária de acordo com o fator de temperatura externa [27]

Os autocarros são ventilados com 100% de ar puro, não apenas por questões de higiene. Um outro ponto essencial é a desumidificação do ar do interior do veículo com a introdução de ar externo frio, ou seja, ar seco. Isto garante que os vidros das janelas, em particular o para-brisas, não embacem. Dependendo da temperatura externa, é necessária uma quantidade substancial de energia para aquecer o ar puro frio (ar externo) até ao *setpoint* de temperatura do interior.

Existem várias estratégias de ventilação, por exemplo a recirculação e a paragem da ventilação podem ajudar a reduzir a quantidade de energia necessária. No primeiro caso, o suprimento de ar fresco pode ser acoplado à qualidade do ar efetivamente medida no interior. A quantidade de CO_2 é monitorizada e avaliada por sensores de CO_2 e é adicionado ar fresco consoante as concentrações medidas. Ao fazê-lo, deve ser assegurado que a zona do condutor seja separada do salão dos passageiros. O uso de sensores de humidade também pode beneficiar a redução da energia necessária.

2.2.3. CONCEITOS DE AQUECIMENTO E SUA AVALIAÇÃO

O conceito de aquecimento baseado exclusivamente numa bomba de calor para regiões mais frias, por exemplo, Alemanha, deve ser considerado insuficiente. Devem ser consideradas outras formas de aquecimento, complementares ao uso da bomba de calor. Por exemplo, o uso de um aquecedor elétrico Thermo AC/DC com uma capacidade de aquecimento de 20 kW sem emissões, odores ou ruído.

Além de realizar o pré-condicionamento do veículo, também se pode aquecer a água do sistema AVAC antes do veículo iniciar operação de modo a não ser necessário fornecer energia para aquecer durante um determinado período de tempo.

Durante o percurso do autocarro, o Thermo AC / DC é usado como um aquecedor de reforço quando as temperaturas externas são muito baixas. No entanto, a energia necessária é fornecida pela bateria de tração, o que por sua vez causa uma redução direta na autonomia do veículo. Neste contexto, como alternativa, pode ser considerado um aquecedor a combustível. Deste modo o aquecedor funcionará independentemente da capacidade da bateria existente, pois é na mesma integrado no circuito de água quente. Considerando que são necessários cerca de 30 kg de combustível (diesel) para aquecimento do veículo em dias muito frios, teria que ser instalada uma bateria de tração de cerca de 2.000 kg para obter a mesma quantidade de energia [28].

2.2.4. OPORTUNIDADES PARA UMA GESTÃO TÉRMICA

Analisando e observando os fluxos de energia necessários para aquecimento e arrefecimento durante a operação diária do autocarro resulta numa gestão térmica abrangente e, portanto, a operação do veículo fica com elevada eficiência energética.

Para isso, antes de partir, na estação, o autocarro é colocado num estado operacional eficiente. Na estação fria, o veículo e a bateria de tração são aquecidos por um aquecedor elétrico alimentado por energia externa e os vidros das janelas são descongelados conforme necessário. Não ocorre nenhum ruído perturbador e nenhuma emissão prejudicial. Da mesma forma, em altas temperaturas o interior do veículo pode ser

arrefecido por um ar condicionado, acionado por um compressor elétrico, sem sobrecarregar energia do veículo.

O uso consistente de uma gestão térmica eficiente pode permitir uma impressionante economia de energia de cerca 45%. Dependendo do veículo, pode ser alcançado até 20% através de medidas como a redução das perdas de energia do veículo e otimização dos fatores de eficiência individuais de todos os aparelhos auxiliares. Podem ser economizados mais 10% em temperaturas moderadas através do aquecimento a partir de uma bomba de calor. Caso exista, deve-se explorar sempre a utilização do calor residual existente. O uso das chamadas opções preditivas resulta na gestão térmica sincronizada com a carga e oferece um potencial adicional de economia de energia de cerca 15%.

A mobilidade do futuro certamente incluirá o assunto mobilidade elétrica. Num contexto de recursos de energia limitados das baterias de tração, o uso e a interligação de componentes individuais altamente eficientes e uma gestão térmica inteligente são um pré-requisito importante para a obtenção de autonomia aceitáveis.

3. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO AUTOMOTIVOS

Neste capítulo é apresentado os diferentes tipos de comunicação utilizados nos veículos, nomeadamente a rede de comunicação dos veículos elétricos que está em conformidade com o protocolo de aplicação da *Society of Automotive Engineers* (SAE) J1939, o qual especifica a formatação, taxa de comunicação e intervalos de transmissão das mensagens, além de outros aspetos relacionados ao meio físico da rede.

3.1. INTRODUÇÃO

A comunicação nos veículos usando técnicas de multiplexação de sinais iniciou-se por volta de 1970. Inicialmente idealizava-se que um único protocolo seria suficiente para atender as necessidades de um veículo, porém gradualmente os protocolos foram-se expandindo até chegarem a uma quantidade superior a 40 diferentes tipos de protocolos. Assim, foi necessário categorizar estes padrões, trabalho este realizado pela SAE e que inclui a

definição de diferentes classes para a classificação destes protocolos [29]. Os sistemas de comunicação automotivos podem ser divididos em três classes [30]:

- Classe A: para aplicações gerais de comunicação, geralmente de diagnóstico ou controlos secundários no veículo, possuindo uma baixa velocidade, em torno de 10 Kbps. Entre os protocolos envolvidos nesta classe o LIN destaca-se como padrão mais utilizado pelos fabricantes na atualidade;
- Classe B: para aplicações que não envolvam diagnósticos e comunicação de sistemas críticos no veículo. A velocidade de comunicação varia entre 10 Kbps e 125 Kbps, com suporte a transmissão assíncrona ou periódica. Nesta classe o CAN destaca-se como o protocolo de maior utilização, mais especificamente sob a regulamentação da ISO 11898-3, com velocidades entre 80 e 125 Kbps e suporte a deteção de falhas na rede e transmissão através de dois fios;
- Classe C: para aplicações que exigem maior velocidade e largura de banda da rede, tipicamente associados a sistemas em tempo real, como por exemplo o controlo do motor, caixa de transmissão, controlo de velocidade, entre outros. A taxa de transmissão varia entre 125 Kbps e 1 Mbps. Nesta classe o CAN também se destaca como protocolo de maior utilização, porém sob regulamentação da J1939 (250 Kbps, aplicação em autocarros e camiões) ou da ISO 11898-2 (500 Kbps, aplicação em automóveis).

Os sistemas automotivos podem tipicamente ser divididos em distintos domínios funcionais que correspondem a diferentes características e diferentes restrições do sistema. Destes, dois deles dedicam-se especificamente ao controlo de funções em tempo real e à segurança do veículo: o *powertrain* (controlo do motor e transmissão) e o *chassi* (controlo de suspensão, direção e travagem). O terceiro, a *carroçaria*, tipicamente controla as funções de conforto como por exemplo a iluminação e a climatização [31].

3.2. MODOS DE TRANSMISSÃO

A transmissão de mensagens em sistemas de comunicação geralmente baseia-se em dois modos distintos: o modo *event-triggered* e o modo *time-triggered*. O primeiro modo vincula a transmissão de mensagens à ocorrência de eventos significantes, como por exemplo a abertura de portas do veículo. Isto significa que a transmissão ocorre de forma

assíncrona e por isso o protocolo de comunicação deve utilizar alguma estratégia para evitar colisões de mensagens na linha. Os sistemas *event-triggered* são muito eficientes na otimização da largura de banda das linhas de comunicação, pois são transmitidas apenas as mensagens realmente necessárias.

Para comunicações do tipo *time-triggered*, as mensagens são transmitidas em intervalos de tempo pré-determinados, com valores que podem variar de acordo com a relevância da informação que se está transmitindo e do tempo de resposta necessário para executar determinadas funções do veículo. Este tipo de estratégia garante a recepção das informações em caso de perda da mensagem no ciclo anterior. Por outro lado, pode ser menos eficiente em termos de ocupação da linha de comunicação e tempos de resposta das mensagens [31].

O protocolo de aplicação que especifica a formatação das mensagens CAN (SAE-J1939) utiliza como estratégia principal o modo *time-triggered*, porém também existem mensagens as quais podem ser transmitidas tanto em modo *time-triggered* como *event-triggered*.

Nas próximas secções são apresentados conceitos referentes aos protocolos de comunicação mais utilizados nos automóveis e autocarros.

3.3. PROTOCOLO CAN

O padrão CAN é um protocolo de comunicação série desenvolvido pela empresa BOSCH para aplicações na indústria automotiva. Quando foi desenvolvido, tinha como objetivo principal substituir e simplificar as ligações elétricas que utilizavam grande quantidade de fios e cabos por um único barramento de comunicação de dados. O CAN é um protocolo do tipo *broadcast*, ou seja, todos os nós de um barramento de comunicação estão aptos a receber as mensagens transmitidas. Este protocolo suporta eficientemente sistemas em tempo real e redes de alta velocidade (1 Mbps) [32].

O CAN é muito utilizado em sistemas de controlo de automóveis, autocarros/camiões, máquinas agrícolas, construção civil e indústria em geral. Este tipo de comunicação é muito utilizada devido aos seguintes fatores [33]:

- a aquisição de microcontroladores e controladores CAN tem um baixo custo;
- permite a utilização de cabos de comunicação de baixo custo;
- a rede CAN é flexível a novas configurações, ou seja, novos nós podem ser incluídos na rede sem a necessidade de alteração dos nós já existentes.

3.3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROTOCOLO CAN

O protocolo CAN utiliza o método CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*) para controlar as mensagens na rede, ou seja, antes de realizar a transmissão, o controlador CAN verifica se o barramento está em estado de repouso para iniciar a transmissão [34]. Caso dois ou mais módulos iniciem a transmissão simultânea de um pacote de dados, persistirá na linha a mensagem que possuir o menor valor numérico no campo da prioridade. No momento em que o barramento passar para o estado de repouso, ocorrerá então nova tentativa de transmissão das mensagens que estavam na fila.

Outra característica importante do protocolo CAN é o fato de ele ser NRZ (*Non Return to Zero*), ou seja, o valor de um bit (0 ou 1) é sempre representado por um valor de tensão diferente de zero. No protocolo CAN destacam-se as seguintes propriedades [32]:

- prioridade de mensagens;
- garantia nos tempos de latência;
- flexibilidade na configuração;
- recepção de mensagens por todos os nós com tempo de sincronização;
- detecção de erros e sinalização;
- retransmissões automáticas no caso de mensagens corrompidas;
- reconhecimento de leitura da mensagem pelo menos por um nó na rede.

Assim como outros protocolos, o CAN também está de acordo com o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), o qual é definido em sete camadas. Neste caso, encontram-se especificadas pela ISO apenas as camadas inferiores do modelo, ou seja, a camada física e a camada de enlace de dados. As camadas físicas e de enlace de dados são padronizadas pela ISO 11898 (125 Kbps a 1 Mbps) e ISO 11519 (10 Kbps a 125 Kbps). Acima destas

camadas encontra-se diretamente a camada de aplicação, a qual possui distintos padrões como *CANOpen*, SAE J1939, SAE-J2284, entre outros [32].

A camada física define especificamente como os sinais são transmitidos, o meio físico utilizado (cabos e conectores), as características dos circuitos integrados de recepção e transmissão e a forma como os bits são codificados, temporizados e sincronizados dentro de uma mensagem. A camada de dados é subdividida numa camada MAC (*Medium Access Control*) e LLC (*Logical Link Control*). A subcamada MAC controla o acesso ao barramento deteção e sinalização de erros e codificação da mensagem segundo os padrões do protocolo. A subcamada LLC é responsável pela filtragem de mensagens bem como monitorizar o estado da rede e das mensagens em execução. Na Figura 9 é possível observar a relação entre as 7 camadas do modelo OSI e os padrões ISO.

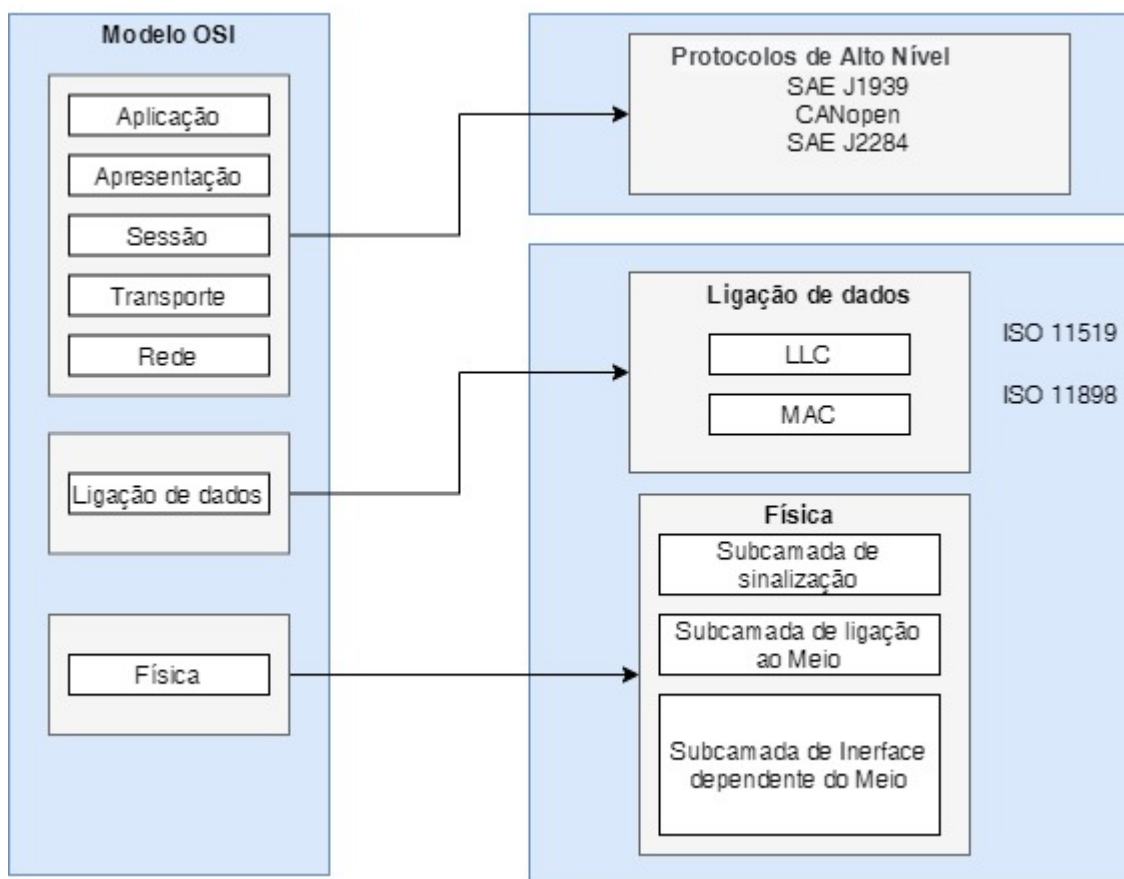


Figura 9 Relação entre o modelo OSI e os padrões ISO

3.3.2. CAMADA FÍSICA DE REDE CAN

A especificação ISO11898-2 utilizado para redes CAN de alta velocidade, descreve uma rede CAN tradicional conforme a Figura 10. A linha de comunicação é constituída basicamente por dois fios trançados e duas resistências de 120 Ω nas extremidades da rede. Ao longo da linha de comunicação estão conectados os módulos eletrônicos responsáveis pela transmissão e recepção das mensagens CAN. Os módulos, por sua vez, são constituídos basicamente por um *transceiver*, e um microcontrolador com controlador CAN integrado. O *transceiver* tem como função realizar a conversão dos níveis de tensão da linha CAN para níveis de tensão do controlador CAN e vice-versa. O controlador CAN pode ser descrito como a interface entre a aplicação e a linha de comunicação, ou seja, o controlador tem como função básica converter os dados fornecidos pela aplicação em uma mensagem formatada para ser transmitida pela rede CAN [35].

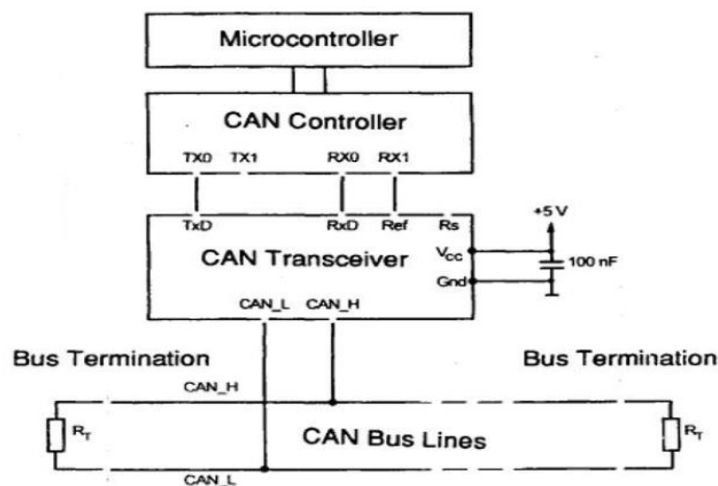


Figura 10 Representação de uma rede CAN conforme ISO11898 [36]

Numa rede CAN a transmissão dos sinais elétricos é diferencial, o que garante grande imunidade a ruídos elétricos e boa tolerância a falhas [37]. O protocolo especifica dois níveis lógicos: recessivo (bit lógico '1') e dominante (bit lógico '0'). A Figura 11 representa o sinal diferencial de uma linha de comunicação CAN. No estado recessivo a tensão dos sinais *CAN High* e *CAN Low* apresenta um valor aproximado de 2,5V e no estado dominante apresenta um valor aproximado de 3,5V para *CANH* e 1,5V para *CANL*.

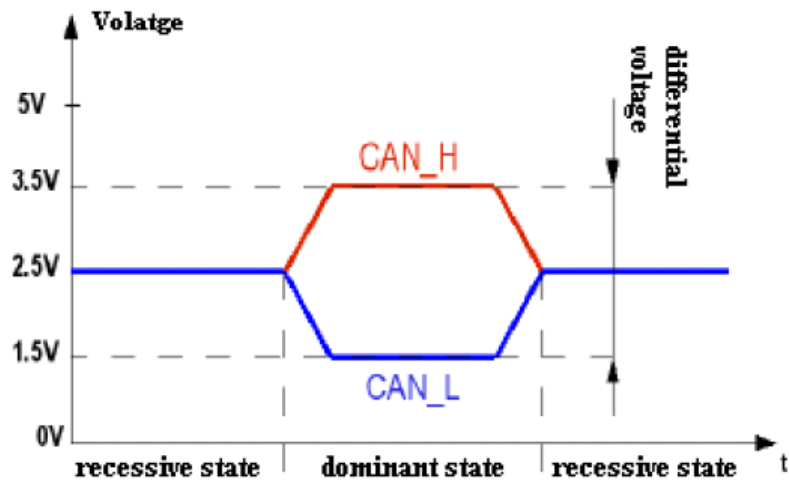


Figura 11 Representação de sinal diferencial na comunicação CAN [36]

O padrão ISO11898 também indica que o comprimento máximo do cabo de comunicação deve ser de 40 metros para uma taxa de transmissão de 1 Mbps. Podem ser alcançadas maiores distâncias utilizando-se taxas de comunicação inferiores a 1 Mbps, conforme se pode verificar na Figura 12.

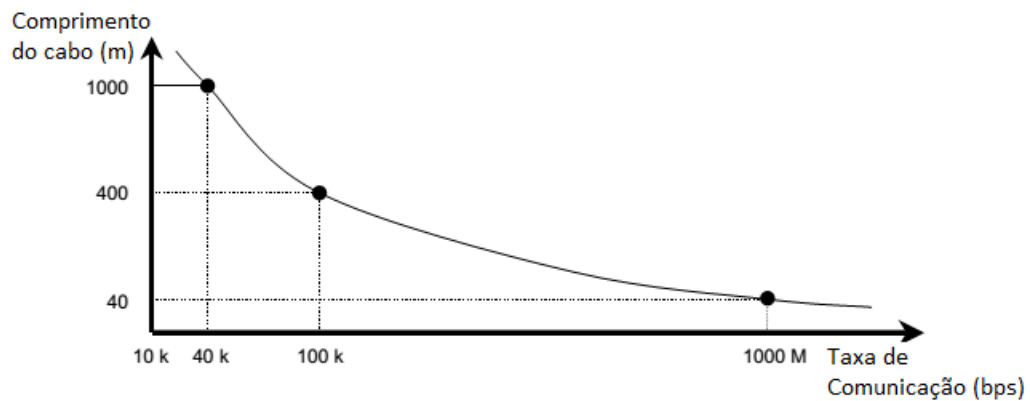


Figura 12 Relação da velocidade por comprimento do cabo CAN [38]

Pode-se afirmar que o comprimento de uma rede CAN está diretamente relacionado com o tempo de propagação dos sinais, mais especificamente, o método de prioridade não destrutivo do protocolo (CSMA/CA) que acaba sendo afetado pelos atrasos da comunicação [38].

3.3.3. TIPOS DE MENSAGENS CAN

Num barramento de comunicação podem ser encontrados os seguintes tipos de mensagens CAN [39]:

- *data frame*: mensagem utilizada para transmissão de dados de uso geral dos módulos da rede;
- *remote frame*: mensagem utilizada por algum módulo para solicitar da rede mensagem com identificador específico;
- *error frame*: quando um módulo deteta um erro na linha ele envia esta mensagem para notificar os outros módulos do erro detetado;
- *overload frame*: esta mensagem é utilizada por um módulo recetor para notificar que ele ainda não está preparado para receber outras mensagens;
- *interframe space*: é utilizado para separar uma mensagem tipo *Data Frame* ou *Remote Frame* da próxima mensagem a ser transmitida na linha de comunicação.

3.3.4. DATA FRAME CAN

O padrão CAN permite a utilização de dois tipos de formatos de mensagens: formato padrão (CAN 2.0A) e o formato estendido (CAN 2.0B) [32]. A principal diferença entre estes dois formatos é a quantidade de bits presentes no campo identificador, ou seja, no formato padrão utiliza-se um campo de 11 bits enquanto que no formato estendido utiliza-se um campo de 29 bits. Na Figura 13 pode-se verificar os dois formatos de uma mensagem CAN, além da representação dos campos da mensagem.

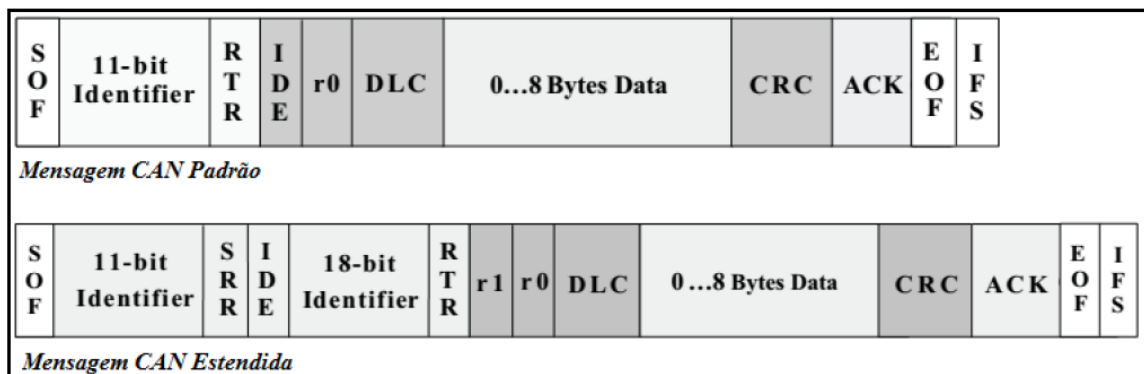


Figura 13 Formatos das mensagens CAN [32]

Os campos de uma mensagem CAN apresentados na Figura 13 podem ser descritos como:

- *SOF (Start of Frame)*: o bit dominante responsável pela iniciação de uma mensagem e sincronização inicial dos módulos da rede;
- *IDENTIFIER*: o campo identificador estabelece a prioridade da mensagem, ou seja, quanto menor o valor, maior a prioridade da mesma;
- *RTR (Remote Transmission Request)*: este bit é dominante quando uma informação é requisitada de outro nó na rede;
- *SRR (Substitute Remote Request)*: este bit, utilizado apenas no formato estendido, é sempre recessivo e tem como função apenas alocar o espaço utilizado pelo RTR nas mensagens padrão;
- *IDE (Identifier Extension Bit)*: o bit dominante representa uma mensagem do tipo padrão, enquanto que o bit recessivo indica uma mensagem do tipo estendida;
- *r1, r0*: bits reservados para aplicações futuras, transmitidos na mensagem como valores dominantes;
- *DLC (Data Length Code)*: contém o número de bytes de dados transmitidos na mensagem;
- *DATA*: campo que contém os dados da mensagem (até 8 bytes);
- *CRC (Cyclic Redundancy Check)*: campo que contém o byte de validação da mensagem (*checksum*);
- *ACK (Acknowledge)*: campo que indica o “reconhecimento” de uma mensagem, ou seja, quando algum nó recetor reconhece a mensagem como sendo válida, ele sobrescreve o bit originalmente recessivo para um bit dominante;
- *EOF (End of Frame)*: campo de sete bits recessivos que indica a finalização da mensagem;
- *IFS (Interframe Space)*: tempo em que a linha deve ficar em repouso para transmissão de nova mensagem, o que corresponde a sete bits de uma mensagem.

3.4. APLICAÇÃO SAE J1939 DO PROTOCOLO CAN

O protocolo J1939 é um conjunto de padrões para sistemas CAN, baseado na especificação ISO11998 e elaborado pela SAE para projetos de sistemas eletrónicos de veículos pesados como autocarros e camiões. Em outras palavras, pode-se afirmar que a J1939 é um guia de

práticas recomendadas que define os tipos de dados e como os mesmos são transmitidos entre as ECU (*Electronic Control Unit*) numa linha de comunicação do veículo [40].

Algumas características importantes do protocolo J1939 são:

- identificador CAN estendido de 29 bits;
- taxa de comunicação padrão de 250 Kbps;
- comunicação ponto a ponto e do tipo *broadcast*;
- protocolo de transporte de mensagens suportando envio de até 1785 bytes de dados;
- gestão da rede e diagnóstico do sistema;
- definição de grupos de parâmetros para veículos comerciais e outros.

Os grupos de parâmetros, denominados como PGN (*Parameter Group Number*), são um conjunto de informações referentes a um grupo de funções ou à alguma função específica do veículo. A quantidade de dados de um PGN não é limitada pelo comprimento de uma mensagem CAN. Tipicamente um PGN tem no mínimo 8 bytes e no máximo 1785 bytes, ou seja, quando o PGN é maior do que 8 bytes (quantidade máxima de dados de uma mensagem CAN), utiliza-se um método definido como protocolo de transporte.

3.4.1. FORMATO DAS MENSAGENS J1939

Muitas das mensagens definidas pela J1939 são do tipo *broadcast*, ou seja, as mensagens são anunciadas na linha de forma a que todos os módulos tenham acesso à leitura da mesma. Esta estratégia permite que qualquer ECU tenha acesso aos dados da mensagem sem a necessidade de efetuar a requisição da mesma. Este protocolo utiliza um identificador de 29 bits, conforme especificado na revisão do padrão CAN 2.0B, no qual encontram-se informações específicas, como o endereço do módulo transmissor (*Source Address*), prioridade (*Priority*), bit de página de dados (*Data Page*), bit de página de dados estendida (*Extended Data Page*) e endereço de destino (apenas para mensagens ponto a

ponto). Na Figura 14 é apresentada a estrutura dos bits que formam o identificador de uma mensagem CAN no formato J1939 [40].

| Priority | Extended Data Page | Data Page | PDU Format | PDU Specific | Source Address |
|----------|--------------------|-----------|------------|--------------|----------------|
| 3 bit | 1 bit | 1 bit | 8 bit | 8 bit | 8 bit |

Figura 14 Identificador CAN no padrão J1939 [40]

Os três primeiros bits do identificador da mensagem são utilizados para controlar a prioridade da mensagem durante o processo de arbitragem, neste caso a maior prioridade é dada para o valor '0'. Os valores de alta prioridade são usualmente atribuídos a mensagens de maior velocidade, como por exemplo mensagens de controlo de torque da transmissão para o motor. As mensagens que contém dados de menor criticidade, como por exemplo a velocidade do veículo, recebem valores de menor prioridade. Os bits de *Data Page* da mensagem servem como índice de expansão da mensagem, ou seja, para uma mesmo PGN utilizam-se diferentes valores de "página" que permitem aumentar a quantidade de dados transmitidos para um mesmo grupo de mensagens [41].

Os dois campos formados pela *PDU Format* e *PDU Specific* constituem o valor que será atribuído ao PGN da mensagem e também definem o modo como as mensagens são endereçadas na linha. Para valores de *PDU Format* entre 0 e 239, transmite-se a mensagem para um endereço indicado pelo valor de *PDU Specific*. Para valores de *PDU Format* entre 240 e 255, a mensagem será somente do tipo *broadcast* e o dado contido no campo *PDU Specific* fornece um índice de referência para a mensagem chamado de *Group Extension*. A formatação do PGN agrupa estes dois valores, por exemplo, para uma determinada mensagem com *PDU Format* de valor 232 (0xE8 em hexadecimal) e *PDU Specific* de valor 220 (0xDC em hexadecimal), o PGN da mensagem terá o valor 59612 (0xE8DC em hexadecimal).

Todas as informações especificadas pela norma são apresentadas de forma descritiva, conforme pode ser verificado na Figura 15, que representa a especificação do PGN 65102 para controlo da porta do veículo. Nela verificam-se as informações referentes aos dados

pertencentes ao identificador da mensagem, taxa de transmissão da informação e especificação das informações existentes no campo de dados da mensagem. As informações presentes no campo de dados são descritas na norma através de um índice numérico denominado SPN (*Suspect Parameter Number*) [41].

| PGN 65102 (R) Door Control 1 | | | - DC1 |
|-------------------------------|--------|----------------------------------|-------|
| Used for door information. | | | |
| Transmission Repetition Rate: | 100 ms | | |
| Data Length: | 8 | | |
| Extended Data Page: | 0 | | |
| Data Page: | 0 | | |
| PDU Format: | 254 | | |
| PDU Specific: | 78 | PGN Supporting Information: | |
| Default Priority: | 6 | | |
| Parameter Group Number: | 65102 | (0xFE4E) | |
| Start Position | Length | Parameter Name | SPN |
| 1.1 | 4 bits | Position of doors | 1821 |
| 1.5 | 2 bits | Ramp / Wheel Chair Lift Position | 1820 |
| 1.7 | 2 bits | Status 2 of doors | 3411 |

Figura 15 Especificação PGN65102 norma SAE J1939 [41]

3.4.2. PROTOCOLO DE TRANSPORTE

As mensagens J1939 que possuem mais do que 8 bytes de dados são transmitidas na forma de pacotes de dados, ou seja, são necessárias n mensagens para transmitir a informação na linha CAN. O limite de transmissão neste caso é de 1785 bytes de dados, divididos em 255 pacotes distintos. Para realizar este tipo de estratégia, torna-se necessário realizar a gestão da rede, de forma que todos os módulos permaneçam sem enviar suas mensagens e permitam a transmissão plena da mensagem via protocolo de transporte. O protocolo estabelece então duas gestões distintas para transmissões ponto a ponto e transmissões do tipo *broadcast*. Transmissões ponto a ponto utilizam-se dois PGNs distintos, um para gestão da conexão (TP.CM) e outro para transmissão dos dados (TP.DT). Em transmissões do tipo *broadcast* utiliza-se um comando denominado BAM (*Broadcast Announce Message*). Em transmissões do tipo ponto a ponto, o transmissor inicia a conexão através do comando TP.CM_RTS (*Request to Send*). O recetor controla o protocolo de transporte utilizando os comandos TP.CTS (*Clear to Send*) e TP.EoMA (*End of Message Acknowledge*). Os intervalos de transmissão das mensagens no protocolo de transporte também são

definidos pela J1939 e utilizam valores mínimos de 50 milissegundos. A Figura 16 demonstra a estrutura sequencial de envio de mensagens no protocolo de transporte para mensagens *broadcast* e ponto a ponto.

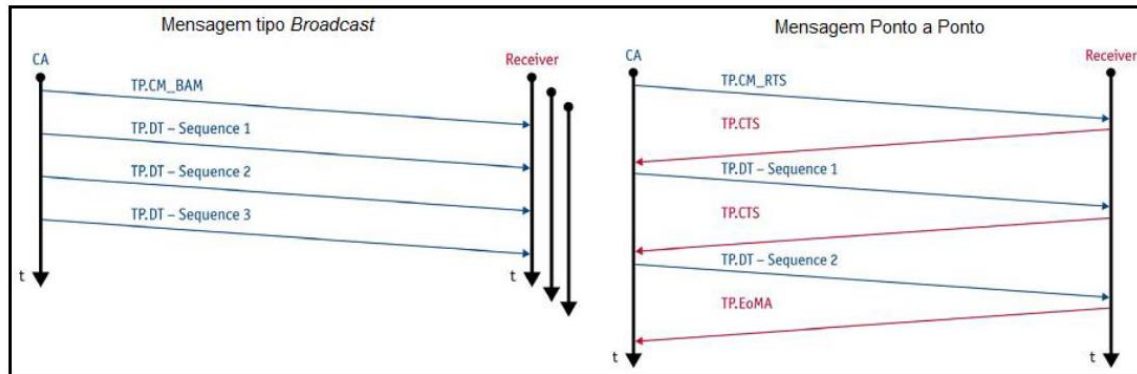


Figura 16 Estrutura de mensagens no Protocolo de Transporte J1939 [40]

3.5. PROTOCOLO LIN

O protocolo LIN (*Local Interconnect Network*) é um padrão de rede para comunicação de dados de baixo custo, desenvolvido por um consórcio de empresas, a fim de ser utilizado na linha automotiva. Este protocolo foi desenvolvido com o intuito de criar um padrão para itens de baixo valor agregado na estrutura de comunicação de dados em veículos automotores. O padrão LIN é uma boa alternativa para aplicações que não requerem tanta versatilidade e largura de banda como por exemplo aplicações CAN. Com este modelo de comunicação é possível implementar uma rede LIN utilizando microcontroladores de baixo custo, pois o único recurso necessário neste caso é apenas um canal de UART [42].

O padrão LIN é baseado numa arquitetura *master-slave* e que contém um dispositivo *master* e até quinze *slaves*. Uma mensagem LIN é composta por um cabeçalho e um campo de respostas, conforme pode ser visualizado na Figura 17.

