

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

BRUNO FERREIRA ROSSANÊS

**ANÁLISE DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE
TRANSPORTE COLETIVO**



Ilha Solteira - SP
2024

BRUNO FERREIRA ROSSANÊS

**ANÁLISE DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE
TRANSPORTE COLETIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia, Ilha Solteira, para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Ciências Térmicas

Orientador(a): Prof. Dr. Leandro Oliveira
Salviano

Ilha Solteira - SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R827a Rossanês, Bruno Ferreira.
Análise do sistema de arrefecimento de um veículo elétrico de transporte coletivo / Bruno Ferreira Rossanês. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
97 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Leandro Oliveira Salviano

Inclui bibliografia

1. Veículo elétrico. 2. Sistema de gerenciamento térmico de baterias. 3.
descoberta de conhecimento em bases de dados. 4. Análise exploratória de
dados. 5. Software de código aberto.

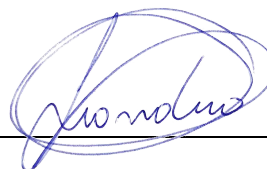
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA - TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Ao décimo segundo dia do mês de Julho de dois mil e vinte e quatro, às quinze horas, em reunião pelo Google Meeting (<https://meet.google.com/otv-esaz-iew>), o discente BRUNO FERREIRA ROSSANÊS, matriculado sob o RA 182053971, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado ANÁLISE DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE TRANSPORTE COLETIVO, tendo como banca examinadora o PROF. DR. LEANDRO OLIVEIRA SALVIANO (Orientador/Presidente), MSC. LAÍS STOCCO BANDINI, ENG. BRUNO DE AGUIAR. Após exposição e arguição, o discente foi **APROVADO** pela Comissão Examinadora. Encerrada as atividades, lavro a presente Ata.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Leandro Oliveira Salviano
(Orientador/Presidente)



MSc. Laís Stocco Bandini



Eng. Bruno de Aguiar



Bruno de Aguiar
15/Julho/2024

Discente:

Bruno Ferreira Rossanês



Ilha Solteira, 12 de Julho de 2024.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esse estudo contribui para o desenvolvimento de tecnologias para a eletrificação de veículos de transporte coletivo, alinhado aos esforços globais do setor automotivo para a redução de emissões de gases poluentes na atmosfera. Além disso, contribui também para o avanço dessa tendência de eletrificação no setor automotivo brasileiro, ao pesquisar soluções para desafios técnicos que esse tipo de tecnologia apresenta em sua regionalização.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This work contributes to the development of technologies for the electrification of public transport vehicles, as part of the automotive sector's global efforts to reduce emissions of greenhouse gases into the environment. It also contributes to advancing this electrification trend in the Brazilian automotive industry by researching solutions to the technical challenges that this type of technology presents in its regionalization.

Dedico este trabalho aos meus avós Dalva e Marcio,
ao meu pai Marcio e
à minha tia Susan.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Aluisio Viais Pantaleão, pela inclusão no projeto de pesquisa; ao Professor Dr. Leandro Oliveira Salviano, pela orientação; e ao Engenheiro Gabriel Prado de Oliveira, pela colaboração.

À Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira (FEPISA), pelo apoio financeiro.

À minha família e amigos, pelo apoio.

À Deus, por tudo.

“Insanity is doing the same thing over and over again but expecting different results” (Albert Einstein).

RESUMO

Veículo Elétrico (*Battery Electric Vehicle* – BEV) é uma importante alternativa do segmento automotivo para mitigar as emissões de poluentes e, assim, contribuir para a redução dos gases de efeito estufa. Ainda assim, o desafio tecnológico de um BEV é a sua autonomia, que depende da eficiência das baterias, a qual está relacionada com a sua temperatura de operação. Uma vez especificada uma faixa de temperatura de funcionamento, um sistema de gerenciamento térmico de baterias (*Battery Thermal Management System* – BTMS) é projetado para manter essa condição durante o funcionamento do veículo. No entanto, a eficiência do BTMS depende das condições ambientes, o que também pode afetar a autonomia do veículo. Assim, de forma a contribuir para este desafio, o principal objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento térmico de um BEV de uma fabricante multinacional de automóveis no segmento de veículos médios e pesados (*Medium and Heavy Duty* – MHD). Para isso, foram realizados testes com o veículo em condições ambientais de um país tropical (elevados níveis de temperatura ambiente e elevados níveis de radiação solar), em que a instrumentação embarcada monitorou o comportamento do BTMS ao longo de uma rota, registrando dados de temperatura do fluido de arrefecimento, a vazão das bombas, a potência dos equipamentos do sistema de arrefecimento (ventilador do radiador, compressor e ventilador do condensador do chiller), bem como dados do GPS do veículo e a temperatura média das baterias. Em seguida, os níveis do BTMS foram analisados em detalhes pelo Coeficiente de Performance (COP) do BTMS e também devido à resistência térmica da parede da tubulação. A abordagem baseou-se na metodologia de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados (*Knowledge Discovery in Databases* – KDD) para o pré-processamento dos dados experimentais e na Análise Exploratória de Dados (*Data Exploratory Analysis* – DEA) dos sinais resultantes, suportada pelo desenvolvimento de *software* para automatizar os processos de pré-processamento de dados e criar interfaces gráficas do usuário amigáveis para a DEA, utilizando o *software* de computação científica *open-source* GNU Octave. Enfim, a partir da análise dos dados foi possível realizar a verificação e validação do BTMS do veículo analisado.

Palavras-chave: Veículo elétrico; Sistema de gerenciamento térmico de baterias; Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados; Análise Exploratória de Dados; Software de Código Aberto.

ABSTRACT

Battery Electric Vehicle (BEV) is an important alternative from automotive segment to mitigate the emissions and, therefore, contribute to reduce the greenhouse gases. Even so, the technological challenge of a BEV is their autonomy, which depends on the efficiency of the batteries, which is related to their operating temperature. Once an operating temperature range is specified, a Battery Thermal Management System (BTMS) is designed to maintain this condition during vehicle operation. However, the efficiency of the BTMS depends on the ambient conditions, which can also affect the vehicle autonomy. Thus, in order to contribute to this challenge, the main goal of this work is to evaluate the thermal behavior of a BEV from a multinational automaker in the Medium and Heavy Duty (MHD) segment. To this end, vehicle tests were carried out under ambient conditions of a tropical country (high levels of ambient temperature and high levels of solar radiation), in which the on-board instrumentation monitored the behavior of the BTMS along a route, recording coolant temperature data, the flow rate of the pumps, the power of the Cooling System equipment (radiator fan, Chiller compressor and condenser fan), as well as data from the GPS vehicle and the average temperature of the batteries. Then, the BTMS levels were analyzed in detail by Coefficient of Performance (COP) of the BTMS and also due to wall thermal resistance of the pipe. The approach was based on the Knowledge Discovery in Databases (KDD) methodology for preprocessing the experimental data and Data Exploratory Analysis (DEA) of the resulting signals, powered by software development for automating the data preprocessing processes and creating user-friendly graphical interfaces for DEA, using GNU Octave open-source scientific computing software. Finally, from the data analysis, it was possible to perform the verification and validation of the BTMS of the vehicle analyzed.

Keywords: Electric vehicle; Battery Thermal Management System; Discovery in Databases; Data Exploratory Analysis; Open-Source Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Veículo elétrico estudado	16
Figura 2 – Comparativo anual de temperatura ambiente entre Sevilha e Ilha Solteira	18
Figura 3 – Rota de testes	20
Figura 4 – Esquema das interações de calor em um trecho de tubulação	24
Figura 5 – Esquema da seção transversal de um tubo com isolante térmico	25
Figura 6 – Algoritmo da operação de Seleção de Dados por Junção Orientada.....	33
Figura 7 – Algoritmo da operação de Seleção de Dados por Redução de Dados	35
Figura 8 – Exemplo ilustrativo do método de Limpeza de Dados.....	36
Figura 9 – Exemplo ilustrativo da operação de Limpeza de Dados para Calibração	37
Figura 10 – Utilização da ferramenta de análise comparativa de sinais para elaboração do relatório de validação	38
Figura 11 – Utilização da ferramenta de monitoramento dos testes para análise de causa-raiz das falhas	39
Figura 12 – Utilização da ferramenta de análise comparativa de sinais para análise de causa-raiz das falhas em conjunto à ferramenta de monitoramento dos testes.....	39
Figura 13 – Utilização da ferramenta de análise comparativa do comportamento estatístico dos sinais (tendência central, variabilidade, distribuição).....	40
Figura 14 – Execução do script.....	41
Figura 15 – Importação da planilha dos sinais	41
Figura 16 – GUI da ferramenta de EDA	42
Figura 17 – Carregamento dos arquivos de teste	43
Figura 18 – Filtro dos testes para análise	44
Figura 19 – Exibição dos sinais seguindo a nomenclatura escolhida.....	45
Figura 20 – Filtro dos sinais para análise	46
Figura 21 – Confirmação das opções selecionadas.....	46
Figura 22 – Análise: exibição dos gráficos	47
Figura 23 – Análise: “zerar” o cronômetro	48
Figura 24 – Configuração da operação de normalização	49
Figura 25 – Aplicação da operação de normalização pelo valor máximo.....	50
Figura 26 – Recurso de esconder a legenda.....	51
Figura 27 – Recursos de ajuste do eixo vertical.....	52

Figura 28 – Seleção da opção de “zoom”	53
Figura 29 – Aplicação da opção de “zoom”	53
Figura 30 – Resultado da aplicação da opção de “zoom”	54
Figura 31 – Recurso de visualização somente dos dados (pontos) do sinal	55
Figura 32 – Seleção do recurso de anotação	56
Figura 33 – Aplicação do recurso de anotação	56
Figura 34 – Resultado da aplicação do recurso de anotação	57
Figura 35 – Seleção da opção “Salvar como”	57
Figura 36 – Escolhendo o local de salvamento e o nome do arquivo salvo	58
Figura 37 – Evidência do arquivo salvo no local escolhido	58
Figura 38 – Imagem salva no arquivo	59
Figura 39 – Seleção da opção “Copiar para a área de transferência”	59
Figura 40 – Imagem colada	60
Figura 41 – Opção de retirar o “zoom” antes aplicado com “Zoom Out”	61
Figura 42 – Opção de retirar o “zoom” antes aplicado com “Automatic limits for current axes”	61
Figura 43 – Resultado da opção de retirar o “zoom”	62
Figura 44 – Troca para a análise por <i>boxplot</i>	63
Figura 45 – Análise descritiva usando <i>boxplot</i>	63
Figura 46 – Importação da planilha com a lista de sinais	64
Figura 47 – Entrada de informações	65
Figura 48 – Análise da rota	65
Figura 49 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	71
Figura 50 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	72
Figura 51 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	72
Figura 52 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	73
Figura 53 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	73
Figura 54 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	74

Figura 55 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	74
Figura 56 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira	75
Figura 57 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira.	76
Figura 58 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira.	76
Figura 59 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira	77
Figura 60 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira	77
Figura 61 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira	78
Figura 62 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira	78
Figura 63 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira	79
Figura 64 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira	79
Figura 65 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	80
Figura 66 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	81
Figura 67 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	81
Figura 68 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	82
Figura 69 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	82
Figura 70 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	83
Figura 71 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	83

Figura 72 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira.....	84
Figura 73 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	85
Figura 74 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	85
Figura 75 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	86
Figura 76 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	86
Figura 77 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	87
Figura 78 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	87
Figura 79 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	88
Figura 80 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira.....	88
Figura 81 – Falha no teste com a variante Nylon pipes em Ilha Solteira em 13/mar/23 à tarde identificada em uma bateria do conjunto do teto.....	89
Figura 82 – Detalhes da falha no teste com a variante Nylon pipes em Ilha Solteira em 13/mar/23 à tarde identificada em uma bateria do conjunto do teto.....	90
Figura 83 – Comparação do COP em função da temperatura ambiente.....	91
Figura 84 – Comparação do COP em função da radiação solar.....	92
Figura 85 – Comparação das condições ambientes dos testes (radiação solar versus temperatura ambiente).....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das tubulações de cada configuração	69
Tabela 2 – Condições dos testes	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BTMS	<i>Battery Thermal Management System</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
cond.	Condução
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>
DEA	<i>Data Exploratory Analysis</i>
GMT	<i>Greenwich Mean Time</i>
int.	Interno
isol.	Isolante térmico
KDD	<i>Knowledge Discovery in Databases</i>
sup.	Superfície

LISTA DE SÍMBOLOS

c	Calor específico
COP	Coefficiente de Performance
k	Condutividade térmica do material do meio
π	Constante matemática pi
\varnothing	Diâmetro
t	Espessura
ρ	Massa específica
r_2	Posição radial da superfície externa da parede cilíndrica
r_1	Posição radial da superfície interna da parede cilíndrica
W	Potência elétrica
$R'_{t,cond.}$	Resistência térmica à condução
\dot{Q}	Taxa de calor
\dot{Q}''	Taxa de fluxo de calor
T_f	Temperatura de filme
T_{in}	Temperatura nos pontos de entrada
T_{out}	Temperatura nos pontos de saída
\dot{V}	Vazão volumétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	PROPOSIÇÃO	22
3	REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1	SISTEMA DE GERENCIAMENTO TÉRMICO.....	22
3.2	DESCOBERTA DE CONHECIMENTO EM BASES DE DADOS.....	27
3.2.1	Pré-processamento	28
3.2.2	Mineração de Dados.....	30
3.2.3	Pós-processamento	30
3.3	SOFTWARE GNU OCTAVE	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	38
5.1	DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE KDD	38
5.2	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	69
5.3	DEFINIÇÃO DE DESIGN	91
6	CONCLUSÃO	93
	REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

Veículos elétricos têm sido desenvolvidos especialmente no continente Europeu, Asiático e América do Norte, embora sua comercialização na América Latina, por exemplo, é uma importante estratégia de mercado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 2023). Neste sentido, uma filial localizada no Brasil de uma empresa multinacional europeia fabricante de veículos foi encarregada de adaptar o veículo elétrico da Figura 1 para operar nas condições ambientes de países tropicais, uma vez que as condições ambientais podem afetar a autonomia desse veículo.

Figura 1 – Veículo elétrico estudado



Fonte: Cedida pela empresa.

As baterias possuem um intervalo de temperatura ótimo de operação de 25°C a 35°C, de modo que se as condições ambientais fizerem com que a temperatura das baterias fique fora desse intervalo a eficiência delas diminui, aumentando a potência elétrica consumida pelo veículo e conseqüentemente reduzindo o tempo até a próxima parada do veículo para recarga. Por isso, existe um sistema de gerenciamento térmico das baterias (do inglês, *Battery Thermal Management System* – BTMS), que é composto tanto por um *Heater* (Aquecedor) quanto por um Radiador e um Chiller. Assim, quando a temperatura ambiente está abaixo de 25°C e as demais condições ambientes favorecem a redução da temperatura abaixo desse limite inferior, como ocorre em países europeus, o *Heater* é acionado para aquecer as baterias; por outro lado, quando a temperatura ambiente está acima de 35°C e/ou as condições ambientes (como radiação solar) favorecem o aumento da temperatura acima desse limite superior, como ocorre em países latino-americanos, o Radiador e/ou o Chiller são acionados para refrigerar as baterias.

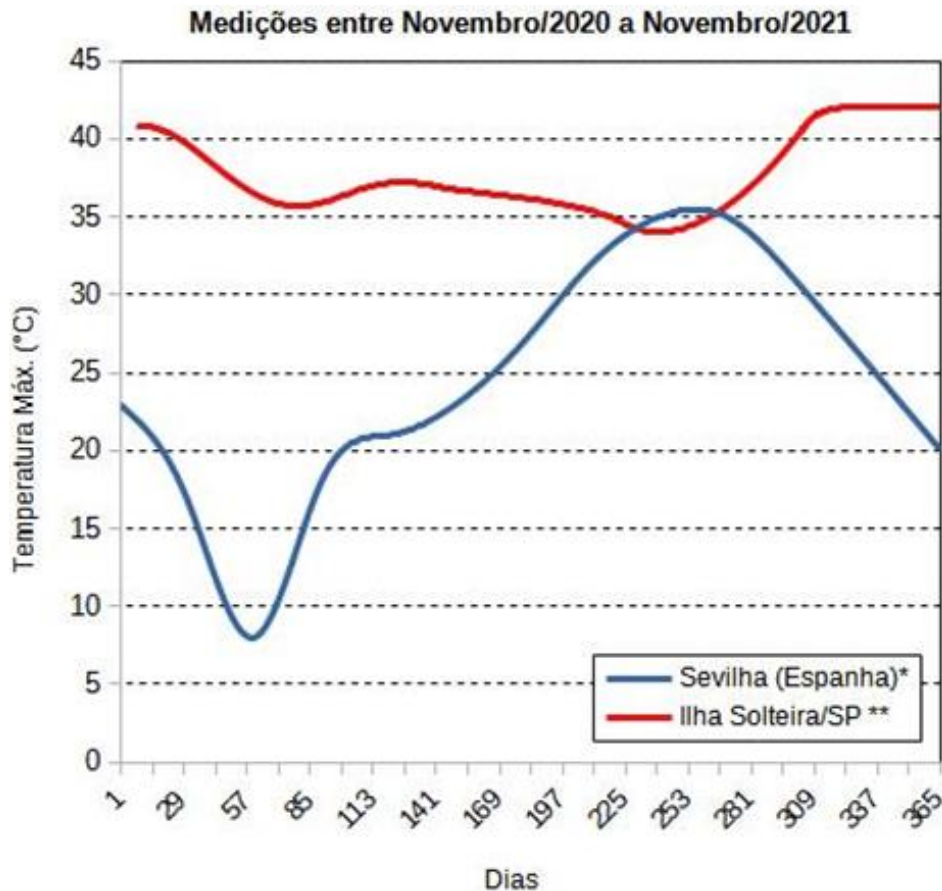
No entanto, esses subsistemas possuem equipamentos ou componentes elétricos (a saber, a resistência elétrica do *Heater*, o acionamento do ventilador do *Radiador* e, do *Chiller*, o motor de acionamento do compressor e o acionamento do ventilador do condensador), bem como a circulação do fluido refrigerante no BTMS é desempenhado por duas bombas cujo

acionamento é por motor elétrico, portanto, o BTMS demanda energia elétrica, neste caso, de um conjunto de baterias dedicado. Ainda, quanto mais adversas e severas as condições ambientes, maior essa demanda.

Visto isso, o projeto e a aplicação de um BTMS mais adequado às condições ambientes da região onde o veículo será utilizado é necessário para não prejudicar a autonomia do veículo. Sendo assim, como o BTMS original do Veículo elétrico foi projetado para atender às condições ambientes da Europa, torna-se necessário verificar o desempenho do BTMS e o comportamento da autonomia do veículo quando sujeito às condições ambientes da América Latina, e então, se necessário, propor e validar soluções de melhoria no BTMS.

Nesse sentido, como a empresa não conseguiu simular essas condições na Europa, um modelo do veículo elétrico foi enviado ao Brasil para que esses testes fossem realizados. Nesse cenário, a empresa firmou uma parceria com a Faculdade de Engenharia da UNESP em Ilha Solteira (FEIS-UNESP) em um projeto de pesquisa tecnológica visando realizar os testes veiculares do veículo elétrico em Ilha Solteira – SP, uma das cidades mais quentes do estado de São Paulo, e que todo o processo de verificação e validação de produto seja realizado em conjunto pela equipe de pesquisadores da FEIS-UNESP com a equipe de engenheiros da empresa. Como evidencia a Figura 2, essa decisão foi tomada a partir de uma análise comparativa das condições ambientes entre a cidade espanhola de Sevilha, onde os testes foram realizados na Europa, e a cidade de Ilha Solteira, com base em dados históricos das máximas diárias de temperatura ambiente relativos ao período de um ano entre 2020 e 2021, quando a estratégia estava sendo elaborada.

Figura 2 – Comparativo anual de temperatura ambiente entre Sevilha e Ilha Solteira



Fonte: Cedida pelos elaboradores.

Legenda: * dados provenientes dos relatórios do website WeatherSpark.com; e ** dados provenientes do banco de dados do sistema Clima.feis.unesp.br

A Figura 2 comprova que as condições ambientes de Ilha Solteira são expressivamente mais severas que aquelas de Sevilha. Pode-se verificar que as temperaturas máximas são superiores na maioria do ano, estando geralmente acima de 35°C e com uma variação menor que 10°C. Ainda que durante menos de dois meses as temperaturas máximas de Sevilha foram superiores em alguns graus, esse fato ocorreu durante o verão de Sevilha, enquanto era inverno em Ilha Solteira.

A primeira proposta da empresa foi verificar a eficiência do BTMS e buscar aumentá-la, mitigando a dissipação de calor nas linhas de fluido de arrefecimento – uma vez que não são adiabáticas, sabendo que não existe um material para os dutos que seja um isolante térmico perfeito –, por meio do projeto e validação dos dutos que interligam os componentes do BTMS, de modo a garantir a melhor condição de isolamento térmico por meio de um projeto adequado e viável a partir da seleção ou combinação de opções comerciais disponíveis. Nesse sentido, este trabalho foi realizado visando a verificação e a validação do BTMS,

conforme o requisito de operação das baterias, considerando os dutos propostos pela empresa.

Sendo assim, foram definidas 4 configurações de teste, diferindo entre elas pelo tipo de duto selecionado e o tipo de isolante térmico selecionado, se empregado. Ou seja, entre as configurações, pode variar o material e as dimensões radiais dos dutos (diâmetro e espessura), bem como esses dutos podem ser revestidos ou não com um isolante térmico, para o qual também são feitos de material e com espessuras diferentes. Com isso, foi possível obter uma variabilidade de valores de resistência térmica total, a fim de permitir verificar nos testes veiculares qual promove o resultado mais favorável para a eficiência do BTMS.

As especificações de cada configuração são: (1) tubos de aço inoxidável (pior caso – referência); (2) tubos de aço inoxidável revestidos com isolante térmico de material elastomérico (variante de *design*); (3) tubos de aço inoxidável revestidos com isolante térmico de espuma de polietileno expandido com película de proteção UV branco (variante de *design*); e (4) tubos de nylon (variante de *design*).

Vale ressaltar que esse resultado não é trivial, uma vez que existem dois trechos da linha de fluido refrigerante que são expostos ao ambiente atmosférico. Sendo assim, esses dutos recebem radiação solar diretamente, a qual aquece sua superfície externa e, por condução térmica através da parede do duto, esquentam o fluido de arrefecimento. Nesse caso, se aplicado um isolante térmico, o fluido esquentaria menos, uma vez que a parcela de calor conduzido para o fluido seria menor, dado que o isolante térmico aumenta a resistência térmica total na fronteira entre o fluido e o ambiente. Por outro lado, quando o veículo está em movimento, o escoamento do ar, devido ao movimento relativo, causa interação de calor por convecção forçada, cujo coeficiente de transferência de calor é bem maior do que o correspondente para convecção natural (modo de calor que ocorre quando o ar está estático; veículo parado), de modo que, se a temperatura do ar for inferior à da superfície externa do duto, pode remover calor do duto com intensidade significativa. Portanto, nesses casos, vale buscar aproveitar esse efeito, já que esses trechos dos dutos funcionam como trocadores de calor.

Com isso, foi estabelecido um plano de testes para verificação e validação das configurações do BTMS, visando tanto avaliar se o BTMS atende ao requisito de temperatura das baterias, quanto analisar e comparar a eficiência do BTMS para todas as configurações do BTMS definidas.

Nesse plano de teste, foi definida a rota de teste exibida na Figura 3, considerando a variação das condições de rodagem para assim reproduzir as possibilidades de operação do veículo e que podem variar a demanda das baterias e, por sua vez, do BTMS. Nesse sentido, na rota de teste, há:

buscar padrões de comportamento (tendências, sazonalidade etc.) e desvios nesses padrões característicos de cada condição de teste variante. Além disso, definiu-se 4 voltas na rota para cada teste, de modo que cada volta possui 42km e a rota, por sua vez, 168km, o que chega próximo da autonomia do veículo, que é cerca de 200km. Com isso, também é possível verificar se o comportamento do BTMS se repete em cada volta do teste ou se tende a um equilíbrio durante o teste.

Para cada condição de teste, o veículo com cada configuração do BTMS foi testado em dias diferentes e em períodos diferentes do dia (manhã e tarde), a fim de variar as condições ambientes e assim poder avaliar a influência no desempenho do BTMS, ao comparar testes diferentes da mesma configuração. Por outro lado, tornar-se um desafio comparar os resultados de configurações diferentes do BTMS, uma vez que foram obtidos sob condições ambientes diversas e, portanto, há uma variedade e diversidade de fatores influentes, interferindo e modificando os resultados, além do efeito das condições de teste da configuração que se deseja avaliar.

Para verificar o comportamento do veículo durante os testes, contou-se com uma instrumentação embarcada. Nesse sentido, fora configurado um sistema de instrumentação no BTMS com sensores instalados em certos pontos da tubulação, a fim de captar a leitura dos valores de vazão do fluido, temperatura do fluido, temperatura da superfície da parede da tubulação e temperatura do ar ao redor da tubulação. Além disso, foram instalados sensores no veículo para monitoramento das condições do ambiente: temperatura do ar ambiente, radiação solar, umidade relativa do ar ambiente e pressão barométrica. Então, cada um desses sensores foi conectado a um canal de módulo de mediação apropriado. Ainda, foram instalados dispositivos nos equipamentos elétricos (ventilador do radiador, compressor do *Chiller*, ventilador do condensador do *Chiller* e bombas), a fim de captar as grandezas elétricas (corrente, tensão e potência). Sobretudo, foi realizada uma conexão à rede CAN (*Controller Area Network*) do veículo, dispondo assim de acesso à dados do veículo, tais como as condições de utilização das baterias (temperatura média de cada bateria e estado de carga do veículo – porcentagem disponível), as condições de operação do veículo (velocidade, aceleração, massa e torque do motor elétrico) e as condições da rota (inclinação da pista, latitude e longitude). Por fim, todos os módulos de medição, dispositivos e a rede CAN foram conectados a um registrador de dados (datalogger) e este a um roteador de internet, a fim de que todas as leituras de dados fossem registradas em arquivos de medição e estes enviados para um servidor na internet para serem armazenados e a que então foi concedido acesso aos pesquisadores da FEIS-UNESP para a importação desses dados visando o processo de validação do BTMS.

2 PROPOSIÇÃO

Após a realização dos testes veiculares com todas as configurações propostas (*steel pipes*, *thin insulation*, *thick insulation* e *nylon pipes*), foram obtidos vários arquivos de medição contendo os dados experimentais desses testes. A partir disso, foram definidos dois objetivos: a validação do BTMS e a decisão do *design* da tubulação do BTMS. Em se tratando da validação, a proposta consistiu em verificar o sinal de temperatura média de cada bateria do veículo ao longo de cada teste realizado e então avaliar se os valores do sinal mantiveram-se dentro dos limites especificados (25°C a 35°C), identificando assim quais testes atenderam ao requisito de operação das baterias (aprovados) e aqueles que não (reprovados) e, por fim, comparar esses resultados visando verificar se há alguma relação com a configuração da tubulação testada ou com o período do dia em que o teste fora realizado. Quanto à decisão de *design*, a proposta consistiu em avaliar o desempenho do BTMS em cada teste e então traçar o comportamento do desempenho para cada configuração do BTMS e, por fim, comparar o desempenho entre essas configurações, considerando as condições de teste, a fim de identificar qual delas apresenta o melhor desempenho e, portanto, definir qual variante de *design* utilizar na tubulação.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 SISTEMA DE GERENCIAMENTO TÉRMICO

Um sistema de gerenciamento térmico consiste em um circuito de linhas de fluido de trabalho que passam por máquinas (bomba e compressor) e equipamentos (aquecedor, condensador e radiador) que alteram as propriedades do estado termodinâmico do fluido de trabalho em função da carga térmica que ele precisa atender, por meio de remoção ou rejeição térmica. (OLABI et al., 2022)

Nesse contexto, idealmente, as linhas de fluido são adiabáticas (não há interação de calor entre o sistema e o meio externo através da fronteira), mas não é o que ocorre naturalmente, na medida em que, em aplicações de engenharia (mundo real), a fronteira é a parede de uma tubulação (dutos, mangueiras etc.) cujo material não é um isolante térmico perfeito (isto é, adiabático). Haja vista que não foi descoberto um material na natureza que atenda a essa condição. Consequentemente, desde que haja um desequilíbrio térmico ou fontes de calor ao redor, interações de calor ocorrem entre o fluido de trabalho e o meio externo através da parede da tubulação, o que influencia o desempenho do sistema de

gerenciamento térmico, uma vez que as tais máquinas e equipamentos consomem potência elétrica para seu funcionamento e então uma parcela desse consumo é desperdiçada por essas interações de calor. (INCROPERA et al., 2014)

Contudo, visando mitigar esse efeito, no projeto de tubulações, costuma-se considerar a aplicação de um revestimento na superfície externa do tubo, denominado isolante térmico. Ainda no momento da seleção, tanto do material do tubo, quanto do isolante térmico, é considerada a resistência térmica resultante da parede da tubulação. Essa grandeza física avalia a resistência de um meio material ao fluxo de calor por condução. Nesse contexto, o meio material é a parede da tubulação (no caso, composta pela parede do tubo e o isolante térmico). Assim, quanto maior a resistência térmica da tubulação, menor a intensidade das interações de calor. Sobretudo, assim como em qualquer projeto mecânico, outros aspectos também devem ser ponderados, tal como estrutural, peso, espaço e custo. Portanto, deve-se considerar as soluções disponíveis e, com base nos requisitos, decidir qual a melhor solução. (INCROPERA et al., 2014)

Visto isso, como apoio à tomada dessa decisão de engenharia, pode-se estimar a interação de calor nos trechos da tubulação, bem como a resistência térmica das opções de configuração da tubulação (combinações possíveis de tubo e isolante) (INCROPERA et al., 2014). Além disso, a fim de enriquecer a interpretação e a análise comparativa desses resultados, pode-se avaliar um indicador de desempenho do sistema de gerenciamento térmico para cada uma dessas configurações.