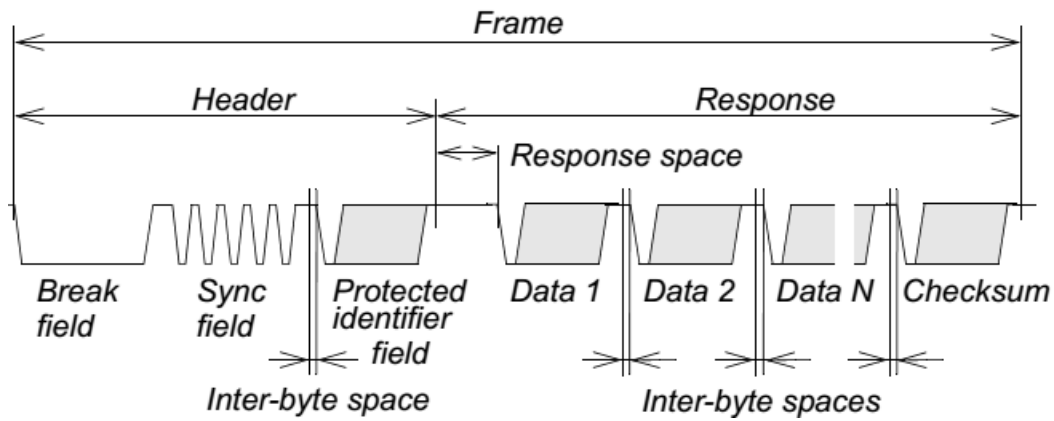


Figura 17 Formato da mensagem LIN [42]

A iniciação da mensagem é feita pelo dispositivo *master* através da manutenção do barramento em nível lógico “0” durante 13 bits consecutivos (*BREAK*). Posteriormente o *master* envia o valor 85 (0x55 em hexadecimal) para que os *slaves* consigam determinar a taxa de transmissão efetiva da mensagem (*SINCRONISMO*). O próximo valor a ser transmitido chama-se IDENTIFICADOR e serve para especificar o tipo de mensagem que se está transmitindo ou então determinar os nós na rede que devem receber ou responder a cada mensagem. O padrão especifica um total de 64 valores para o campo do identificador, o qual é transmitido utilizando os seis bits menos significativos, enquanto que os dois bits mais significativos são utilizados para transmitir a paridade do valor do identificador. No campo de respostas da mensagem podem ser transmitidos de 1 a 8 bytes de dados, tanto pelo *master* como pelos *slaves*. O último dado enviado é a verificação (*CHECKSUM*), a qual consiste na soma de todos os dados e do identificador, com a subtração por 255 cada vez que o valor for maior que 256 [42].

O meio físico utilizado pelo padrão LIN consiste basicamente num único fio conectado através de uma resistência de terminação ao positivo da bateria. O comprimento máximo da linha é de 40 metros e suporta taxas de transmissão de até 20 Kbps. O barramento funciona com dois níveis lógicos:

- o valor dominante com uma tensão próxima a zero Volts (terra) representa o valor lógico ‘0’;
- o valor recessivo com uma tensão próxima à tensão da bateria representa o valor lógico ‘1’.

Na Figura 18 é possível verificar os níveis lógicos do barramento LIN, bem como a representação típica de um *transceiver* LIN.

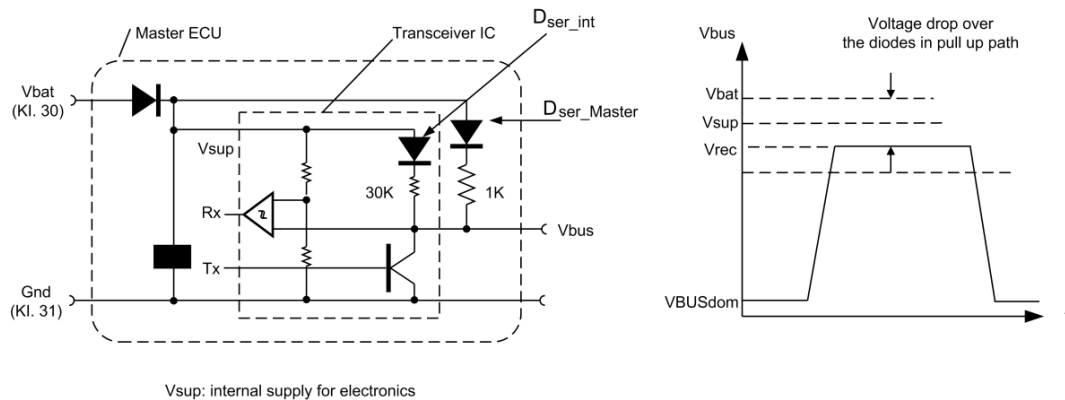


Figura 18 Transceiver LIN e representação dos níveis lógicos [42]

Pode-se afirmar que o padrão LIN não necessita lidar com colisões uma vez que a gestão das mensagens na linha é sempre executada pelo *master*. Desta forma apenas é transmitido um pacote de mensagens de cada vez. As mensagens neste caso podem tanto ser transmitidas de modo síncrono (*time-triggered*) ou de modo assíncrono, ou seja, vinculadas a eventos (*event-triggered*) [42]. Na Figura 19 pode-se visualizar uma rede LIN com o dispositivo *master* e os dispositivos *slaves*.

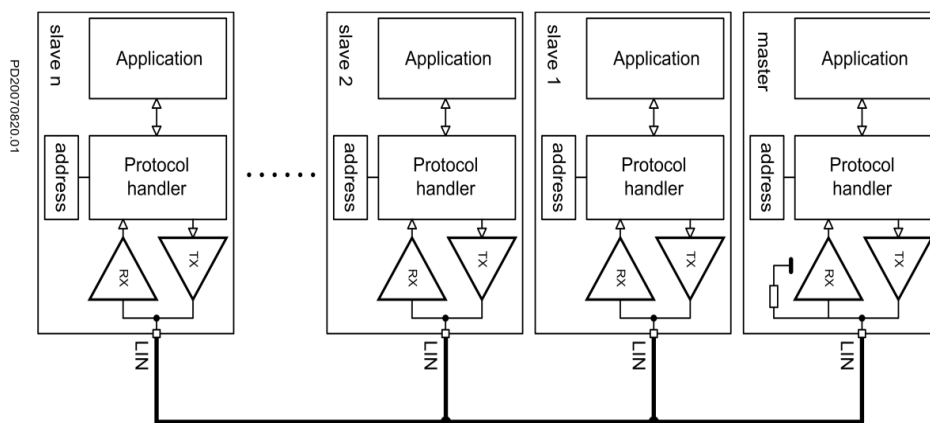


Figura 19 Representação de uma rede LIN [42]

3.6. COMPARAÇÃO DOS PROTOCOLOS CAN VS LIN

Comparando o protocolo CAN com o LIN é possível verificar através da Tabela 2 que o CAN tem mais vantagens. De forma geral, o protocolo LIN é um suplemento à rede CAN, pois

um *master* da rede LIN normalmente serve como *gateway* para o barramento CAN, tal como se pode verificar na Figura 20. Além disso o protocolo LIN é mais barato, apesar de ter baixa velocidade de transmissão.

Tabela 2 Comparação entre os protocolos CAN e LIN

| Caraterística | CAN | LIN |
|---------------------------------|---|---|
| Taxa de transmissão | 1 Mbps | 20 Kbps |
| Controlo de acesso | CSMA/CA | <i>Polling</i> |
| Identificador | 11 ou 29 bits | 6 bits |
| Camada física | Dois fios | Um fio |
| Arquitetura | <i>Multi-master</i> , tipicamente 10 a 30 <i>slaves</i> | <i>Single master</i> , tipicamente 2 to 10 <i>slaves</i> |
| Tipo de transmissão de mensagem | Assíncrono | Síncrono |
| Custo | Alto | Baixo |
| Aplicações | <ul style="list-style-type: none"> • Monitores e iluminação • Sistemas de alarmes • Sistemas AVAC • Sistema de ajuste de assento e espelhos • Sistemas automotivos | <ul style="list-style-type: none"> • Controlo de iluminação • Controlo do limpa para-brisas • Radio • <i>Cruise control</i> |

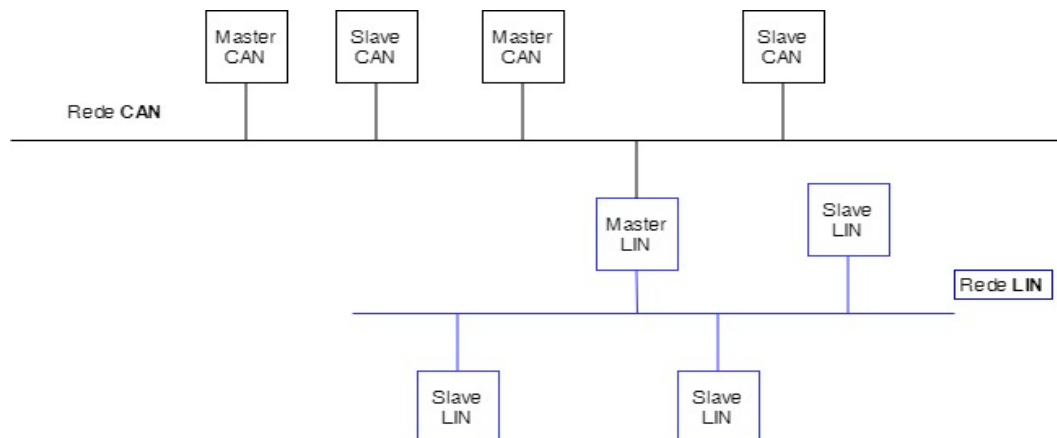


Figura 20 Exemplo de uma rede CAN e LIN

4. ARQUITETURA DO SISTEMA AVAC

Neste capítulo está presente a arquitetura do sistema AVAC e a descrição de todo o *hardware*.

4.1. SISTEMA AVAC

O sistema AVAC deste projeto está dividido em três partes:

- Sistema de aquecimento;
- Sistema de ventilação;
- Sistema de ar condicionado.

No sistema de aquecimento foram atribuídas três zonas (zona 1, 2 e 3) para identificar mais rápido os componentes e também porque o controlo das temperaturas é realizado por zonas. Na Figura 21 é possível verificar essa divisão, em que a zona 1 é a parte traseira do salão dos passageiros, a zona 2 é a parte da frente do salão e a zona 3 a cabine do motorista.

Este sistema AVAC é totalmente elétrico sendo controlado automaticamente nas zonas 1 e 2 para conforto térmico dos passageiros e controlado manualmente pelo condutor na zona

3, garantindo o seu conforto e boa visibilidade para a condução em segurança. O sistema de aquecimento é constituído por um vaso de expansão, uma bomba de água, 3 válvulas de 3 vias, 2 aquecedores de salão e um desembaciador. Em relação às válvulas foi decidido que estariam sempre abertas pois nesta primeira fase do projeto não seria para direcionar a água consoante as zonas que precisassem de aquecimento.

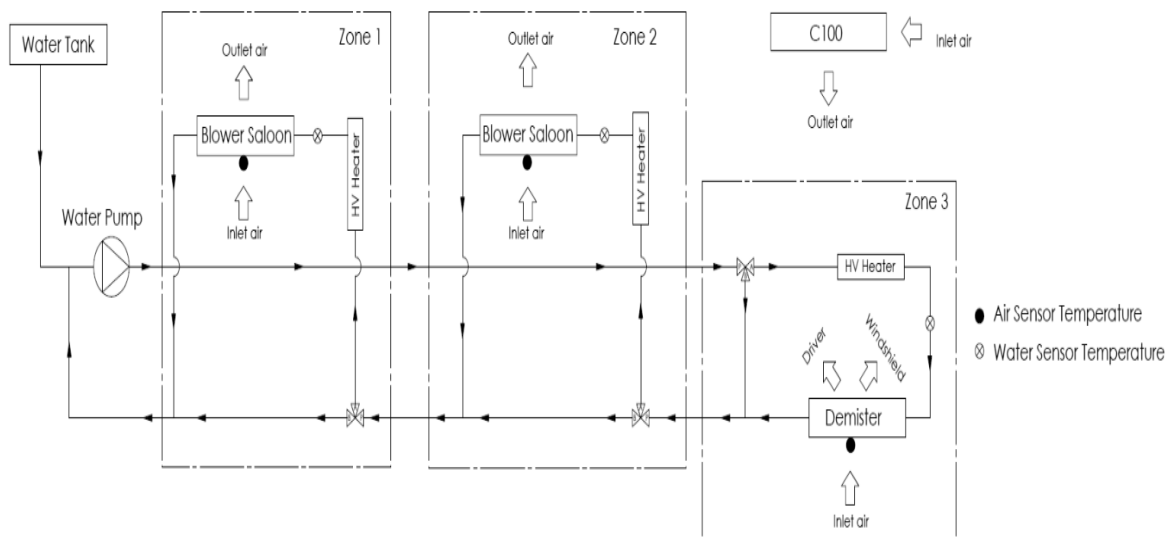


Figura 21 Divisão do autocarro por zonas

O sistema de ventilação é constituído por dois extratores de ar que têm como objetivo forçar as renovações de forma a evitar condensação de vapor de água e garantir a boa qualidade do ar. Já o sistema de ar condicionado é constituído por uma unidade de tejadilho dedicada apenas para o conforto térmico do condutor.

O motorista tem um controlador dedicado que só permite controlar todo o sistema de aquecimento e refrigeração do seu espaço. No salão dos passageiros (zonas 2 e 3) como é automático, é necessário desenvolver *software*, que neste caso foi o foco deste projeto.

Para controlar o sistema AVAC é necessário realizar a leitura de sensores para adquirir dados e uma unidade de processamento de modo a controlar os atuadores do sistema. Na Figura 22 está representada o diagrama geral do sistema implementado.

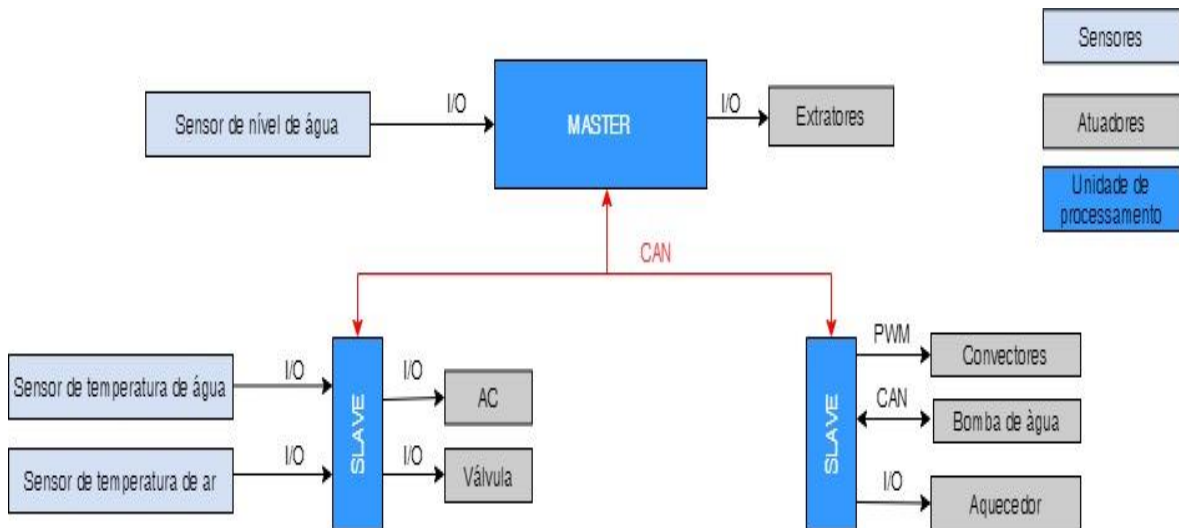


Figura 22 Diagrama geral do sistema implementado

4.1.1. COMUNICAÇÃO CAN DO SISTEMA AVAC

Segundo orientação da própria norma SAE J1939, as linhas de comunicação CAN instaladas no autocarro utilizam uma topologia em barramento com derivações de tamanho limitado. O autocarro possui 3 redes de comunicação CAN SAE J1939, sendo 2 para o *chassis* e outra para a carroçaria. O barramento CAN da carroçaria, que é o BCAN tem conectado um *master*, *tês slaves* e um HMI (*Human-Machine Interface*) para controlar o condicionamento da temperatura do autocarro. A Figura 23 representa a rede CAN dos sistemas eletrônicos instalados no veículo para controlar o sistema AVAC.

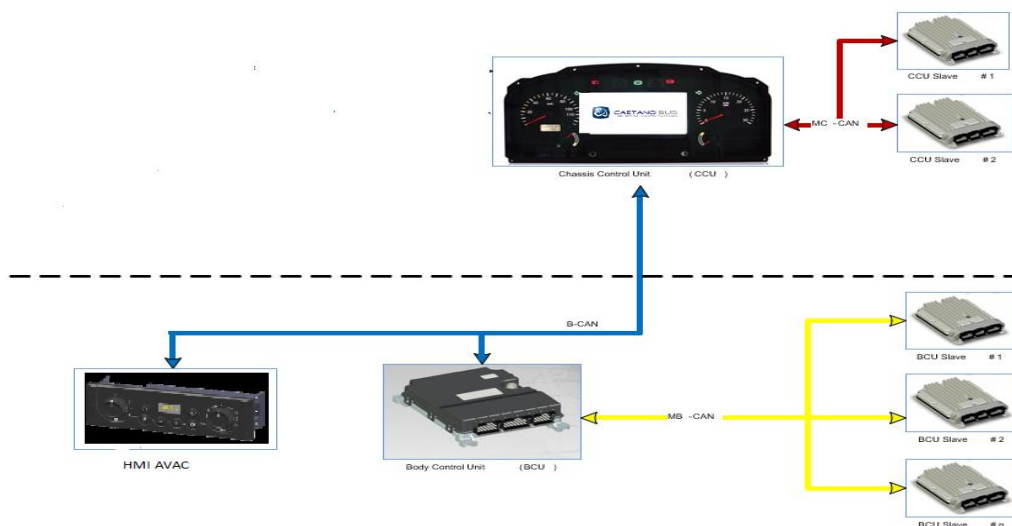


Figura 23 Tipologia da rede B-CAN

4.1.2. MONITORIZAÇÃO DO SISTEMA AVAC

Este autocarro está equipado com um serviço telemático para veículos elétricos disponibilizado pela Viriciti [50]. Esta plataforma tem um painel com a visão geral do autocarro em tempo real (Figura 24), como por exemplo, o estado do SoC, a localização da frota, e todo o estado do sistema AVAC que é o mais importante neste projeto. Além disto, também é possível ter notificações de falhas em tempo real e relatórios históricos que irão ajudar a prevenir avarias e verificar o desempenho do sistema de aquecimento.

O serviço telemático é processado por uma unidade de bordo chamada de DataHub, e este DataHub da ViriCiti é uma solução *plug & play* que pode ser adaptada especificamente às necessidades de cada cliente.



Figura 24 Painel geral do Viriciti

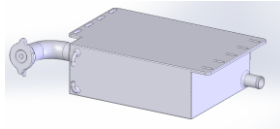
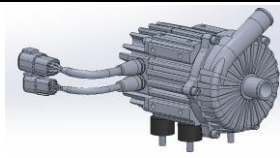
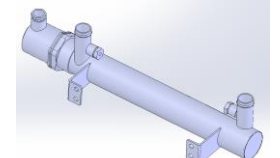
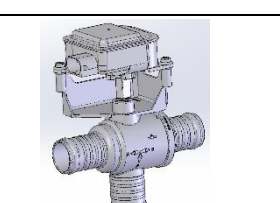
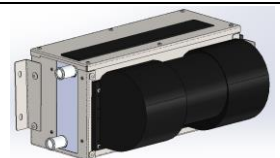
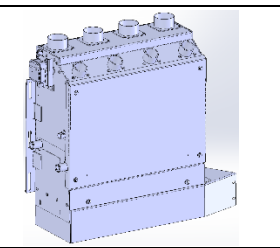
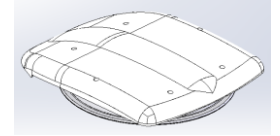

O DataHub transmite qualquer quantidade de dados CAN em tempo real para a nuvem e está sempre *online* para garantir uma monitorização contínua o que permite verificar a eficiência do sistema AVAC e se é necessário ajustar o *software*.

4.2. *HARDWARE*

Neste subcapítulo são apresentados alguns dos componentes utilizados, nomeadamente os sensores necessários para adquirir os dados para controlar o sistema e os atuadores. Na Tabela 3 estão presentes os componentes gerais que integram o sistema AVAC. É possível verificar que o fornecedor da maioria dos componentes é a Grayson Thermal Systems [43]. A Grayson é uma empresa de engenharia especializada em produtos de refrigeração e aquecimento para autocarros e veículos comerciais. Foi escolhida esta empresa devido à forte reputação de qualidade, inovação e trabalho em parceria com os clientes. Além disto,

o *hardware* pretendido cumpria todas as especificações necessárias para controlar o sistema AVAC.

Tabela 3 Componentes gerais do sistema AVAC

| Sistema | Componente | Fornecedor | Modelo 3D |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|---|
| Aquecimento | Vaso expansão | Radiadores Nissens Portugal |  |
| Aquecimento | Bomba de água elétrica | Grayson Thermal Systems |  |
| Aquecimento | Resistência Elétrica | Grayson Thermal Systems |  |
| Aquecimento | Válvula de 3 vias | Grayson Thermal Systems |  |
| Aquecimento | Conveter com ventilação | Grayson Thermal Systems |  |
| Aquecimento | Desembaciador | Grayson Thermal Systems |  |
| Ventilação | Extrator | Grayson Thermal Systems |  |
| Ar Condicionado | Unidade de Ar Conicionado C100 | Grayson Thermal Systems |  |

4.2.1. UNIDADE DE PROCESSAMENTO

A unidade de processamento para controlar o sistema AVAC e toda a carroçaria do autocarro é um sistema multiplexado da Actia, constituído por um Actimux Master 25 Std1, um Power 66 (*slave*) e um Power 33 (*slave*).

O Master 25 é um dispositivo elétrico automotivo para veículos de 12 V ou 24 V. Esta ECU (*Electronic Control Unit*) pode ser usada para gerir arquiteturas multiplexadas de camiões, autocarros ou veículos industriais. Este dispositivo tem um potente microcontrolador (Power PC de 32 bits) que permite incorporar *software* para veículos. As suas interfaces de comunicação permitem que o Master 25 seja conectado a vários tipos de dispositivos diferentes: módulos *slaves*, ECU do motor, outros *masters*. O Master 25 também inclui algumas entradas/saídas para gerir cargas com elevado tempo de resposta durante o acordar do sistema. Na Figura 25 é possível observar um Master 25.



Figura 25 Actimux Master 25 STD1

As principais características do Master 25 são:

- Dedicado para aplicações de 12 V e 24 V;
- 18 entradas lógicas, analógicas, de ativação e de frequência;
- 4 saídas lógicas de alto nível PWM, deteção de corrente e recursos de diagnóstico;

- 1 saída lógica de baixo nível com detecção de corrente;
- 1 saída lógica de baixo nível dedicada à ativação do relé do interruptor principal;
- 5 linhas CAN (125 kbit/s a 1 Mbit/s) ISO18898 (3 com capacidade de ativação);
- 1 interface Kline/LIN;
- 1 interface Ethernet 10/100.

Os recursos do Actimux Master 25 estão presentes nos blocos do diagrama da Figura 26.

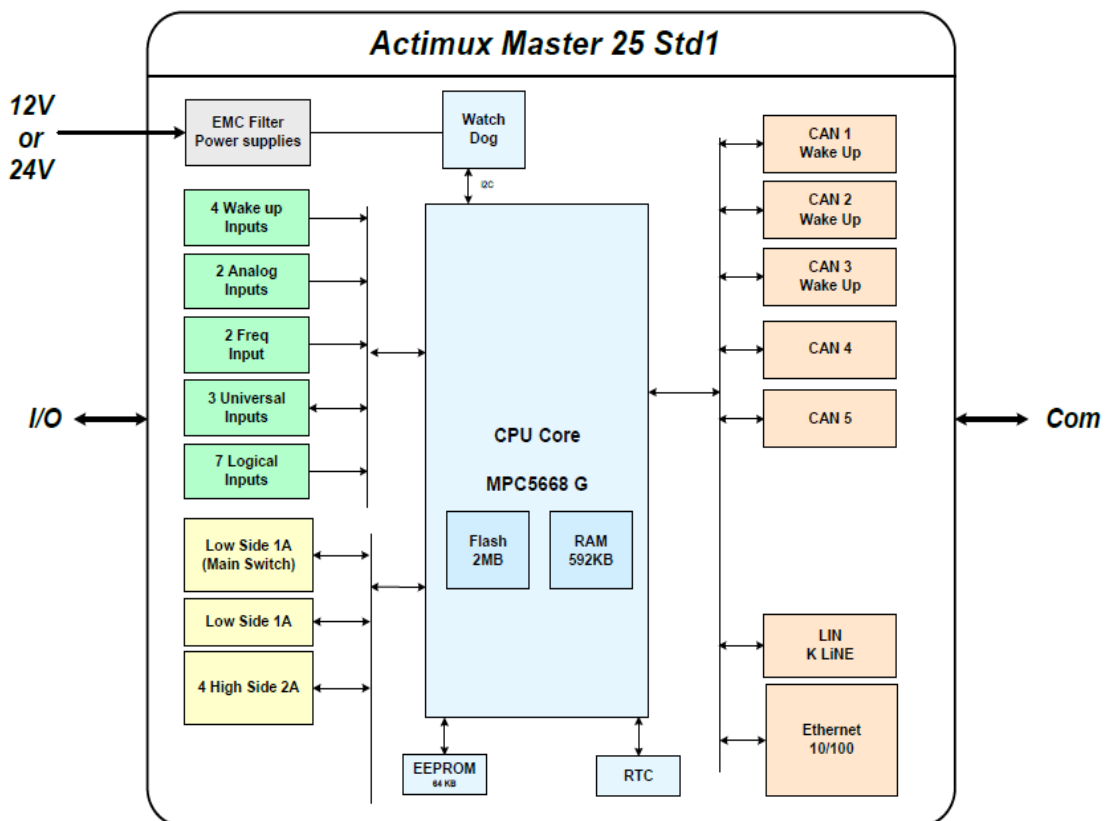


Figura 26 Diagrama das funções do Master 25 [44]

O Power 66 é uma unidade de controlo electrónico dedicada à aplicação em veículos industriais e autocarros. Este dispositivo é um *slave* numa arquitetura elétrica MultiBus ou ActiMux. As suas principais características são:

- Dedicado para aplicações de 24 V;
- Faixa de operação entre -40 °C a +70 °C;
- 23 entradas lógicas, analógicas, de ativação e de frequência;
- 32 saídas lógicas;

- 8 entradas/saídas lógicas;
- 8 saídas de meia ponte;
- 1 linha CAN 250 kbaud ISO18898;
- 3 saídas analógicas de 20 mA.

O Power 33 é muito semelhante ao Power 66, tendo um tamanho mais reduzido e menos entradas/saídas. As suas principais características são:

- Dedicado para aplicações de 24 V;
- 13 entradas lógicas, analógicas, de ativação e de frequência;
- 16 saídas lógicas, incluindo 6 entradas/saídas;
- 4 saídas de meia ponte;
- 1 linhas CAN 250 kbaud ISO18898;
- 1 saída analógica de 20 mA.

4.2.2. SENSOR DE NÍVEL DE LÍQUIDO

Para verificar a existência de líquido anticongelante no circuito do sistema AVAC foi introduzido um sensor de nível. Existem diferentes tipos de sensores de nível, sendo que estes estão divididos em dois tipos: medição por ponto e medição contínua. A medição por ponto indica quando o líquido está presente num certo ponto e na medição de nível contínua indica o nível do líquido à medida que ele sobe e desce.

Os sensores para indicação de nível de ponto são do tipo:

- Capacitivos;
- Óticos;
- Condutivos;
- Vibratórios;
- *Float switch*.

Os sensores para medição contínua de nível são do tipo:

- Ultrassónicos;
- Radar.

Na Figura 27 é possível visualizar os diferentes tipos de sensores de nível.

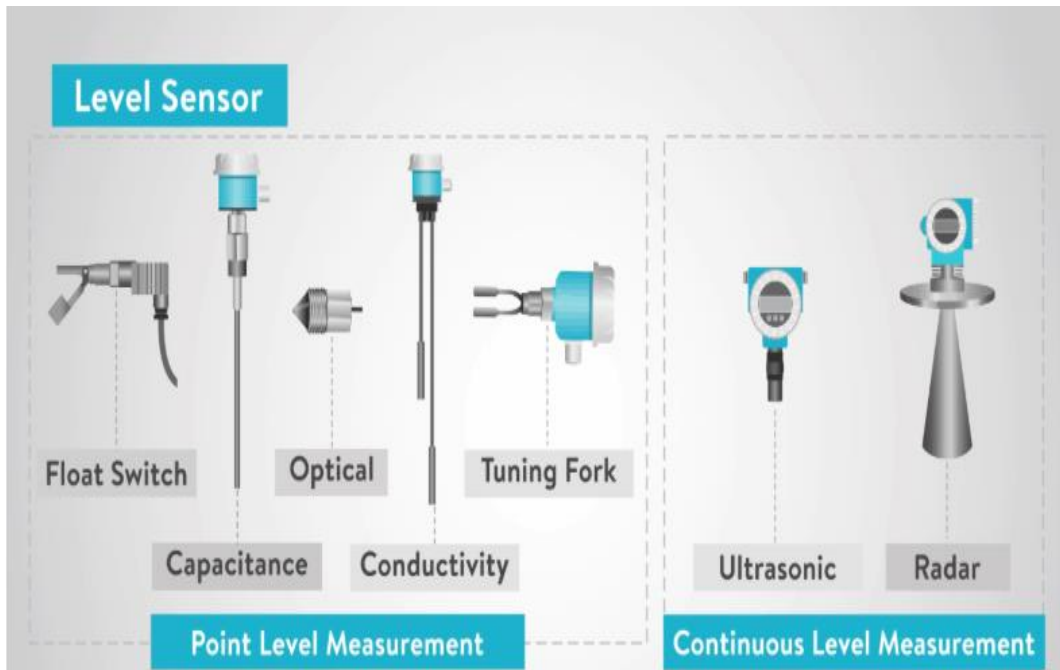


Figura 27 Tipos de sensores de nível [45]

O sensor de nível escolhido foi do tipo *float switch* da marca ICOS [46], presente na Figura 28. As razões para a escolha deste sensor foram as seguintes:

- Compacto e de baixo preço;
- Sinalização do tipo *on/off*;
- Pode ser do tipo normalmente aberto ou fechado;
- Montagem em tanque de parede fina ou tanques fechados;
- Deteta o nível de líquidos em tubos.



Figura 28 Sensor de nível de água [46]

O movimento do flutuador magnético abre e fecha um contactor elétrico, e tal como se pode verificar na Figura 29, este sensor pode ser do tipo normalmente aberto ou normalmente fechado, bastando apenas rodar 180°. As características técnicas do sensor estão presentes na Tabela 4.

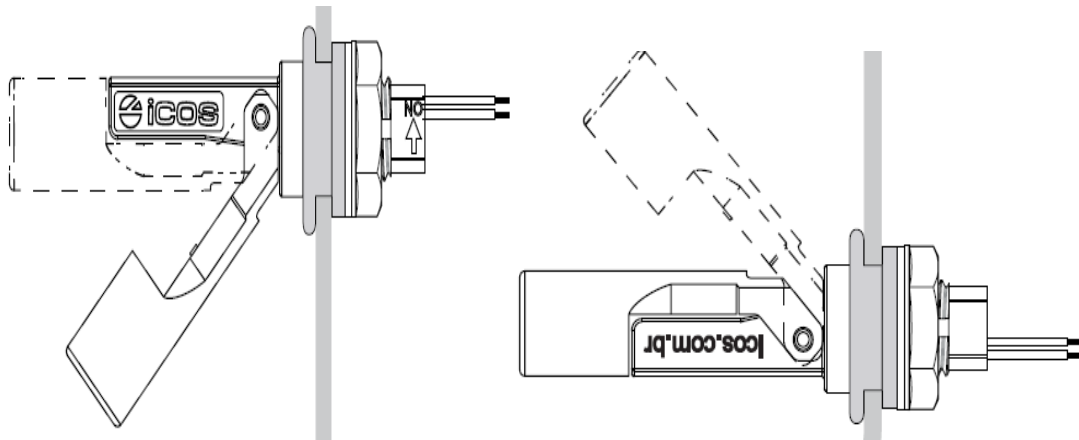


Figura 29 Sensor de nível no estado normalmente aberto e normalmente fechado [46]

Tabela 4 Características técnicas do sensor de nível [46]

| Caraterísticas | Valor |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Pressão máxima de operação | 2 bar |
| Faixa de temperatura operacional | -10 °C a 125 °C |
| Densidade mínima do líquido (SG) | 0.70 |
| Conetor de saída | Fio 2x0.5 mm ² x 40 cm |
| Contactor elétrico | <i>Reed Switch 20 W/VA</i> |

O sensor de nível foi montado no modo normalmente aberto dentro do vaso de expansão do sistema AVAC, tal como se pode verificar na Figura 30. A razão da escolha da forma de montagem deveu-se a que caso ocorra algum problema de conexão, por exemplo um fio cortado ou ficha desconectada, a ECU receba baixo nível de líquido, garantindo a segurança do sistema.