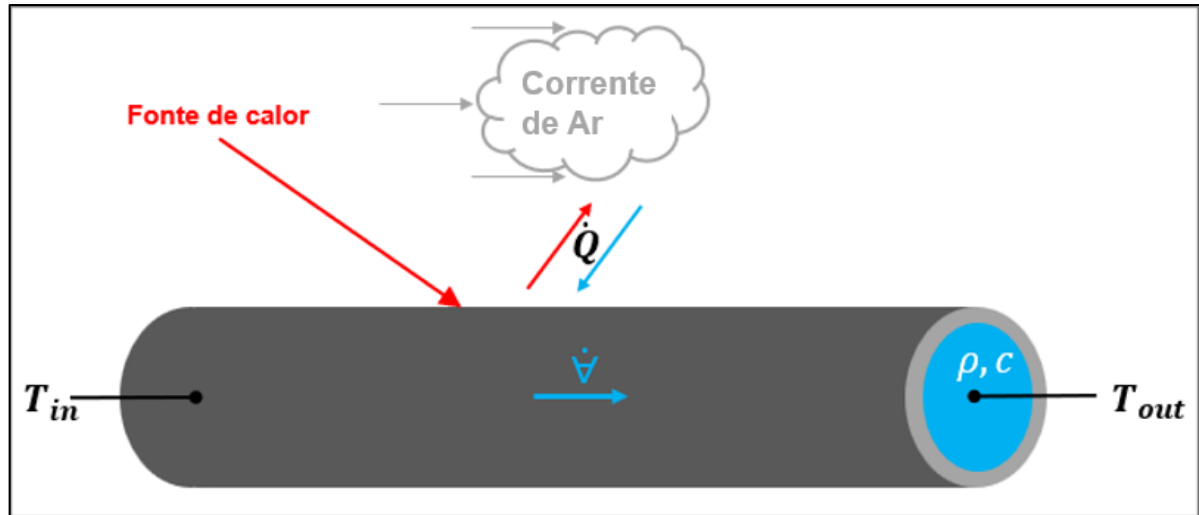
Nesse sentido, a fim de quantificar a interação de calor, com base na Primeira Lei da Termodinâmica, a interação de calor em um trecho da tubulação é equivalente à variação da energia interna do fluido entre os pontos de entrada e de saída desse trecho. Sendo assim, considerando a fenomenologia do problema abordado, a Equação 1 descreve o modelo físico-matemático da taxa de calor, \dot{Q} , como ilustra a Figura 4. (INCROPERA et al., 2014)

$$\dot{Q} = \rho \dot{V} c \Delta T; \Delta T = T_{out} - T_{in} \quad (1),$$

onde a vazão volumétrica do escoamento, \dot{V} , é variável no tempo, conseqüentemente, a temperatura nos pontos de entrada, T_{in} , e de saída, T_{out} , também são funções temporais, assim como a massa específica, ρ , e o calor específico, c , que são propriedades do fluido descritas em função da temperatura do escoamento. Nesse caso, as propriedades do fluido podem ser avaliadas, utilizando dados tabelados ou gráficos do levantamento dessas propriedades dentro de um intervalo de valores de temperatura provenientes, por exemplo, da ficha de dados técnicos (*datasheet*) do fabricante do fluido de trabalho, podendo usar como dado de entrada, a temperatura de filme, T_f , conforme a Equação 2. (INCROPERA et al., 2014)

$$T_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (2).$$

Figura 4 – Esquema das interações de calor em um trecho de tubulação



Fonte: Produção do próprio autor.

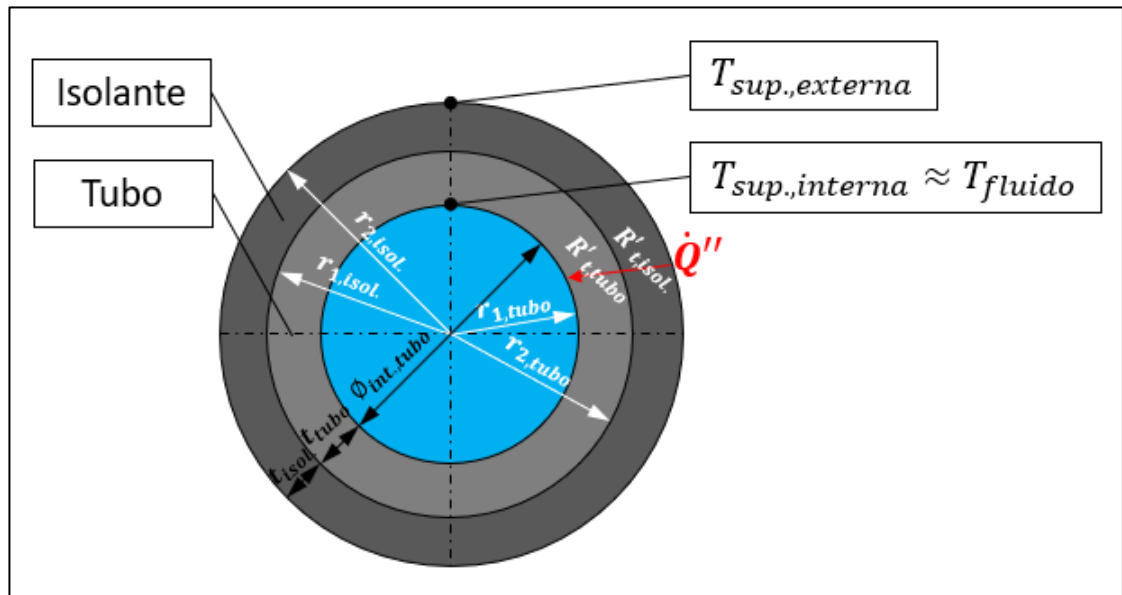
Quanto à quantificação da resistência térmica à condução de calor na direção transversal (radial) da tubulação, é preciso recorrer à equação da condução de calor derivada da Lei de Fourier, na forma que adota o sistema de coordenadas cilíndricas, a fim de se ajustar à geometria de uma tubulação de seção circular. Sobretudo, o conceito de resistência térmica é baseado no modelo de circuito térmico, o qual assume que o fluxo de calor é unidimensional, o regime é permanente e não há fontes nem sumidouros de calor no interior do sistema. Assim, uma vez que é razoável fazer essas considerações com base nas características da tubulação e na análise que se pretende fazer, então aplicando essas simplificações, a resistência térmica à condução, $R'_{t,cond.}$, para uma parede cilíndrica pode ser expressa pela Equação 3. (INCROPERA et al., 2014)

$$R'_{t,cond.} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k} \quad (3).$$

Ou seja, é uma função da posição radial da superfície interna da parede cilíndrica, r_1 , da posição radial da superfície externa da parede cilíndrica, r_2 , e da condutividade térmica do material do meio, k , em Watt por metro-Kelvin $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ e, portanto, dimensionada em metro-Kelvin por Watt $\left(\frac{m \cdot K}{W}\right)$. (INCROPERA et al., 2014). Vale mencionar que geralmente os parâmetros especificados comercialmente são o diâmetro interno, \varnothing , a espessura, t , e o material (o que determina a condutividade térmica) do tubo, então convém reescrever a

Equação 3 em função diretamente das especificações técnicas da tubulação. Nesse sentido, a fim de obter uma equivalência matemática entre a razão das posições radiais das superfícies e a forma geométrica da tubulação, a Figura 5 auxilia na interpretação das relações geométricas entre essas dimensões ao representar esquematicamente a seção transversal da tubulação e, portanto, aplicando as relações geométricas verificadas e algumas manipulações algébricas, pode-se encontrar a Equação 4.

Figura 5 – Esquema da seção transversal de um tubo com isolante térmico



Fonte: Produção do próprio autor.

$$r_1 = \frac{\phi}{2}; r_2 = r_1 + t \Rightarrow \frac{r_2}{r_1} = \frac{\frac{\phi}{2} + t}{\frac{\phi}{2}} = 1 + \frac{t}{\frac{\phi}{2}} = 1 + \frac{2t}{\phi}$$

$$\therefore \frac{r_2}{r_1} = 1 + \frac{2t}{\phi} \quad (4).$$

Assim, avaliando a Equação 4 para o tubo, com base na interpretação da Figura 5, e então aplicando-a na Equação 3, encontra-se a Equação 5 para resistência térmica à condução para a parede do tubo.

$$R'_{t,cond.,tubo} = \frac{\ln\left(1 + \frac{2t_{tubo}}{\phi_{int,tubo}}\right)}{2\pi k_{tubo}} \quad (5).$$

Já, para o isolante térmico, verifica-se na Figura 5 que o diâmetro interno do isolante é equivalente ao diâmetro externo do tubo, $\phi_{ext,tubo}$, que se relaciona com o diâmetro interno do tubo pela Equação 6.

$$\phi_{ext,tubo} = \phi_{int,tubo} + 2t_{tubo} \quad (6).$$

Portanto, aplicando a Equação 6 na Equação 4 e, em seguida, esse resultado na Equação 3, encontra-se a Equação 7 para resistência térmica à condução para a parede do isolante térmico.

$$R'_{t,cond.,isolante} = \frac{\ln\left(1 + \frac{2t_{isol.}}{(\phi_{int,tubo} + 2t_{tubo})}\right)}{2\pi k_{isol.}} \quad (7).$$

Assim, no caso de parede composta (tubo e isolante), supondo que a resistência térmica de contato entre o tubo e o isolante térmico seja desprezível, a resistência térmica à condução total da tubulação é equivalente à soma de todas as parcelas, como expressa a Equação 8. (INCROPERA et al., 2014)

$$R'_{t,cond.,total} = R'_{t,cond.,tubo} + R'_{t,cond.,isolante}$$

$$R'_{t,cond.,total} = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \left[\frac{\ln\left(1 + \frac{2t_{tubo}}{\phi_{int,tubo}}\right)}{k_{tubo}} + \frac{\ln\left(1 + \frac{2t_{isol.}}{(\phi_{int,tubo} + 2t_{tubo})}\right)}{k_{isol.}} \right] \quad (8).$$

Enfim, em se tratando do desempenho, um indicador comumente utilizado para quantificar o desempenho de um sistema térmico é o Coeficiente de Performance (COP), o qual é definido pela Equação 9. (TANG et al., 2021)

$$COP = \frac{\dot{Q}}{W} \quad (9),$$

onde \dot{Q} é a parcela da carga térmica removida (valor positivo) ou rejeitada (valor negativo) pelo sistema e W é a potência elétrica consumida pelo sistema, ambos na mesma unidade de potência, pois o COP é adimensional.

De modo que, para uma mesma carga térmica e mesmo sistema (isto é, mesmas máquinas e equipamentos, logo mesma eficiência de conversão da potência elétrica), quanto maior em módulo o COP, melhor o desempenho do sistema, pois significa que sua capacidade de remoção (COP positivo) ou rejeição (COP negativo) térmica é maior, já que uma parcela maior da potência elétrica consumida está sendo aproveitada, em vez de desperdiçada na tubulação.

3.2 DESCOBERTA DE CONHECIMENTO EM BASES DE DADOS

A área denominada Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados (do inglês, *Knowledge Discovery in Databases* – KDD) estabelece uma metodologia completa que orienta todo o processo de abstração de informações e conhecimento a partir de conjuntos de dados, descrevendo as etapas operacionais, desde a preparação das bases de dados até a apresentação dos resultados. Sobretudo, ela define o analista de dados e o especialista de domínio como os agentes envolvidos no processo de KDD, descrevendo suas atribuições e interações. Assim, ela instrui o analista de dados a como planejar e conduzir o processo de KDD, descrevendo os elementos envolvidos no processo, desde a caracterização até a execução. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Nesse sentido, quanto aos agentes envolvidos no processo de KDD, o especialista de domínio (especialista na área do domínio da aplicação de KDD) é aquele que conhece o problema e o contexto da aplicação e, por isso, é responsável pela definição do problema, pela disponibilização das bases de dados para o analista de dados (especialista em KDD) examinar (visualizar e explorar) e por fornecer informações durante o processo de KDD em entrevistas com o analista de dados para suportar desde a definição dos objetivos (restrições e expectativas que norteiam o processo) até a interpretação e avaliação dos resultados obtidos, podendo até postular hipóteses a serem validadas pelo analista de dados a partir do conjunto de dados. Desse modo, o analista de dados compõe o escopo necessário a fim de selecionar as tarefas, técnicas, ferramentas e plataformas apropriadas para viabilizar o processo de KDD, bem como orientar as ações do processo e, também, definir e implementar as operações das etapas do processo de KDD. Visando, assim, descobrir padrões que descrevam fatos ou tendências associados ao conjunto de dados e que sejam inteligíveis para os agentes do processo, verdadeiros e adequados ao contexto da aplicação, desconhecidos pelo especialista de domínio e alinhados com os objetivos da aplicação. Sendo assim, esses padrões podem ser utilizados para estimar valores em novas situações ou divulgar informações e conhecimentos descobertos (por exemplo, regras condicionais, critérios, equações, relações, gráficos, diagramas, planilhas, tabelas, árvores), servindo de apoio à tomada de decisão diante de situações, que embasa a elaboração de estratégias de ação no domínio de aplicação. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Visto isso, em se tratando das etapas operacionais que compõem o processo de KDD, são três: Pré-processamento, Mineração de Dados e Pós-processamento. De fato, a abstração de informações e conhecimento ocorre na Mineração de Dados, mas, para isso, é necessário preparar os dados (Pré-processamento) para que as tarefas (operações) de Mineração de Dados sejam realizadas, o que consiste em coletar, organizar e tratar os dados das bases de dados disponíveis, a fim de consolidar um conjunto de dados estruturado,

completo, reduzido, consistente e certo, de modo que a aumentar o grau de certeza e a reduzir o tempo de processamento na Mineração de Dados. Além disso, se os padrões descobertos forem transformados em uma forma de representação do conhecimento que seja organizada e simplificada (Pós-processamento), então sua utilidade para a aplicação pode ser mais facilmente interpretada e avaliada pelo especialista de domínio junto ao analista de dados. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

A seleção das operações e técnicas que serão realizadas em cada etapa do processo de KDD e sua implementação para uma dada aplicação depende do exame do conjunto de dados, dos objetivos da aplicação e das ferramentas disponíveis. Sendo assim, a proposta em diante não será detalhar cada operação, mas descrever a finalidade de cada uma e a relação entre elas (ordem, semelhança, diferença, oposição e/ou complementação), servindo assim como um guia de inspiração do que pode ser feito, para que não se pule passos sem uma análise prévia do conjunto de dados, considerando as possibilidades e ponderando seus benefícios para os objetivos da aplicação. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Antes, é importante definir os conceitos de registro, atributo e valor, os quais compõem um conjunto de dados, de modo que os atributos (rótulos ou variáveis) são informações armazenadas que descrevem um registro (transação de informações) e os valores (observação, o dado em si) são o conteúdo dos atributos. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

3.2.1 Pré-processamento

A etapa de preparação dos dados (Pré-processamento) é composta pela coleção de dados, organização de dados e tratamento de dados. A coleção de dados consiste em obter os dados, seja por meio de observações de algum fenômeno, seja já de bases de dados contendo essas observações. A organização dos dados consiste em construir uma estrutura para armazenar os dados que serão utilizados para formar a base de dados utilizada no processo de KDD, por meio de um depósito de dados ou da congregação de vários bancos de dados. O tratamento de dados visa consolidar o conjunto de dados que será analisado na etapa de Mineração de Dados, por isso a seleção e implementação das suas operações devem ser orientadas pelos objetivos da aplicação. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Visto isso, o tratamento de dados dispõe das seguintes operações que podem ser selecionadas de acordo com os objetivos da aplicação: seleção de dados, limpeza de dados, codificação de dados, enriquecimento de dados, normalização de dados, construção de atributos, correção de prevalência e partição do conjunto de dados. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Em se tratando da seleção de dados, pode-se adotar a junção direta ou a junção orientada. Seguindo a junção direta, o conjunto de dados selecionado para análise é a base

de dados completa. Já a junção orientada visa otimizar o tempo de processamento na etapa de Mineração de Dados, por meio da redução de dados, ao selecionar um conjunto de dados composto somente pelos registros e atributos da base de dados que demonstrem algum potencial de contribuir para o processo de KDD, após uma análise crítica realizada pelo especialista de domínio junto ao analista de dados. Dessa forma, adotando a junção direta, pode-se proceder com o processo, ao passo que, na linha da junção orientada, a redução de dados pode ser efetuada por meio da redução de registros (redução horizontal), de atributos (redução de dimensionalidade – redução vertical) e/ou de valores. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Seguindo para a limpeza de dados, a finalidade é tornar o conjunto de dados completo, consistente e certo, por meio da limpeza de informações ausentes, de inconsistências e/ou de valores não pertencentes ao domínio. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

A próxima operação é a codificação de dados, a qual é realizada se o algoritmo que será aplicado na Mineração de Dados opera com algum tipo de variável específica, numéricas (valores numéricos e com ordenamento) ou categóricas (valores alfanuméricos e sem ordenamento). Nesses casos, torna-se necessário converter o tipo de variável daqueles dados do conjunto de dados que não atendam ao requisito do algoritmo de Mineração de Dados. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Pode ser necessário fazer pesquisas ou consultas a bases de dados externas para complementar o conjunto de dados com informações que sejam relevantes para a Mineração de Dados e que não estavam disponíveis na base de dados utilizada. Essa operação é denominada enriquecimento de dados. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Caso o algoritmo de Mineração de Dados processará dados de atributos com escalas diferentes de grandeza, pode ser interessante realizar a normalização de dados, por meio de alguma técnica de linearização ou conforme a escala decimal para o ajuste da magnitude dos valores de cada atributo, ou utilizando alguma medida estatística calculada a partir dos valores de cada atributo, tal como o desvio-padrão para ajuste da variabilidade, a média para ajuste da tendência, o valor máximo para ajuste da amplitude e a soma para a composição. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

Outra operação possível é a construção de atributos, que consiste na combinação (por exemplo, pela adição, subtração, multiplicação ou divisão) de atributos existentes para gerar algum atributo derivado, o que pode ser útil para o processo ao incorporar informações de relacionamentos entre os dados, bem como favorável para a Mineração de Dados ao reduzir o conjunto de dados por meio da substituição dos atributos existentes pelos respectivos atributos derivados. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

3.2.2 Mineração de Dados

Assim, obtém-se um conjunto de dados consistente, completo, certo e reduzido em que procurar descobrir padrões por meio da aplicação de tarefas (operações) de Mineração de Dados, tal como descoberta de associações, classificação, regressão, clusterização (agrupamento), sumarização, detecção de desvios e descoberta de sequências. A implementação dessas tarefas baseia-se em técnicas como Redes Neurais, Lógica Nebulosa, Algoritmo Genético, Redes Bayesianas, Análise Discriminante, Análise Exploratória de Dados (do inglês, *Data Exploratory Analysis*) e Análise de Regressão. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

A descoberta de associações se faz pela procura entre registros diferentes por ocorrências simultâneas e frequentes de valores ou conjunto de valores do mesmo atributo, verificação se os valores de algum outro atributo se repetem para esses registros, e então interpretação se há uma explicação para isso. A classificação consiste em definir e enquadrar cada registro em uma classe com base no valor de um de seus atributos (atributo-alvo) a fim de descobrir uma função que consiga prever qual a classe de um novo registro com base nos valores dos demais atributos (atributos previsores). A finalidade da regressão é descobrir uma função que consiga prever o valor numérico de um atributo com base nos valores dos registros do conjunto de dados organizados em um intervalo de valores reais. A clusterização consiste em formar subconjuntos (clusters) com os registros do conjunto de dados que são similares entre si e distintos dos demais. A sumarização visa reconhecer similaridade entre registros do conjunto de dados. A detecção de desvios consiste na identificação de registros cujos valores diverjam dos padrões normais dentro do conjunto de dados. A descoberta de sequências corresponde à procura por valores frequentes em vários registros ao longo do tempo. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

3.2.3 Pós-processamento

Por fim, Pós-processamento de Dados é a etapa em que o analista de dados e o especialista de domínio interpretam e avaliam os resultados. Nesse sentido, as operações dessa etapa visam tornar os resultados mais simples, visuais, organizados e apresentáveis para que as análises sejam mais conclusivas. Nesse contexto, surge as operações de simplificações do modelo de conhecimento, transformações de modelo de conhecimento, e organização e apresentação dos resultados. Simplificações do modelo de conhecimento consiste no corte de regras descobertas que são insatisfatoriamente confiáveis e abrangentes ou baseadas em atributos com menor relevância para a descrição do conjunto de dados. Transformações de modelo de conhecimento considera a conversão da forma de

representação dos padrões, de modo a facilitar a análise e validação desses padrões. A organização e apresentação dos resultados trata da representação dos padrões descobertos por meio de formas (tais como, tabelas, gráficos, diagramas e regras) e técnicas de visualização de dados que favoreçam o entendimento e associação de padrões. (GOLDSCHMIDT et al., 2015)

3.3 SOFTWARE GNU OCTAVE

O GNU Octave é um *software open-source* de computação científica compatível com o *software* proprietário MATLAB da MathWorks® (MATHWORKS, 2024). Ele foi adotado para esse trabalho uma vez que os arquivos de medição possuem extensão *.mat (original do MATLAB), bem como dispõe de diversos recursos que poderiam ser aplicados para implementar as operações de todas as etapas de um processo de KDD considerando as particularidades da aplicação. (EATON et al., 2024)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os arquivos de medição estão separados em uma estrutura de diretórios por data de teste e há vários arquivos para a mesma data de teste que foram gravados ao longo do teste, sendo que cada arquivo contém uma variável do tipo structure array para cada canal adquirido nomeada com o código do canal, em que cada campo do structure array contém como valor uma informação do canal, dentre elas o vetor de tempo e o vetor de valores do sinal em um subcampo. Ou seja, cada arquivo referente ao mesmo teste contém apenas uma amostra do sinal de cada canal de medição. Sobretudo, o vetor de tempo em cada amostra do sinal inicia em 0s (zero segundos), não importando o horário em que foi registrado. Apesar disso, o horário assim como a data em que o arquivo foi registrado encontram-se no nome do arquivo, o qual está codificado e há dois tipos de codificações possíveis, cada qual com um formato diferente para a data e o horário. Nessa estrutura de diretórios, o primeiro nível possui o nome do caso de teste (*steel pipes*, *thin insulation*, *thick insulation* ou *nylon pipes*) e o segundo nível possui o nome do lugar de teste (São Bernardo do Campo ou Ilha Solteira).

Além dos arquivos de medição, pode haver outros arquivos nessa estrutura de diretórios, bem como os arquivos de medição podem estar localizados no terceiro, quarto ou quinto nível da estrutura de diretórios e eles podem estar todos na mesma pasta ou em pastas isoladas. Ademais, ocorreu algumas falhas na aquisição ou registro, de modo que o arquivo foi corrompido e não carrega, ou não existe variáveis, ou alguma variável (canal) não foi

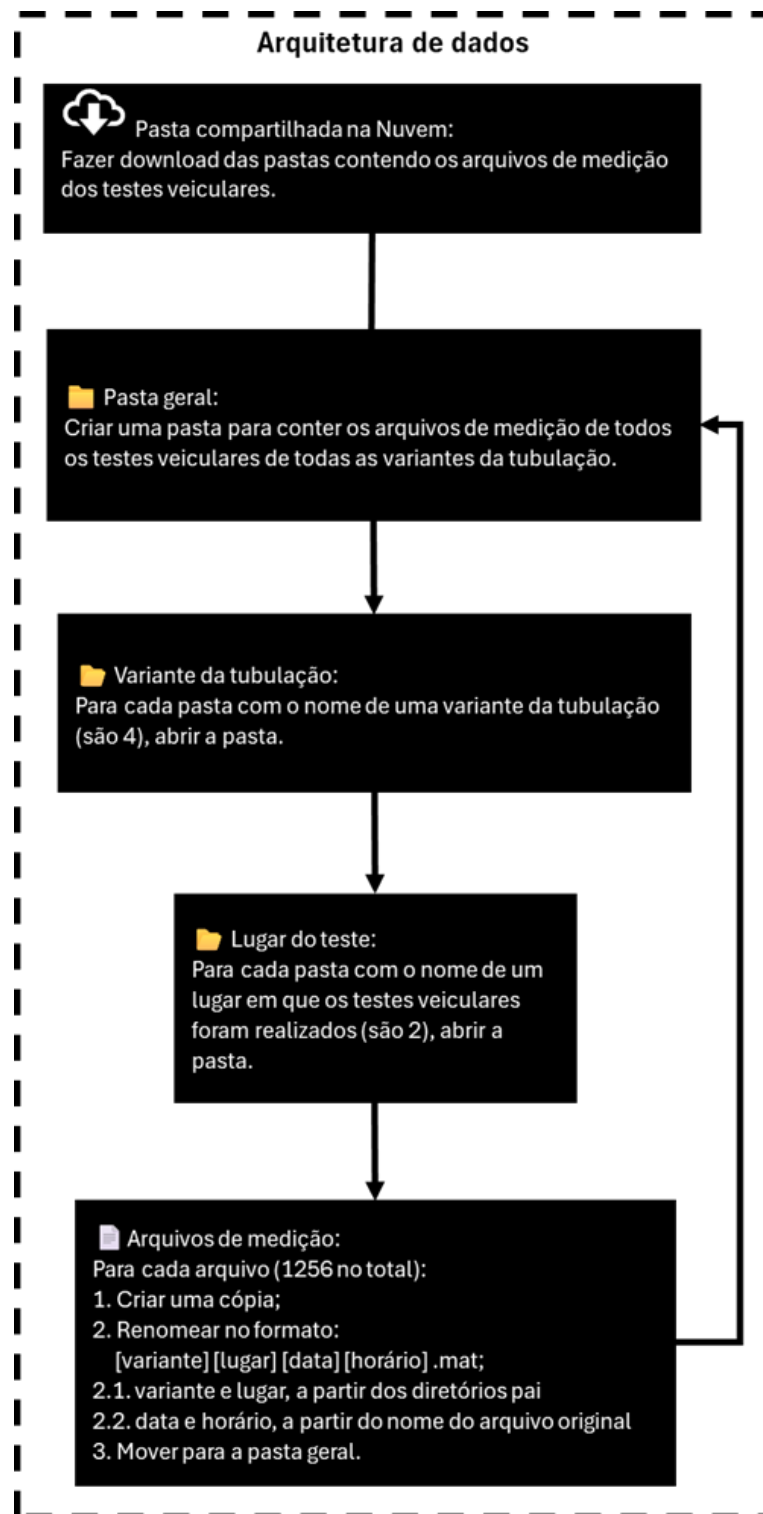
registrada, ou alguma variável foi registrada com um nome diferente, ou alguma variável está vazia, ou alguma variável não contém o campo referente aos valores do sinal, ou o campo referente aos valores do sinal de alguma variável está vazio.

Visto isso, antes de efetuar a análise de dados, procedeu-se com a preparação dos dados, por meio das operações de organização de dados, seleção de dados, limpeza de dados e enriquecimento de dados.

A operação de organização de dados consistiu em fazer o download das pastas compactadas contendo os arquivos de medição disponibilizadas pelo Microsoft SharePoint, descompactar a pasta no computador, criar uma pasta local e então abrir todo o caminho de diretórios até cada arquivo de medição (são 1256 no total), renomear o arquivo com as informações do teste contidas nesse caminho de diretórios e no nome do arquivo (variante, lugar, data e horário de teste) e, portanto, mover o arquivo para a pasta criada, de modo a reunir todos os arquivos em um único diretório sem perder as informações que descrevem cada teste. É importante mencionar que as informações no nome do arquivo de medição (data e horário de teste) podem estar formatadas seguindo padrões diferentes, bem como que esse valor de horário está no formato GMT (*Greenwich Mean Time*), logo, antes de renomear o arquivo, é necessário subtrair 3 horas do valor do horário, a fim de obter o horário no Brasil (GREENWICH MEAN TIME, 2024). (EATON et al., 2023)

A operação de seleção de dados por junção orientada consistiu em, a partir da lista de canais selecionados, filtrar somente esses canais (de cerca de 12 mil para 54), transformar a estrutura de dados para matriz bidimensional (tempo e valores do sinal) e concatenar os dados (tempo e valores do sinal) de todos os canais provenientes dos arquivos com a mesma data. A Figura 6 ilustra a implementação dessa operação por meio de um fluxograma. (EATON et al., 2023)

Figura 6 – Algoritmo da operação de Seleção de Dados por Junção Orientada.

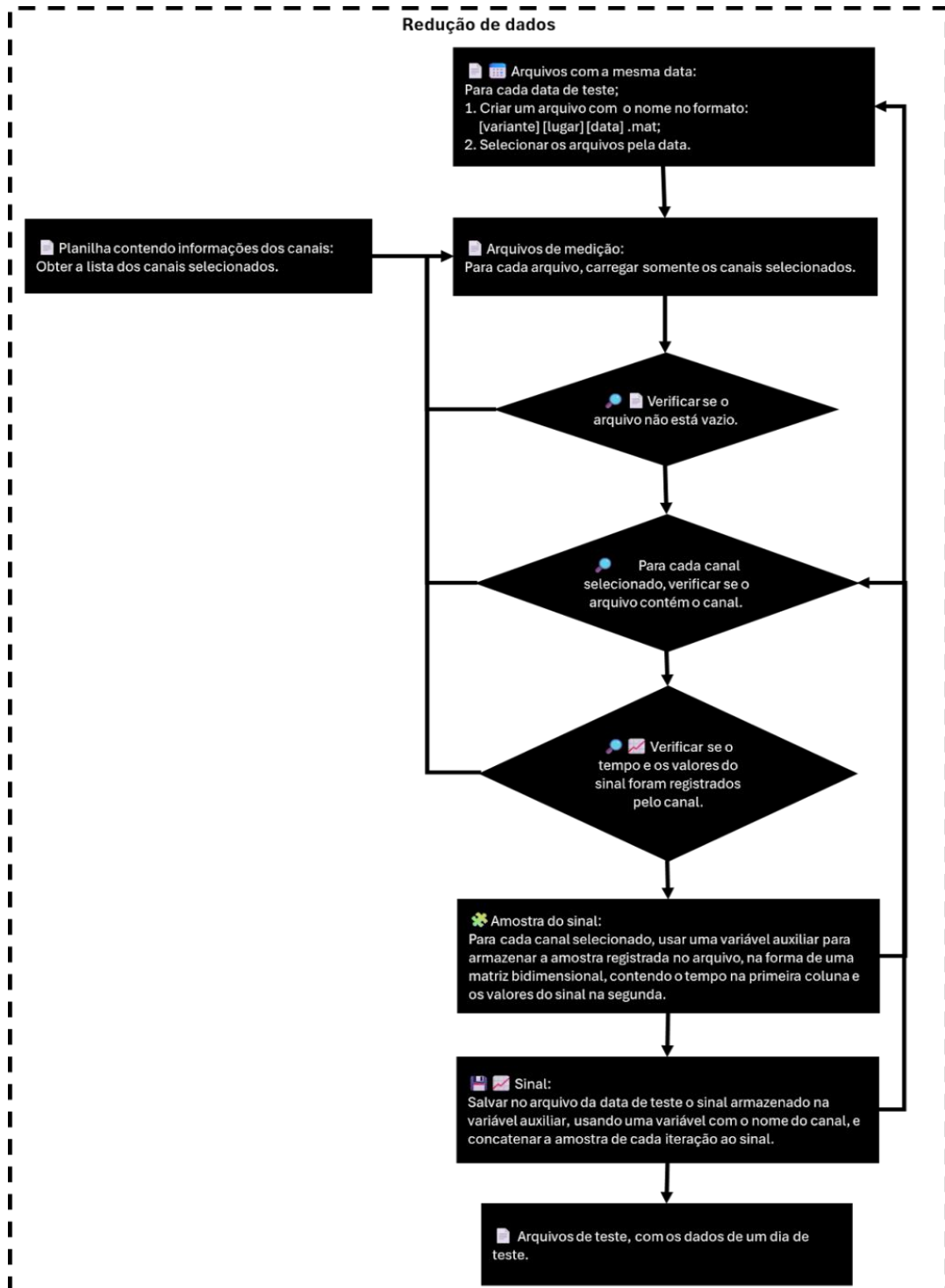


Fonte: Produção do próprio autor.