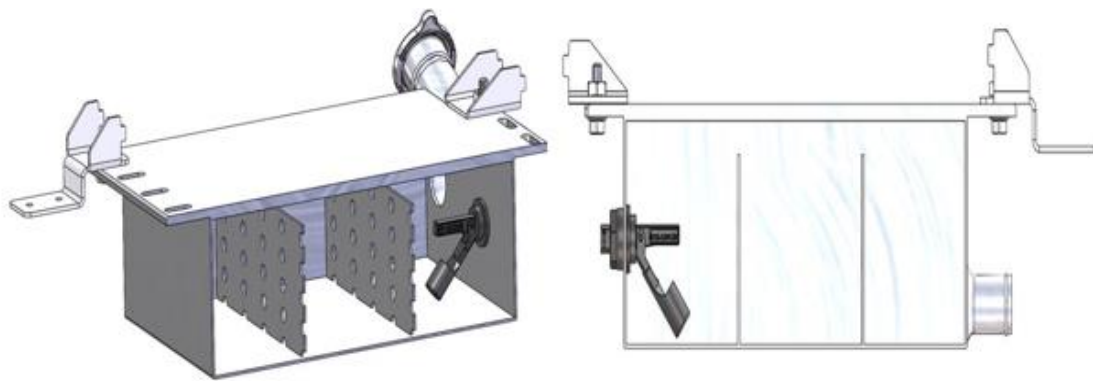


Figura 30 Posicionamento do sensor de nível no sistema AVAC

4.2.3. AQUECEDOR ELÉTRICO

Para aquecer o líquido foram utilizados três aquecedores elétricos da Grayson. Estes aquecedores têm uma resistência elétrica, presente na Figura 31, que é utilizada para aquecer a água do sistema. As características destas resistências estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5 Características da resistência elétrica da Grayson

| Caraterísticas | Valor |
|------------------------------------|-----------------------|
| Tensão nominal | 600 V DC |
| Potência nominal | 3600 W +5/-10% |
| Temperatura do líquido recomendada | -30 °C a +95 °C/82 °C |
| Temperatura ambiente | -30°C a +50 °C |
| Pressão máxima | 2 bar |
| Fluxo mínimo permitido | 15 l/min |
| Temperatura máxima permitida | 90 ±3 °C |



Figura 31 Resistência elétrica da Grayson

4.2.4. SENSOR DE TEMPERATURA DE ÁGUA

O sensor de temperatura de água é capaz de perceber a variação da temperatura de água e informar a unidade de processamento dessa variação sob forma de um sinal elétrico. O sensor é formado por um corpo de latão ou plástico que protege o elemento resistivo constituído por um termistor do tipo NTC (coeficiente negativo de temperatura), no qual o valor da resistência é inversamente proporcional ao valor da temperatura, ou seja, quando a temperatura sobe a resistência elétrica do sensor diminui e quando a temperatura desce a resistência elétrica do sensor aumenta.

Estes sensores de temperatura têm muitas vantagens: são baratos, estão disponíveis em diversas formas e tamanhos e em amplos valores de resistência nominal. Mas o mais importante é que eles apresentam amplas variações de resistência em função da temperatura, permitindo ter circuitos simples, sem a necessidade de amplificadores complexos.

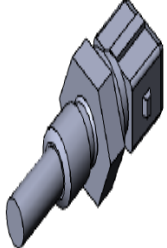
Por outro lado, as características dos NTC são não lineares, tornando mais difícil a leitura direta da temperatura através da eletrônica analógica. Dependendo do modelo, a faixa de temperatura é normalmente entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Apesar de algumas exceções, os NTC geralmente não têm grande precisão.

Neste sistema AVAC os sensores de temperatura de água foram colocados junto a cada resistência elétrica, ou seja, foram necessários três sensores. A localização dos sensores

teve em conta a segurança do sistema, pois assim era possível controlar a temperatura da água de modo a não danificar a resistência. Na Figura 32 é possível verificar o posicionamento do sensor junto à resistência elétrica.

O sensor escolhido foi da marca Bosh e na Tabela 6 estão presentes as características do sensor.

Tabela 6 Características do sensor de temperatura da água

| Caraterísticas | Valores | Unidades | Modelo 3D |
|---|---------------|-------------------|--|
| Temperatura máxima | 130 | °C |  |
| Temperatura mínima | -30 | °C | |
| Tolerância a +20 °C | 1.2 | °C | |
| Tolerância a +100 °C | 3.4 | °C | |
| Resistência nominal a +20 °C | 2.5± 5% | kΩ | |
| Resistência elétrica a -10 °C | 8.26 a 10.56 | kΩ | |
| Resistência elétrica a +20 °C | 2.28 a 2.72 | kΩ | |
| Resistência elétrica a +80 °C | 0.290 a 0.364 | kΩ | |
| Tensão nominal | ≤5 | V | |
| Corrente máxima medida | 5 | mA | |
| valor de referência para aceleração de vibração permitida | 600 | m.s ⁻² | |
| Grau de proteção | IP 54A | | |
| Testado contra corrosão conforme | DIN 50 018 | | |

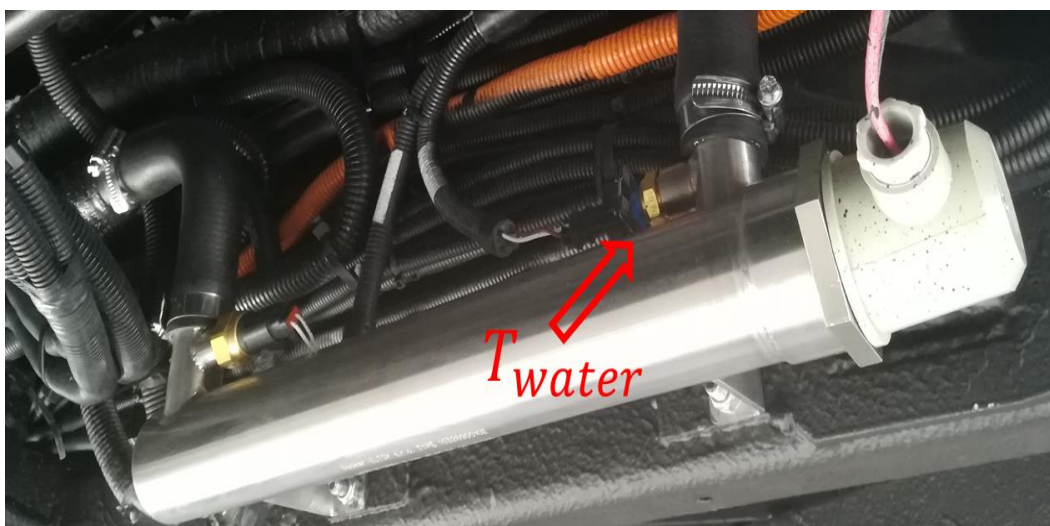


Figura 32 Posicionamento do sensor de temperatura da água

CARATERIZAÇÃO DO SENSOR

A partir do *datasheet* do sensor, presente no Anexo C, foi verificada a variação da resistência consoante a temperatura e a partir destes dados foi traçada a curva característica do sensor, tal como se pode verificar na Figura 33.

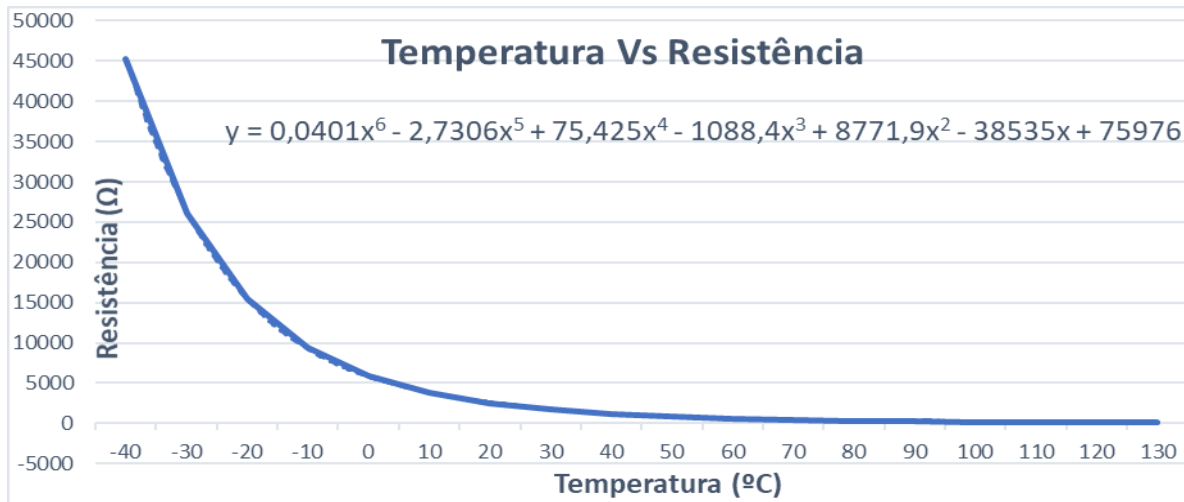


Figura 33 Curva característica do sensor de temperatura de água

Como a leitura de entrada da unidade de processamento é feita em tensão, adicionou-se uma resistência de 4,7 kΩ. A equação característica foi calculada através da linha tendência de 6º grau, dando origem à seguinte equação:

$$y = 0,0411x^6 - 2,7306x^5 + 75,425x^4 - 1088,4x^3 + 8771,9x^2 - 3855,1x + 75976 \quad (4)$$

Devido a não ser adequado implementar uma equação de 6º grau, verificou-se qual seria o erro para aproximações de menor grau. Na Tabela 7 estão presentes os resultados dos erros para uma aproximação de 4º, 5º e 6º grau. É possível verificar que quanto menor o grau maior o erro. Desta forma foi optada outra opção, que consistiu em ter uma equação para os seguintes três intervalos de temperatura:

- [-10 °C, 40 °C];
-]40 °C, 80 °C];
-]80 °C, 110 °C].

Nas Figuras 34, 35 e 36 estão presentes as curvas características para cada intervalo assim como as suas equações características.

Tabela 7 Dados do cálculo do erro das aproximações lineares

| Temperatura esperada (°C) | Temperatura calculada (°C) | | | | | | Tensão (V) |
|---------------------------|----------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|------------|
| | 4º grau | erro | 5º grau | erro | 6º grau | erro | |
| -40 | -36,62 | 3,38 | -40,99 | -0,99 | -39,17 | 0,83 | 0,470 |
| -30 | -33,22 | -3,22 | -27,24 | 2,76 | -31,54 | -1,54 | 0,763 |
| -20 | -23,11 | -3,11 | -19,14 | 0,86 | -18,43 | 1,57 | 1,360 |
| -10 | -8,12 | 1,88 | -12,20 | -2,20 | -8,32 | 1,68 | 1,667 |
| 0 | 5,27 | 5,27 | -0,51 | -0,51 | -1,31 | -1,31 | 2,218 |
| 10 | 13,30 | 3,30 | 13,46 | 3,46 | 9,67 | -0,33 | 2,767 |
| 20 | 18,58 | -1,42 | 23,69 | 3,69 | 23,10 | 3,10 | 3,264 |
| 30 | 25,85 | -4,15 | 30,41 | 0,41 | 33,20 | 3,20 | 3,668 |
| 40 | 37,67 | -2,33 | 38,45 | -1,55 | 41,25 | 1,25 | 4,000 |
| 50 | 52,16 | 2,16 | 49,64 | -0,36 | 50,35 | 0,35 | 4,246 |
| 60 | 68,00 | 8,00 | 64,06 | 4,06 | 62,86 | 2,86 | 4,437 |
| 70 | 82,55 | 12,55 | 79,09 | 9,09 | 77,31 | 7,31 | 4,576 |
| 80 | 95,32 | 15,32 | 93,51 | 13,51 | 92,39 | 12,39 | 4,678 |
| 90 | 105,87 | 15,87 | 106,20 | 16,20 | 106,51 | 16,51 | 4,754 |
| 100 | 114,12 | 14,12 | 116,56 | 16,56 | 118,55 | 18,55 | 4,809 |
| 110 | 120,98 | 10,98 | 125,47 | 15,47 | 129,24 | 19,24 | 4,851 |
| 120 | 126,23 | 6,23 | 132,45 | 12,45 | 137,83 | 17,83 | 4,883 |
| 130 | 130,48 | 0,48 | 138,20 | 8,20 | 145,03 | 15,03 | 4,907 |

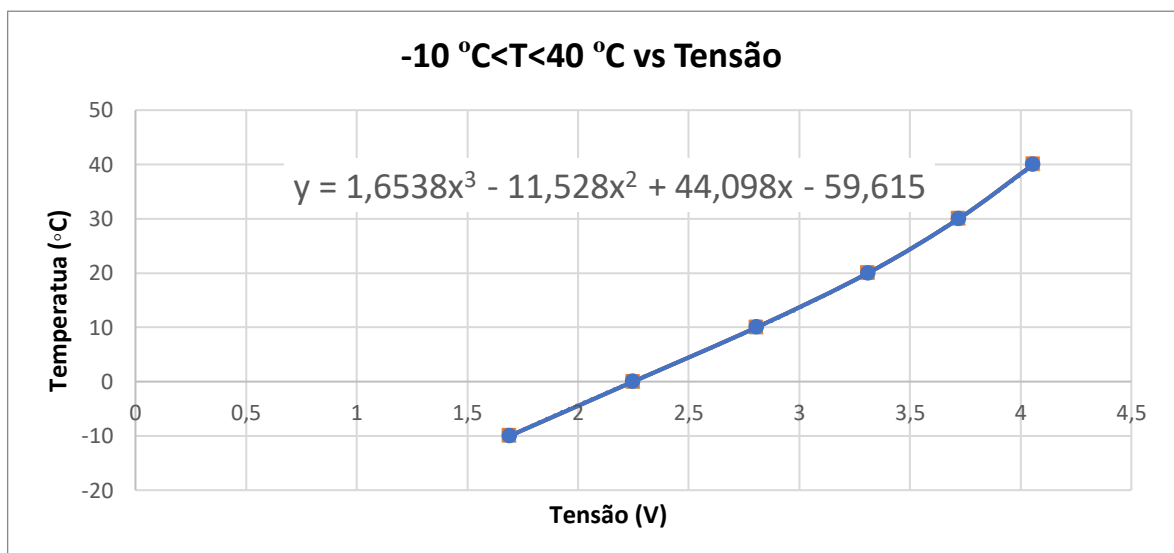


Figura 34 Curva caraterística para o intervalo de [-10 °C, 40 °C]

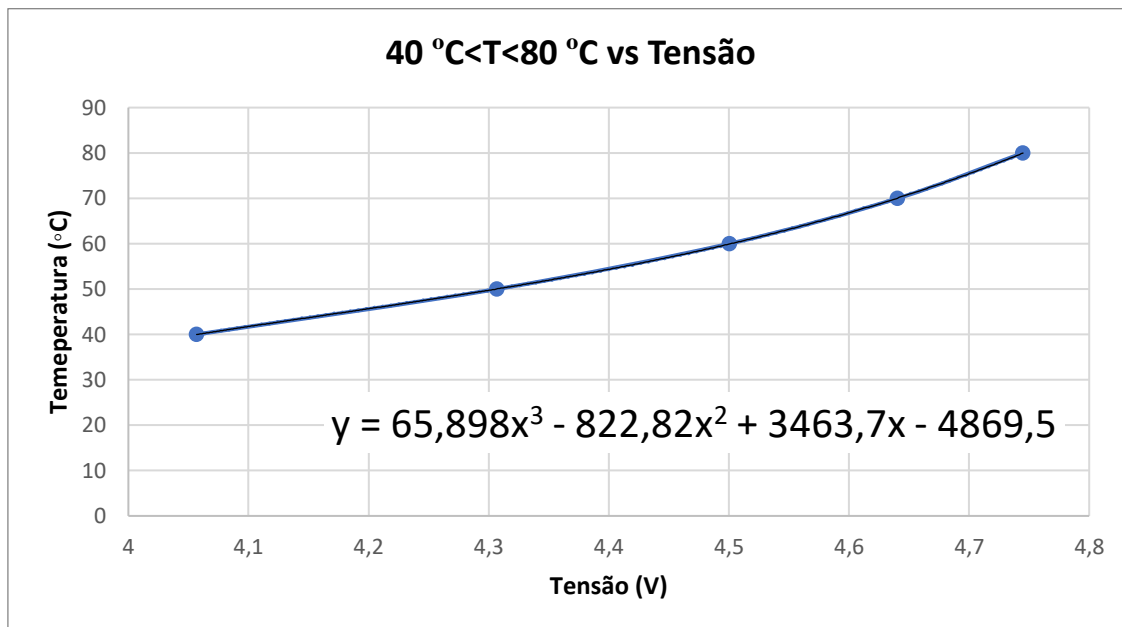


Figura 35 Curva caraterística para o intervalo de]40 °C, 80 °C]

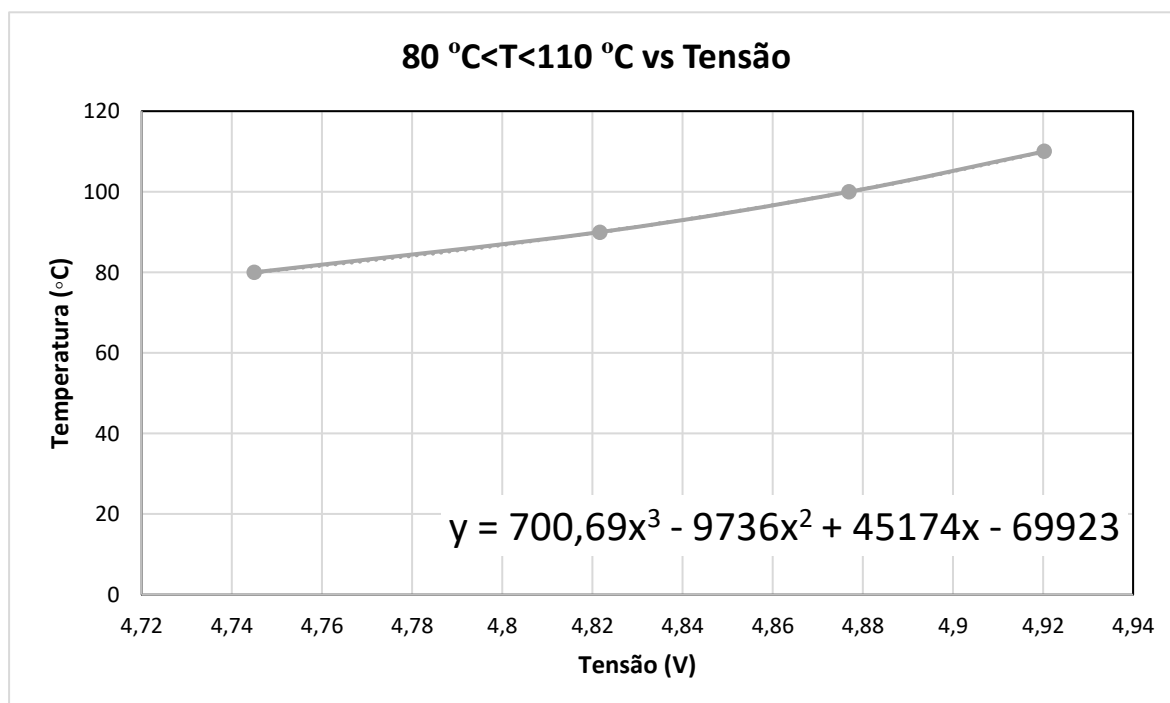


Figura 36 Curva caraterística para o intervalo de]80 °C, 110 °C]

No entanto após a implementação, na fase de testes, foi verificado que se existisse uma pequena variação na tensão iria provocar uma alteração na leitura da temperatura, ou seja

o erro iria ser grande. Deste modo alterou-se o *input* da unidade de processamento de modo a ler resistência.

Para não ter um erro de leitura elevado e ter uma leitura em resistência recorreu-se às equações características dos sensores NTC. Na Tabela 8 estão presentes os parâmetros necessários para definir a equação característica.

Tabela 8 Parâmetros dos NTC

| PARÂMETROS NTC IMPORTANTES | |
|----------------------------|--|
| Parâmetros | Descrições |
| R_{25} | A resistência do sensor em Ω na temperatura de referência de 25 °C. |
| β | Um constante material, expressa em Kelvin. |

O parâmetro R_{25} fornece um ponto de referência para os NTC e é a resistência medida a 25 °C. Assim o valor deste parâmetro é $R_{25} = 2100 \Omega$.

O parâmetro β é uma constante do material e é calculado entre as temperaturas de 25 °C e 85 °C, através da seguinte equação:

$$\beta_{25/85} = \frac{\ln(R_{25}) - \ln(R_{85})}{\left(\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T_{85}}\right)} \quad (5)$$

Assim, a equação característica dos NTC para calcular a temperatura em função da resistência é:

$$T = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{R}{R_{25}}\right)}{\beta} + \frac{1}{T_{25}}} \quad (6)$$

Deste modo para $R_{25} = 2100 \Omega$, $\beta = 3401$ e $T_{25} = 218,15 \text{ °C}$ a equação a ser implementada na unidade de processamento é:

$$T = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{R}{2100}\right)}{3401} + \frac{1}{218,15}} \quad (7)$$

sendo que R é a resistência medida e T a temperatura calculada.

4.2.5. SENSOR DE TEMPERATURA DO AR

O sensor de temperatura do ar é formado por um corpo de latão ou plástico que protege o elemento resistivo constituído por um termístor do tipo NTC. Tal como já visto no sensor de temperatura da água, o valor da resistência é inversamente proporcional ao valor da temperatura, ou seja, quando a temperatura sobe a resistência elétrica do sensor diminui e quando a temperatura desce a resistência elétrica do sensor aumenta.

Foi utilizado um sensor do tipo NTC, presente na Figura 37. Este sensor foi fornecido pela Grayson e o seu *datasheet* está presente no Anexo D.



Figura 37 Sensor de temperatura do ar interior

CARACTERIZAÇÃO DO SENSOR

A partir do *datasheet* do sensor foi retirado a variação da resistência consoante a temperatura. Esta variação está presente no Anexo C e a partir destes dados foi traçada a curva característica do sensor, tal como se pode verificar na Figura 38.

Para encontrar a curva característica foi utilizada a linha tendência polinomial de 2º grau, dando origem à seguinte equação:

$$y = 0,0411x^2 + 13,88x + 1619,1 \quad (8)$$

sendo y a resistência do sensor e x a temperatura.

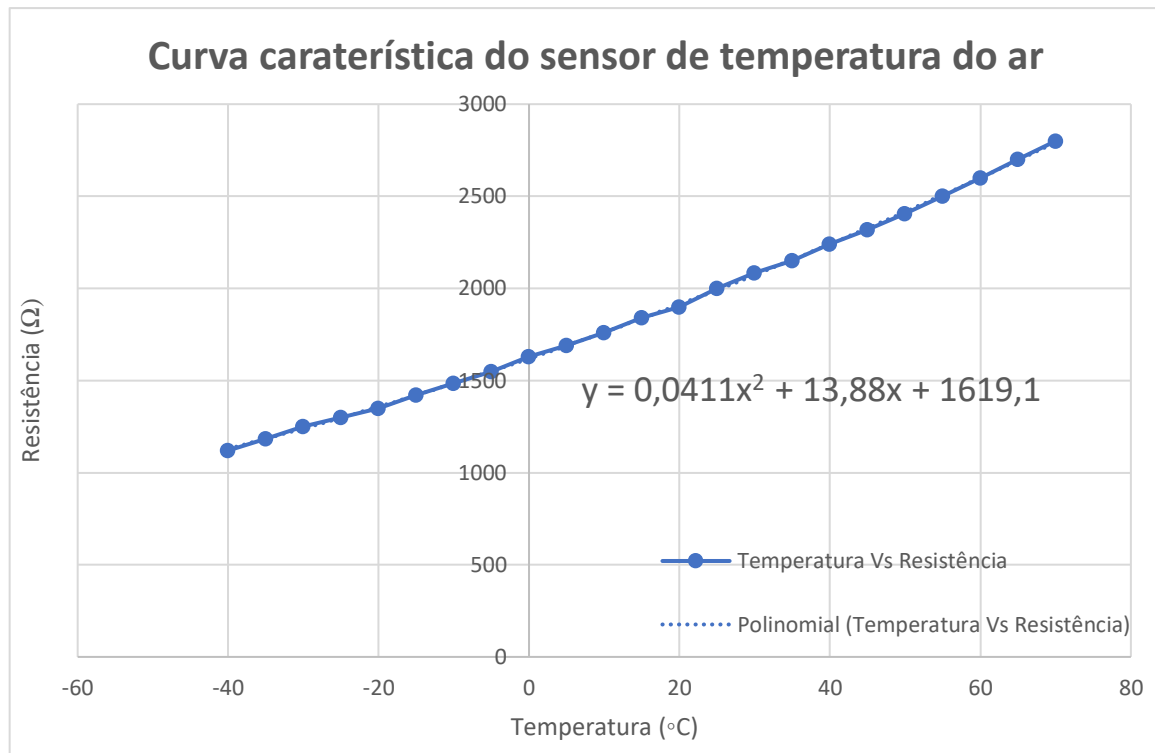


Figura 38 Curva caraterística do sensor de temperatura do ar

Para implementar a equação na unidade de processamento foi necessário saber a temperatura em relação à resistência. Deste modo obteve-se a função quadrática inversa a partir da equação (8). Os passos efetuados para a obter a equação foram os seguintes:

- 1) Deixar a equação com o zero em um dos membros:

$$0 = ax^2 + bx + c - y$$

- 2) Isolar x de y usando a Fórmula Resolvente:

$$ax^2 + bx + c - y = 0$$

- 3) Com $\Delta = b^2 - 4a(c - y)$:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a(c - y)}}{2a}$$

- 4) Ficando a parte positiva, obtém-se a equação (9), que relaciona a temperatura em relação à resistência:

$$x = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a(c - y)}}{2a} \quad (9)$$

sendo x a temperatura medida do sensor e y a resistência.

Como a função está segundo a lei da função quadrática os parâmetros a , b e c são:

- $a = 0,0411$
- $b = 13,88$
- $c = 1619,1$

Assim a equação a ser implementada na unidade de processamento é a seguinte:

$$x = \frac{-13,88 + \sqrt{13,88^2 - 4 \times 0,0411(1619,1 - y)}}{2a} \quad (10)$$

4.2.6. CONVETORES ELÉTRICOS

Um convetor elétrico é um dispositivo projetado para manter a temperatura de um espaço no nível pretendido. Com este dispositivo é possível retirar a carga do sistema de aquecimento *standard* ou substituí-la completamente.

O funcionamento de um convetor é baseado na convecção do ar. O ar aquecido expande-se, torna-se mais leve e sobe e o ar frio desce. O ar frio entra no dispositivo através das aberturas inferiores e dentro do convetor é aquecido saindo posteriormente pelas aberturas superiores, tal como se pode verificar na Figura 39.

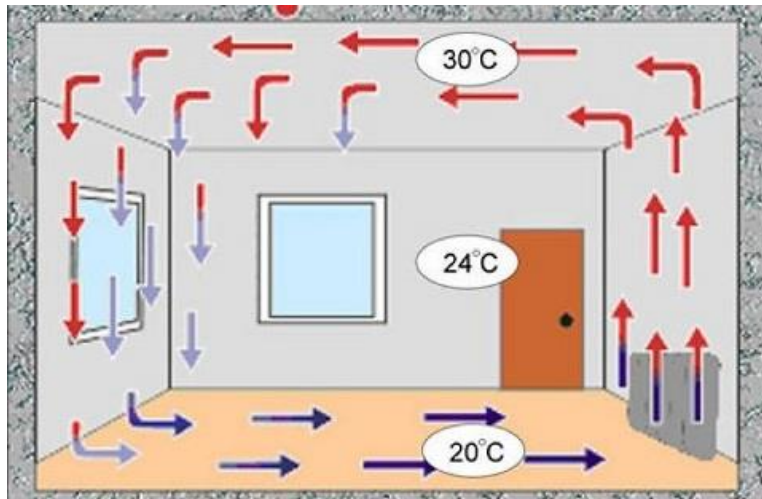


Figura 39 Princípio de funcionamento de um convetor [48]

O convetor presente na Figura 40, foi fornecido pela Grayson e este contém um ventilador para regular mais rápido a temperatura. A descrição da interface/conector para controlar o convetor está presente na Tabela 9.

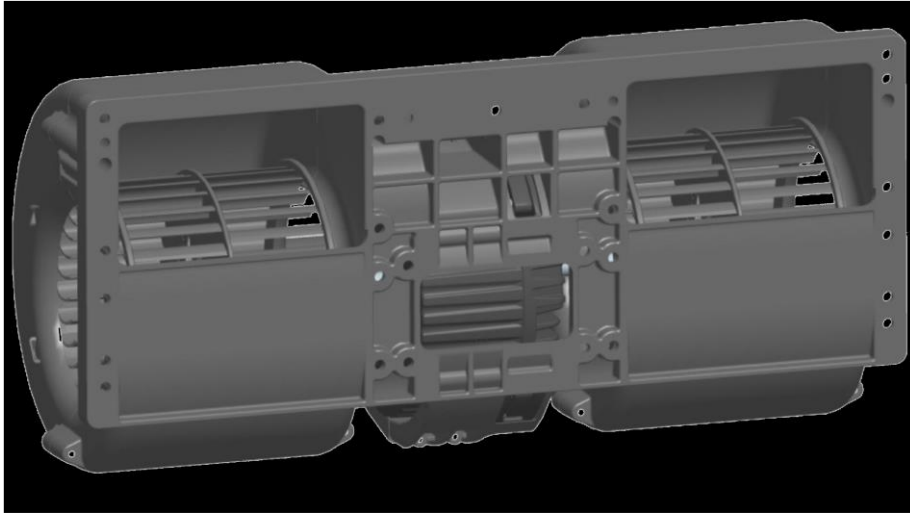


Figura 40 Convetor da Grayson

Tabela 9 Descrição do conector do convetor

| Pino | Descrição |
|------|-----------|
| 1 | VBATT+ |
| 2 | VBATT- |
| 3 | PWM_IN |
| 4 | Não usado |
| 5 | Não usado |
| 6 | Falha |

O *output* da unidade de processamento para o ventilador do convetor é enviado num sinal PWM (%). O *input* no pin 3 da ficha do ventilador varia entre 0 a 10 V, sendo que para o ventilador funcionar à velocidade máxima é necessário uma tensão analógica de 10 V. Na Figura 41 é possível verificar a relação entre a tensão analógica e velocidade do ventilador.

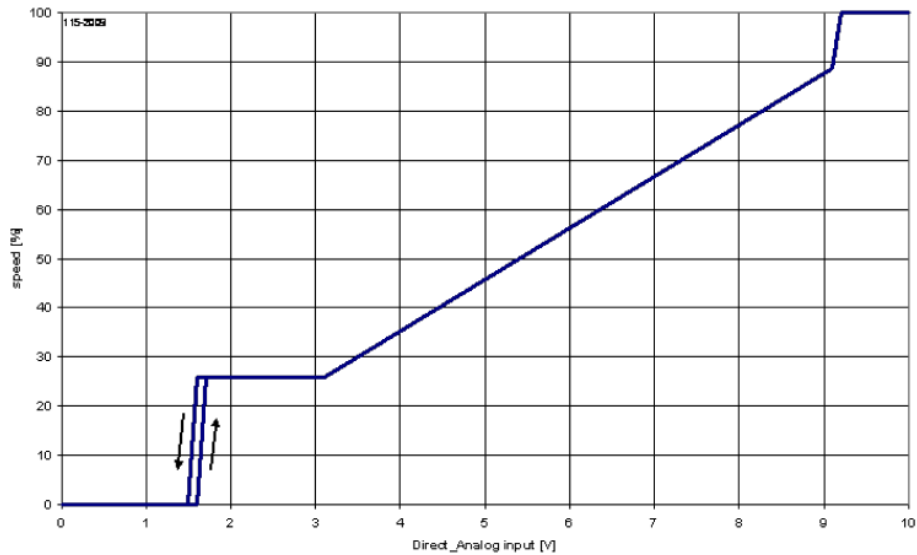


Figura 41 Variação da velocidade do ventilador com a tensão de entrada

4.2.7. CONTACTOR

Para efetuar o controlo de cargas num circuito de potência a partir de um circuito de comando, foi instalado um contactor para cada resistência.

Foi escolhido o contactor da marca GIGAVAC, presente na Figura 42, devido aos seguintes fatores:

- Reconhecido e classificado para quebra de carga para sistemas 1000 Vdc;
- Contactor hermeticamente selado: garante comutação até 1200 Vdc;
- Design patenteado pequeno, leve e económico;
- Escolha perfeita para sistemas fotovoltaicos/baterias de 600 Vdc e 1000 Vdc.



Figura 42 Contactor [47]

As principais características técnicas do contactor estão presentes na Tabela 10.

Tabela 10 Características técnicas do contactor

| Especificações | Dados | Unidades |
|--|-----------|----------|
| Tensão de contato, operação máxima | 1500 | Vdc |
| Transporte de corrente contínua, máx. (8 AWG) @ 25 °C | 50 | A |
| Transporte de corrente contínua, máx. (8 AWG) @ 85 °C | 25 | A |
| Vida Mecânica | 1.000.000 | ciclos |
| Queda de tensão do contato, máx. @ 50 A | 100 | mV |
| Temperatura, faixa operacional | -40 a +85 | °C |
| Peso | 135 | gramas |
| Suporta Corrente de Curto-Circuito (5 ms) | 400 | A |

O número máximo de ciclos do contactor varia com a corrente e a tensão. Observando a Figura 43 é possível verificar essa relação.

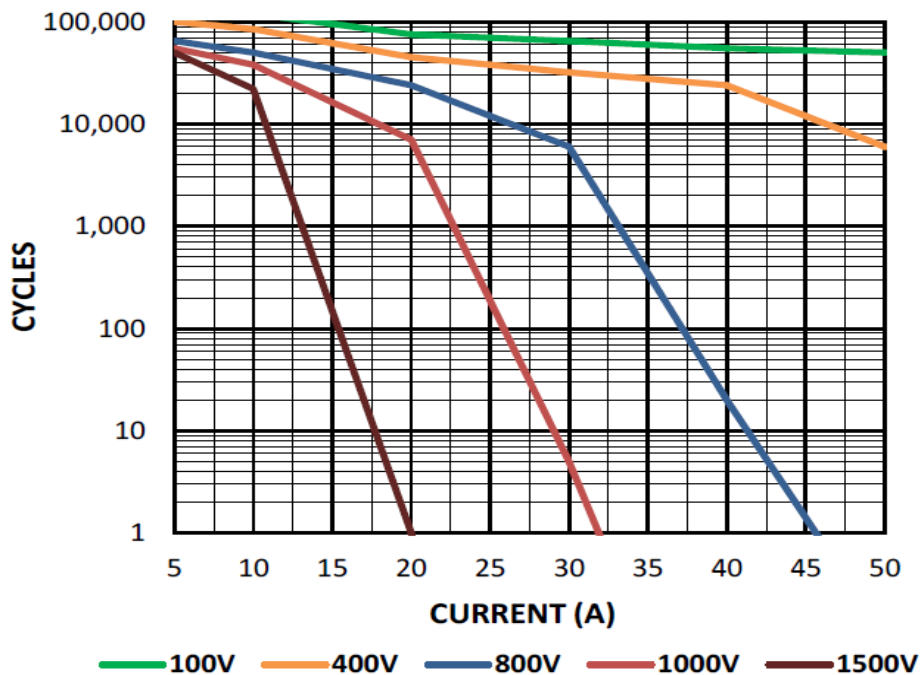


Figura 43 Estimativa do número máximo de ciclos do contactor [Anexo E]

4.2.8. BOMBA DE ÁGUA ELÉTRICA

Para regular o caudal de água do circuito AVAC foi utilizada uma bomba de água elétrica da Grayson. Foi escolhida esta bomba, presente na Figura 44, devido às seguintes características:

- Tempos de aquecimento reduzidos;
- Maior eficiência de arrefecimento;
- Mais económico;
- Motor sem escova;
- Silencioso em operação;
- Vários modos de controlo;
- Custos de manutenção reduzidos;
- Vida útil do motor até 40.000 horas;
- Design extremamente robusto;
- Proteção do motor IP66 / IP69K;
- Corte térmico;
- Proteção contra sobretensão.