Como representado no fluxograma da Figura 7, a operação de seleção de dados por redução de dados consistiu em, a partir da lista dos canais selecionados (códigos dos canais) e da tabela de controle dos testes (informações dos testes: variante, lugar, data, horário de

início, horário de fim e período do teste), para cada arquivo de teste (com os dados de uma data de teste), relacionar a descrição do teste (nome do arquivo de teste: variante, lugar e data) com as informações de controle do teste (horários e período do dia) e, em seguida, comparar os valores da coluna de tempo de cada canal com os horários de início e fim do teste, convertidos em segundos, de modo a filtrar os dados do canal captados dentro do intervalo do teste, garantindo que, se mais de um teste fora realizado na mesma data, então os dados de cada canal serão separados em arquivos de teste diferentes de acordo com o período do dia em que o respectivo teste foi realizado, bem como que, se houver dados que foram captados fora do intervalo de teste, então esses dados não serão considerados. (EATON et al., 2023)

Figura 7 – Algoritmo da operação de Seleção de Dados por Redução de Dados

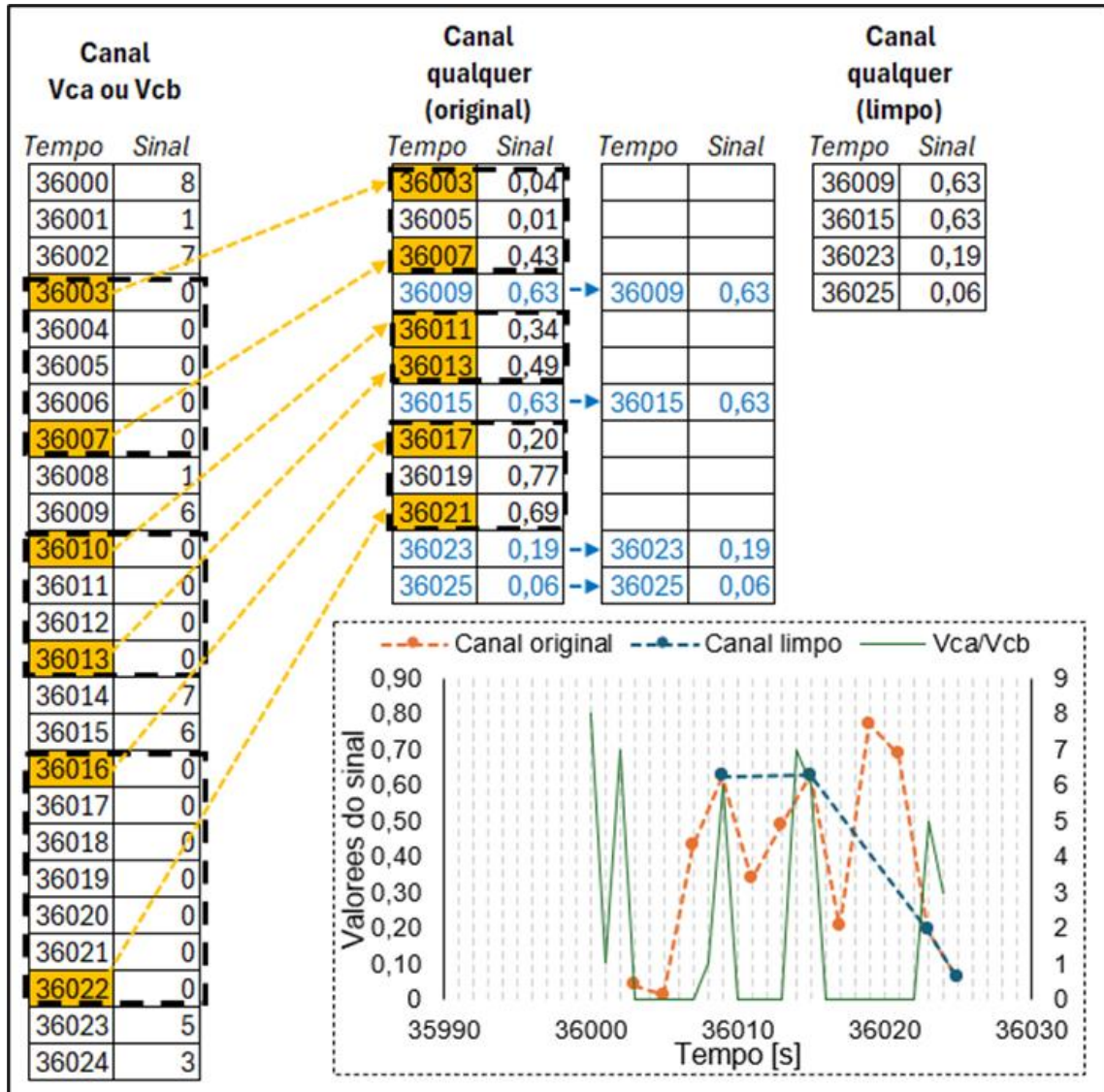


Fonte: Produção do próprio autor.

A operação de limpeza de dados, como exemplificado de forma ilustrativa pela Figura 8, consistiu em, para cada arquivo de teste, eliminar os dados de todos os canais que foram registrados quando os sensores ou os módulos de medição não estavam ligados, por meio dos canais de corrente elétrica do Vca e Vcb do respectivo arquivo de teste, os quais indicam

isso quando o valor do sinal de pelo menos um desses canais é zero. Nesse sentido, foi verificado na coluna de valores do sinal de cada um desses canais os intervalos que são zero, então identificados os respectivos valores na coluna de tempo do canal e por fim usados os limites desses intervalos para filtrar os demais canais do arquivo de teste. (EATON et al., 2023)

Figura 8 – Exemplo ilustrativo do método de Limpeza de Dados

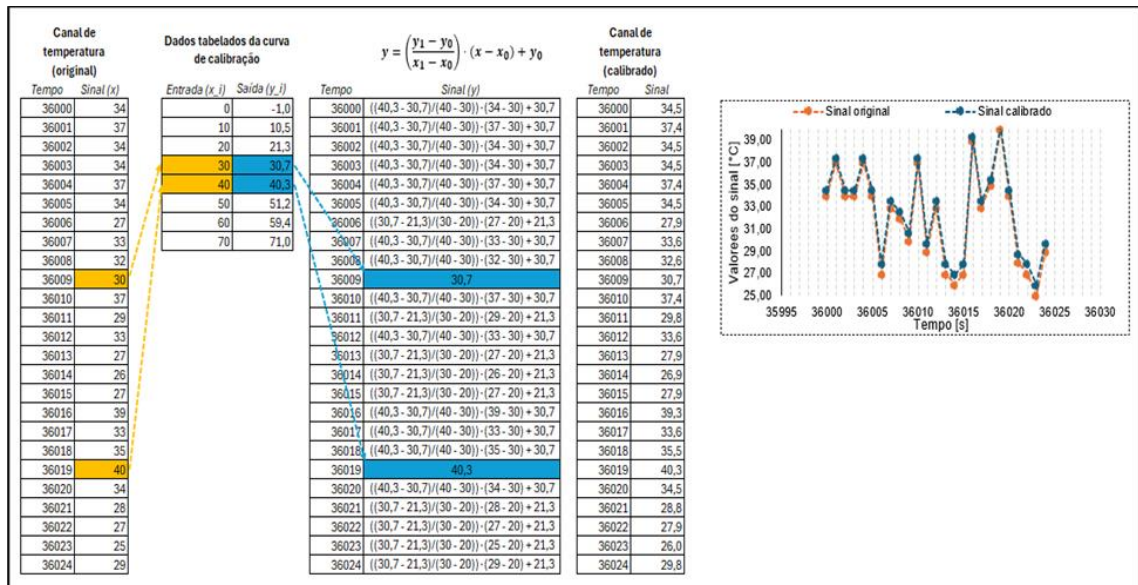


Fonte: Produção do próprio autor.

A operação de limpeza de dados consistiu em, a partir das curvas de calibração, para todos os sensores de temperatura do BTMS, cada valor do sinal de temperatura fora procurado na coluna de entrada dos dados tabelados da curva de calibração correspondente ao sensor e, se encontrado, então foi substituído pelo respectivo valor de saída da coluna de saída, se não encontrado, então foi substituído pelo resultado da interpolação linear entre os

valores mais próximos a esse valor. A Figura 9 ilustra uma exemplificação da implementação dessa operação. (FIGLIOLA e BEASLEY, 2007) e (EATON et al., 2023)

Figura 9 – Exemplo ilustrativo da operação de Limpeza de Dados para Calibração



Fonte: Produção do próprio autor.

A operação de enriquecimento de dados, a partir das curvas das propriedades do fluido de arrefecimento disponíveis no *datasheet*, para cada arquivo de teste, calculou-se a taxa de calor em alguns trechos da tubulação do BTMS, por meio da avaliação da equação da variação da energia interna térmica sensível à pressão constante (Equação 1), utilizando os dados do canal de vazão volumétrica da bomba que pressuriza o respectivo segmento da tubulação e os dados dos canais de temperatura dos sensores posicionados nas seções de entrada e de saída do respectivo segmento da tubulação, assim como adotando a temperatura de filme (Equação 2), a partir dessas duas temperaturas para avaliar a massa específica e o calor específico à pressão constante do fluido de arrefecimento. Além disso, calculou-se a taxa de calor de alguns sistemas por meio da soma algébrica de algumas das taxas calculadas, tal como a taxa de calor (carga térmica) do sistema de arrefecimento, bem como a potência elétrica consumida pelo sistema de arrefecimento por meio da soma da potência consumida pelos equipamentos elétricos do BTMS. Para que fosse possível executar as operações aritméticas entre os sinais elemento a elemento, uma vez que constituem vetores, antes de avaliar a equação da taxa de calor, aplicou-se o método *spline* para interpolação e extrapolação dos valores dos vetores dos sinais de vazão volumétrica e das temperaturas para que tivessem o mesmo tamanho (número de elementos), de modo a não descaracterizar esses sinais. Para avaliar as propriedades, foi feita a interpolação linear dos dados das curvas das propriedades em função da temperatura semelhantemente à forma que foi feita para a

calibração. (ROHATGI, 2024), (FIGLIOLA e BEASLEY, 2007), (FRANCO, 2006) e (EATON et al., 2023)

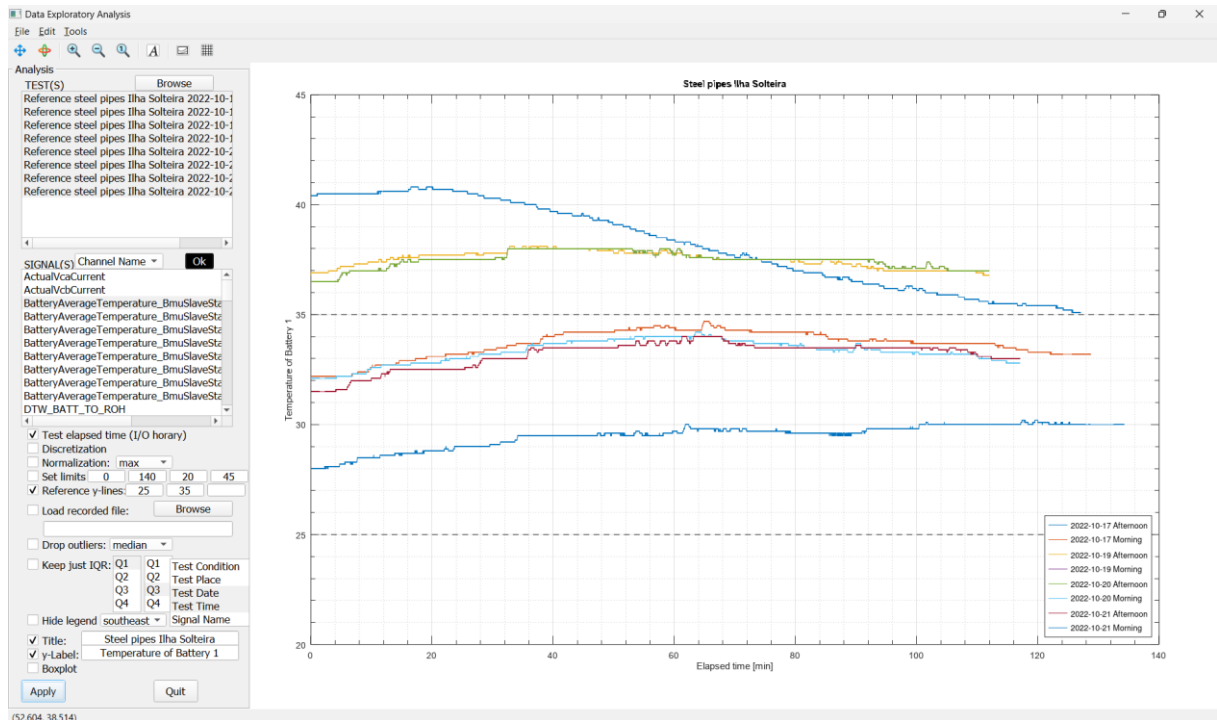
Dessa forma, obteve-se os arquivos de testes tratados, então procedeu-se com a análise exploratória de dados, utilizando as ferramentas desenvolvidas, a fim de gerar o relatório de validação do BTMS, com a apresentação e a análise dos resultados dos testes.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE KDD