O motor da bomba é projetado para operar até 40.000 horas com uma faixa de temperatura do fluido até -20 °C. A bomba pesa 4,2 kg, tem um *design* robusto e uma excepcional resistência à corrosão. Além disso, a bomba trabalha de forma silenciosa, tem um controlo de fluxo variável e comunica através de uma comunicação CAN (J1939).

As características técnicas da bomba de água da Grayson estão presentes na Tabela 11.

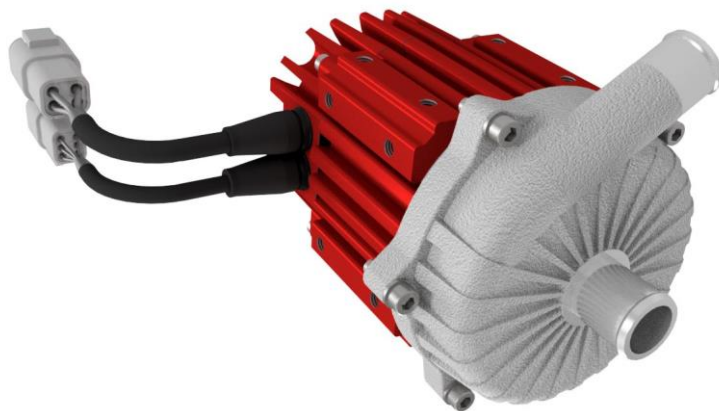


Figura 44 Bomba de Água Elétrica [49]

Tabela 11 Características técnicas da bomba de água [49]

| Caraterísticas técnicas | Valor |
|------------------------------|---|
| Corrente máxima | 19A |
| Taxa de fluxo máxima | 100 lpm |
| Pressão máxima | 2,2 bar |
| Peso | 4,2 kg |
| Temperatura do fluido | -20 °C a + 75 °C |
| Temperatura ambiente | -20 °C a +95 °C |
| Temperatura de armazenamento | -40 °C a +95 °C |
| Alimentação | 18 V a 32 V (otimizado para 27,2 V) |
| Capacidade de controlo | CAN J1939 / PWM / Default (<i>On/Off</i>) |

O controlo CAN permite que a bomba seja totalmente controlada e monitorizada via CAN. Esta comunicação está de acordo com a SAE J1939 e deve respeitar os seguintes requisitos:

- Todos os bits de mensagem CAN não utilizados devem ser definidos como 1;
- A mensagem de comando deve ser enviada em intervalos mínimos de 1 segundo;
- A mensagem de status da bomba é transmitida uma vez por segundo.

Na Figura 45 estão presentes os conetores da bomba de água. É possível verificar que esta necessita de um sinal de ignição para funcionar.

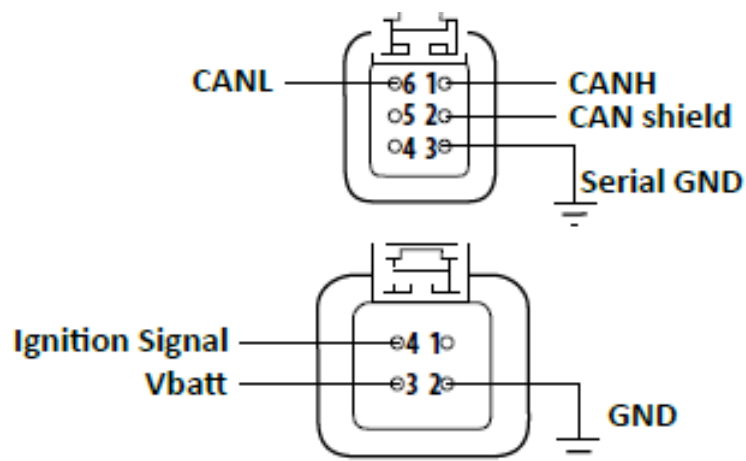


Figura 45 Conetores da bomba de água [49]

4.2.9. VÁLVULA DE ÁGUA

Para direcionar o caudal foram utilizadas válvulas de três vias da Buschjost. Na Figura 46 é possível visualizar a válvula utilizada. Esta válvula é controlada através de um motor e possui *feedback* resistivo. para saber o seu estado. As características técnicas estão presentes na Tabela 12.



Figura 46 Válvula de 3 vias

Tabela 12 Características técnicas da válvula de 3 vias

| Caraterística | Valor |
|----------------------------------|------------------|
| Temperatura do fluido | - 30 °C a 110 °C |
| Temperatura ambiente | -30 °C a 110 °C |
| Ângulo de ajuste | 180° |
| Peso | 0,44 kg |
| Tensão de entrada | 24 V |
| Consumo de energia | 2,4 W |
| Potenciômetro de <i>feedback</i> | 4,7 kΩ |

Na Figura 47 está presente as ligações necessárias para controlar a válvula. Para abrir e fechar a válvula são utilizados os pinos 4 e 6 e para ler o *feedback* são lidos os pinos 1 e 3.

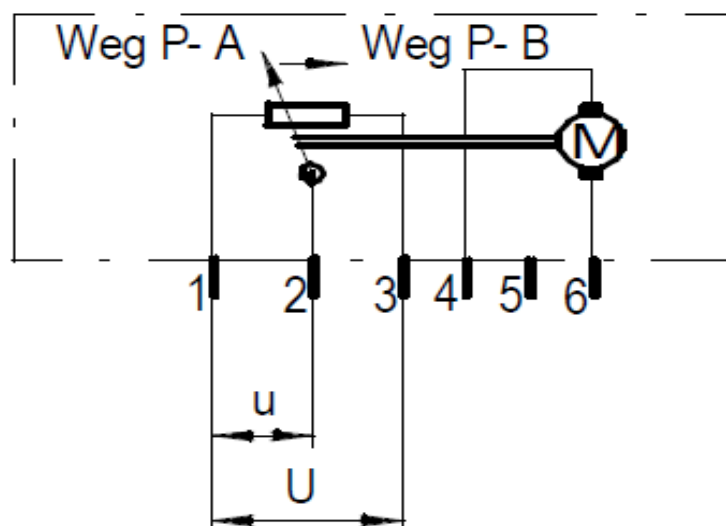


Figura 47 Diagrama de ligação dos fios [Anexo F]

4.2.10. SWITCH CUT-OUT TÉRMICO

Um *switch cut-out* térmico é um dispositivo de segurança que interrompe a corrente elétrica quando aquecido a uma temperatura específica. Para proteger mecanicamente o sistema de aquecimento, foi instalado em cada resistência um contactor que atua quando a temperatura da água chega aos 85 °C. As características técnicas do *cut-out* estão presentes na Tabela 13 e o seu posicionamento está presente na Figura 48.

Tabela 13 Características técnicas do *cut-out* térmico

| Caraterísticas | Valor |
|--|---|
| <i>Setpoint</i> de temperatura | 85 °C |
| Tolerância do <i>Setpoint</i> de temperatura | ±3 °C <i>Rising</i> ±4 °C <i>Falling</i> |
| Diferencial | 10 °C (APPROX.) |
| Material de construção | Plástico |
| Classificação elétrica | 24 V 0,75 A Resistivo 12 V 1,5 A Resistivo |
| Vida do <i>switch</i> | 10.000 ciclos |
| Conector | 2 pinos |
| Temperatura ambiente | -40 °C a +125 °C |
| Torque máximo | 16 Nm |

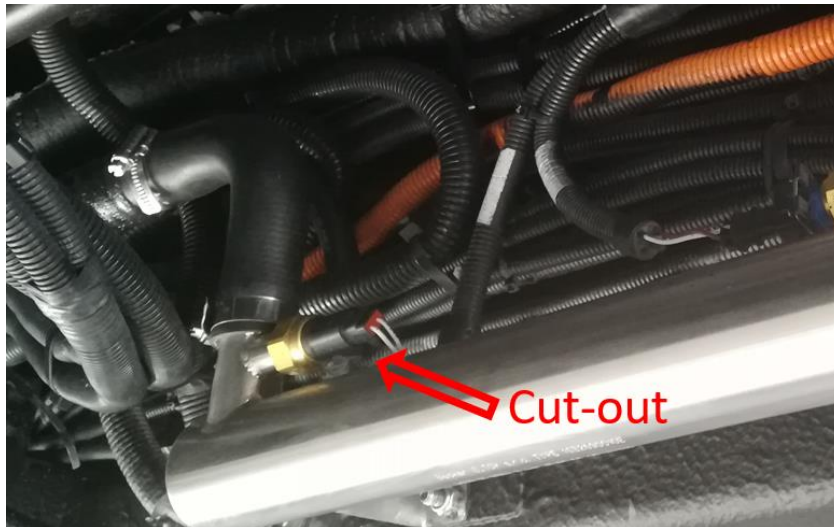


Figura 48 Switch cut-out térmico

4.3. LAYOUT DO SISTEMA AVAC

O sistema hidráulico AVAC foi desenvolvido pela equipa de chassis da CaetanoBus. Na Figura 49 é possível verificar o fluxo do caudal do sistema de aquecimento. A água é impulsionada pela bomba de água, passa pela zona do motorista caso este esteja a pedir aquecimento ou desembaciamento, abrindo uma válvula e depois passa pela resistência do aquecedor da zona 2. Por fim, passa na resistência da zona 1, voltando à bomba de água.

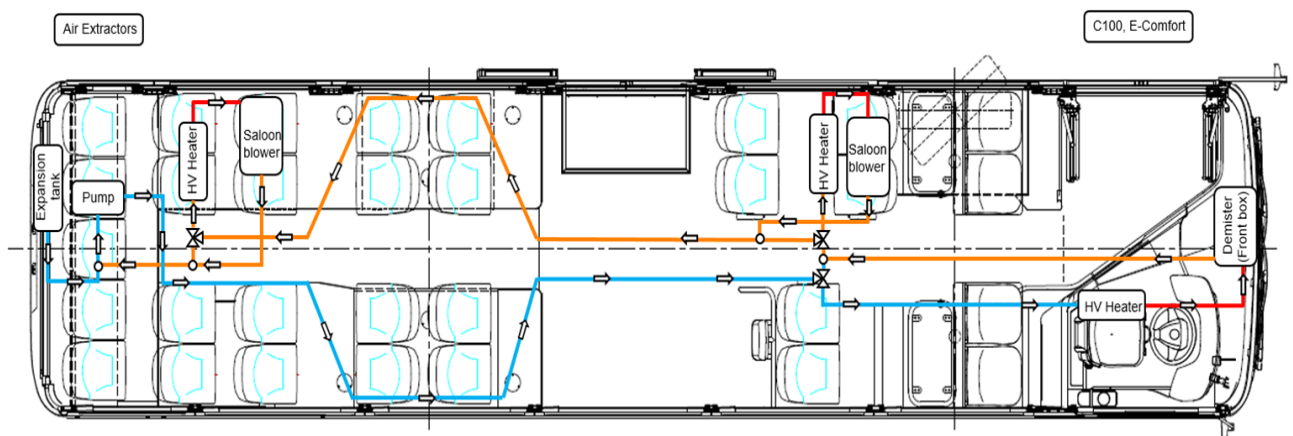


Figura 49 Esquema do sistema de aquecimento com o sentido do caudal

Na Figura 50 está o modelo 3D com a vista de lado do sistema AVAC e na Figura 51 a vista de cima com a localização de alguns componentes. Na Figura 52 está a localização dos componentes mais pormenorizada com recurso a fotos.

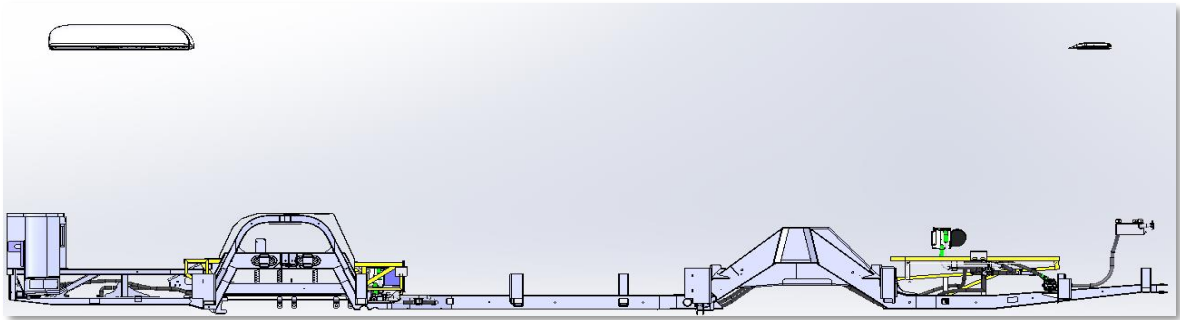


Figura 50 Modelo 3D do sistema AVAC com vista de lado

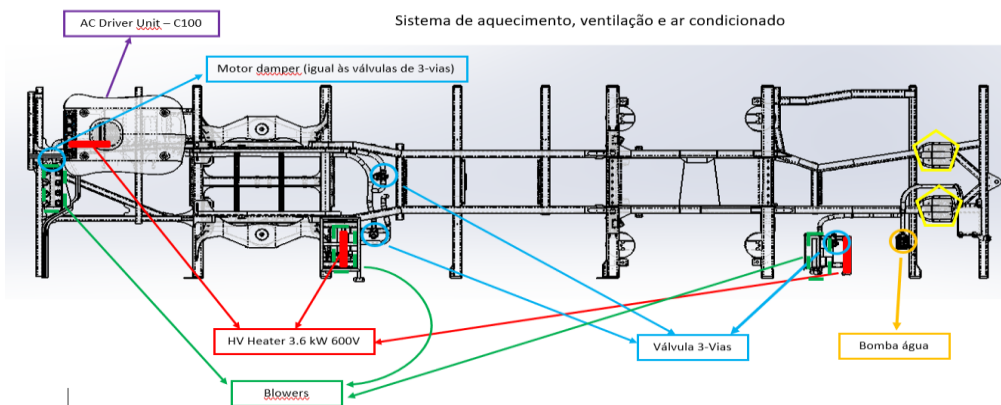


Figura 51 Modelo 3D do sistema AVAC com a localização dos principais componentes

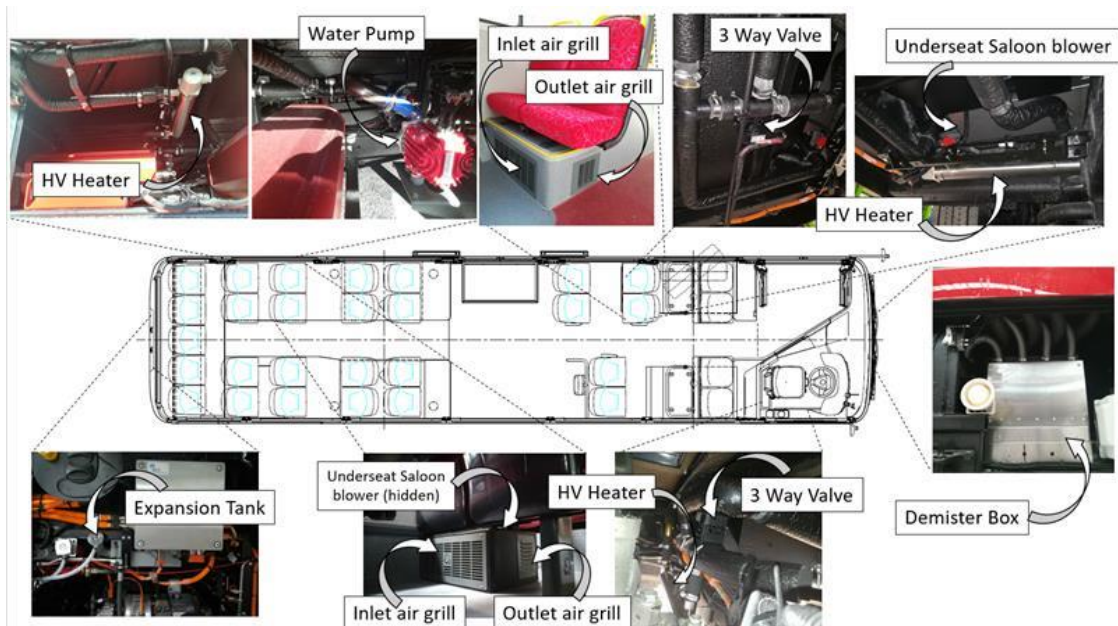


Figura 52 Localização fotográfica dos componentes do sistema de aquecimento

5. IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE

Neste capítulo é descrito toda a implementação realizada, que neste caso é o *software* desenvolvido para controlar o sistema AVAC.

O *software* foi desenvolvido a partir dos requisitos presentes no Anexo A. Estes requisitos, de alto nível, têm como base os pedidos funcionais dos clientes, as normas e os regulamentos a serem cumpridos

Tal como o sistema AVAC, o *software* foi dividido em três partes: sistema de aquecimento, sistema de ar condicionado e sistema de ventilação. A nível de controlo, o sistema de aquecimento é o mais complexo de todos, enquanto que no sistema de ar condicionado, apenas é necessário enviar informações para outro controlador.

A implementação do sistema passou por várias etapas, sendo que essas etapas têm como base um modelo conceitual de Engenharia de Sistemas/Desenvolvimento de Produto chamado de Modelo V, tal como se pode verificar na Figura 53.

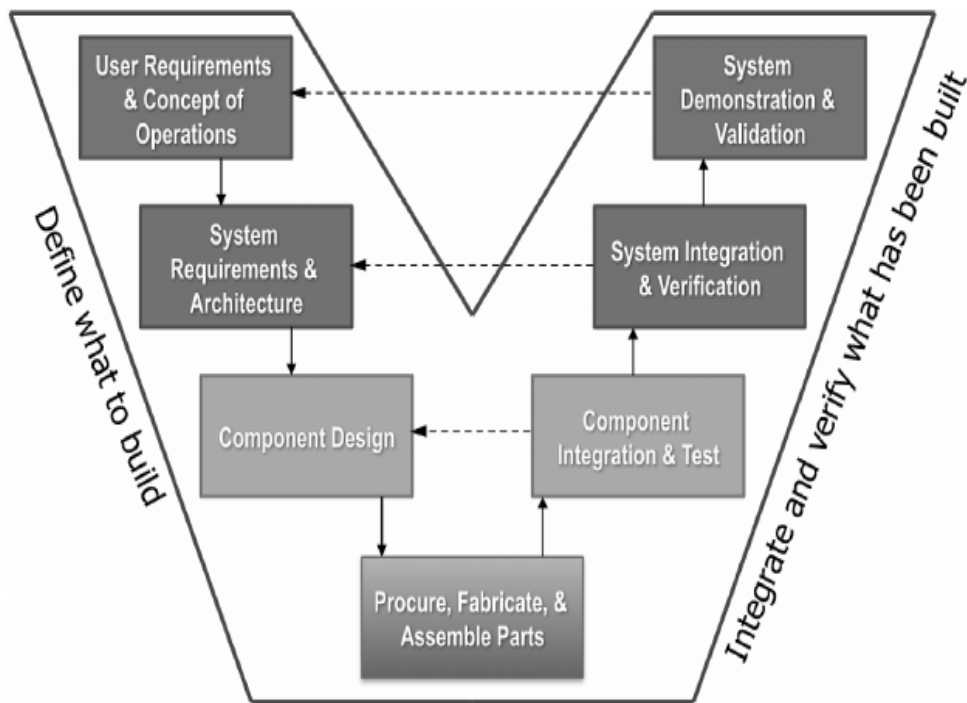


Figura 53 Modelo V [52]

5.1. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o ActiGRAF®[51]. Este projeta aplicativos funcionais MultiBUS, é compatível com Windows e é baseado no poderoso pacote ISaGRAF® Soft Logic. O aplicativo do sistema MultiBUS oferece uma interface gráfica clara para todos os módulos MultiBUS de programação. A linguagem de programação é desenvolvida no Straton que é compatível com a norma IEC61131-3. Este *software* permite criar, configurar e programar o dispositivo de controlo e os módulos de expansão (*slaves*). Também é possível efetuar simulações, cópias de segurança e edição em modo *online*.

A norma IEC 61131-1 tem como objetivo normalizar as aplicações e programação do PLC (*Programmable Logic Controller*). Esta norma sugere a criação de programas estruturados constituídos por diversos elementos, conhecidos como Unidades de Organização de Programas (POU). As variáveis têm de ser declaradas no início de cada POU sendo, posteriormente, utilizadas para inicializar, processar e guardar dados na memória. Através da norma IEC 61131-1 é mais simples a interpretação e alteração de qualquer solução de automação, uma vez que esta norma é global a todos os fabricantes.

5.1.1. LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

As linguagens de programação utilizadas na programação de PLC são diversas e a utilidade de cada uma varia consoante a aplicação a desenvolver e o nível de conhecimento do programador. Algumas linguagens são mais gráficas com semelhanças a esquemas elétricos, outras são textuais, de mais baixo nível e mais complexas, preferidas por quem tem formação na área informática. As várias linguagens de programação especificadas pela norma IEC 61131-3 que podem ser utilizadas na maioria dos PLC são as seguintes

- *Ladder Diagram*: é a técnica de programação de autómatos mais antiga e mais utilizada. É uma das linguagens de programação mais simples e intuitiva por ser uma linguagem gráfica. Apenas apresenta algumas limitações, nomeadamente, na utilização de memórias durante o programa;
- *Function Block Diagram (FBD)*: linguagem gráfica que direciona dados das entradas para as saídas através de blocos de dados alinhados, muito semelhante com os sistemas de eletrónica digital. Permite visualizar o sistema relativamente ao fluxo de sinais que estão a ser processados;
- *Sequential Function Charts (SFC)*: linguagem de programação gráfica que permite programação em ordem cronológica. Neste caso, o fluxo de informação não tem um único caminho definido, pode ir por diversos caminhos dependendo das condições e variáveis em cada momento. Assim, trata-se de uma programação mais flexível e com mais potencialidades. No entanto, como permite observar o que está a ser executado, possibilita uma melhor deteção de erros no programa;
- *Structured Text (ST)*: linguagem de programação baseado em texto, com instruções do tipo “*If/Else/Then*”, “*while*”, e outras semelhantes a outras linguagens de programação como C. Apesar de muito flexível e elevado poder é de mais difícil interpretação.

Neste projeto, a linguagem de programação mais utilizada foi o ST e o FBD, por serem mais intuitivos e de fácil aprendizagem.

5.2. SISTEMA DE AQUECIMENTO

O desenvolvimento do controlo do sistema de aquecimento passou por várias etapas, sendo elas as seguintes:

- criação das variáveis de *input/output*;
- verificação de quando é necessário ligar o sistema de aquecimento;
- verificação de falhas no sistema de aquecimento;
- avisos das falhas ao condutor;
- definição de quando se deve ligar os convetores;
- definição de quando se deve ligar os aquecedores;
- limitação da energia do sistema de aquecimento.

Na Figura 54 é possível verificar a estrutura do *software* do sistema de aquecimento.

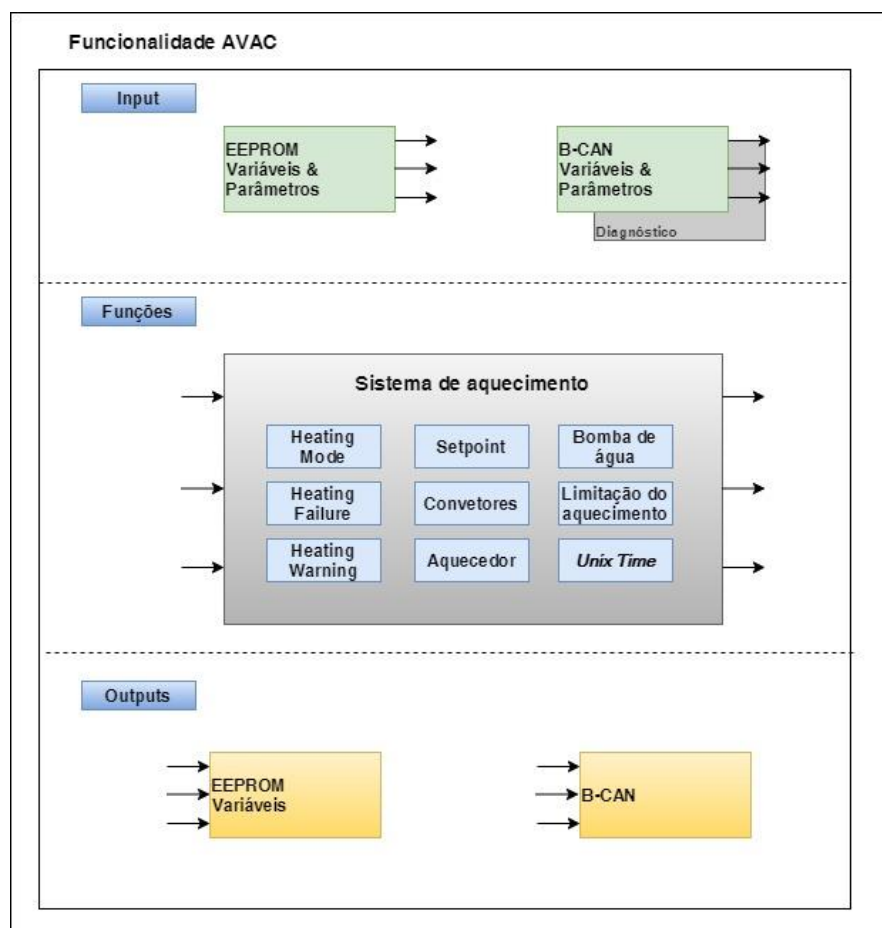


Figura 54 Estrutura do *software* do sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento entra em funcionamento de forma automática quando é necessário aquecer o salão dos passageiros e de forma manual quando o motorista pede aquecimento para ele ou desembaciamento dos vidros. Para o sistema de aquecimento funcionar é necessário verificar uma série de pontos, tendo sido designado a função de *Heating Mode* para ativar o aquecimento. Ao longo deste subcapítulo é explicado todos os requisitos para ligar o aquecimento, assim como toda a segurança. No diagrama da Figura 55 é possível verificar de forma global todo o funcionamento do sistema de aquecimento.

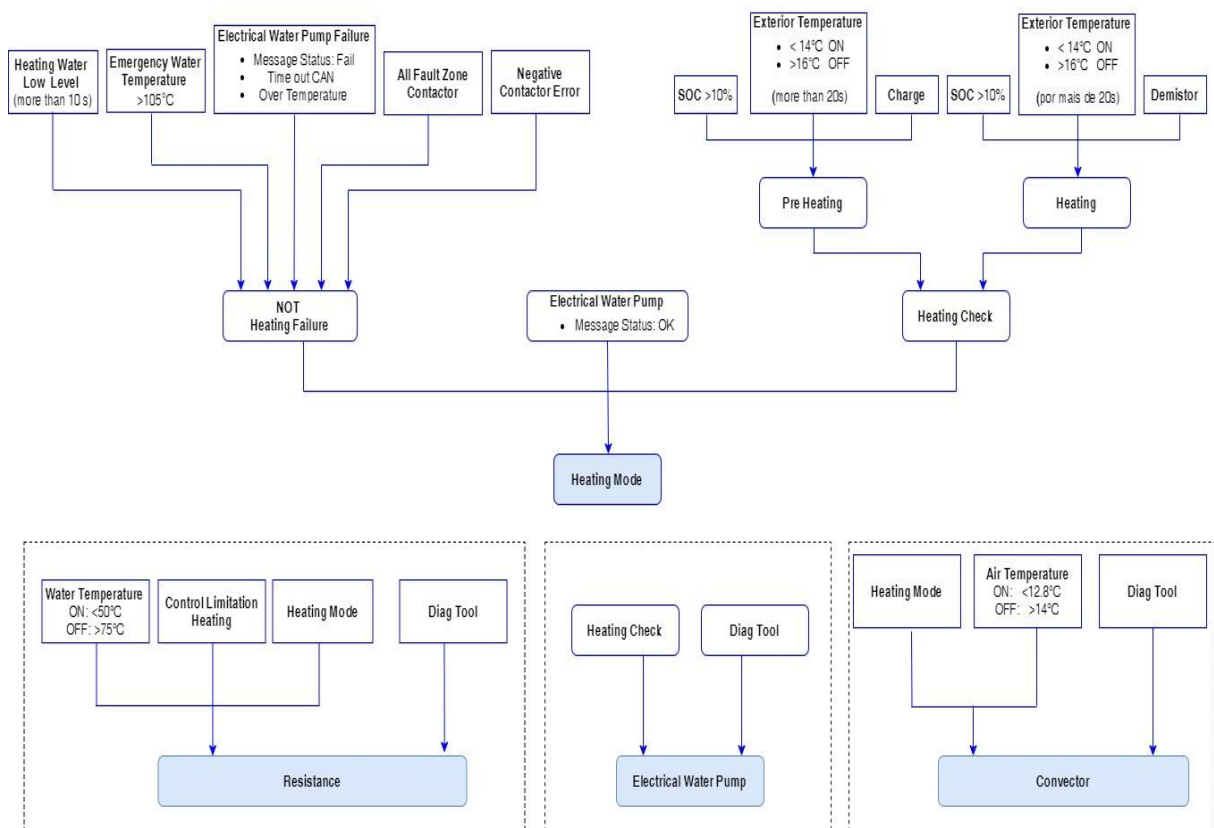


Figura 55 Diagrama geral do funcionamento do sistema de aquecimento

5.2.1. ESTADO DE *HEATING MODE*

A funcionalidade do *Heating Mode* faz ativar o sistema de aquecimento e tal como se pode verificar na Figura 56, para ativar este estado é necessário cumprir três condições:

- Não existir falhas graves no sistema de aquecimento (estado *Heating Failure*);
- Bomba de água estar a funcionar corretamente, isto é, estar a receber mensagem da bomba via CAN e rotação superior a 1000 rpm (estado *Electrical Water Pump*);
- Temperaturas abaixo do *setpoint* ou pedido para aquecer (*Heating Check*).

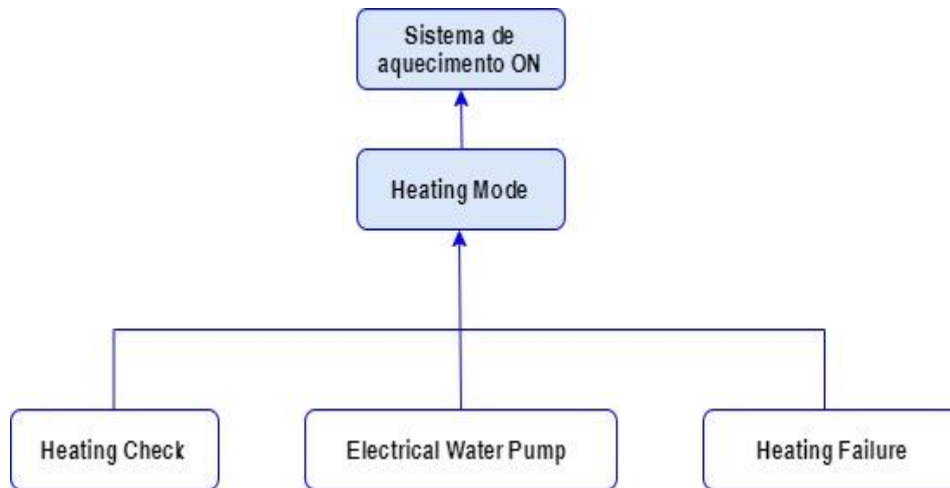


Figura 56 Diagrama do modo de funcionamento do sistema de aquecimento

5.2.2. ESTADO DE *HEATING CHECK*

No estado de *Heating Check* é diferenciado dois modos de aquecimento, o aquecimento normal (*Normal Heating*), quando o autocarro se encontra em operação, e o pré-aquecimento (*Pre-Heating*), quando o autocarro se encontra a carregar.

O estado de *Normal Heating* é ativado quando:

- existe um pedido de aquecimento ou desembaciamento (*demister*) por parte do motorista;
- a temperatura é menor que o *setpoint* definido;
- o autocarro tenha mais de 10% de bateria (SoC);
- o autocarro esteja em modo *Running*.

O estado de *Pre-Heating* é ativado quando:

- o autocarro se encontra em carregamento (*Charging*);
- recebe um pedido de aquecimento por parte do controlador do carregamento;
- o SoC superior a 10%;
- a temperatura é menor que *setpoint* definido.

Na Figura 57 está presente um diagrama com todas as condições necessárias para ativar o *Heating Check*.

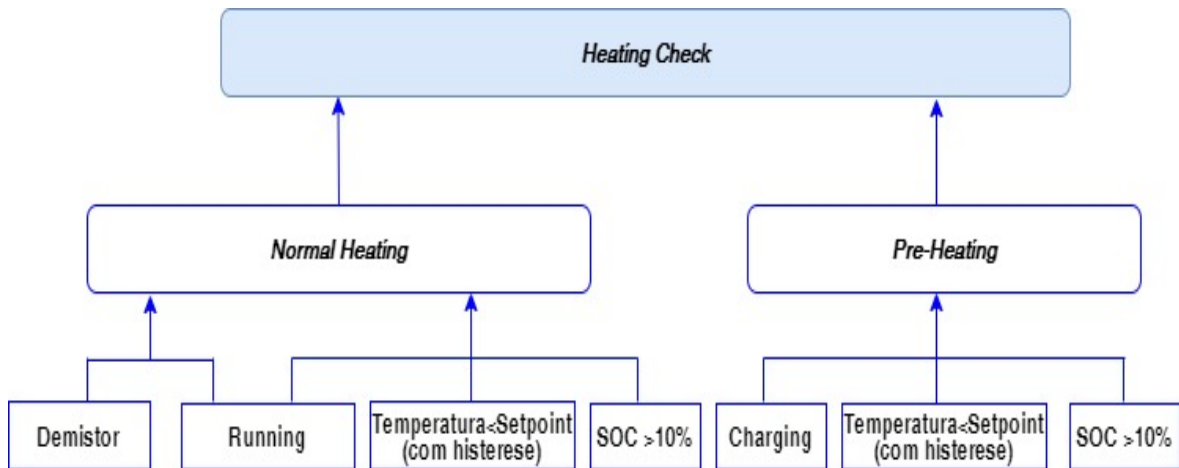


Figura 57 Diagrama de ativação do estado *Heating check*

5.2.3. CONTROLO DA BOMBA DE ÁGUA ELÉTRICA

O controlo da bomba de água é muito importante num sistema de aquecimento, pois pode comprometer a segurança do sistema. Deste modo, a bomba de água envia vários sinais via CAN de 100 em 100 ms com o estado da bomba. Na Tabela 14 é possível verificar esses sinais e o que significam.

A bomba de água vai ligar quando for ativo o estado *Electrical Water Pump*. Este estado, tal como se pode verificar na Figura 58, é ativo através do estado de *Heating Check* ou a partir da ferramenta de diagnóstico (*Diag Tool*) que será explicada no subcapítulo 5.3.

Para definir a velocidade da bomba de água foram realizados vários testes em que consistiu variar a velocidade até ter medir 25 l/m de caudal de água junto a cada resistência, tal como se pode verificar na Figura 59. Após os testes foi definido uma velocidade fixa de 2500 rpm.

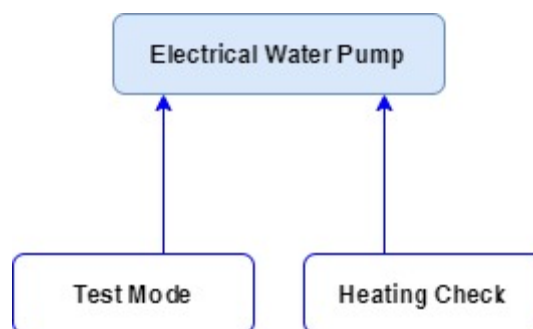


Figura 58 Diagrama com a ativação da bomba de água

Tabela 14 Mensagens da bomba de água

| Informação | Sinais | Descrição |
|-------------------------|----------------|---|
| Pump Ok | MotorStatus=0 | A bomba está a funcionar corretamente. |
| Pump stalled | MotorStatus=1 | A bomba falhou ao iniciar. |
| Pump Fail | MotorStatus =4 | A bomba não iniciou corretamente. |
| Over current | MotorStatus=5 | A bomba está na corrente máxima, mas não atingiu a velocidade desejada. |
| Over voltage | MotorStatus=6 | A tensão de alimentação está acima de 32 V. |
| Over Temperature | MotorStatus=9 | Valor da temperatura acima de 95 °C, medido a partir do sensor de temperatura interno da bomba. |



Figura 59 Teste ao caudal do sistema de aquecimento

5.2.4. DEFINIÇÃO DO *SETPOINT*

Para controlar a temperatura dentro do autocarro foi definido um *setpoint*. Este pode ser das seguintes formas:

- Fixo em relação à temperatura exterior;
- Fixo em relação à temperatura interior;
- Variar de acordo com a temperatura exterior.

Foi implementado no *software* todas as opções do *setpoint*, no entanto, após consultar o cliente foi definido o *setpoint* fixo em relação à temperatura exterior. O cliente também definiu a temperatura de 14 °C para *setpoint*, ou seja, o sistema de aquecimento deve ligar quando as temperaturas exteriores forem menores que esse valor.

Na implementação do *setpoint* foi criada uma histerese para os atuadores do sistema de aquecimento não estar a comutar muitas vezes num curto espaço de tempo. Deste modo foi definido um intervalo de 2 °C e um tempo de 20 segundos para ligar e desligar o sistema de aquecimento, isto é, quando a temperatura exterior é menor que ao *setpoint* de 14°C durante 20 segundos, é necessário aquecer e quando a temperatura exterior é superior a 16 °C durante mais de 20 segundos não é necessário aquecer. Na Figura 60 é possível visualizar fluxograma que representa a da histerese do *setpoint*.

Na hipótese da definição do *setpoint* através da variação temperatura exterior foram definidas 3 curvas e a explicação desta implementação está presente no Anexo G.

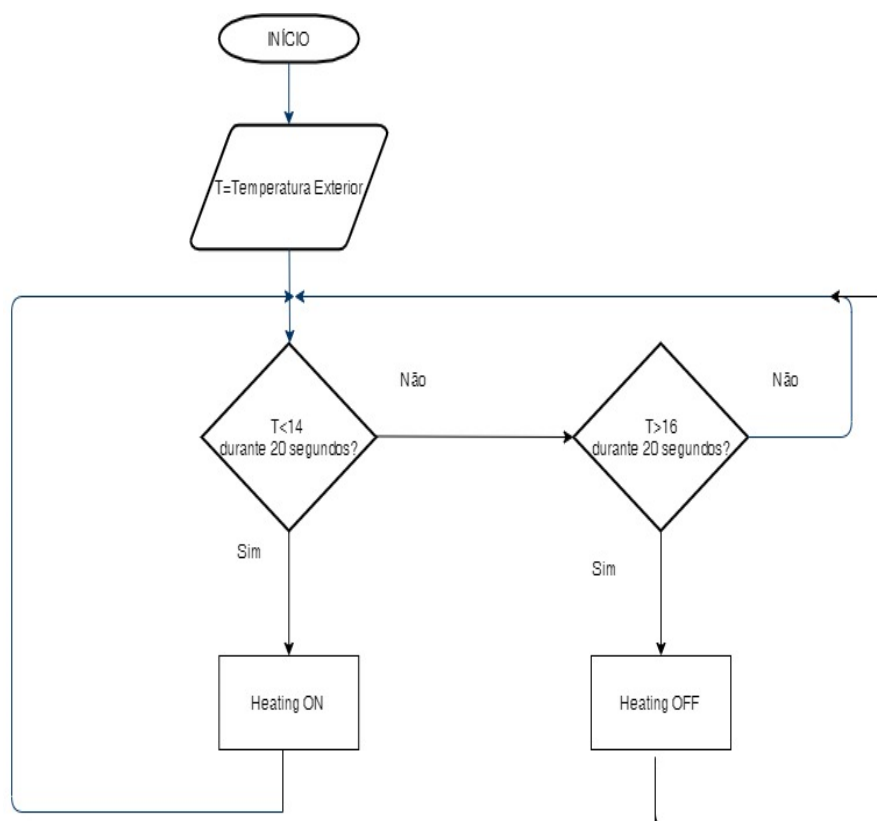


Figura 60 Fluxograma da histerese da temperatura do ar exterior

5.2.5. ESTADO DE *HEATING FAILURE*

A verificação da existência de falhas num sistema de aquecimento é muito importante, não só pela segurança, mas também para o seu bom desempenho. Deste modo foram diferenciadas as falhas que comprometem a segurança do autocarro, sendo estas denominadas como *Critical Failure*, e as outras, que afetam o comportamento do sistema de aquecimento, como *Performance Failure*.

Para não comprometer a segurança do autocarro, sempre que existir alguma falha grave no sistema de aquecimento, este desliga-se ou caso já exista a falha não deixa iniciar o aquecimento. Na Tabela 15 estão presentes as falhas graves e a descrição dessas falhas.

Tabela 15 Descrição das falhas graves do sistema de aquecimento

| Falhas | Descrição |
|--|--|
| Low Level Water | O nível de anticongelante não estiver no nível correto por mais de 10 segundos. |
| Emergency Water Temperature | A temperatura da água ser superior a 105 °C. |
| Electrical Water Pump Failure | Sinais que a bomba envia quando está em falha (ver Tabela 14). |
| All Fault Zone contactor | Curto-circuito ou circuito aberto ao mesmo tempo nos contactores da zona 1, 2 e 3. |
| Negative Contactor Error | Curto-circuito ou circuito aberto no contactor negativo de segurança. |
| Fault Water Temperature Sensors | Curto-circuito ou circuito aberto nos sensores de temperatura da água. |
| Fault Air Exterior Temperature Sensor | Curto-circuito ou circuito aberto no sensor de temperatura exterior. |

As falhas que foram consideradas que afetam o desempenho do sistema de aquecimento são as seguintes:

- Curto circuito ou circuito aberto no contactor da zona 1 ou 2 ou 3;

- Curto circuito ou circuito aberto nos sensores de temperatura do ar.

Para avisar o motorista caso ocorra alguma falha é mostrado um símbolo de erro no ecrã presente na cabine do motorista. Este símbolo pode ser consultado no subcapítulo 5.6, na Tabela 20. Ambas as falhas, *critical failure* e *performance failure* ativam o mesmo símbolo, no entanto, após ocorrer uma falha, a forma de apagar o erro do ecrã do motorista difere. Para a falha *critical failure* é necessário desligar completamente o autocarro e voltar a ligar e para a outra falha é só necessário colocar o carro em ignição. No caso do símbolo permanecer no *display* é porque a falha continua a existir, ou seja, não foi resolvida.

5.2.6. CONTROLO DOS CONVETORES

O controlo dos convetores do salão dos passageiros é realizado a partir da temperatura interior do autocarro. O controlo dos convetores é independente entre eles, pois cada zona pode ter uma temperatura diferente. Deste modo, na zona 1 do autocarro os convetores ligam quando temperatura do ar é inferior a 12,8 °C e desligam quando é superior a 14 °C. Na zona 2 os convetores ligam quando temperatura do ar é inferior a 14 °C e desligam quando é superior a 15,2 °C. Tal como se pode verificar na Figura 61, para controlar o convetor, além da temperatura interior é necessário estar ativo o estado de *Heating Mode* e tal como os outros atuadores, também é possível ativar através da ferramenta de diagnóstico.

O convetor da cabine do motorista é controlado manualmente pelo motorista através do controlador AC, não sendo necessário desenvolver *software* para o controlar.

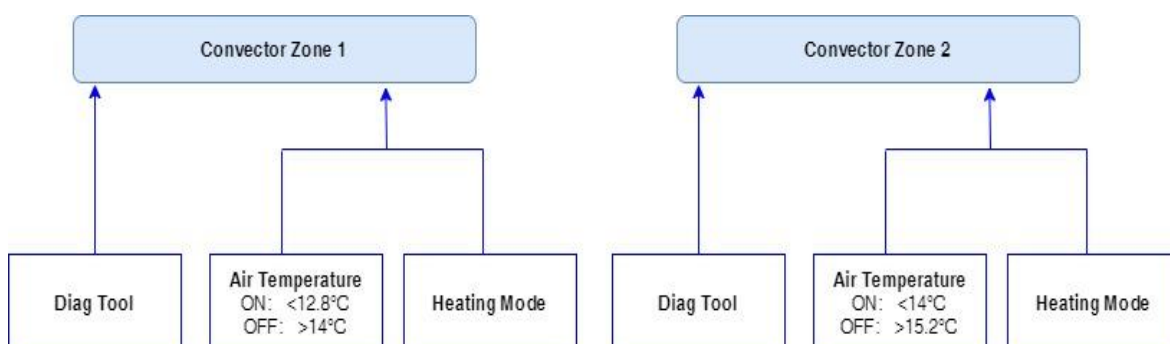


Figura 61 Diagrama do funcionamento dos convetores do salão dos passageiros

O *output* para os ventiladores dos aquecedores de salão dos passageiros é enviado através de um sinal PWM [%], correspondendo ao *input* no pino 3 da ficha de cada ventilador que varia entre 0 V a 10 V. A configuração da velocidade dos ventiladores está presente na Tabela 16 e é possível verificar que no modo de *Pre-Heating*, ou seja, quando o carro está a carregar, os ventiladores funcionam à velocidade máxima e quando o autocarro está em operação normal a velocidade é relativamente mais baixa. Apesar de aquecer mais rápido quando os ventiladores estão na velocidade máxima, durante a operação normal do autocarro não é possível isso acontecer devido à elevada emissão de ruído.

Tabela 16 Configuração da velocidade dos convetores

| Estados | PWM | Tensão |
|--------------------|------|--------|
| <i>Pre-Heating</i> | 100% | 10 V |
| <i>Heating</i> | 60% | 6 V |

5.2.7. CONTROLO E LIMITAÇÃO DA ENERGIA DAS RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS

As resistências elétricas dos aquecedores fazem aquecer a água do sistema de aquecimento. Elas são ativadas quando se verificam as condições presentes no diagrama da Figura 62.

O algoritmo de controlo de aquecimento só atua quando o carro está no estado de *running*. No caso em que o autocarro está a carregar é efetuado o pré-aquecimento da zona dos passageiros, e neste caso não é necessário limitar a energia consumida do sistema, pois está-se a gastar a energia da rede elétrica e não das baterias. Assim sempre que o pré-aquecimento é efetuado são ligadas as três resistências sem limitação de energia. Desta forma, quando o autocarro iniciar a sua operação, a água vai estar quente, ou seja, é como se tivesse uma bateria extra, em que a energia está sob forma de calor. No entanto a resistência não fica ligada infinitamente, pois quando a temperatura da água medida em cada resistência atinge os 75 °C, a resistência elétrica respetiva desliga e com uma temperatura menor que 50 °C volta a ligar. Além disto, tal como foi referido no início deste documento, foi necessário limitar a energia consumida pelo sistema de aquecimento a 4 kWh. Deste modo foi desenvolvido um algoritmo de limitação em que informa o tempo e quais as resistências que vão estar ligadas.

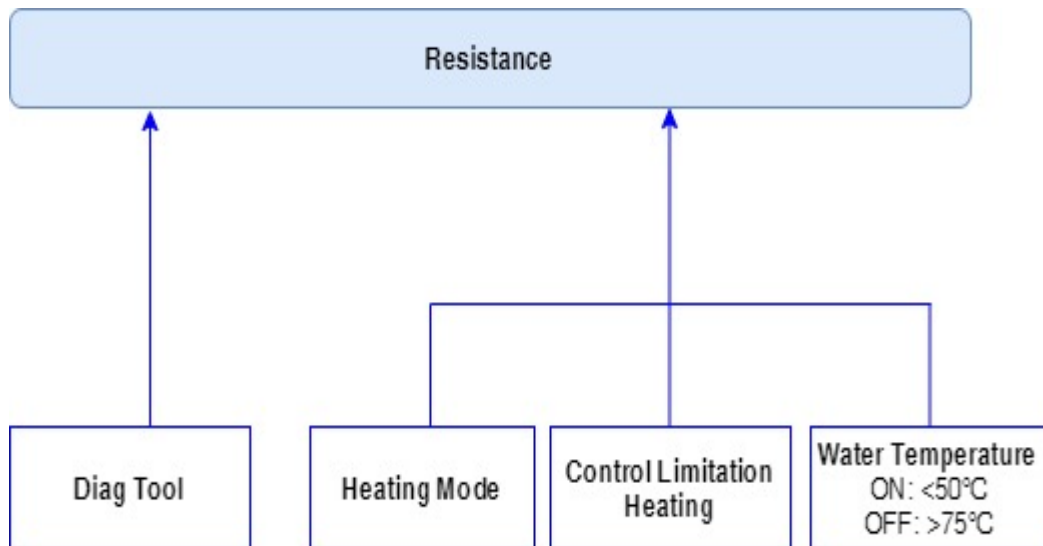


Figura 62 Diagrama do funcionamento das resistências elétricas dos aquecedores

Para o desenvolvimento do algoritmo de controlo da limitação de energia de aquecimento foram definidos os seguintes aspetos:

- para temperaturas exteriores superiores a 8 °C, só é necessário no máximo uma resistência;
- para temperaturas exteriores entre [0, 8] °C, é necessário no máximo duas resistências;
- para temperaturas exteriores inferiores a 0 °C, é necessário as três resistências.
- é considerada uma limitação de 4 kWh entre carregamentos, ou seja, quando o autocarro está em modo de carregamento é feito um *reset* a todas as variáveis do sistema do algoritmo de controlo;
- de 10 em 10 minutos é verificada a energia disponível para gastar e consoante isso o algoritmo define quanto tempo e o número máximo de resistências que podem estar ligadas;
- não ligar nenhuma resistência quando o tempo da duração da resistência ligada for menor que 5 minutos;
- otimizar a vida dos contactores intercalando a ligação das resistências, isto é, não estar sempre a comutar a mesma resistência.

Para se fazer a verificação da energia de 10 em 10 minutos é iniciado um *timer* quando se liga o carro. Assim que passa 10 minutos é ativada uma *flag* para realizar a verificação de energia. O tempo contado através deste *timer* é guardado na variável *TempoTotal*.

No cálculo da energia é necessário verificar a potência ao longo do tempo. Esta energia, em kWh, é calculada através da equação (11) com um período de amostragem de 10 segundos.

$$E_{heating} = \int_0^T P(t) dt \quad (11)$$

Como a potência da resistência de aquecimento varia consoante a tensão, é necessário calcular essa potência ao longo do tempo através da equação (12), em que *Nr* é o número de resistências ativas e *V* é tensão das baterias.

$$P = \frac{V^2}{100} \times Nr \quad (12)$$

Após ter a energia calculada, é determinada a energia acumulada da seguinte forma:

$$Energy_{Acc} = TempoTotal(s) \times LP - E_{heating} \quad (13)$$

em que *LP* é parâmetro de limitação de energia, ou seja, neste caso é 4 kWh.

A seguir é calculada a energia disponível para ligar as resistências através da seguinte equação:

$$EnergyAllowed = \left(\frac{LP}{6} + \frac{Energy_{Acc}}{3600} \right) \times 6 \quad (14)$$

Nesta equação (14), o número 6 significa o número de vezes que a energia é verificada em uma hora. Neste caso poder-se-ia substituir este número por um parâmetro, pois assim tornava mais fácil modificar o tempo de verificação da energia.

Tendo a energia disponível para ligar as resistências é calculado o número de resistências que é possível ligar com essa energia através da seguinte equação:

$$NumberResistorAllowed = \left(\frac{EnergyAllowed}{\frac{V^2}{100}} \right) \times 1000 \quad (15)$$

O significado dos valores que esta equação retorna estão presentes na Tabela 17.

Tabela 17 Significado dos valores retornados pela equação (15)

| Valor | Descrição |
|------------------|--|
| $]-\infty; 0,5]$ | Nenhuma resistência ligada |
| $]0,5;1[$ | Uma resistência ligada parcialmente |
| $[1;1,5 [$ | Uma resistência ligada durante 10 minutos |
| $[1,5;2[$ | Uma resistência ligada durante 10 minutos e outra ligada parcialmente |
| $[2; 2,5[$ | Duas resistências ligadas durante 10 minutos |
| $[2,5;3[$ | Duas resistências ligadas durante 10 minutos e outra ligada parcialmente |
| $[3; +\infty [$ | Três resistências ligadas durante 10 minutos |

No entanto como já referido anteriormente, o número de resistências ligadas além de depender da energia disponível para gastar, também depende da temperatura exterior. Assim, na Figura 63 está presente o número resistências que vão ser ligadas de acordo com as condições da temperatura exterior e energia.

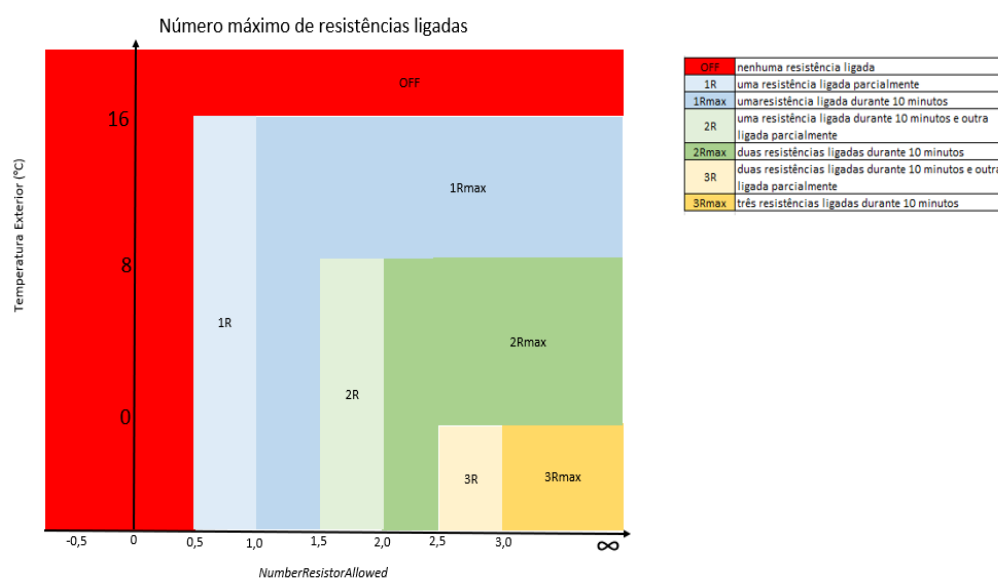


Figura 63 Variação do número de resistências ligadas com as condições de energia e temperatura exterior

Para calcular o tempo parcial que as resistências vão estar ligadas em 10 minutos, ou seja, no caso de 1R, 2R e 3R, é necessário retirar a parte decimal do NumberResistorAllowed. Após isto, efetuando o cálculo da equação (16) é possível determinar o tempo parcial.

$$\text{TempResistorON}_{(s)} = \text{PartDecimalNumberResistor} \times 600 \quad (16)$$

Por exemplo, para o caso do $\text{NumberResistorAllowed} = 1,6$ teremos $\text{PartDecimalNumberResistor} = 0,6$ e assim o tempo da resistência ligada parcialmente será 360 segundos. Ou seja, em 10 minutos a resistência vai estar ligada durante 6 minutos, enquanto a outra resistência estará ligada os 10 minutos.

Para otimizar a vida dos contactores foi implementada uma função para determinar qual o contactor com maior vida, ou seja, o contactor que comutou menos vezes. No fluxograma da Figura 64 é possível verificar como foi comparada o número de comutações de cada contactor.

Depois é ligada a resistência consoante o contactor com menos comutações e consoante o número máximo de resistências determinadas através da limitação da energia.

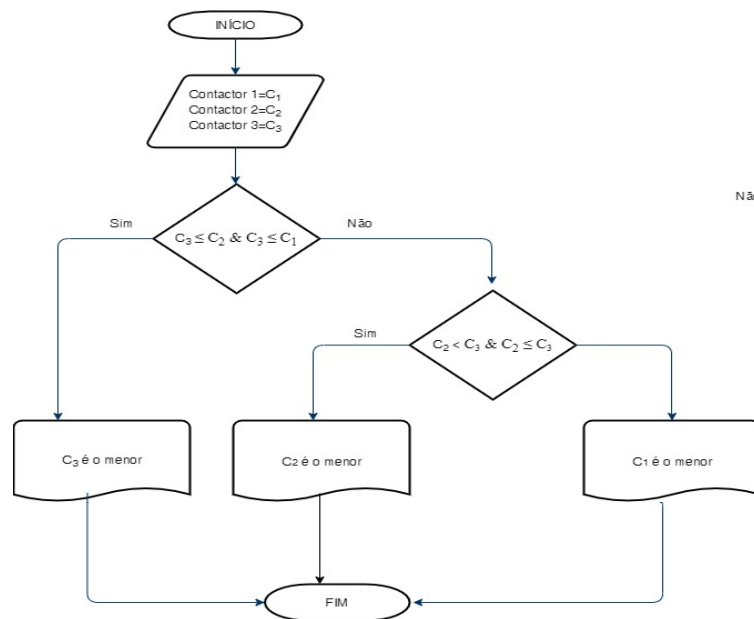


Figura 64 Fluxograma da função para detetar o contactor com maior vida

5.2.8. UNIX TIME CAETANOBUS

O *unix time* é uma forma de controlar o tempo, contando o total de segundos de uma execução. Essa contagem começou na Época do *Unix* em 1 de janeiro de 1970. Portanto, o registro de data e hora do *unix* é meramente o número de segundos entre uma data específica e a Época do *Unix*. Este método é bastante útil, porque, por exemplo, para os humanos saber o que aconteceu primeiro, se foi em 01/10/2020 11:43:36 ou em

03/05/2020 13:09:12 é algo quase automático, no entanto, para verificar isto num programa todos os 6 campos teriam que ser analisados independentemente. Apesar de isto ser realizado quase que instantaneamente, não deixa de ser um trabalho extra que o processador poderia evitar se fizesse uso de outro formato de data. Desta forma o *unix time* simplifica esta comparação.

Neste projeto o *unix time* foi utilizado para contar o tempo em que o autocarro está desligado, entre carregamentos, de modo a simplificar o cálculo através de datas. No entanto foi criado um novo *unix* e não aquele que existe em vigor presente em [53].

Para determinar a equação do cálculo do *unix time* foi definido a data inicial de contagem em 01/01/2020. Assim através da Equação (17) é possível calcular o *unix time* numa determinada data e a um determinado tempo, sendo necessário apenas o ano, o mês, o dia, a hora, os minutos e os segundos. Na Tabela 18 está presente o número do *unix time* para cada mês do ano consoante os anos comuns e os anos bissextos.

$$UnixTime = (Ano - 2020) \times 31.536.000 + MÊS_{unix} + dias \times 86400 + horas \times 3600 + MIN \times 60 + SEG \quad (17)$$

Tabela 18 Cálculo do mês *unix time*

| Ano Comum | | Ano Bissexto |
|-------------|-------------------|--------------|
| MÊS | UNIX | |
| 1-janeiro | 0 + dias | 0 + dias |
| 2-fevereiro | 2.678.400 + dias | 2.678.400 |
| 3-março | 5.097.600 + dias | 5.184.000 |
| 4-abril | 7.776.000 + dias | 7.862.400 |
| 5-maio | 10.368.000 + dias | 10.454.400 |
| 6-junho | 13.046.400 + dias | 13.132.800 |
| 7-julho | 15.638.400 + dias | 15.724.800 |
| 8-agosto | 18.316.800 + dias | 18.403.200 |
| 9-setembro | 20.995.200 + dias | 21.081.600 |
| 10-outubro | 23.587.200 + dias | 23.673.600 |
| 11-novembro | 26.265.600 + dias | 26.352.000 |
| 12-dezembro | 28.857.600 + dias | 28.944.000 |

5.3. FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Para testar o funcionamento do sistema de aquecimento foi desenvolvida pela equipa de engenharia da CaetanoBus uma ferramenta de diagnóstico (*Diag Tool*). Esta ferramenta permite controlar a bomba de água, as resistências, os convetores e os contactores. Além de controlador, também é possível verificar o *status* do sistema de aquecimento, como por exemplo as temperaturas do autocarro. Na Figura 65 está presente o *layout* da ferramenta de diagnóstico da parte do aquecimento.

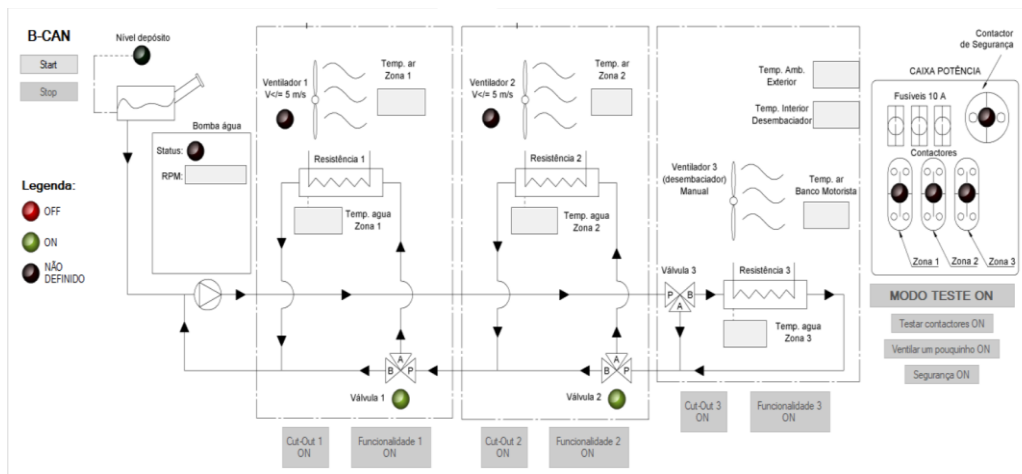


Figura 65 Layout da interface da ferramenta de diagnóstico

5.4. VENTILAÇÃO DO SISTEMA AVAC

Em termos de ventilação, este sistema AVAC apenas tem extractores e estes são acionados manualmente pelo condutor. Os extractores, com duas velocidades, têm a função de extração de ar e são comandados por um botão presente na Figura 66.



Figura 66 Botão para controlar os extractores

A nível da lógica de controlo dos extratores, além de ser necessário verificar quando o botão é premido, também é preciso ter em conta se o ar condicionado está ligado. Assim, sempre o condutor carregar no botão para ativar os extratores e o AC estiver ligado em modo de frio, os extratores vão desligar ao fim de 15 segundos, e assim deverão permanecer até que o AC seja desligado. Na Figura 67 é possível verificar o fluxograma desenvolvido para controlar a funcionalidade dos extratores.

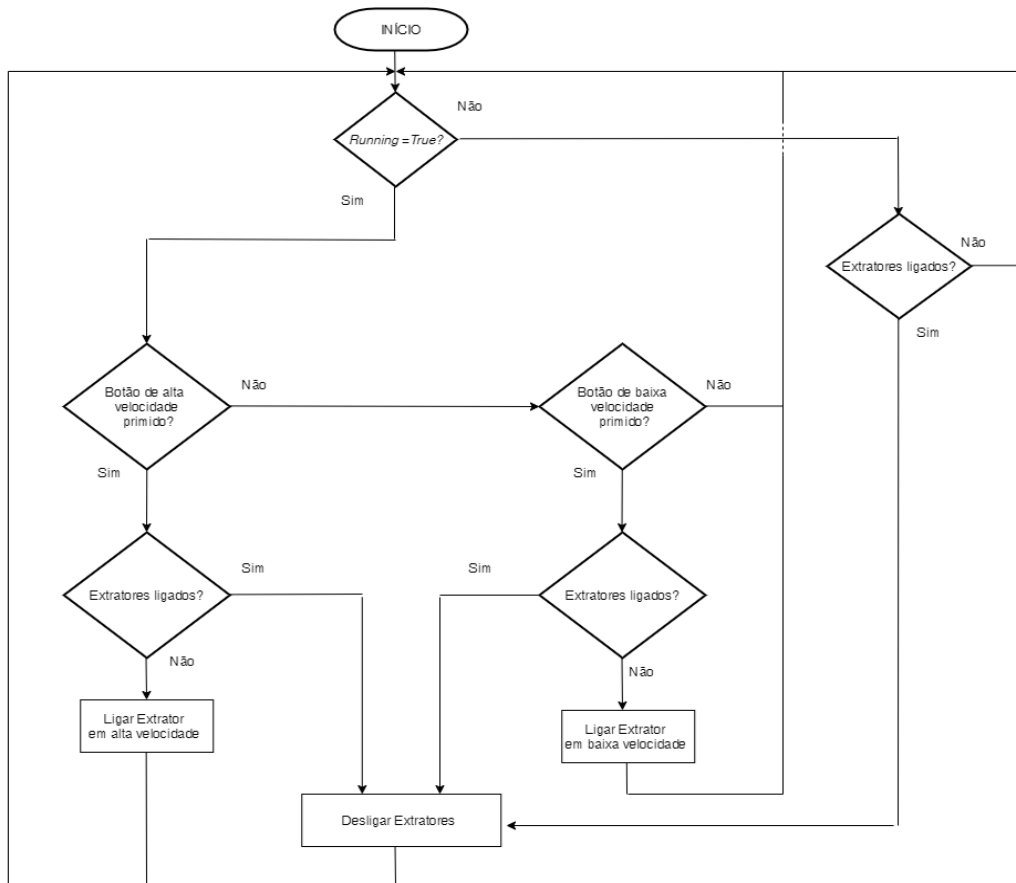


Figura 67 Fluxograma do controlo dos extratores










5.5. CONTROLO DO AR CONDICIONADO

O autocarro apenas possui ar condicionado na cabine do condutor e é acionado manualmente pelo motorista. Para o controlo do AC apenas é necessário ativar o controlador, que neste caso é quando o autocarro é ligado. Depois a gestão do AC é toda efetuada pelo *software* do controlador e varia consoante as funções selecionadas pelo motorista. Na Tabela 19 estão presentes todas as funções do controlador do AC (Figura 68) que o motorista pode selecionar.



Figura 68 Controlador do AC do motorista

Tabela 19 Descrição das funções do controlador do AC

| Nome do comando | Função | Imagem |
|---|--|---|
| Speed Blower | A velocidade rotativa desejada é sempre definida através do botão rotativo esquerdo. |  |
| Air distribution | Definir a posição dos <i>flaps</i> da distribuição do ar. |  |
| Defrost | Permite desembaciar o vidro dianteiro. |  |
| Plus | Aumentar a temperatura desejada. |  |
| Minus | Diminuir a temperatura desejada. |  |
| Temperature | Caso não use o modo automático, poderá definir a temperatura desejada. |  |
| Air Flap Dashboard Vents and Floor | Distribuição do ar para a zona da cabeça e dos pés. |  |
| Air Flap Dashboard Vents | Distribuição do ar para a zona da cabeça. |  |
| Auto | Controlo da temperatura em modo automático |  |

5.6. INTERFACE VISUAL COM O MOTORISTA

Para informar o motorista sobre o estado do sistema AVAC foram criados símbolos. Estes símbolos são ativados consoante a função correspondente e aparecem no ecrã presente na Figura 69. A Tabela 20 mostra todos os símbolos relativos ao sistema AVAC que podem aparecer no ecrã, a função que os ativou e a sua descrição.



Figura 69 Ecrã de interface com o motorista

Tabela 20 Símbolos informativos do estado do sistema AVAC

| Nome do símbolo | Descrição | Imagem |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------|
| <i>Heating Failure</i> | Falha no sistema de aquecimento. | |
| <i>Heater Water Low Level</i> | Baixo nível de líquido. | |
| <i>Heating System ON</i> | Sistema de aquecimento ligado. | |
| <i>Air Conditioning Failure</i> | Falha no Sistema de ar condicionado. | |

6. TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através dos ensaios realizados dentro de uma câmara climática a baixas temperaturas. Estes testes foram realizados para verificar o comportamento do *software* desenvolvido, sem o algoritmo de limitação de energia, e também para verificar se o desempenho do sistema AVAC cumpria os requisitos presentes no documento London Bus Service presente no Anexo B. Este documento foi desenvolvido pela TFL (*Transport for London*) e pela primeira vez realizaram-se testes segundo os requisitos dele. Devido a isso, a ser um documento *draft*, em alguns testes os requisitos do documento foram adaptados/alterados consoante os resultados dos testes.

Também são apresentados alguns dados do comportamento do sistema AVAC dos autocarros já em operação em Londres. Estes dados são recebidos a partir de uma base de dados da gestão de frota da CaetanoBus.