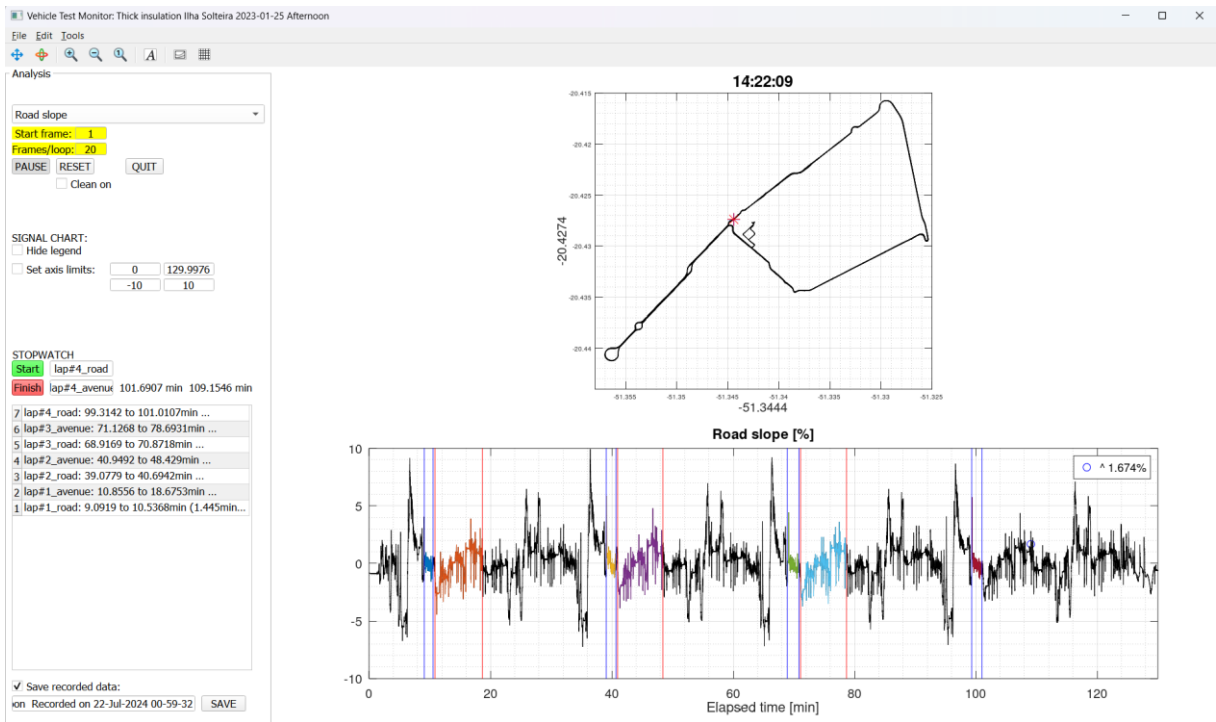
Devido à quantidade e variabilidade de testes (30) e sinais (90) e, conseqüentemente, o número expressivo de combinações possíveis, foram desenvolvidos *softwares* para suportar e potencializar a DEA. Assim, essas ferramentas são mostradas nas Figuras 10, 11, 12 e 13, bem como seus recursos e utilização são explicados e demonstrados em detalhes nas Figuras 14 a 48.

Figura 10 – Utilização da ferramenta de análise comparativa de sinais para elaboração do relatório de validação



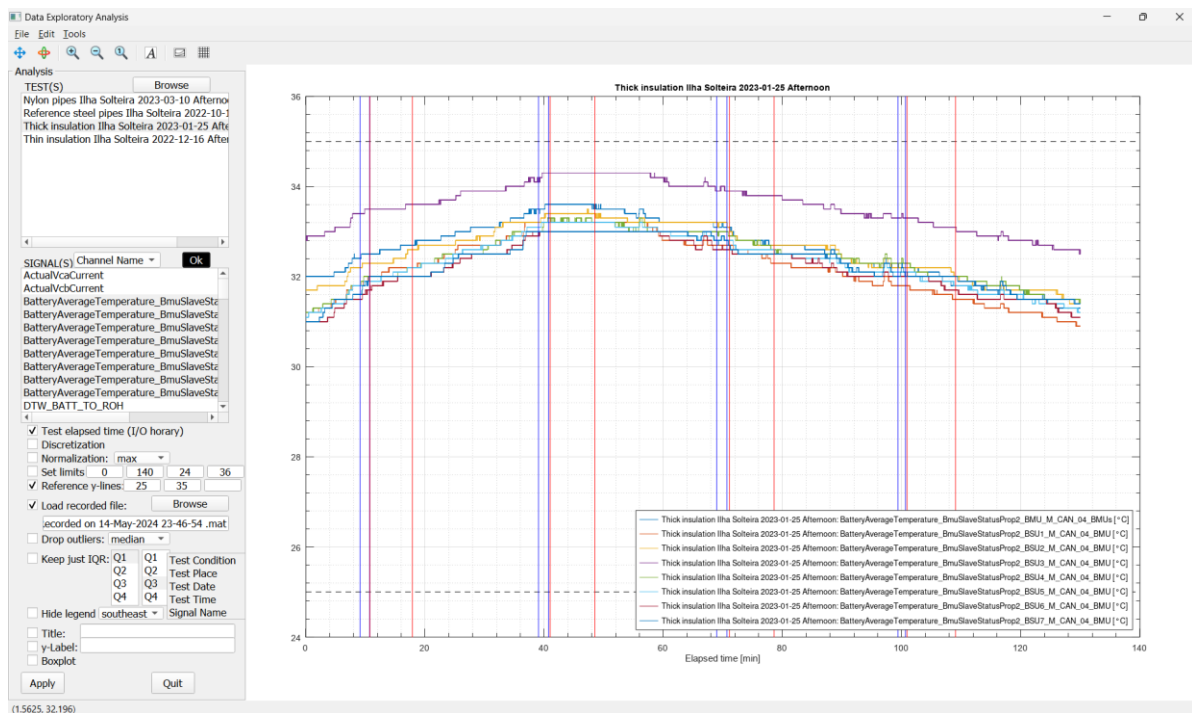
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 11 – Utilização da ferramenta de monitoramento dos testes para análise de causa-raiz das falhas



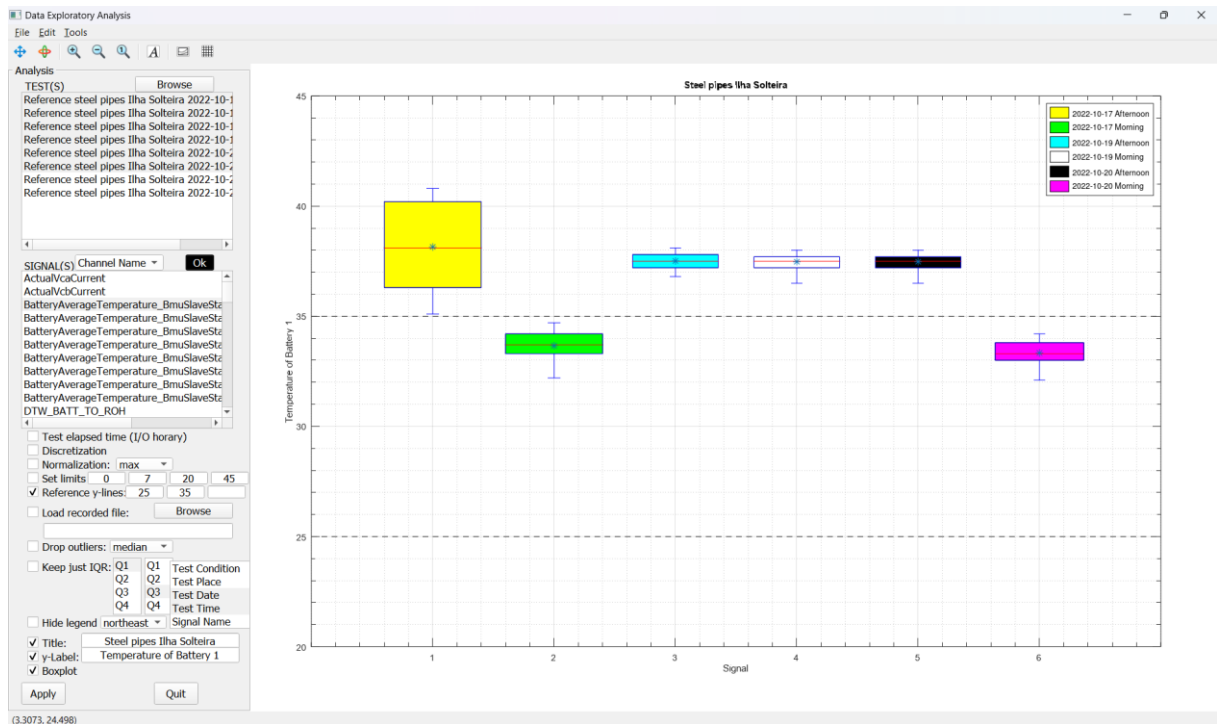
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 12 – Utilização da ferramenta de análise comparativa de sinais para análise de causa-raiz das falhas em conjunto à ferramenta de monitoramento dos testes



Fonte: Produção do próprio autor.

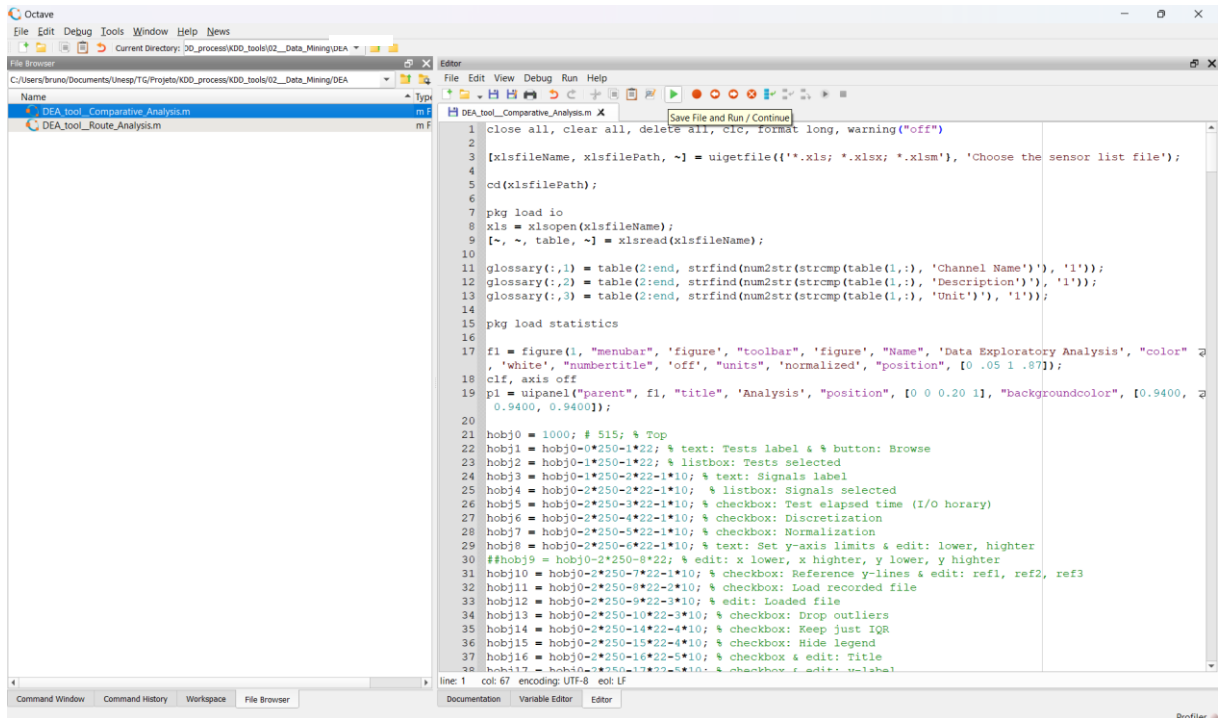
Figura 13 – Utilização da ferramenta de análise comparativa do comportamento estatístico dos sinais (tendência central, variabilidade, distribuição)



Fonte: Produção do próprio autor.

Primeiramente, é explicado a seguir os passos para executar o arquivo de extensão .m que contém o *script* da interface gráfica (GUI – *Graphic User Interface*) desenvolvida para Análise Exploratória dos Dados (EDA – *Exploratory Data Analysis*) a partir dos sinais de medição tratados. O primeiro passo é executar o *software* GNU Octave no computador. O segundo passo é procurar na janela do Navegador de Arquivos (*File Browser*) do *software* GNU Octave pelo respectivo arquivo de extensão *.m e abri-lo na janela do Editor (*Editor*). O terceiro e último passo é executar (*Run*) esse arquivo (Figura 14).

Figura 14 – Execução do script



```

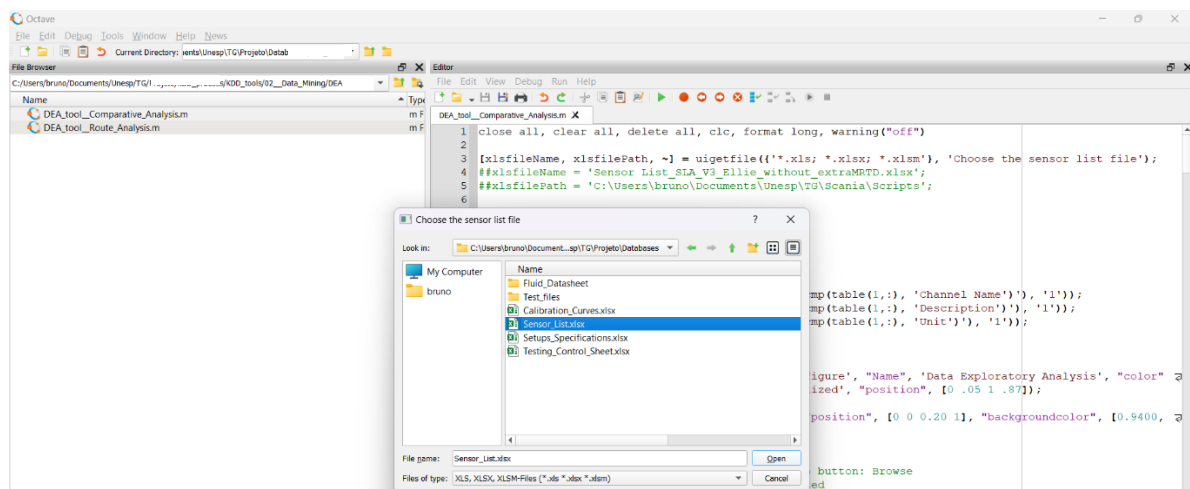
1 close all, clear all, delete all, clc, format long, warning("off")
2
3 [xlsfileName, xlsfilepath, ~] = uigetfile({'*.xls; *.xlsx; *.xlsm'}, 'Choose the sensor list file');
4
5 cd(xlsfilepath);
6
7 pkg load io
8 xls = xlsopen(xlsfileName);
9 [~, ~, table, ~] = xlsread(xlsfileName);
10
11 glossary(:,1) = table(2:end, strfind(num2str(strcmp(table(1,:), 'Channel Name')), '1'));
12 glossary(:,2) = table(2:end, strfind(num2str(strcmp(table(1,:), 'Description')), '1'));
13 glossary(:,3) = table(2:end, strfind(num2str(strcmp(table(1,:), 'Unit')), '1'));
14
15 pkg load statistics
16
17 f1 = figure(1, 'menubar', 'figure', 'toolbar', 'figure', 'Name', 'Data Exploratory Analysis', 'color'
, 'white', 'numbertitle', 'off', 'units', 'normalized', 'position', [0 .05 1 .87]);
18 clf, axis off
19 pl = uipanel('parent', f1, 'title', 'Analysis', 'position', [0 0 0.20 1], 'backgroundcolor', [0.9400, 0.9400, 0.9400]);
20
21 hobj0 = 1000; # 515; % Top
22 hobj1 = hobj0-0*250-1*22; % text: Tests label & % button: Browse
23 hobj2 = hobj0-1*250-1*22; % listbox: Tests selected
24 hobj3 = hobj0-1*250-3*22-1*10; % text: Signals label
25 hobj4 = hobj0-2*250-2*22-1*10; % listbox: Signals selected
26 hobj5 = hobj0-2*250-3*22-1*10; % checkbox: Test elapsed time (I/O horary)
27 hobj6 = hobj0-2*250-4*22-1*10; % checkbox: Discretization
28 hobj7 = hobj0-2*250-5*22-1*10; % checkbox: Normalization
29 hobj8 = hobj0-2*250-6*22-1*10; % text: Set y-axis limits & edit: lower, higher
30 ##hobj9 = hobj0-2*250-8*22; % edit: x lower, x higher, y lower, y higher
31 hobj10 = hobj0-2*250-7*22-1*10; % checkbox: Reference y-lines & edit: ref1, ref2, ref3
32 hobj11 = hobj0-2*250-8*22-3*10; % checkbox: Load recorded file
33 hobj12 = hobj0-2*250-9*22-3*10; % edit: Loaded file
34 hobj13 = hobj0-2*250-10*22-3*10; % checkbox: Drop outliers
35 hobj14 = hobj0-2*250-14*22-4*10; % checkbox: Keep just IQR
36 hobj15 = hobj0-2*250-15*22-4*10; % checkbox: Hide legend
37 hobj16 = hobj0-2*250-16*22-5*10; % checkbox & edit: Title
38 hobj17 = hobj0-10*22-5*10; % checkbox & edit: Label

```

Fonte: Produção do próprio autor.

Uma janela do Navegador de Arquivos do computador será aberta (Figura 15) para que o usuário selecione e abra a planilha que contém a lista de sinais tratados com a relação entre o código e a descrição desses sinais, bem como outras informações importantes, tais como as unidades de medida correspondentes. Neste exemplo, o arquivo é o “Sensor List_SLA_V3_Ellie_without_extraMRTD.xlsx”.

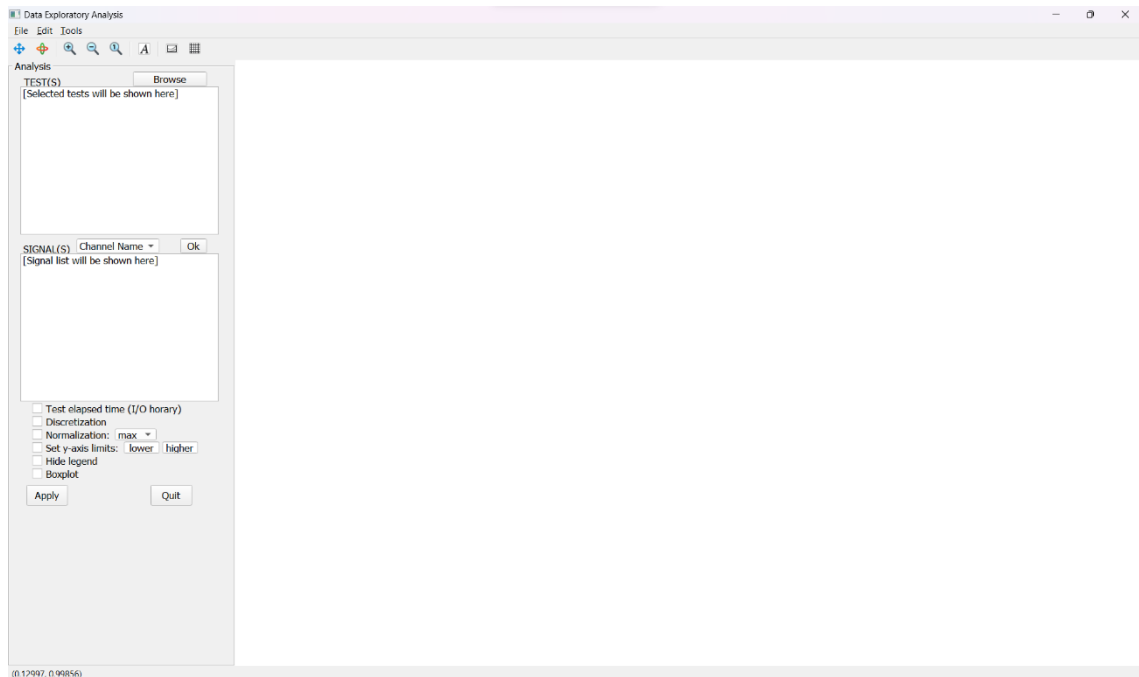
Figura 15 – Importação da planilha dos sinais



Fonte: Produção do próprio autor.

Então, a GUI da EDA é aberta (Figura 16). Recomenda-se clicar no botão expandir da janela da aplicação, para assim aparecer no canto inferior esquerdo da janela as coordenadas do gráfico, que quando o cursor do mouse é posicionado sobre um ponto qualquer da área do gráfico, essas coordenadas indicam o par ordenado do gráfico.

Figura 16 – GUI da ferramenta de EDA



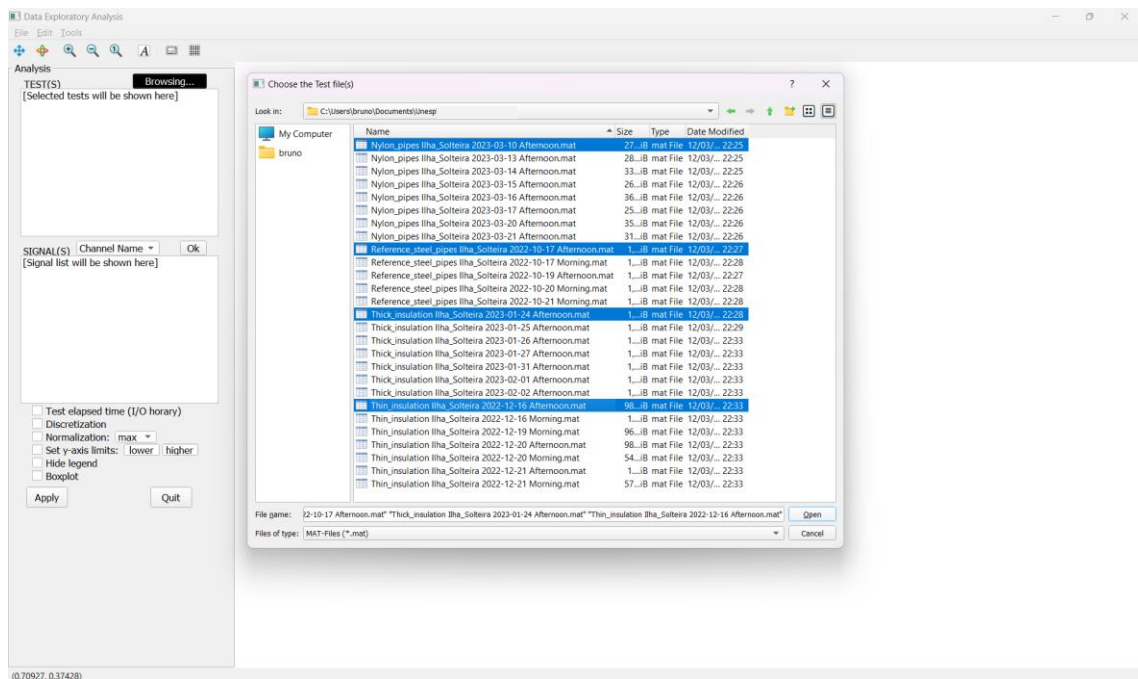
Fonte: Produção do próprio autor.

De uma forma bem amigável, essa aplicação permite que quaisquer arquivos de medição dos testes veiculares sejam carregados no ambiente e que, então, quaisquer dentre os sinais registrados sejam selecionados para análise comparativa gráfica entre sinais diferentes de testes diferentes sem limitação (sinais diferentes do mesmo teste, mesmo sinal em testes diferentes, sinais diferentes em testes diferentes). Além disso, fornece recursos para favorecer a visualização gráfica durante a comparação entre os sinais, tanto para análise de séries temporais (GOLDSCHMIDT et al., 2015), quanto para análise descritiva (BUSSAB and MORETTIN, 2017).

O primeiro passo é carregar no ambiente os arquivos de medição dos testes veiculares que serão analisados (Figura 17). Vale comentar que não há limite de quantidade para seleção de arquivos e que não implica que todos os arquivos selecionados deverão ser analisados conjuntamente, pois a proposta aqui é os arquivos de interesse fiquem facilmente acessíveis na GUI para que o usuário possa selecioná-los assim que precisar sem que seja necessário reiniciar a aplicação para isso; ou seja, a seguir pode ser analisada qualquer combinação entre os sinais carregados. Além disso, é importante informar que é necessário que todos os

arquivos selecionados estejam na mesma pasta do computador, no entanto, os arquivos não precisam conter exatamente o mesmo conjunto de sinais, pois a própria aplicação filtrará a intersecção entre eles quando forem selecionados para comparação. Enfim, para realizar esse passo, basta clicar no botão “Browse” no painel “Analysis” na seção “TEST(S)” e, então, procurar, selecionar e abrir os arquivos na janela do Navegador de Arquivos do computador que será exibida.

Figura 17 – Carregamento dos arquivos de teste

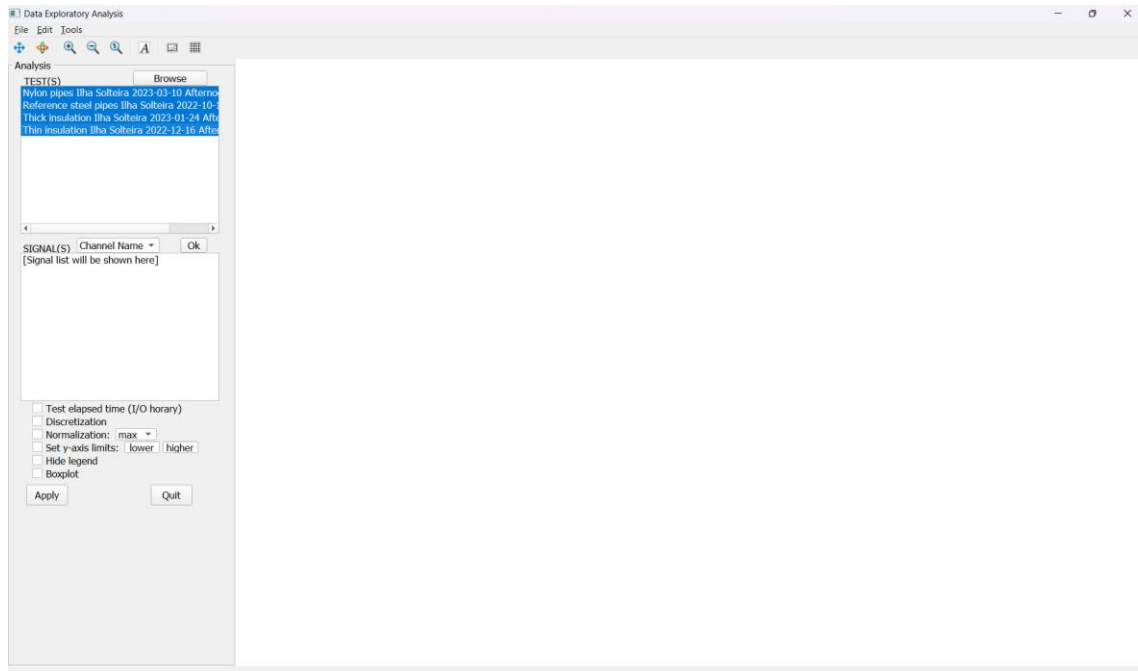


Fonte: Produção do próprio autor.

Assim, os nomes dos arquivos de medição carregados aparecerão na caixa de opções da seção “TEST(S)”. Vale salientar que se tamanho do nome dos arquivos e/ou a quantidade de arquivos for maior que as dimensões da caixa de opções, barras de rolagem vertical e horizontal aparecerão e poderão ser usadas para ajudar na visualização/identificação dos arquivos.

O próximo passo é selecionar o(s) arquivo(s) que então será(ão) analisado(s) dentre as opções na caixa (as teclas Shift e Ctrl do teclado podem ser usadas juntamente com o mouse ou as setas de navegação, se necessário). No exemplo da Figura 18, todos os arquivos carregados foram selecionados.

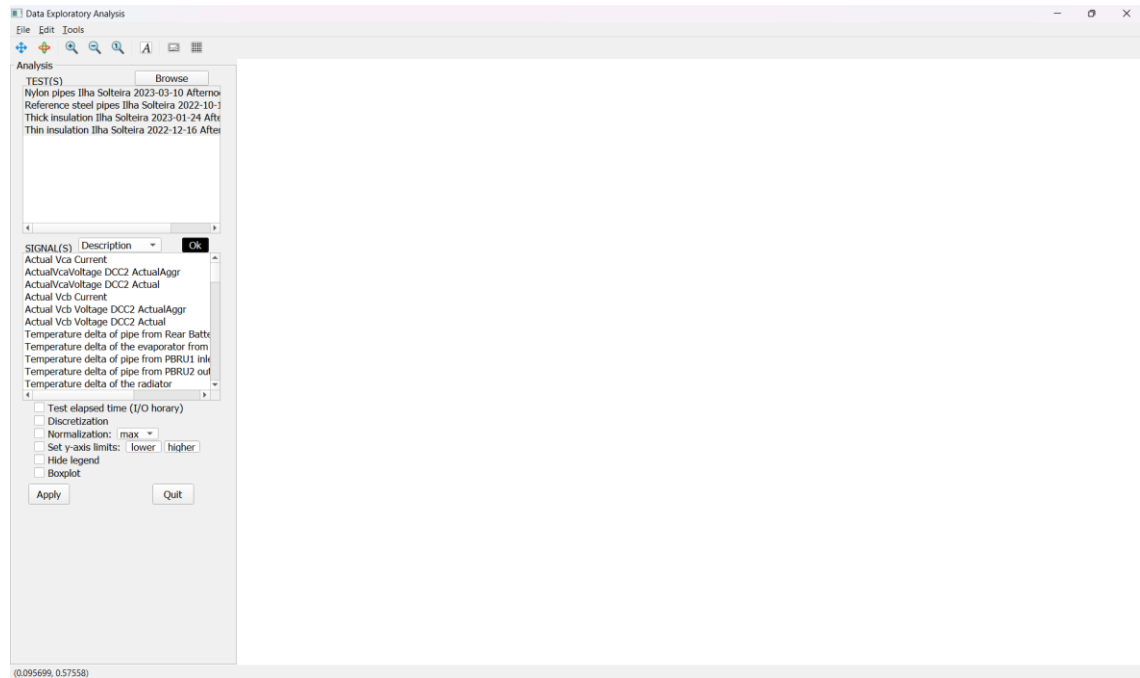
Figura 18 – Filtro dos testes para análise



Fonte: Produção do próprio autor.