6.1. INTRODUÇÃO

Para testar a capacidade de aquecimento do sistema AVAC, o autocarro foi submetido a várias temperaturas durante os testes. Todas as medições do fluxo de ar foram registadas manualmente por um Engenheiro qualificado através de um anemómetro calibrado. As

sondas termopares foram localizadas no autocarro, em todos os testes, de acordo com o Anexo B.

Todas as referências a LE (lado esquerdo) e LD (lado direito) são tomadas como orientação no veículo, ou seja, de dentro do autocarro olhando para frente.

A temperatura dentro da câmara climática ao longo do teste foi de 0°C. O condicionamento da temperatura do salão dos passageiros foi simulado em dois modos: em pré-aquecimento, quando o autocarro está a carregar, e em operação normal, quando se está a realizar o transporte dos passageiros.

No modo de pré-aquecimento, foi definida a velocidade máxima para a ventilação no salão dos passageiros. Nesta situação não foi medida a velocidade do ar, pois este modo acontece antes de o autocarro iniciar a rota, ou seja, quando o autocarro não tem passageiros a bordo.

Para a operação normal de aquecimento, a velocidade de ventilação do salão dos passageiros foi ajustada alterando a tensão de entrada do ventilador através do *software* desenvolvido. Este modo seria selecionado no início de uma rota quando o autocarro tem passageiros a bordo. Na cabine do motorista a configuração da velocidade do ventilador foi ajustada manualmente, sendo esta configuração independente do salão dos passageiros.

Durante o teste, de modo a calcular o consumo de energia, foram registadas as medições de corrente e tensão de todo o sistema AVAC.

Para simular o calor libertado pelos passageiros, de acordo com os requisitos do Anexo B era necessário utilizar 14 aquecedores de 130 W. No entanto devido à indisponibilidade destes aquecedores foram espalhados uniformemente 18 aquecedores de 100 W pelos assentos dos passageiros. Outra situação simulada durante os testes foi a abertura de portas, pois durante a rota de um autocarro, estes têm que realizar diversas paragens para os passageiros entrarem e saírem. Deste modo foi realizado um ciclo de abertura de portas a cada dois minutos, em que a cada ciclo as portas mantiveram-se abertas durante 10 segundos.

Para os testes de aquecimento na cabine do motorista, segundo Anexo B, seria necessário abrir as portas do autocarro 15 vezes durante os primeiros 25 minutos e 13 vezes nos 20 minutos seguintes. No entanto, de modo a utilizar o mesmo *software* de abertura de portas dos testes de aquecimento, foi pedido à TFL para a abertura de portas ser realizada a cada 2 minutos durante um período de 45 minutos.

O autocarro foi devidamente instrumentado para realizar a aquisição de dados e para visualizar em tempo real o desempenho dos testes foi utilizado um sistema de aquisição de dados, tal como se pode verificar na Figura 70. O processo de instrumentação foi realizado por Engenheiros qualificados e o material utilizado está presente na Tabela 21.

Tabela 21 Instrumentação utilizada nos testes

| Material | Quantidade |
|---------------------------------------|------------|
| Sistema de aquisição de dados Dewe 43 | 1 |
| Dewe CPAD2 | 2 |
| Sensor de corrente | 7 |
| Anemómetro | 5 |
| Sonda termopar | 12 |



Figura 70 Visualização dos dados do teste em tempo real

6.2. TESTE DE AQUECIMENTO NA CABINE DO MOTORISTA

Segundo os requisitos de teste, do capítulo 3 do Anexo B, o aquecimento da cabine do motorista deve ser capaz de elevar a temperatura de 0°C a 20°C em 25 minutos e ser mantido por mais 20 minutos com o ciclo de abertura de portas. Em relação à velocidade máxima de ventilação do ar, esta não deve ser superior a 5 m/s.

6.2.1. MEDIÇÕES DO FLUXO DE AR NO TESTE DE AQUECIMENTO NA CABINE DO MOTORISTA

O aquecimento na cabine do motorista foi realizado com as aberturas do painel e da área dos pés posicionadas em direção ao tronco e às pernas do motorista, respetivamente. A velocidade do fluxo de ar das aberturas do motorista foi ajustada manualmente, tal como se pode verificar na Figura 71.



Figura 71 Configurator da velocidade do ventilador na cabine do motorista

Existem 4 aberturas na cabine do motorista, uma localizada em cada lado do painel e as outras duas situadas em cada lado na área dos pés do motorista(ver Figura 72 e Figura 73). As medições foram realizadas manualmente usando um anemómetro calibrado antes do teste. A velocidade do ar foi registrada a 0 mm, 100 mm e 200 mm da superfície de cada ventilação. Também foi realizada a medição na posição do tronco do motorista, a uma altura de aproximadamente dois terços da altura do encosto.

As medições da velocidade do fluxo de ar na cabine do motorista estão presentes na Tabela 22 e na Tabela 23. Neste teste o fluxo máximo de ar medido foi de 4,9 m/s.



Figura 72 Ventiladores de ar do painel na cabine do motorista

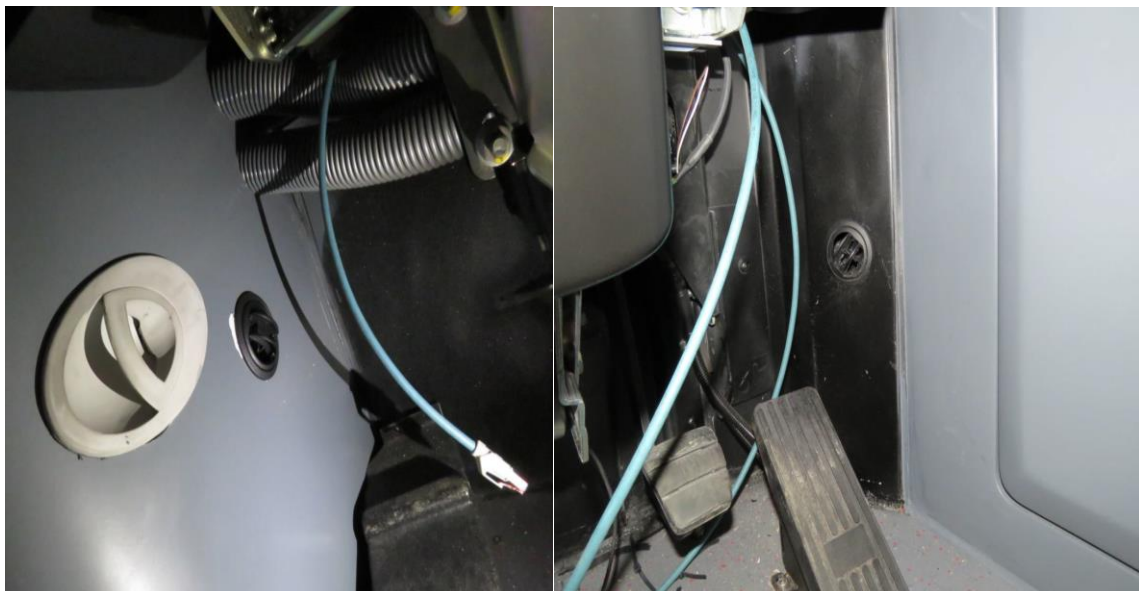


Figura 73 Ventilação do ar na área LE e LD dos pés da cabine do motorista

Tabela 22 Medições do fluxo de ar da ventilação na cabine do motorista

| Configuração do ventilador da cabine do motorista: 3 bars | | | | |
|---|--------------------------------------|-----|--------------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Velocidade do ar de ventilação (m/s) | | | |
| | Painel de controlo | | Zona dos pés | |
| | LE | LD | LE | LD |
| 0 | 3,4 | 3,5 | 4,9 | 4,5 |
| 100 | 2,9 | 3,0 | 3,7 | 3,7 |
| 200 | 2,3 | 2,6 | 1,5 | 2,8 |

Tabela 23 Medição do fluxo de ar no assento do motorista

| Configuração do ventilador na cabine do motorista: 3 bars | |
|---|------------------------|
| Posição | Velocidade do ar (m/s) |
| Zona do tronco | 0,2 |

6.2.2. MEDIÇÕES DA TEMPERATURA NO TESTE DE AQUECIMENTO NA CABINE DO MOTORISTA

Na Figura 74 está presente o teste completo e na Figura 75 está presente apenas o período do teste onde ocorreu a evolução da temperatura na cabine do motorista. Os picos de temperatura presentes na sonda frontal LD da câmara ambiente ocorrem devido ao ciclo de abertura das portas do autocarro, pois quando estas se abrem o ar quente sai para o exterior, influenciando as medidas do sensor.

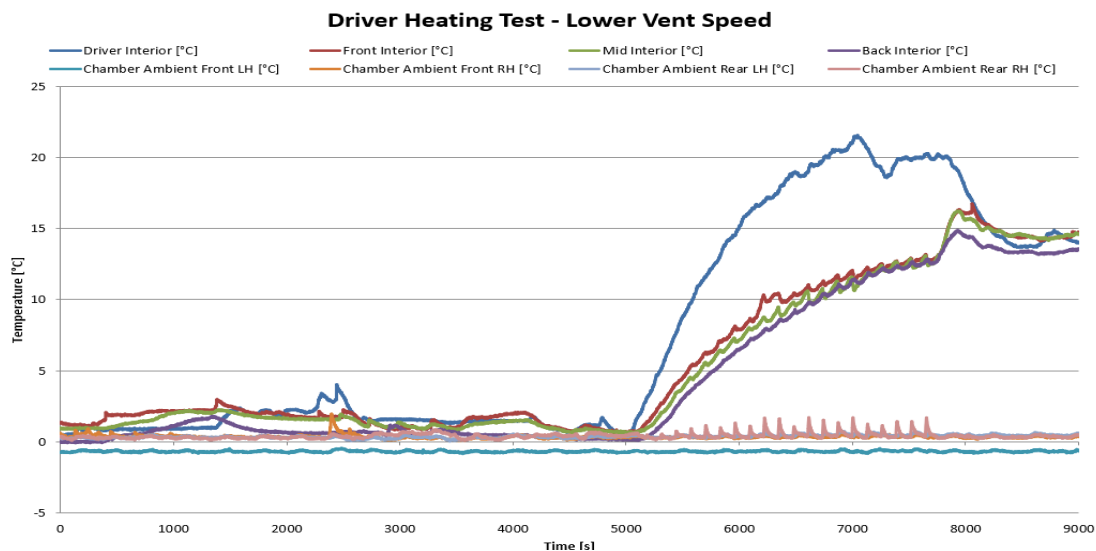


Figura 74 Gráfico completo da temperatura do teste de aquecimento na cabine do motorista

É possível verificar que a temperatura da câmara climática está perto dos 0 °C e que a temperatura da cabine do motorista atingiu 19 °C em 26 minutos e a 20 °C em 28 minutos.

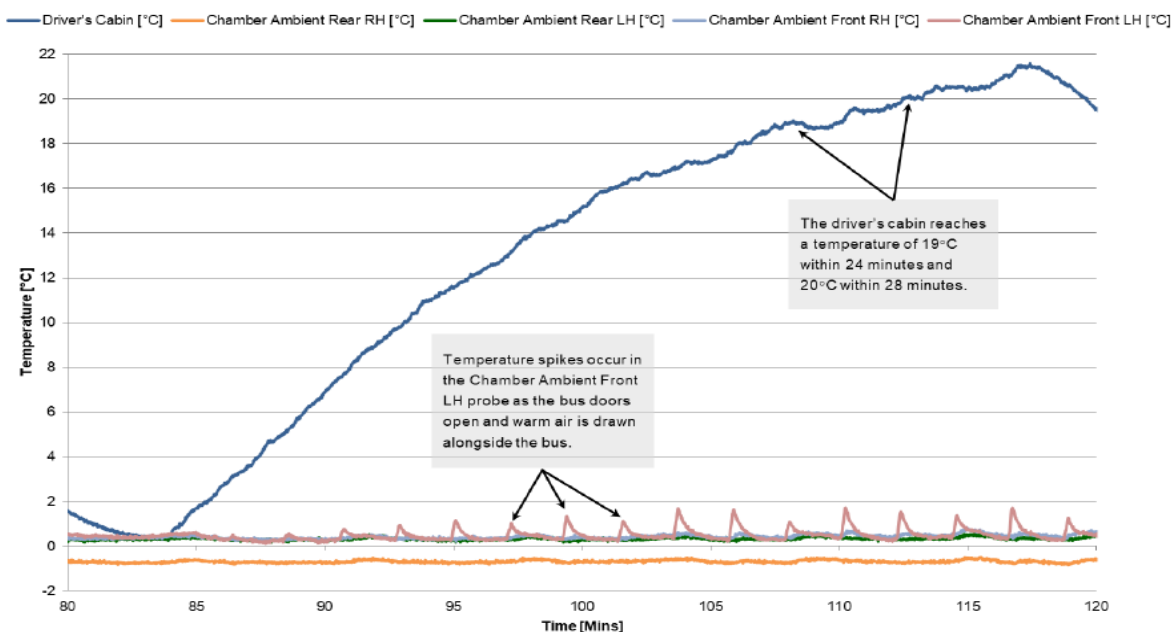


Figura 75 Gráfico da temperatura do teste de aquecimento na cabine do motorista (apenas um período do teste).

6.3. TESTE DE AQUECIMENTO 1

Segundo os requisitos de teste do capítulo 2 do Anexo B:

- Os autocarros com zero emissões precisam de ter uma função de pré-aquecimento;
- O veículo deve ser pré-aquecido de 0 °C a 15 °C e manter esta temperatura durante uma hora;
- Deve ser mantida a temperatura de 15 °C durante o ciclo de abertura de portas;
- Deve ser aplicada uma tolerância no teste de ± 1 °C;
- Deve ser calculado o consumo de energia do sistema AVAC;
- Durante o teste deve ser incluído a abertura de ambas as portas por 10 segundos a cada dois minutos durante uma hora;
- A velocidade máxima de ventilação é de 5 m/s;

- Devem ser distribuídos uniformemente nos bancos dianteiros, intermédios e traseiros 14 aquecedores de 130 W de modo a simular o efeito do calor de cada passageiro.

Tal como o teste do subcapítulo 6.2, foram registadas as temperaturas e as velocidades de ventilação do ar.

6.3.1. MEDIÇÕES DO FLUXO DE AR NO TESTE DE AQUECIMENTO

As condições para a realização do teste mantiveram-se iguais em relação ao teste do ar condicionado. As medições do fluxo de ventilação na cabine do motorista estão presentes na Tabela 24 e Tabela 25. O fluxo de ar máximo medido foi de 6,7 m/s.

Tabela 24 Medições do fluxo de ar da ventilação na cabine do motorista no teste de aquecimento

| Configuração do ventilador da cabine do motorista: 4.5 bars | | | | |
|---|--------------------------------------|-----|--------------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Velocidade do ar de ventilação (m/s) | | | |
| | Painel de controlo | | Zona dos pés | |
| | LHS | RHS | LHS | RHS |
| 0 | 4,5 | 4,7 | 6,5 | 6,7 |
| 100 | 3,2 | 3,2 | 4,1 | 4,3 |
| 200 | 2,6 | 1,7 | 3,6 | 3,0 |

Tabela 25 Medição do fluxo de ar no assento do motorista no modo aquecimento

| Configuração do ventilador na cabine do motorista: 4.5 bars | |
|---|------------------------|
| Posição | Velocidade do ar (m/s) |
| Zona do tronco | 0,3 |

Em relação ao salão dos passageiros, existem dois ventiladores. Um está localizado debaixo dos assentos no lado esquerdo (LE) do salão, na segunda fila da frente e o outro está localizado sob os assentos no LE do salão, na terceira fila da parte traseira).

As saídas de ventilação dos convetores do salão estão direcionadas para o corredor, com o fluxo de ar da ventilação frontal direcionado horizontalmente e o fluxo de ar da ventilação traseira direcionado para o piso do autocarro (ver Figura 76 e Figura 77).



Figura 76 Entrada da ventilação frontal no salão dos passageiros



Figura 77 Entrada da ventilação traseira no salão dos passageiros

No teste a simular a operação normal de aquecimento, as tensões de entrada dos ventiladores do salão dos passageiros foram ajustadas antes do teste e permaneceram constantes durante todo o processo. Devido ao tamanho das grelhas da saída dos ventiladores do salão dos passageiros, as medições foram realizadas em 3 locais ao longo das grelhas. As medições também foram feitas na localização genérica da perna e tronco de um passageiro, acima dos assentos dos passageiros e do outro lado do corredor na direção de cada ventilador.

Os resultados das medições de fluxo de ventilação do salão dos passageiros nas situações referidas estão presentes nas Tabelas 26, 27, 28 e 29. O valor máximo da velocidade do ar

medido foi de 7,9 m/s. Na zona do assento do passageiro foi verificado que não existe fluxo de ar.

Tabela 26 Medições do fluxo de ar da ventilação na cabine do motorista no teste de aquecimento

| Fluxo de ar da ventilação frontal do salão em operação normal | | | | | | |
|---|---|------|-----|---------|------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 7 V | | | | | |
| | Saída | | | Entrada | | |
| | LE | Meio | LD | LE | Meio | LD |
| 0 | 4,2 | 4,6 | 7,9 | 0,5 | 0,7 | 0,5 |
| 100 | 3,4 | 1,8 | 5,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 200 | 2,2 | 2,7 | 4,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabela 27 Velocidade do fluxo de ar no assento do passageiro da frente do salão em operação normal

| Fluxo de ar no assento do passageiro da frente do salão em operação normal | | |
|--|---|--------|
| Localização do assento | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 7 V | |
| | Velocidade do ar (m/s) | |
| | Perna | Tronco |
| Em frente ao ventilador | 2,3 | 0,0 |
| Acima do ventilador | 0,0 | 0,0 |

Tabela 28 Fluxo de ar da ventilação traseira do salão em operação normal -no modo aquecimento

| Fluxo de ar da ventilação frontal do salão em operação normal | | | | | | |
|---|---|------|-----|---------|------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 6 V | | | | | |
| | Saída | | | Entrada | | |
| | LE | Meio | LD | LE | Meio | LD |
| 0 | 4,3 | 4,6 | 3,0 | 0,5 | 0,6 | 0,4 |
| 100 | 3,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 200 | 2,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabela 29 Velocidade do fluxo de ar no assento do passageiro traseiro do salão em operação normal

| Fluxo de ar no assento do passageiro da frente do salão em operação normal | | |
|--|--|--------|
| Localização do assento | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 6 V | |
| | Velocidade do ar (m/s) | |
| | Perna | Tronco |
| Em frente ao ventilador | 0,0 | 0,0 |
| Acima do ventilador | 0,0 | 0,0 |

6.3.2. MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

Para a medição das temperaturas em redor do autocarro, os sensores de temperatura ambiente da câmara foram posicionados em cada canto do autocarro, tal como se pode verificar na Figura 78 e Figura 79.

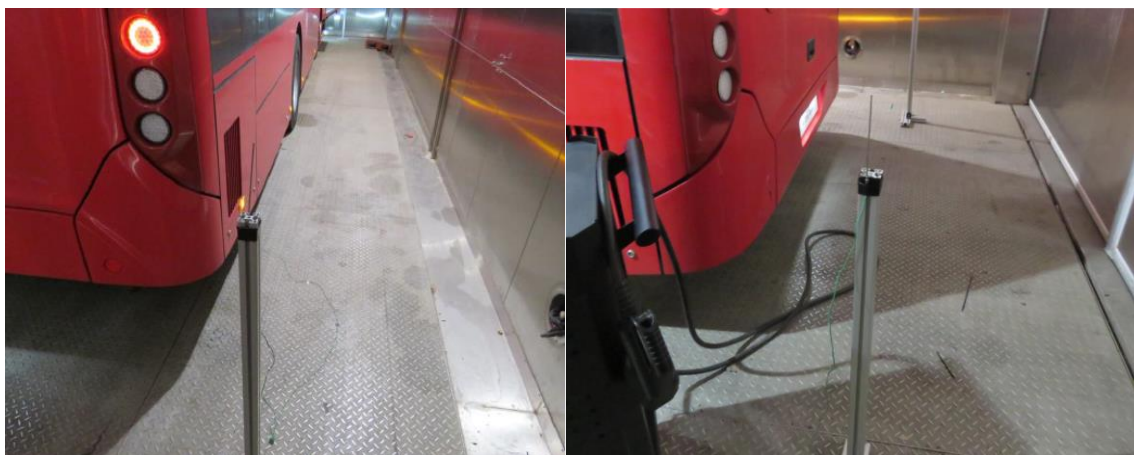


Figura 78 Sensores de temperatura ambiente da câmara na parte LE e LD traseira



Figura 79 Sensores de temperatura ambiente da câmara na parte LD e LE frontal

Os sensores de temperatura dentro do autocarro foram instalados de acordo as indicações presentes no Anexo B. A localização dos sensores pode ser verificada nas Figuras 80, 81 e 82.

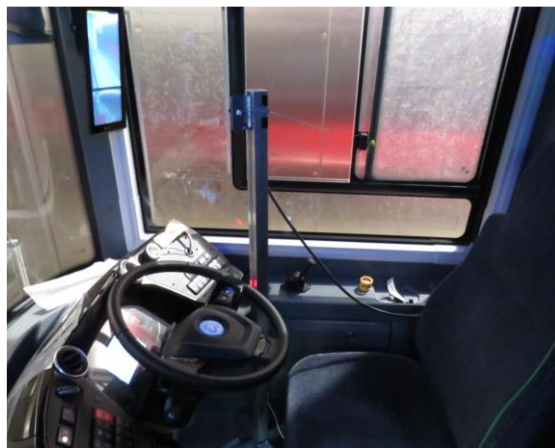


Figura 80 Sonda de temperatura da cabine do motorista

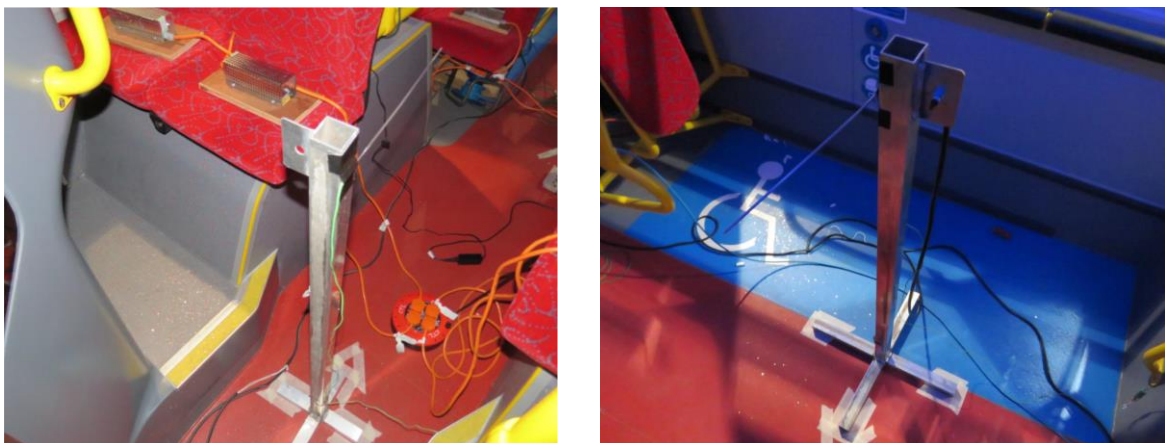


Figura 81 Sonda de temperatura interna na zona frontal e na zona média do autocarro



Figura 82 Sensor de temperatura interno na zona traseira do autocarro

Foram adicionados quatro sensores, não exigidos pela TFL, para medir a temperatura à saída dos ventiladores no salão dos passageiros. Na Figura 83 pode-se verificar que os sensores foram posicionados à saída dos ventiladores e os outros foram instalados a cerca de 150 mm da superfície da grade, de modo a simular a distância da perna de um passageiro em pé ou sentado.



Figura 83 Saída de ventilação frontal e traseira do salão com sensores de temperatura

Neste teste iniciou-se com um pré-aquecimento no salão dos passageiros e configurou-se a tensão de entrada dos ventiladores do salão dos passageiros com 6 V. Nas Figuras 84, 85 e 86 pode-se verificar os gráficos com os resultados obtidos.

Analisando os resultados verifica-se que com o salão no modo de pré-aquecimento, todas as temperaturas internas se estabilizaram em 15 °C (± 1 °C) em aproximadamente 43 minutos. Depois o autocarro foi mantido nessa temperatura durante 1 hora para aquecer todas as estruturas de forma uniforme. Após as temperaturas estarem estáveis, o

autocarro foi colocado no modo de operação normal e continuou a manter 15 °C (± 1 °C) por mais uma hora enquanto todas as portas de acesso do veículo eram acionadas e os aquecedores eram ligados para simular o efeito de aquecimento dos passageiros.

Através da Figura 85, é possível verificar que perto do minuto 190 a temperatura interior caiu para cerca de 12 °C. Esta diminuição foi particularmente mais sentida na frente e no meio do autocarro, pois foi quando se iniciou o ciclo de abertura de portas. Também influenciou o facto de os sensores de temperatura estarem localizados perto das portas do autocarro.

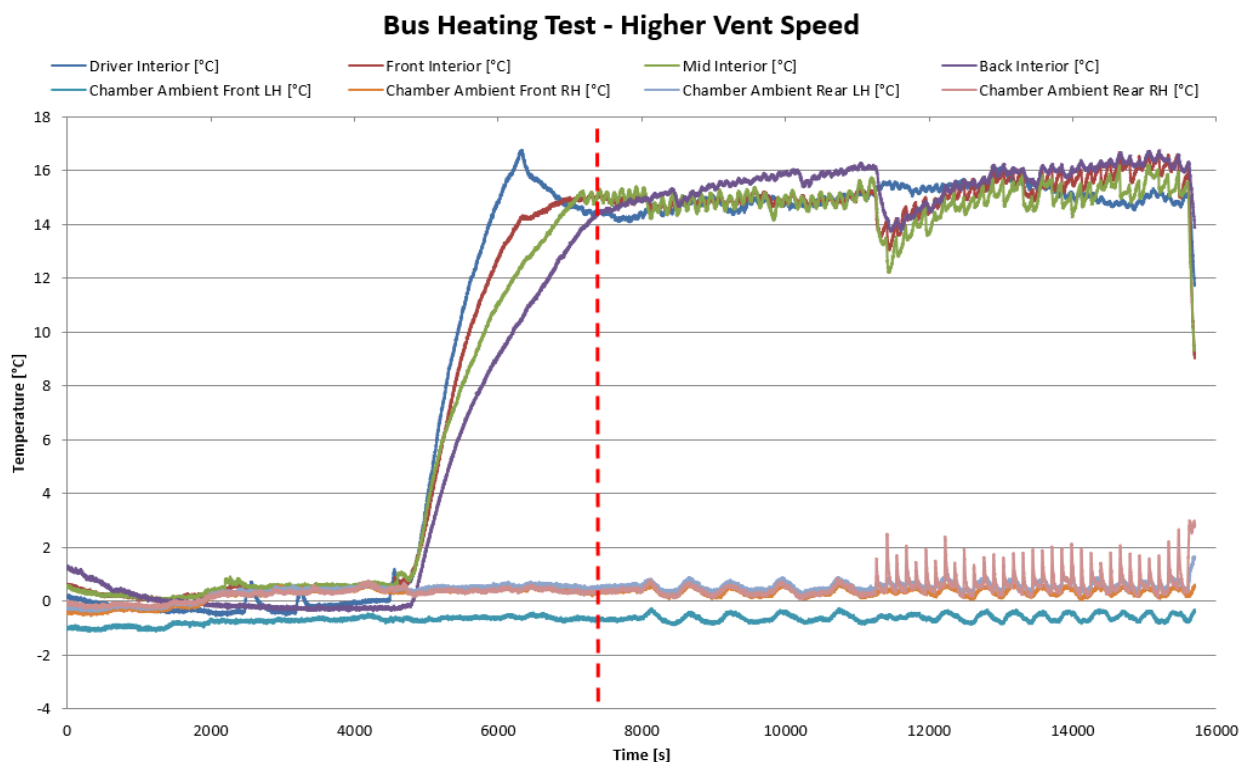


Figura 84 Gráfico de temperatura do teste de aquecimento do autocarro (gráfico completo)

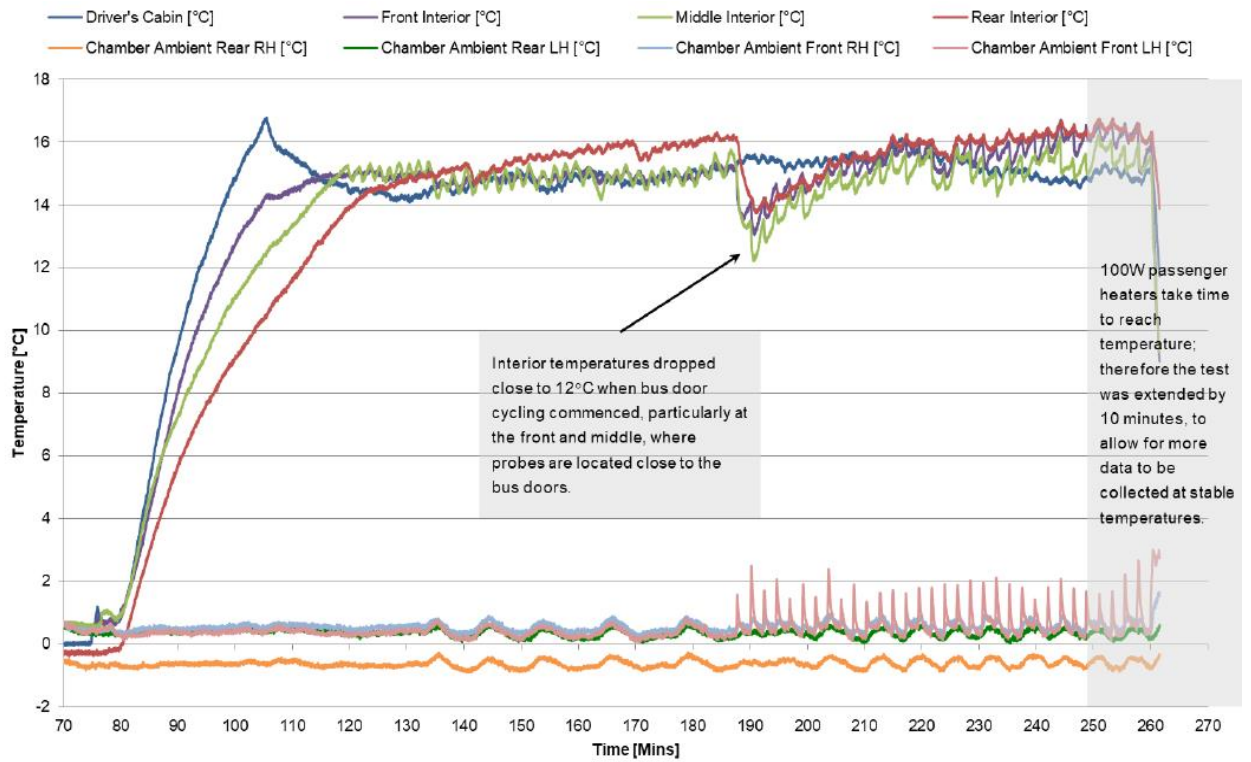


Figura 85 Gráfico de temperatura do teste de aquecimento do autocarro (período de teste)

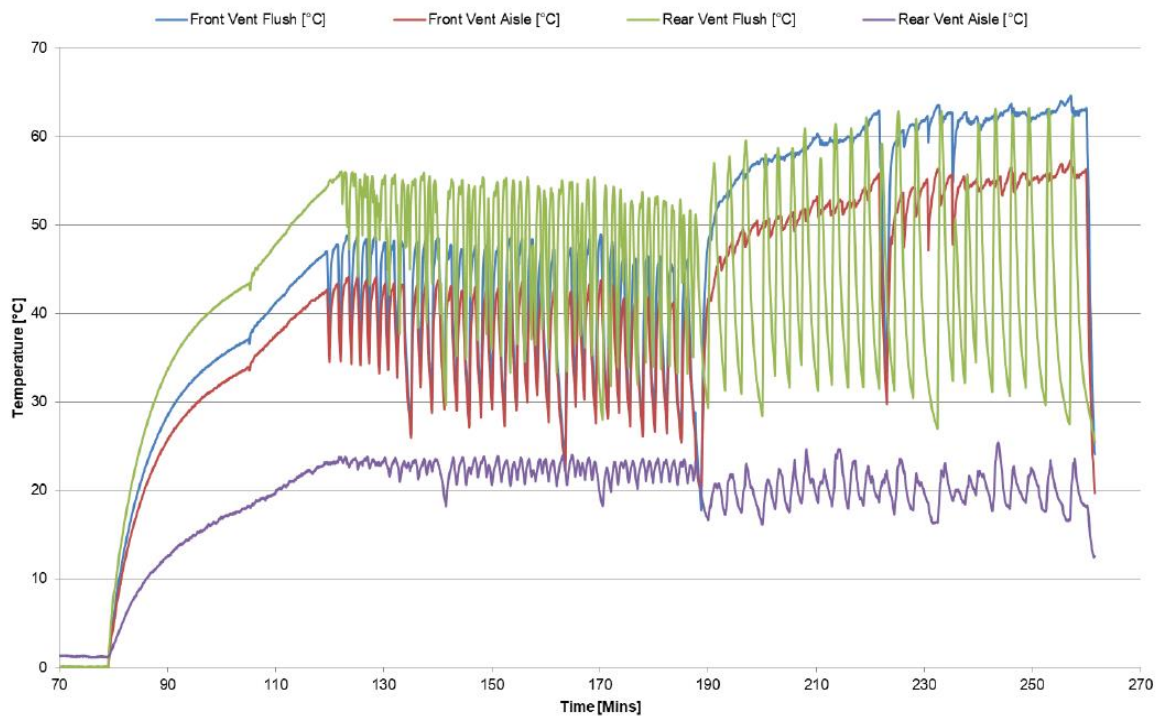


Figura 86 Temperatura do ar de ventilação no salão dos passageiros

6.3.3. CONSUMO DE ENERGIA

Durante o teste foi medida a corrente e a tensão do sistema AVAC de modo a calcular o consumo de energia e potência dos aquecedores. Os consumos registados foram os seguintes:

- O consumo máximo de potência durante o teste foi de 12,24 kW;
- O consumo médio de energia registado do início ao fim do teste foi de 8,25 kW;
- O consumo geral de energia foi de 24,91 kWh.

6.4. TESTE DE AQUECIMENTO 2

Neste teste foi ligado o aquecimento para a zona do motorista e para o salão dos passageiros. Seguindo os requisitos de teste do capítulo 2 e 3 do Anexo B:

- O aquecimento da cabine do motorista deve ser capaz de elevar a temperatura de 0 °C a 20 °C em 25 minutos e ser mantido por mais 20 minutos com abertura de portas;
- A velocidade máxima de ventilação é de 5 m/s;
- Os autocarros com zero emissões devem ter uma função de pré-aquecimento;
- O veículo deve ser pré-aquecido de zero a 15 °C e mantido a 15 °C por 1 hora;
- O autocarro deve manter uma temperatura de 15 °C durante a abertura de portas;
- Deve ser aplicada uma tolerância de teste de ± 1 °C.

6.4.1. MEDIÇÕES DE FLUXO DE AR NO TESTE DE AQUECIMENTO GERAL

Na zona do *dashboard* as aberturas da ventilação foram direcionadas para a zona do tronco e na zona dos pés foram direcionadas para as pernas do motorista.

A velocidade do fluxo de ar das aberturas do motorista foi ajustada manualmente, tal como já se verificou na Figura 71, e foi registada da mesma forma dos outros testes, a 0 mm, 100 mm e 200 mm da superfície de cada ventilação.

Para os modos de aquecimento e ar condicionado foram usadas diferentes velocidades de ventilação na zona da cabine do motorista. Portanto, a configuração do ventilador foi ajustada no meio do teste, após a conclusão da fase de ar condicionado. Como resultado,

as medições do fluxo de ar da cabine do motorista foram realizadas antes e depois do teste em ambas as configurações do ventilador.

As medições de fluxo da ventilação da cabine do motorista estão presentes na Tabelas 30, 31, 32 e 33.

Tabela 30 Fluxo de ar de ventilação da cabine do motorista durante o período de aquecimento na zona do motorista

| Configuração do ventilador da cabine do motorista: 4.5 bars | | | | |
|---|--------------------------------------|-----|--------------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Velocidade do ar de ventilação (m/s) | | | |
| | Painel de controlo | | Zona dos pés | |
| | LHS | RHS | LHS | RHS |
| 0 | 4,5 | 4,7 | 6,5 | 6,7 |
| 100 | 3,2 | 3,2 | 4,1 | 4,3 |
| 200 | 2,6 | 1,7 | 3,6 | 3,0 |

Tabela 31 Fluxo de ar do assento do motorista durante o período de aquecimento na zona do motorista

| Configuração do ventilador na cabine do motorista: 4.5 bars | |
|---|------------------------|
| Posição | Velocidade do ar (m/s) |
| Zona do tronco | 0,3 |

Tabela 32 Fluxo de ar de ventilação da cabine do motorista durante o período de aquecimento do autocarro

| Configuração do ventilador da cabine do motorista: 4.0 bars | | | | |
|---|--------------------------------------|-----|--------------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Velocidade do ar de ventilação (m/s) | | | |
| | Painel de controlo | | Zona dos pés | |
| | LHS | RHS | LHS | RHS |
| 0 | 4,5 | 4,7 | 6,5 | 6,7 |
| 100 | 3,2 | 3,2 | 4,1 | 4,3 |
| 200 | 2,6 | 1,7 | 3,6 | 3,0 |

Tabela 33 Fluxo de ar do assento do motorista durante o período de aquecimento do autocarro

| Configuração do ventilador na cabine do motorista: 4.0 bars | |
|---|------------------------|
| Posição | Velocidade do ar (m/s) |
| Zona do tronco | 0,3 |

Em operação normal, as tensões de entrada dos ventiladores do salão dos passageiros foram ajustadas antes do teste e permaneceram constantes durante todo o processo. Devido ao tamanho das grelhas da saída dos ventiladores do salão dos passageiros, as medições foram realizadas em 3 locais ao longo da largura das entradas e da saída frontal, enquanto que na saída traseira foi realizada de cima para baixo devido ao seu formato.

Os resultados das medições de fluxo de ventilação do salão dos passageiros nas situações referidas estão presentes nas Tabelas 34, 35, 36 e 37. A velocidade máxima registada foi de 5,6 m/s.

Tabela 34 Fluxo de ar da ventilação frontal do salão em operação normal

| Fluxo de ar da ventilação frontal do salão em operação normal | | | | | | |
|---|---|------|-----|---------|------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 6 V | | | | | |
| | Saída | | | Entrada | | |
| | LE | Meio | LD | LE | Meio | LD |
| 0 | 3,0 | 3,9 | 5,6 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 100 | 2,5 | 1,6 | 3,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 200 | 1,9 | 1,5 | 2,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabela 35 Fluxo de ar do assento do passageiro da frente do salão em operação normal

| Fluxo de ar do assento do passageiro da frente do salão em operação normal | | |
|--|---|--------|
| Localização do assento | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 6 V | |
| | Velocidade do ar (m/s) | |
| | Perna | Tronco |
| Em frente ao ventilador | 1,3 | 0,0 |
| Acima do ventilador | 0,0 | 0,0 |

Tabela 36 Fluxo de ar da ventilação traseira do salão em operação normal

| Medições de fluxo de ar da ventilação traseira do salão em operação normal - | | | | | | |
|--|---|------|-----|---------|------|-----|
| Distância da ventilação (mm) | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 6 V | | | | | |
| | Saída | | | Entrada | | |
| | LE | Meio | LD | LE | Meio | LD |
| 0 | 4,4 | 4,8 | 3,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| 100 | 1,7 | 0,0 | 3,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 200 | 1,8 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabela 37 Fluxo de ar do assento traseiro do passageiro em operação normal

| Fluxo de ar do assento traseiro do passageiro em operação normal | | |
|--|---|--------|
| Localização do assento | Configuração da ventoinha de ventilação frontal: entrada de 6 V | |
| | Velocidade do ar (m/s) | |
| | Perna | Tronco |
| Em frente ao ventilador | 0,3 | 0,0 |
| Acima do ventilador | 0,0 | 0,0 |

6.4.2. MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS NO TESTE DE AQUECIMENTO GERAL

Neste teste ativou-se o aquecimento no salão dos passageiros e na cabine do motorista de modo a elevar a temperatura de 0 °C a 15 °C. Nas Figuras 87, 88 e 89 é possível verificar os resultados obtidos.

Analisando os dados do teste constata-se que com o aquecimento no salão em modo de operação normal e com abertura de portas, a cabine do motorista atingiu 20 °C em aproximadamente 21 minutos e estabilizou a mais ao menos 22 °C após 33 minutos.

Após a conclusão do período de ar condicionado do motorista, a aberturas de portas foi interrompida de modo a se entrar dentro do autocarro para ajustar o *setpoint* de temperatura da cabine do motorista e mudar o salão para o modo de pré-aquecimento de maneira a que todas as temperaturas internas subissem para 15 °C (± 1 °C). Todas as temperaturas internas do autocarro estabilizaram em 15 °C (± 1 °C) em aproximadamente 6 minutos após terminar o período de ar condicionado do motorista, ou em

aproximadamente 54 minutos desde o início do teste, permanecendo nesta temperatura durante mais 1 hora. O autocarro foi então colocado no modo de operação normal e continuou a manter 15 °C por mais uma hora enquanto as portas eram abertas e 18 aquecedores de 100 W eram ligados para simular o efeito de aquecimento dos passageiros.

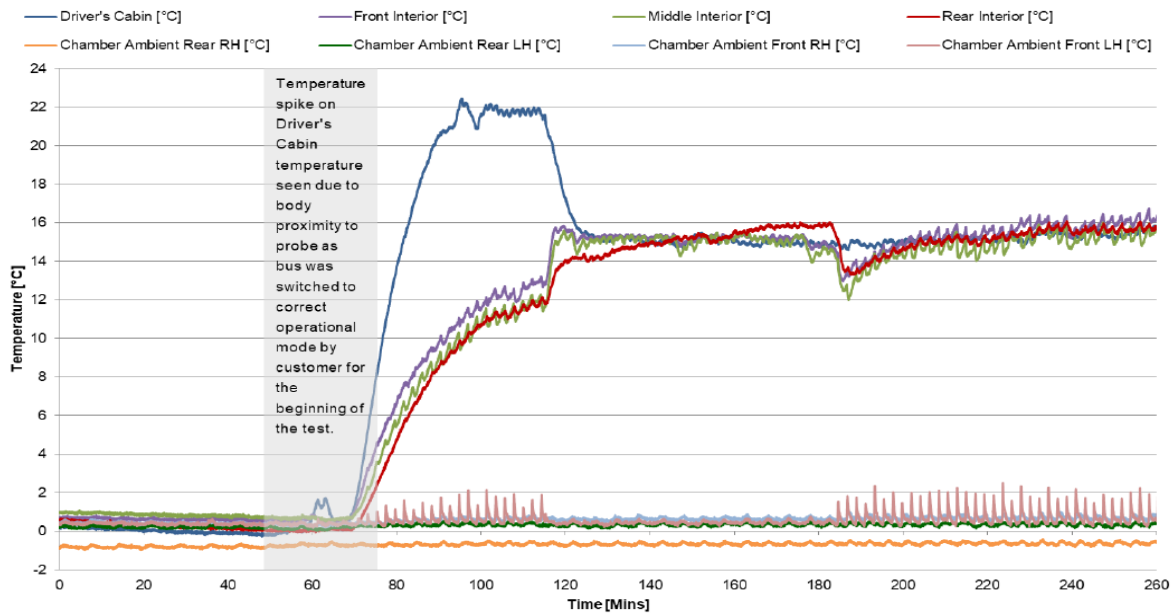


Figura 87 Gráfico da temperatura de teste de aquecimento simultâneo (gráfico completo)

Driver and Saloon Heating Test - Lower Vent Speed

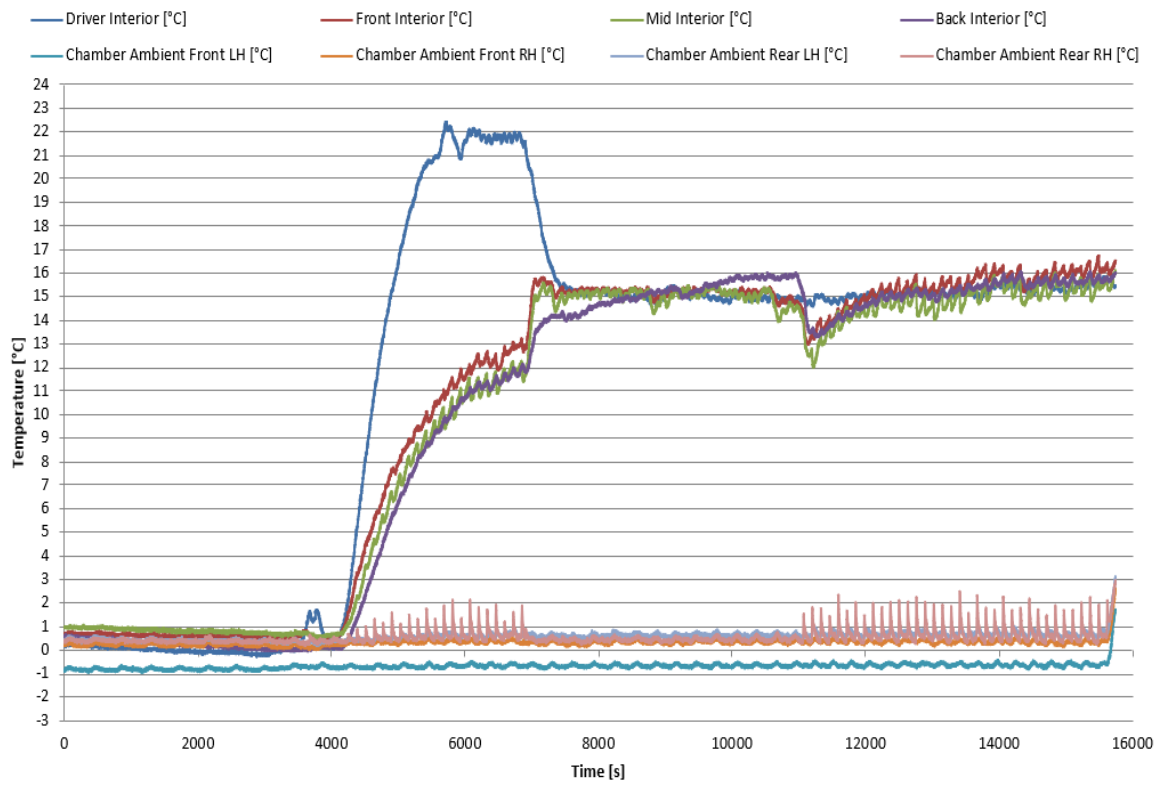


Figura 88 Gráfico de temperatura de teste de aquecimento simultâneo (período de teste)

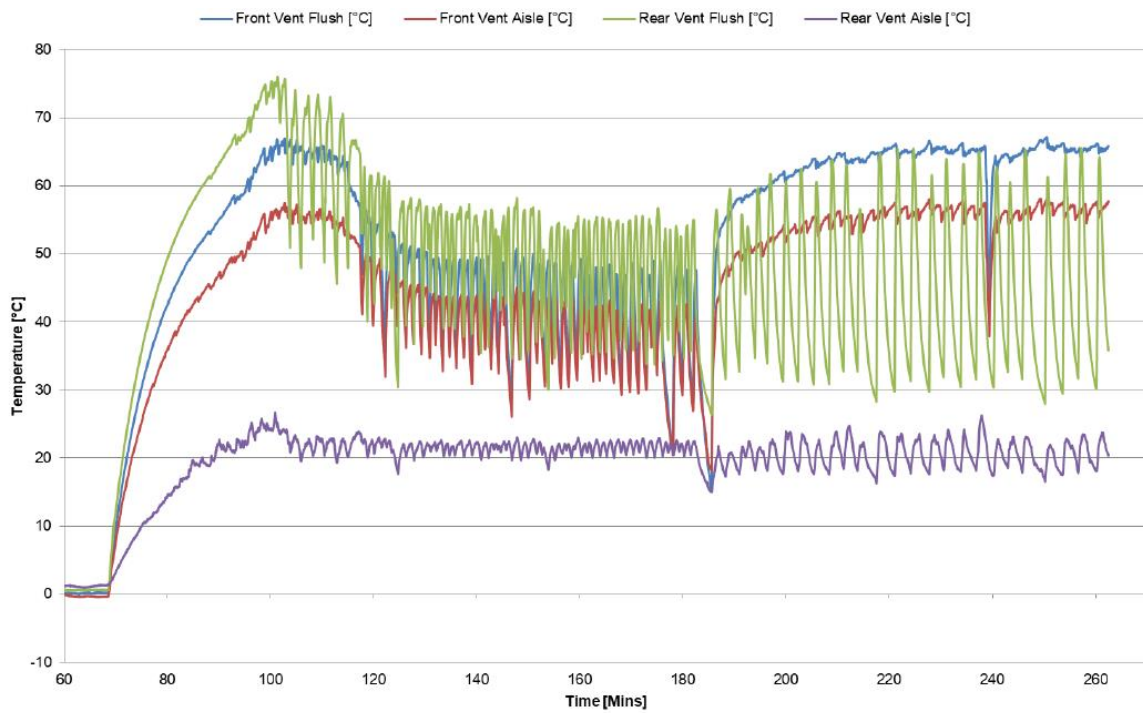


Figura 89 Temperatura do ar de ventilação do salão dos passageiros

6.4.3. CONSUMO DE ENERGIA

Durante o teste foi medida a corrente e a tensão do sistema AVAC de modo a calcular o consumo de energia e a potência dos aquecedores. As medições foram registadas em intervalos de 1 segundo e consumos foram os seguintes:

- O consumo máximo de potência observado durante o teste de aquecimento na cabine do motorista e no salão dos passageiros foi de 14,12 kW;
- O consumo médio de potência registado do início ao fim do teste foi de 8,25 kW;
- O consumo geral de energia do início ao fim do teste foi de 24,91 kWh.

6.5. RESULTADOS FINAIS

Para acompanhar o desempenho do sistema AVAC foram criadas várias mensagens CAN e enviadas para um *datahub*. Estes dados são enviados remotamente para a plataforma Viriciti ficando disponíveis para visualização. Por exemplo na Figura 90 está presente a variação da temperatura nas zonas da frente e traseira do salão dos passageiros.

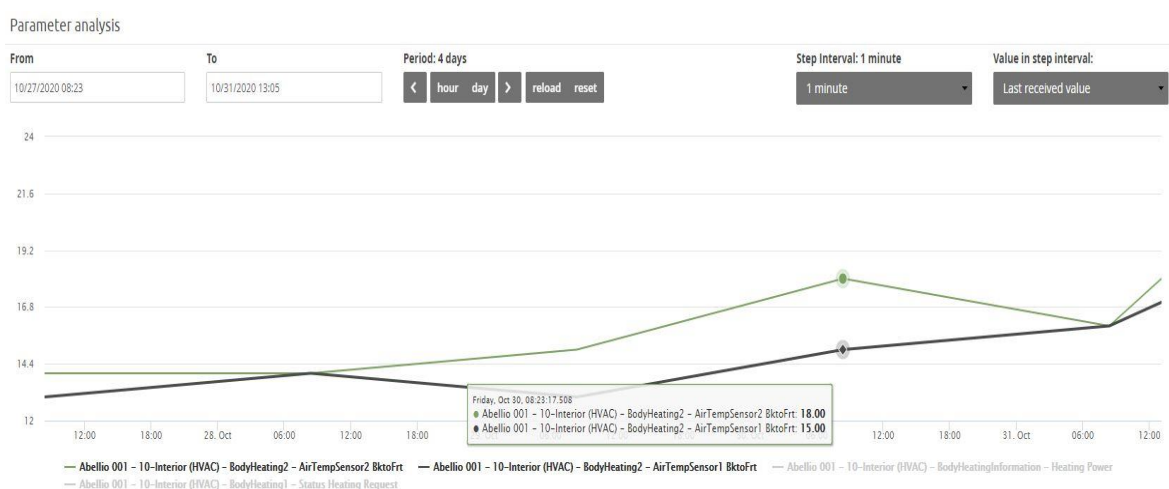


Figura 90 Leituras dos sensores de temperatura interiores do autocarro

Na Figura 91 está presente o estado do convetor, em que 1 significa que está ligado e 0 que está desligado.



Figura 91 Estado do convetor traseiro do salão dos passageiros

Na Figura 92 é possível verificar o funcionamento do algoritmo de limitação, pois o aquecedor elétrico não está ligado mais de 10 minutos, cumprindo a limitação de 4 kWh.



Figura 92 Ciclo de ação dos contactores conforme a limitação de energia

Na Figura 93 é possível verificar que o controlo da variação da temperatura da água de acordo com o ciclo de ativação dos contactores está correta, pois quando a água atinge os 75°C o contactor desliga.

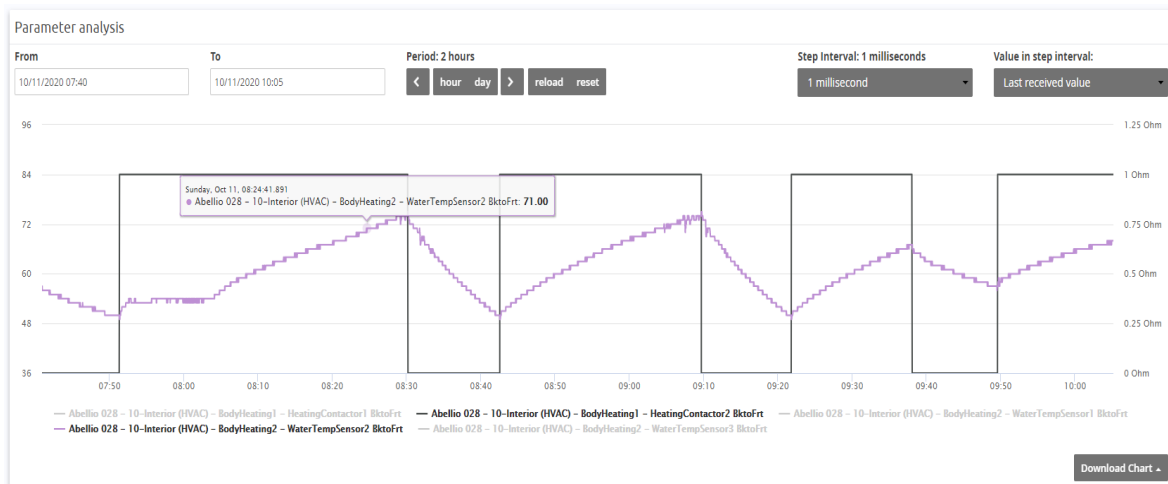


Figura 93 Variação da temperatura da água com o ciclo de ativação dos contactores

O nível da água do sistema de aquecimento também pode ser vigiado remotamente, tal como se pode verificar na Figura 94.



Figura 94 Nível de água do sistema de aquecimento

7. CONCLUSÕES

Durante o estudo sobre os sistemas AVAC em veículos elétricos foi possível perceber que estes têm um grande impacto e que afetam a autonomia do veículo. Contudo, dia após dia estão a aparecer novas tecnologias e técnicas de controlo avançadas para fazer face a este desafio.

Em relação aos protocolos de comunicação nos veículos, após alguma leitura sobre estes foi obtido os conhecimentos necessários para utilizar o protocolo CAN, que é o mais usado nos autocarros.

Um dos obstáculos encontrados foi os poucos dados técnicos dos sensores, tendo sido necessário realizar alguns testes para caracterizar esses sensores. No desenvolvimento do *software*, o facto de usar pela primeira vez uma nova linguagem não foi um obstáculo devido a esta ser de fácil aprendizagem.

Após implementar o *software*, nos testes realizados sem o algoritmo de limitação foi verificado que a potência instalada do sistema AVAC conseguia cumprir os requisitos da TFL, ou seja, ter sempre uma temperatura interior de 15 °C com uma temperatura exterior de 0 °C. Ao nível da ventilação, durante os testes foi verificado que em alguns sítios a

velocidade era superior a 5 m/s. No entanto, como era a primeira vez que os requisitos da TFL eram postos em prática, esta decidiu alterá-los e melhorá-los.

Apesar de não ter sido avaliada a eficiência do algoritmo de limitação de energia, através da monitorização remota do sistema de aquecimento foi possível concluir que o controlo do sistema está a cumprir os objetivos propostos, nomeadamente a limitação de 4 kW e otimização da vida dos contactores.

Assim, concluo que a realização deste projeto foi efetuada com sucesso e que este dotou-me de alguns conhecimentos sobre o funcionamento de sistemas AVAC e de autocarros elétricos.

7.1. TRABALHOS FUTUROS

Os próximos passos deste projeto são:

- realizar o controlo das válvulas de 3 vias do salão dos passageiros consoante a temperatura da água e a necessidade de aquecer por zonas;
- desenvolver um algoritmo para verificar se as resistências de aquecimento estão avariadas, visto que elas não têm *feedback*;
- Verificar a eficiência do sistema AVAC com a limitação de 4 kWh com baixas temperaturas exteriores.

Referências Documentais

- [1] Challenges for air conditioning and heating solutions in electrobuses. Spheros GmbH and Fraunhofer Institute for Transport and Infrastructure systems IVI, 2011.
- [2] M. Lukasiewicz and S. Steinhorst, “System Architecture and Software Design for Electric Vehicles,” DAC’13 Proceedings of the Design Automation Conference, pg. 1–6, 2013.
- [3] United States Environmental Protection Agency “Sources of Greenhouse Gas Emissions”.www.epa.gov., 2014.
- [4] S. Park, Y. Kim, and N. Chang, “Hybrid Energy Storage Systems and Battery Management for Electric Vehicles,” 50th Design Automation Conference (DAC), pp. 1–6, 2013.
- [5] S. Chakraborty, M. Lukasiewicz, C. Buckl, S. Fahmy, P. Leteinturier, and H. Adlkofer, “Embedded Systems and Software Challenges in Electric Vehicles,” Design Automation and Test in Europe (DATE), pg. 424–429, 2012.
- [6] W. Chang, M. Lukasiewicz, S. Steinhorst, and S. Chakraborty, “Dimensioning and Configuration of EES Systems for Electric Vehicles with Boundary- Conditioned Adaptive Scalarization,” International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS’13), pg. 1–10, 2013.
- [7] S. M. Lukic, J. Cao, R. C. Bansal, F. Rodriguez, and A. Emadi, “Energy Storage Systems for Automotive Applications,”IEEE Transactions on Industrial electronics, pg. 2258–2267, 2008.
- [8] K. Vatanparvar and M. A. Al Faruque, “Battery Lifetime- Aware Automotive Climate Control for Electric Vehicles,” 52nd Design Automation Conference (DAC), no. 37, 2015.
- [9] A. Millner, “Modeling Lithium Ion Battery degradation in electric vehicles,” IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, pg. 349–356, 2010.
- [10] Mohammad Abdullah Al Faruque and Korosh Vatanparvar “Modeling, Analysis, and Optimization of Electric Vehicle HVAC Systems”, 21st Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), 25-28 Jan. 2016.

- [11] L. He, Y. Gu, T. Zhu, C. Liu, and K. G. Shin, “SHARE: SoH-Aware Reconfiguration to Enhance Deliverable Capacity of Large-Scale Battery Packs,” 6th International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPs), pg. 169–178, 2015.
- [12] Y. Wang, X. Lin, Q. Xie, N. Chang, and M. Pedram, “Minimizing State-of-Health Degradation in Hybrid Electrical Energy Storage Systems with Arbitrary Source and Load Profiles,” Design Automation and Test in Europe (DATE), pg. 1–4, 2014.
- [13] J. G. Hayes, R. P. R. de Oliveira, S. Vaughan, and M. G. Egan, “Simplified Electric Vehicle Power Train Models and Range Estimation,” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp. 1–5, 2011.
- [14] Tesla Motors Inc.” Tesla Model S Range”. Disponível em: <www. teslamotors.com., 2014.>
- [15] L. Knibbs, R. D. Dear, and S. Atkinson, “Field study of air change and flow rate in six automobiles,” Indoor Air, pg. 303–313, 2009.
- [16] K. Knoedler, J. Steinmann, S. Laversanne, S. Jones, A. Huss, E. Kural, D. Sanchez, O. Bringmann, and J. Zimmermann, “Optimal Energy Management and Recovery for FEV,” Design Automation and Test in Europe (DATE), pg. 683–684, 2012.
- [17] M. Vesel`y and W. Zeiler, “Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance A review,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, pg. 401–408, 2014.
- [18] M. Korukc, and M. Kilic, “The usage of IR thermography for the temperature measurements inside an automobile cabin,” International Communications in Heat and Mass Transfer, pg. 872–877, 2009.
- [19] J. Van Hoof, “Forty years of Fangers model of thermal comfort: comfort for all?,” Indoor Air, pg. 182–201, 2008.
- [20] M. Vesel`y and W. Zeiler, “Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance A review,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, pg. 401–408, 2014.
- [21] HanJinsook Hyesim, Jonghun Lee, Cheolyong Kim, Jang Hakgeun Jeong, “Thermal comfort control based on a simplified Predicted Mean Vote index” The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014
- [22] J. Neubauer and E. Wood, “Thru-life impacts of driver aggression, climate, cabin thermal management, and battery thermal management on battery electric vehicle utility,” Journal of Power Sources, pg. 262–275, 2014.
- [23] A. Kelman and F. Borrelli, “Bilinear Model Predictive Control of a HVAC System Using Sequential Quadratic Programming,” IFAC World Congress, 2011.
- [24] K. Umezu and H. Noyama, “Air-Conditioning system For Electric vehicles (i-MiEV),” SAE Automotive Alternate Refrigerant Systems Symposium, 2010.

- [25] B. Ibrahim et al., “Fuzzy-based Temperature and Humidity Control for HVAC of Electric Vehicle,” *Procedia Engineering*, pg. 904–910, 2012.
- [26] Dr. Robert Basile, “Internal development report of Spheros . Experimental determination of the required heat output of an urban bus on scheduled service, 2009
- [27] Heating and cooling buses – situation today and future developments. Research Institute for Energy Economy of the Society for Practical Energy Education and the Bavarian Centre for Applied Energy Research and Gottlob Auwärter GmbH & Co., 2000.
- [28] Dr. Robert Basile, “Challenges for air conditioning and heating solutions in electrobuses” Sheperos 2011. Disponível em:
<https://www.busworld.org/uploads/exhibitors_releases/143/06-HVAC-in-e-buses.pdf>
- [29] LUPINI, C. A. In-Vehicle Networking Technology for 2010 and Beyond. SAE International. 2010. 13 p. Disponível em: <http://www.skyfi3.delphi.com/pdf/techpapers/2010-01-0687.pdf>.
- [30] JURGEN, R. K. Multiplex Wiring Systems. In: JURGEN, R. K. (Org.). *Automotive Electronics HandBook*. New York: McGraw-Hill, 1999. pg. 26.1-26.76.
- [31] NAVET, N.; SIMONOT-LION, F. A Review of Embedded Automotive Protocols. In: NAVET, N.; SIMONOT-LION, F. (Eds). *Automotive Embedded Systems Handbook*, Industrial Information Technology Series. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. cap. 4, pg. 97-111.
- [32] BOSCH GmbH. CAN Specification Version 2.0. 1991. Disponível em:
<<http://www.semiconductors.bosch.de/pdf/can2spec.pdf>>.
- [33] ANDERSSON, B.; TOVAR E. The Utilization Bound of Non-Preemptive Rate-Monotonic Scheduling in Controller Area Networks is 25 percent. In: IEEE SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL EMBEDDED SYSTEMS, 4., 2009, Lausanne.
- [34] PARET, D. *Multiplexed Networks for Embedded Systems: CAN, LIN, FlexRay, Safe-by-Wire*. Chichester: John Wiley and Sons, 2007.
- [35] LATTICE. CAN Controller - Reference Design RD1170. 2013. 11 p. Disponível em:
<http://www.latticesemi.com/~media/LatticeSemi/Documents/ReferenceDesigns/1D/CANController-Documents.PDF?document_id=49554>.
- [36] Luís Almeida, “Arquiteturas da Computação Industrial” FEUP 2019.
- [37] S. Introduction to the Controller Area Network (CAN), 2008. Disponível em:
<<http://www.ti.com/lit/an/sloa101a/sloa101a.pdf>>.
- [38] RICHARDS, P. A CAN Physical Layer Discussion. 2002. Disponível em:
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00228a.pdf>>.
- [39] RENESAS. Introduction to CAN – Application Note. 2006. P46. Disponível em:
http://documentation.renesas.com/doc/products/mpumcu/apn/rej05b0804_m16cap.pdf.

- [40] JUNGER, M. Introduction to J1939 – Version 1.1. Vector Application Note AN-ION-1-3100. 2010. p.11 Disponível em:
<[http://vector.com/portal/medien/cmc/application_notes/ AN-ION-1-3100_Introduction_to_J1939.pdf](http://vector.com/portal/medien/cmc/application_notes/AN-ION-1-3100_Introduction_to_J1939.pdf)>.
- [41] SAE INTERNATIONAL. SAE J1939/71:” Vehicle Application Layer”. [S.l.], 2006. pg.686.
- [42] LIN CONSORTIUM. “LIN Specification Package” – Revision 2.2A. 2010. 194 p. Disponível em: <www.lin-subbus.org>. Acesso em: 29 set. 2015.
- [43] Grayson Thermal Systems, 2020. Disponível em:<<https://www.graysonts.com/>>
- [44] ACTIA Automotive, “Actimux Master 25 STD1 DataSheet2”. Disponível em: <https://www.actia.co.uk/master-units>>
- [45] Realpars 2020, Rotterdam. Disponível em: <<https://realpars.com/level-sensor/>>
- [46] Sensor de nível para líquidos, Icos. Disponível em: <<http://cdn.eu.eicos.com/downloads/en-level-switch-icos-la322e40.pdf>>
- [47] Datasheet Contactor GIGAVAC. Disponível em:<<https://www.gigavac.com/sites/default/files/p115.pdf>>
- [48] Optolov, “O princípio de funcionamento do conversor”. Disponível em: <<https://optolov.ru/pt/dizajjn-vannojj/konvektor-chto-eto-takoe-i-dlya-chego-on-nuzhen-chto-takoe.html>>
- [49] Grayson Thermal Systems, “Electric Water Pump”.Disponível em: <<https://www.graysonts.com/products/grayson-24v-electric-water-pump/>>
- [50] VIRICITI, “Services for electric vehicle”. Disponível em <<https://viriciti.com/telematics-electric-vehicles/>>
- [51] ACTIA Automotive, 2020. Disponível em:<<https://www.actia.co.uk/actigraf>>
- [52] Brian Sausera, Ryan Govea, Eric Forbesb and Jose Emmanuel Ramirez-Marqueza, *aStevens Institute of Technology, School of Systems and Enterprises, Systems Development & Maturity, Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level January 2010 Laboratory, Castle Point on Hudson, Hoboken, NJ, USA*
- [53] Unix Time. Disponível em:<https://time.is/Unix_time_now>

Anexo A. Requisitos do sistema AVAC

Neste anexo são descritos os principais requisitos necessários para o desenvolvimento do *software*.

| Req. ID | Fonte | Definição do requisito |
|-----------|--------------------------|--|
| HVAC_F1 | HLR_HVAC_2 | O sistema de aquecimento deve ligar a partir dos três seguintes modos: <ul style="list-style-type: none"> • aquecer os passageiros; • pré-aquecimento; • motorista pedir desembaciamento/aquecimento. |
| HVAC_F2 | HLR_HVAC_3 Cbus Req. | O modo de pré-aquecimento deve ser iniciado quando: <ul style="list-style-type: none"> • for recebido um pedido de aquecimento por parte do controlador de pré-aquecimento; • o bus estiver em carregamento • a temperatura exterior for menor que 16 °C. |
| HVAC_F3 | HLR_HVAC_3 Cbus Req. | O modo de aquecimento para os passageiros deve entrar em funcionamento, automaticamente, quando: <ul style="list-style-type: none"> • temperatura exterior for inferior a 16 °C • o bus estiver no modo running. |
| HVAC_F4 | Cbus Req. | Não deve ser ligado o modo de aquecimento para os passageiros ou em pré-aquecimento quando a bateria for inferior a 10 %. |
| HVAC_F5 | CBus Req. | Deve ser gerado um sinal de falha grave sempre que existir alguma falha grave no sistema de aquecimento. |
| HVAC_F5.1 | HLR_HVAC_13 CBus Req. | Deve ser considerado uma falha grave sempre que a temperatura da água exceder os 100 °C. |
| HVAC_F5.2 | CBus Req. | Deve ser considerado uma falha grave sempre que a bomba de água pare de trabalhar inadvertidamente |
| HVAC_F5.3 | CBus Req. | Deve ser considerado uma falha grave se qualquer um dos sensores de temperatura da água e do ar exterior estiverem em curto circuito ou circuito aberto. |
| HVAC_F5.4 | CBus Req. | Deve ser considerado uma falha grave quando o contactor negativo de segurança estiver em curto circuito. |
| HVAC_F5.5 | CBus Req. | Deve ser considerado uma falha grave quando for detetado por mais de 10 s, através do sensor de nível, que o nível de água está baixo ou a ficha do sensor esteja desconectada |
| HVAC_F5.6 | CBus Req. | Deve ser considera uma falha grave quando os três contactores estiverem em curto circuito em simultâneo. |

| | | |
|-------------------|-------------|---|
| HVAC_F5.7 | CBus Req. | Deve ser considerada uma falha grave sempre que ocorrer time out da bomba |
| HVAC_F6 | CBus Req. | Apenas se deve iniciar o sistema de aquecimento se não existirem falhas graves. |
| HVAC_F7 | CBus Req. | Durante o funcionamento do sistema de aquecimento, se ocorrer alguma falha grave, este deve desligar automaticamente. |
| HVAC_F8 | Cbus Req. | A bomba de água deve funcionar quando houver um pedido para ligar o sistema de aquecimento. |
| HVAC_F9 | CBus Req. | Por segurança, a bomba de água deve ficar ligada até dois minutos depois de desligar a ultima resistência (quando não for preciso aquecer) |
| HVAC_F10 | CBus Req. | O reset às falhas graves do sistema de aquecimento deve ocorrer quando se desligar e voltar a ligar a Ignição do bus. |
| HVAC_F11 | Cbus Req. | Deve ser ativo um sinal de erro, sempre que existir algum tipo de falha no sistema de aquecimento, de modo a aparecer um erro visual (símbolo) no painel de instrumentos |
| HVAC_F11.1 | CBus Req. | Este erro deve ser ativo sempre que ocorrer uma falha grave no sistema de aquecimento |
| HVAC_F11.2 | CBus Req. | Sempre que algum contactor estiver em curto circuito deve ativar o sinal de erro. |
| HVAC_F11.3 | CBus Req. | Sempre que algum sensor de temperatura do ar interior estiver em curto circuito ou circuito aberto deve ativar o sinal de erro. |
| HVAC_F12 | CBus Req. | Deve-se ativar o contactor negativo de segurança sempre que se ligar o sistema de aquecimento e deve-se desligar quando ocorrer alguma falha grave ou sair do modo Running. |
| HVAC_F13 | HLR_HVAC_5 | O sistema de aquecimento dos passageiros tem que estar limitado, em média, a 4kW. |
| HVAC_F14 | HLR_HVAC_13 | O sistema de desembaciamento pode estar limitado a 4kW e só pode ser inibido quando existir alguma falha grave no sistema de aquecimento. |
| HVAC_F15 | CBus Req. | O sistema de aquecimento da cabine do motorista deve ser prioritário em relação ao salão dos passageiros. |
| HVAC_F16 | CBus Req. | Os contactores devem desligar quando a temperatura da água for superior a 80°C e ligar quando é inferior a 50°C |
| HVAC_F17 | CBus Req. | Os convetores do salão dos passageiros devem ligar sempre que a temperatura do salão for inferior a 14°C e desligar quando for superior a 16°C |
| HVAC_F18 | CBus Req | A velocidade dos convetores deve ser ligado ao máximo no modo de pré-aquecimento para aquecer rapidamente e 5 m/s no modo aquecimento dos passageiros para reduzir o ruído |
| HVAC_ | CBus Req. | Em dias quentes, os extratores e ventiladores devem funcionar de modo automático de forma a retirar o |

| | | |
|-----------------|-----------|--|
| | | calor do salão, proporcionando uma sensação de conforto/circulação de ar. |
| HVAC_F19 | CBus Req. | Em modo <i>running</i> , deve ser possível de ligar e desligar manualmente os extratores pelo motorista sempre que este pretenda, em qualquer ocasião. (falta no software) |
| HVAC_F20 | CBus Req. | A vida dos contactores deve ser otimizada, de modo aos contactores terem o mesmo número de comutações |
| HVAC_F21 | CBus Req. | As resistências nunca devem desligar ao mesmo tempo em modo de carregamento, devendo existir um desfasamento temporal de 3 segundos entre elas |

Anexo B. Requisitos de teste da TFL

Attachment 9: Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC)

1 Introduction

This attachment provides specifications, test methods and limit values for the heating ventilation and air conditioning system as required by the main specification document.

- 1.1 General requirements
- 1.2 The heating and cooling system should keep the bus saloon at a comfortable temperature throughout the day and year. This specification sets out a controlled test; however it is expected that the system will be able to work over a wider range of climate conditions to be capable of maintaining the bus saloon temperature at 15°C evenly throughout the vehicle. Whilst the heating system must meet the requirements set out in this specification, TfL may choose to set less onerous requirements in service, particularly with the transition of the fleet to zero tailpipe emission vehicles where the impact of the system on range becomes an important consideration.
- 1.3 The objective of this testing is to validate the saloon heating and cooling performance of all vehicles. This test is carried out simultaneously with a test to validate the heating and cooling performance in the driver's cab.
- 1.4 The bus for testing provided either by the manufacturer or TfL from an operator shall be to the London specification and fitted with all equipment necessary for operation in London.
- 1.5 The testing authority is designated by TfL to ensure comparative standards and quality of testing is achieved.
- 1.6 Manufacturers and / or bus operators are permitted to be present during testing but are not permitted to interfere with or adjust the bus setting without full agreement of the testing authority and TfL. All adjustments will be noted by the testing authority.
- 1.7 The testing authority shall temporarily fit thermocouples according to sections 1.8 and 1.9 respectively where applicable.

- 1.8 The lower deck thermocouples shall be located 1.2 metres above the floor of the lower saloon, along the longitudinal centreline of the bus (mid-gangway). The position of the three thermocouples should be as follows;
- Centre of bus (0.5m from windscreen)
 - Centre of middle aisle
 - Centre rear (0.5m from back of bus)
 - Next to front windscreen demister vent
- 1.9 The upper deck thermocouples will be located 1.2 metres above the floor of the upper saloon, along the longitudinal centreline of the bus (mid-gangway). The position of the three thermocouples should be as follows;
- Centre of bus (0.5m from windscreen)
 - Centre of middle aisle
 - Centre rear (0.5m from back of bus)
- 1.10 The driver's cab thermocouple shall be located 1.2 metres above the floor for the driver's feet, on the centreline of the driver's seat base when the driver's seat is set to a mid-position on its forward / rearward slider.
- 1.11 The thermocouples are to be connected to a data logger capable of recording the temperature at each point at a maximum of 1 minute intervals. The results from the data logger shall be the only results utilised to evaluate the test procedure.

2 Heating Test

- 2.1 The heating test is to be undertaken in a climatic chamber with the temperature set at -5°C. In order to simulate the heating effect from passenger loading, 14 x 130 W heaters are to evenly distributed across the front, middle and rear seats (to include upper deck where applicable by applying 7 to the lower deck and 7 to the upper deck).
- 2.2 The soak condition is considered to be met when all thermocouples record a steady state of -15°C for 15 minute duration (+/- 1°C) after a minimum soak time of 1 hour. A minimum of 15 minutes of data must be recorded to demonstrate a stable soaked temperature. During this time if the temperature of any sensor moves out of (+/- 1°C) -15°C the 15 minutes must be reset.
- 2.2.1 **Heating (non-zero emission buses)**
- 2.2.1.1 Cab / Drivers Screen Demisting
- Control should be by manual driver selection, capable of independent operation at all times and raising the temperature from -5°C to 20°C within 25 minutes and maintaining 20°C within 45 minutes. The test will include all doors opening for 10 seconds at a time every 2 minutes to simulate bus stops. The maximum air vent velocity is 5 m/s.
- This will be performed during the Saloon Heating test detailed in section 2.2.1.2 below.

2.2.1.2 Saloon Heating

The heating system shall be capable of raising the temperature from -5°C to 15°C in 45 minutes, rising to and maintaining 17°C within 90 minutes. The test will include all doors opening for 10 seconds at a time every 2 minutes to simulate bus stops. The maximum air vent velocity is 5 m/s.

2.2.2 Heating (zero emission buses)

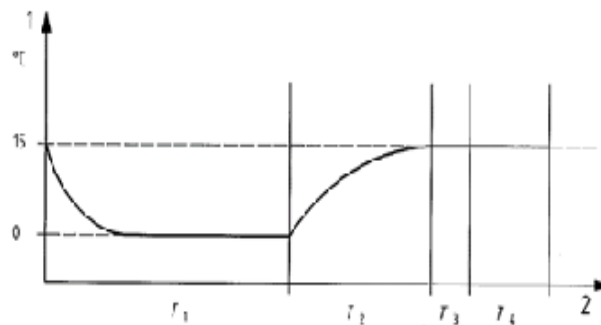
2.2.2.1 Cab / Drivers Screen Demisting

Control should be by manual driver selection, capable of independent operation at all times and raising the temperature from -5°C to 20°C within 25 minutes and maintaining 20°C within 45 minutes. The test will include all doors opening for 10 seconds at a time every 2 minutes to simulate bus stops. The maximum air vent velocity is 5 m/s. This will be performed during T2 of the pre-heat detailed in section 2.1.2.2 (see T2 below in section 2.1.3)

2.2.2.2 Saloon Heating

Zero emission buses are required to have a pre-heat function. The vehicle is to be pre-heated from -5°C to 15°C (see T2 in below) and maintained at 15°C for 1 hour (T3). The zero emission bus should maintain a temperature of 15°C whilst doors are cycled (T4). A +/- 1°C degree test tolerance is to be applied. A current clamp will be connected to calculate power consumption of the HVAC unit, energy consumption will be recorded for T2, T3 and T4. The test will include all doors opening for 10 seconds at a time every 2 minutes to simulate bus stops for one hour. The maximum air vent velocity is 5 m/s.

2.2.3 The testing authority will produce a graph of the test showing the temperature recorded by each individual thermocouple – temperature against time. Ambient chamber temperature will also be included on each graph. A spreadsheet showing the results from each thermocouple and ambient chamber temperature will accompany the graphs.



Key

1 ambient temperature

2 time

T_1 is the cooling time ≥ 5 h;

T_2 is the heating time;

T_3 is the stabilising time = 1 h (starts when internal temperature reaches 15 °C);

T_4 is the measuring time = 1 h to measure consumption of thermal energy.

3 Air Cooling Validation Test

- 3.1 If the drivers cab air conditioning is on, the air-cooling may function on a reduced setting to balance the cooling system. It must maintain capability of reducing the temperature from 40°C by 5°C within 25 minutes and maintaining 35°C within 45 minutes. The test will include all doors opening for 10 seconds at a time every 2 minutes to simulate bus stops. The maximum air vent velocity is 5 m/s.
- 3.2 Air Cooling
- 3.3 Air cooling should be fully shut down, 'Off' <23°C, 'On' >23°C, gradual build up to maximum capacity output at 28°C. A minimum cooling capacity capable of a reduction of 5°C is required when interior saloon temperature is 40°C over a 45 minute pull down test as described below. If Driver's cab air conditioning is off, saloon (lower and upper deck where applicable) air-cooling will function independently on its automatic temperature settings.
- 3.4 All bus models will be tested in a temperature controlled chamber at a temperature of 40°C and must achieve the pull down procedure shown below to validate settings and efficiencies.
- 3.5 In order to simulate the heating effect from passenger loading, 14 x 130 W heaters are to evenly distributed across the front, middle and rear seats (to include upper deck where applicable by applying 7 to the lower deck and 7 to the upper deck).

- 3.6 The bus will be put in a closed climate control chamber set at a temperature controlled to hold 40°C (+/- 1°C). It is permissible to open the vehicle windows, doors or roof vents as considered necessary to speed up the soak time.
- 3.7 The soak condition is considered to be met when all thermocouples record a steady state of 40°C for 15 minute duration (+/- 1°C) after a minimum soak time of 1 hour. A minimum of 15 minutes of data must be recorded to demonstrate a stable soaked temperature. During this time if the temperature of any sensor drops below 40°C the 15 minutes must be reset.
- 3.8 The bus should be powered on when the following preparations checks have been completed:
- a) All windows, roof vents and doors are closed
 - b) The thermocouples are correctly positioned
 - c) The data recorder is running.
- 3.9 When the bus is switched on the saloon air cooling should come on automatically (as above 23°C). The driver's cab air conditioning should be turned on, set to maximum capacity, maximum fan speed and if there is a control to direct the airflow it should be directed to the driver position rather than the windscreen. If possible all dashboard vents, floor vents or ceiling vents in the driver's cab should be directed towards the sensor position as far as practical. If the cab air conditioning has a damper flap to select between fresh air and recirculated air then the recirculated air function should be selected. The drivers windscreen demist system should be turned off and any associated vents closed.
- 3.10 For the complete duration of the test, the bus should be powered on and should be run at the bus engine idle speed, where applicable. If any recirculation air supply is optional or variable the system should be set to maximum fresh air supply. Any demisting or other system that provides air to the upper saloon must be isolated to not interfere with the test results.
- 3.11 The data logger timer will then start.
- 3.12 The test will measure the temperature drop delivered by the system over a 45 minute period on a minute by minute basis.
- 3.13 All thermocouples must achieve the target reduction temperature of 35°C within the first 25 minute period and be capable of holding the temperature at or below the 35°C for the remaining 20 minutes. The test will include all doors opening for 10 seconds at a time every 2 minutes to simulate bus stops. The maximum air vent velocity is 5 m/s. Averaging the results is not acceptable over time or between the sensors.
- 3.14 The testing authority will produce a graph of the Pull Down showing the temperature recorded by each individual thermocouple – temperature against time. Ambient chamber temperature will also be included on each graph. A spreadsheet showing the results from each thermocouple and ambient chamber temperature will accompany the graphs.

Anexo C. Datasheet do sensor de temperatura de água

Aqui estão presentes as características do sensor de temperatura de água.

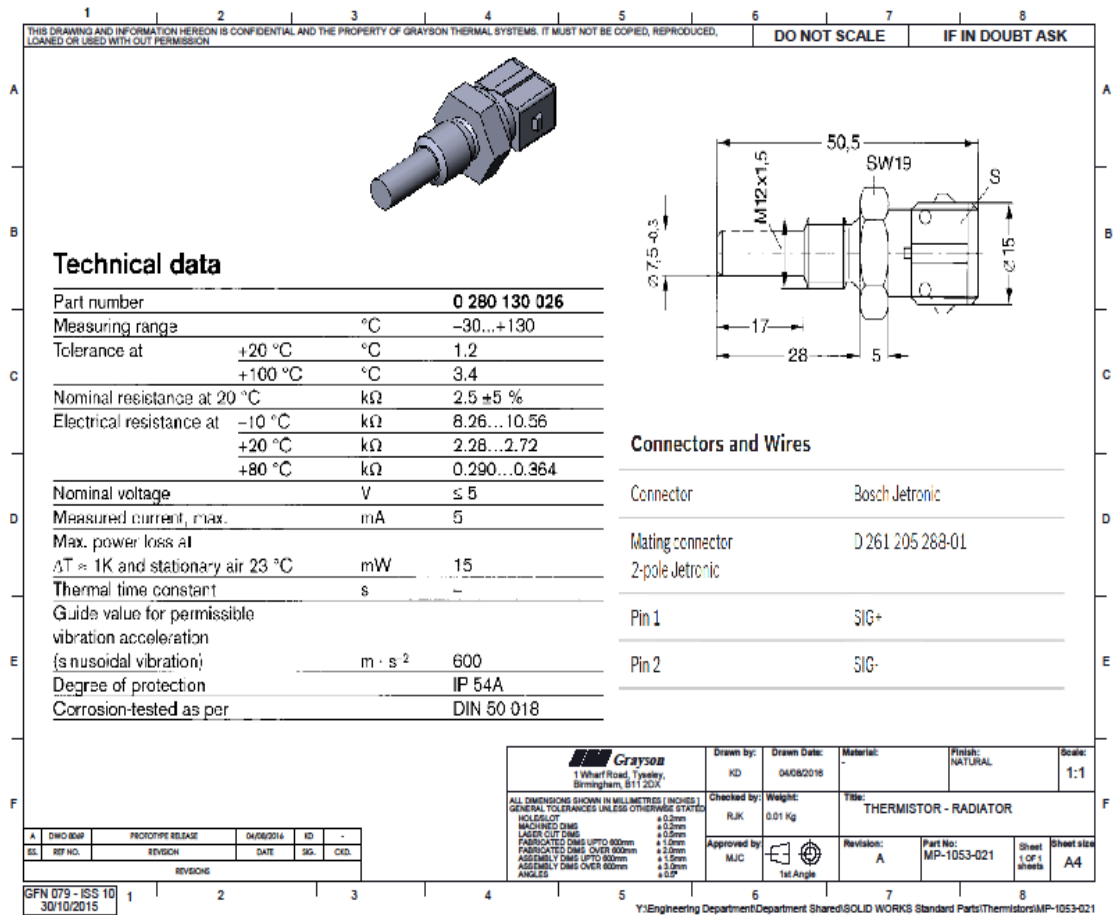


Tabela 38 Dados da variação da resistência com a temperatura

| Temperatura | Resistência |
|-------------|-------------|
| -40 | 45313 |
| -30 | 26114 |
| -20 | 15462 |
| -10 | 9397 |
| 0 | 5896 |
| 10 | 3792 |
| 20 | 2500 |
| 30 | 1707 |
| 40 | 1175 |
| 50 | 834 |
| 60 | 596 |
| 70 | 436 |
| 80 | 323 |
| 90 | 243 |
| 100 | 187 |
| 110 | 144 |
| 120 | 113 |
| 130 | 89 |

Anexo D. *Datasheet* do sensor de temperatura de ar



| | | | |
|---|--|--------|--|
| DATEN- BLATT | TYPE: NTC sensor 10k 1% | | Datum: 07-08-2013 |
| Benennung: IP 68 – Wasserdicht Fühler für Kühlanlagen bzw. langerzeite-Messung in Flüssigkeiten. Der „Einstück Gummifühler“ ist auch mit Edelstahl-Schutzfassung erhältlich. | | | |
| Bauform - Zeichnung | | | |
| | | | |
| Technische Merkmale | | | |
| <i>Meßelement</i> | NTC 10k | | |
| <i>Meßtemperaturbereich</i> | -50 / + 105°C kontinuierlich | | |
| <i>Bauart</i> | Messspitze und Kabel sind Heiß zusammengespritzt (vulkanisiert), wie ein Stück Gummi, Schutzart IP68 | | |
| <i>Anschlusskabel</i> | 0,30mm ² Cu-Litzen, Einzelisolation Polypropilen und gemeinsam halogenfreier thermoplastischer Elastomer („Stantoprene Ø = 3,3mm | | |
| <i>Kabellänge (E)</i> | Van 300 bis 4000mm (andere auf Anfrage) | | |
| <i>Schutzfassung</i> | Aus Edelstahl, 6mm Aussendurchmesser, die Hülse dient eventuell nur für die mechanische Befestigung des Fühler. Der Fühler ist schon ohne Hülse dicht. | | |
| <i>Schutzfassung-Länge (L)</i> | 50 oder 100mm (andere auf Anfrage) | | |
| <i>Laser Markierung</i> | Beschriftung wunschgemäß ausführbar (Option) | | |
| <i>Isolationprüfung</i> | 100MΩ bei 1000V Gleichstrom | | |
| <i>Dielektrische Festigkeit</i> | 3750V Wechselstrom | | |
| Bestelldaten: | | | |
| Art. | | | |
| 11046728 | L = | 1500cm | NTC 10k 1%, -50/+105C, IP68, 1500mm wire lenght |
| 11056892 | L = | 5000mm | NTC 10k 1%, -50/+105C, IP68, 5000mm wire lenght |
| 11063778 | L = | 300mm | NTC 10k 1%, -50/150C, IP68, 300mm incl. 2-p AMP Mate&Lock conn |
| 11067056 | L = | 300mm | Temperature sensor OPEN, NTC 10k, 1% with Mate-N-Lock 350778-1 |

Tabela 39 Variação da resistência com a temperatura do sensor de temperatura do ar

| Temperatura (°C) | Resistência (K Ω) |
|------------------|---------------------------|
| -40 | 1,120 |
| -35 | 1,185 |
| -30 | 1,250 |
| -25 | 1,300 |
| -20 | 1,350 |
| -15 | 1,420 |
| -10 | 1,485 |
| -5 | 1,550 |
| 0 | 1,630 |
| 5 | 1,690 |
| 10 | 1,760 |
| 15 | 1,840 |
| 20 | 1,900 |
| 25 | 2,000 |
| 30 | 2,085 |
| 35 | 2,150 |
| 40 | 2,240 |
| 45 | 2,320 |
| 50 | 2,405 |
| 55 | 2,500 |
| 60 | 2,600 |
| 65 | 2,700 |
| 70 | 2,800 |

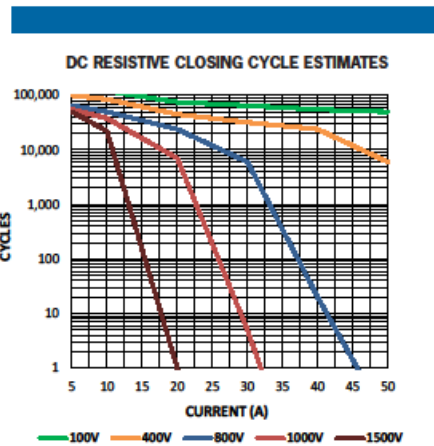
Anexo E. Datasheet do Contactor



PRODUCT SPECIFICATIONS

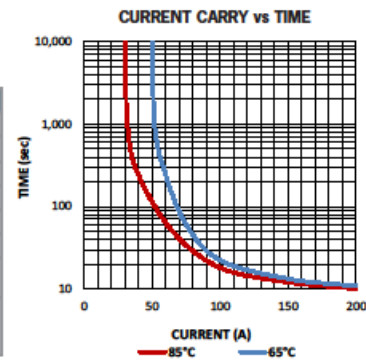
| Specifications | Units | Data |
|--|--------|--------------|
| Contact Arrangement | Form X | SPST-NO |
| Dielectric at Sea Level | Vrms | 4300 |
| Contact Voltage, Operating Max | Vdc | 1500 |
| Continuous Current Carry, Max (8 AWG) @ 25°C | A | 50 |
| Continuous Current Carry, Max (8 AWG) @ 85°C | A | 25 |
| Mechanical Life | Cycles | 1,000,000 |
| Contact Voltage Drop, Max @ 50A | mV | 100 |
| Contact Resistance, Max @ 50A (after 30 sec) | mOhms | 3.25 |
| Operate Time, Max | ms | 25 |
| Release Time, Max | ms | 8 |
| Vibration, Sinusoidal (50-200Hz Peak) | G | 5 |
| Shock, Operating, 1/2 Sine, 11ms | G | 20 |
| Temperature, Operating Range | °C | -40° to +85° |
| Humidity, No Freezing or Condensing at Low Temperature | RH | 5% to 85% |
| Weight | grams | 135 |
| Short Circuit Current Withstanding (5ms) | A | 400 |
| Impulse Withstand Voltage: IEC61000-4-4 (500 ohm) | kV | 6 |

POWER SWITCHING AND CURRENT CARRY RATINGS




COIL RATINGS @ 25°C 2/

| Coil P/N Designation | B | C | F |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| Coil Voltage, Nominal | 12 Vdc | 24 Vdc | 48 Vdc |
| Coil Voltage, Max | 16 Vdc | 32 Vdc | 64 Vdc |
| Pick-up Voltage, Max | 7.5 Vdc | 15 Vdc | 30 Vdc |
| Drop Out Voltage, Max | 5 Vdc | 9 Vdc | 18 Vdc |
| Drop Out Voltage, Min | 0.20 Vdc | 0.40 Vdc | 0.80 Vdc |
| Coil Resistance, +/-10% | 70 Ohms | 280 Ohms | 1092 Ohms |
| Coil Current at Nominal Voltage | 0.170 A | 0.085 A | 0.045 A |
| Recommended External Coil Suppression (not included) | SMAJ40CA or P6KE47CAE3/54 | SMAJ40CA or P6KE47CAE3/54 | SMAJ100CA or P6KE120CA |



Anexo F. *Datasheet* da válvula de água

| | |
|---|---|
| <p>3-Wege-Motorventil DN 25</p> <p>Für Wasser-Ölgemisch mit Gefrierschutzmittel Elektromotorisch betätigt Kugelhähnen-Ventil Schlauchanschluss 28 mm DIN 71 550 Betriebsdruck -0,5 bis 2,5 bar</p> |  <p>Bereich Automatik 8497572.9663.02400 aus Baureihe 82880 06.06</p> |
|---|---|

Beschreibung

Schaltfunktion: **Misch- oder Verteilfunktion**
 Durchflußrichtung: **beliebig**
 Fluidtemperatur: **-30 °C - +110 °C**
 Umgebungstemperatur: **-30 °C - +110 °C**
 Einbaulage: **beliebig**

Werkstoffe

Gehäuse: PA 66
 Deckel: PA 66
 Dichtungen: HNBR
 Kugeldichtung: PTFE
 Kugel: Ms-verchromt
 Innenteile: 1.4310

Merkmale

- Geringe Leistungsaufnahme
- Ventilstellung bleibt bei Stromausfall erhalten
- Stellwinkel 180 °

Kenngroßen

| DN | Anschlußgröße | Betriebsdruck bei Fluiden bis 40 mm/s (cSt) | | Kv-Wert | Masse gesamt | Zeichnungs-Nr. | Bestell-Nr. | |
|------|---------------|---|------|--------------------------|--------------|--------------------|----------------------|--------|
| | | min. | max. | | | | Ventil | Magnet |
| [mm] | | | | Basis: m ³ /h | [kg] | | | |
| 25 | 28 mm | -0,5 | 2,5 | 14 | 0,44 | 8497572.9663.02400 | 84 975 72.9663.02400 | |

Antrieb

Antrieb-Best.-Nr.: 9663.02400
 Ausführung: Gleichstrom-Getriebemotor
 Anschlussspannung: 024 V - 6V + 8V
 Leistungsaufnahme: Anzug: 2,4 W / Betrieb: 2,4 W
 Einschaltdauer: 100 %
 Schutzart: IP 00/54 (IP6K9K mit Sonderstecker)
 El. Anschluss: AMP-Steckdose
 Sonderausführung: Rückmelde-Poti 4,7 kOhm

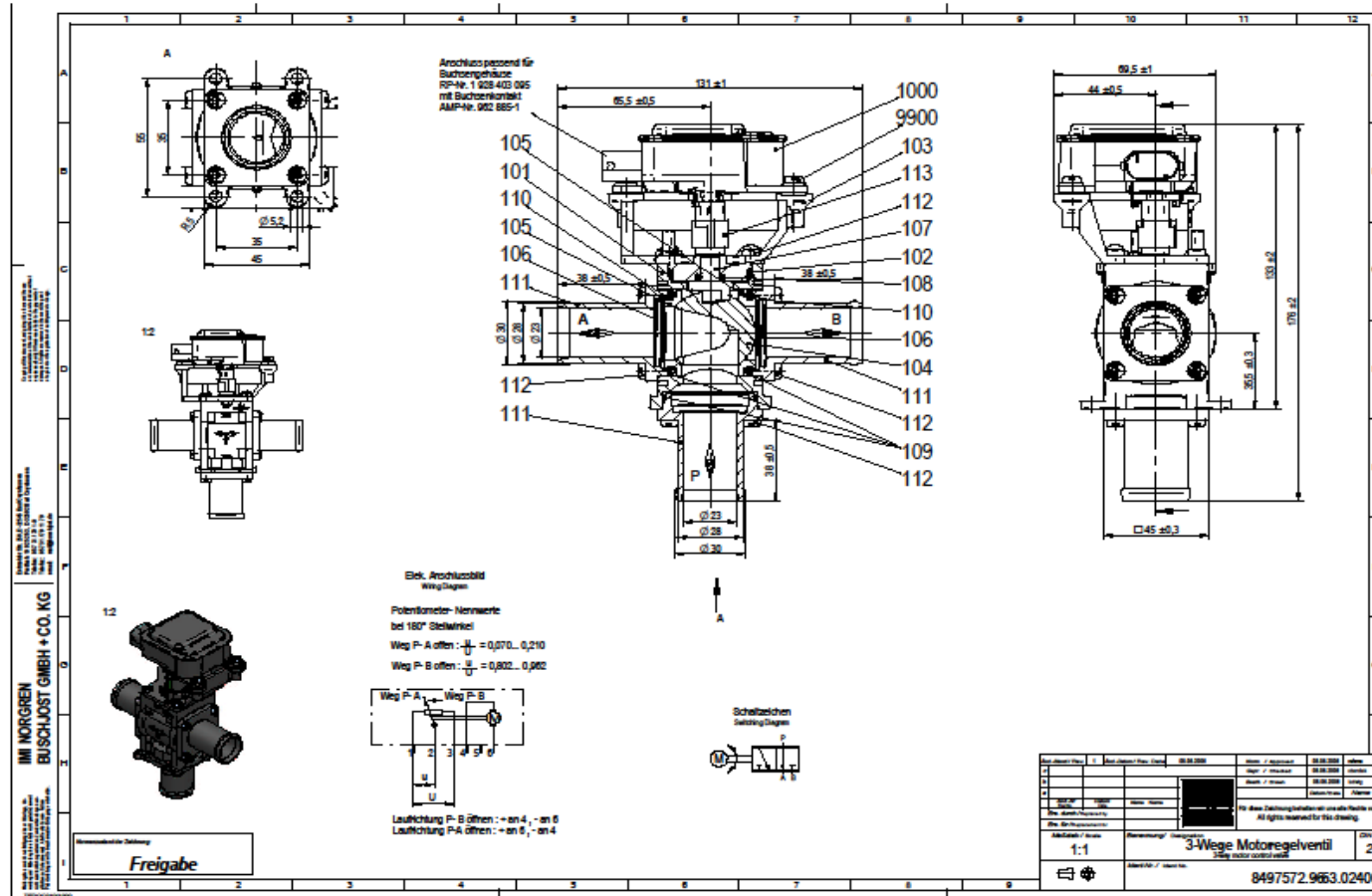
IMI Norgren Buschjost GmbH + Co. KG

Postfach 10 02 52-53
 D-32502 Bad Oeynhausen

Telefon (0 57 31) 7 91-0
 Telefax (0 57 31) 79 11 79

<http://www.buschjost.de>
 e-mail: mail@buschjost.de

TEDOC 044 / 1198



Anexo G. Definição do *Setpoint*

Foram definidas três curvas de *setpoint* de acordo com VDV 236: Normal, Eco e *Comfort*.

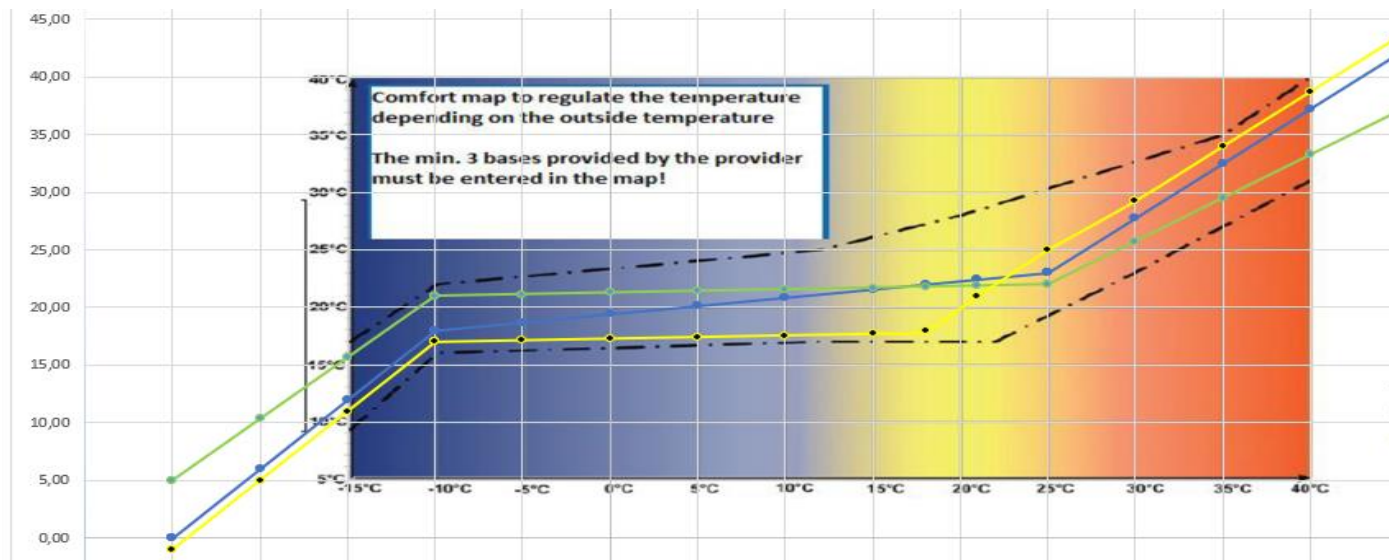


Figura 95 Curvas para os diferentes modos de *Setpoint*

Tabela 40 Diferentes modos de *setpoint*

| Temperatura Exterior (°C) | Modos do Setpoint | | |
|---------------------------|-------------------|---------|--------|
| | Normal* | Comfort | ECO |
| -30,00 | -30,00 | -30,00 | -30,00 |
| -25,00 | 0,00 | 5,00 | -1,00 |
| -20,00 | 6,00 | 10,33 | 5,00 |
| -15,00 | 12,00 | 15,67 | 11,00 |
| -10,00 | 18,00 | 21,00 | 17,00 |
| -5,00 | 18,71 | 21,14 | 17,14 |
| 0,00 | 19,43 | 21,29 | 17,29 |
| 5,00 | 20,14 | 21,43 | 17,43 |
| 10,00 | 20,86 | 21,57 | 17,57 |
| 15,00 | 21,57 | 21,71 | 17,71 |
| 18,00 | 22,00 | 21,80 | 18,00 |
| 21,00 | 22,43 | 21,89 | 21,00 |
| 25,00 | 23,00 | 22,00 | 25,00 |
| 30,00 | 27,75 | 25,75 | 29,25 |
| 35,00 | 32,50 | 29,50 | 34,00 |
| 40,00 | 37,25 | 33,25 | 38,75 |
| 45,00 | 42,00 | 37,00 | 43,50 |
| 50,00 | 50,00 | 50,00 | 50 |