Em seguida, agora na seção “SIGNAL(S)” do painel “Analysis”, o próximo passo é carregar os sinais dos arquivos selecionados na caixa de opções abaixo (Figura 19). Para isso, é preciso escolher na lista suspensa como os sinais devem ser exibidos na caixa de opções: usando seu código de gravação nos arquivos (opção “Channel name”) ou sua descrição conforme aquela planilha carregada inicialmente (opção “Description”). Enfim, para confirmar os sinais previamente selecionados e o modo de identificação dos sinais então escolhida, basta clicar no botão “Ok”. É importante informar que o botão “Ok” deve ser acionado toda vez que for alterada a seleção dos arquivos ou opção de identificação dos sinais, porque, somente quando o botão “Ok” é acionado, a aplicação atualiza a lista de arquivos selecionados, filtra os sinais em comuns entre os arquivos (assim como explicado acima) e exibi-os na caixa de opções seguindo o modo de identificação escolhido pelo usuário; por isso, enquanto esse botão estiver com cor de fundo preta está valendo a última configuração confirmada. Logo, em seguida, os sinais são carregados.

Figura 19 – Exibição dos sinais seguindo a nomenclatura escolhida

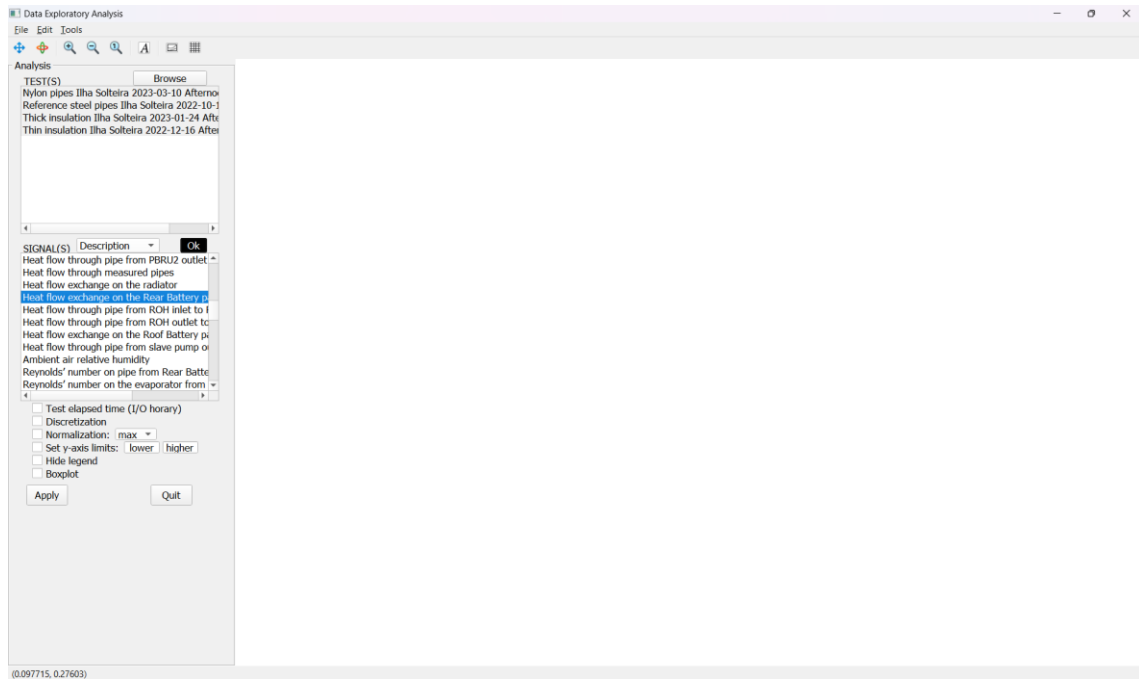


Fonte: Produção do próprio autor.

O próximo passo é selecionar na caixa de opções da seção “SIGNAL(S)” o(s) sinal(is) que será(ão) analisado(s) graficamente (Figura 20). Vale salientar que esse caixa de opções funciona da mesma forma que a outra quanto às teclas, mouse e barras de rolagem. No exemplo a seguir, foi selecionado o sinal “Heat flow exchange on the Rear Battery pack” (Fluxo de calor trocado no pacote da Bateria Traseira, isto é, a carga térmica das baterias localizadas na parte traseira do veículo).

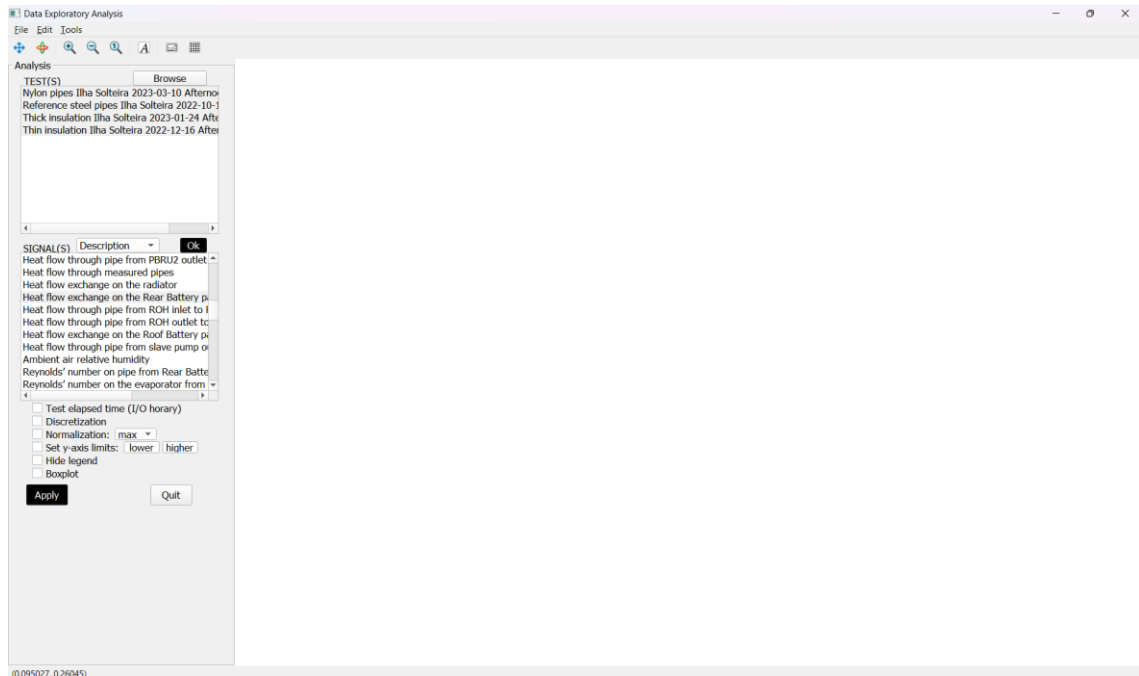
Enfim, pode-se clicar no botão “Apply” para que todas as escolhas sejam aplicadas e o gráfico resultante seja exibido no quadro ao lado direito do painel (Figuras 21 e 22). Note que, enquanto a aplicação estiver processando o resultado, o botão “Apply” assumi a cor de fundo preta, o que é importante saber na medida em que, dependendo do caso, esse processamento pode levar um tempo para ser concluído pela aplicação.

Figura 20 – Filtro dos sinais para análise



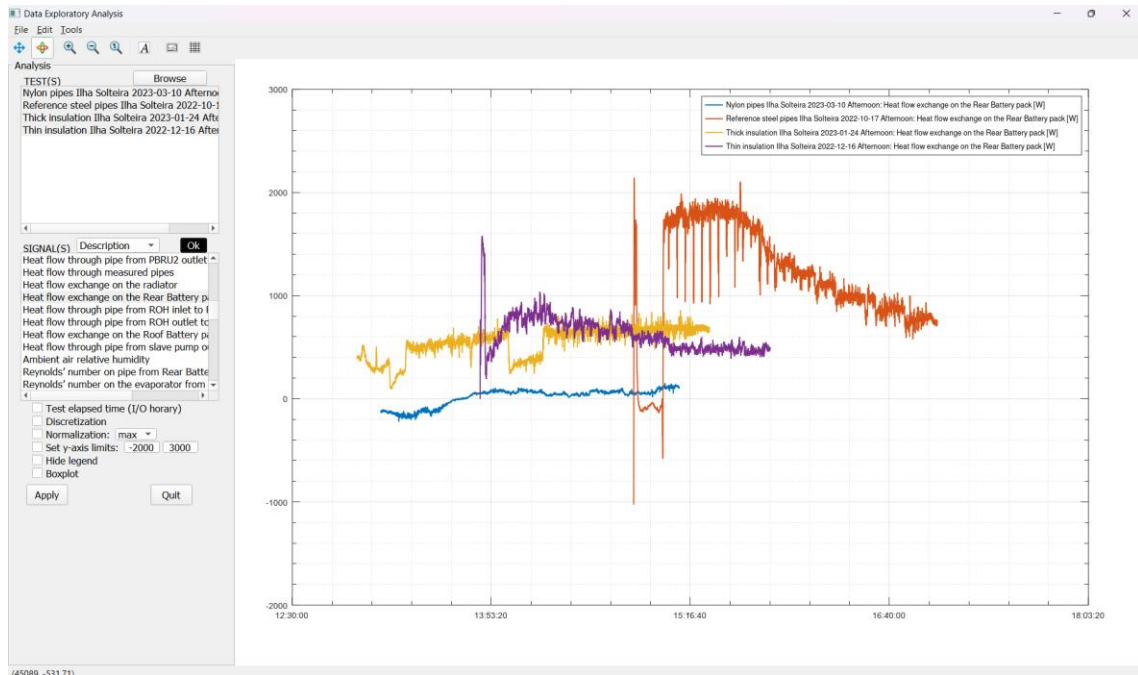
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 21 – Confirmação das opções selecionadas



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 22 – Análise: exibição dos gráficos



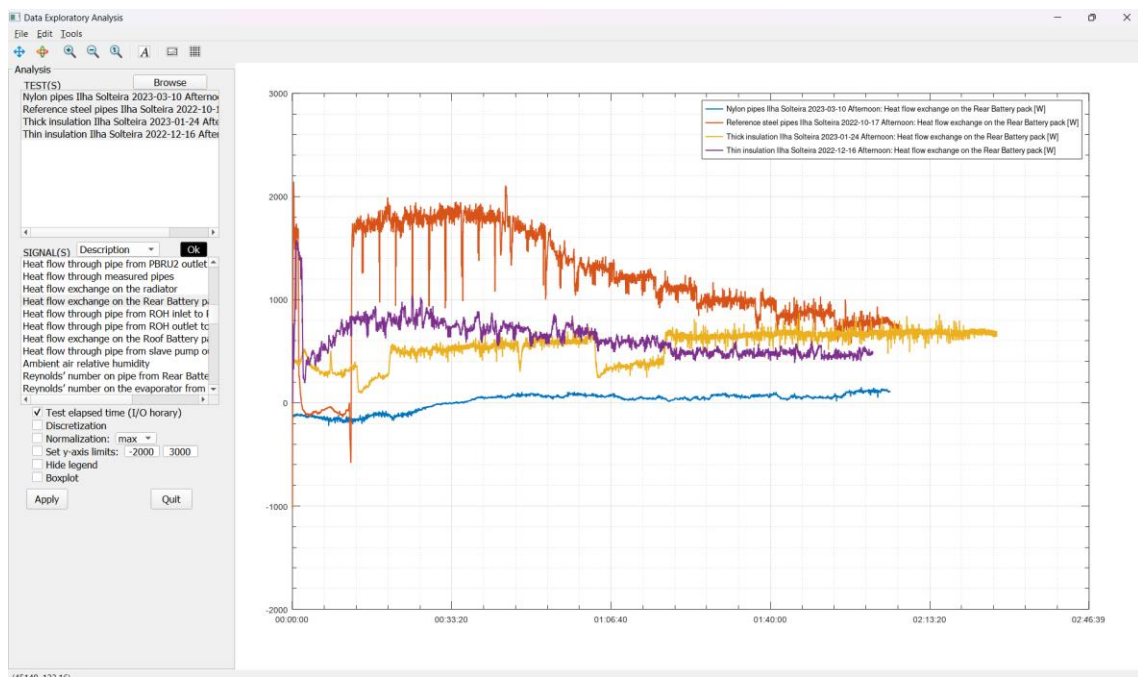
Fonte: Produção do próprio autor.

Observe que a escala de tempo ajustada para os sinais de acordo com os horários em que os respectivos testes veiculares foram realizados (dados registrados nos arquivos de medição) é exibida no eixo horizontal do plano cartesiano, ao passo que a escala de intensidade ajustada a magnitude dos sinais (dados registrados nos arquivos de medição) é exibida no eixo vertical do plano cartesiano. Além disso, a unidade de medida de cada sinal (dado registrado na planilha carregada inicialmente), a qual dimensiona a magnitude do sinal, é exibida na legenda do gráfico entre colchetes juntamente da identificação do sinal pelo teste (condição de teste, local, data e parte do dia; dados registrados no nome do arquivo) e canal, fazendo referência à curva que representa o dado sinal no gráfico por meio da cor do marcador (linha ou pontos); sendo cada curva traçada utilizando os dados registrados no respectivo arquivo de medição, isto é, os valores do sinal em função do tempo amostrado. Vale comentar que todas essas informações exibidas na legenda são necessárias para identificar a curva correspondente no gráfico, uma vez que pode haver sinais diferentes de testes diferentes representados na área de plotagem, e esse também é o motivo de a legenda ser utilizada para exibir essas informações em vez do rótulo do eixo vertical. Pode-se verificar que a comparação entre as curvas (sinais) é dificultada por alguns fatores. Por isso, a aplicação fornece alguns recursos que podem ser aplicados para favorecer a análise gráfica comparativa entre os sinais de acordo com as situações que podem acontecer.

Uma dessas situações ocorre quando se compara sinais proveniente de testes diferentes, uma vez que cada teste foi realizado em datas diferentes e por isso não foram

iniciados nem finalizados nos mesmos horários, é esperado que as curvas fiquem deslocadas uma das outras na direção horizontal (isto é, em relação ao eixo temporal), como pode ser verificado na figura acima. Assim, para favorecer a comparação, seria interessante transladar as curvas para a mesma posição inicial em relação ao eixo temporal, o que significa fazer a análise em relação ao tempo decorrido de teste (*test elapsed time*) em vez de em relação aos horários do teste (*horary*), porque é para que esse seja aproximadamente o mesmo para todos os testes (no caso do veículo elétrico, ~2h). É o mesmo que usar um cronômetro para contar o tempo do teste e entre um teste e outro zerar o cronômetro. Pensando nisso, a aplicação fornece um recurso para isso e, para acioná-lo, basta clicar na caixa de verificação (ticar) rotulada “Test elapsed time (I/O horary)” no painel “Analysis” e, então, no botão “Apply” (Figura 23). Vale salientar que, para que qualquer alteração no painel “Analysis” seja aplicada no gráfico, é preciso em seguida acionar o botão “Apply”.

Figura 23 – Análise: “zerar” o cronômetro

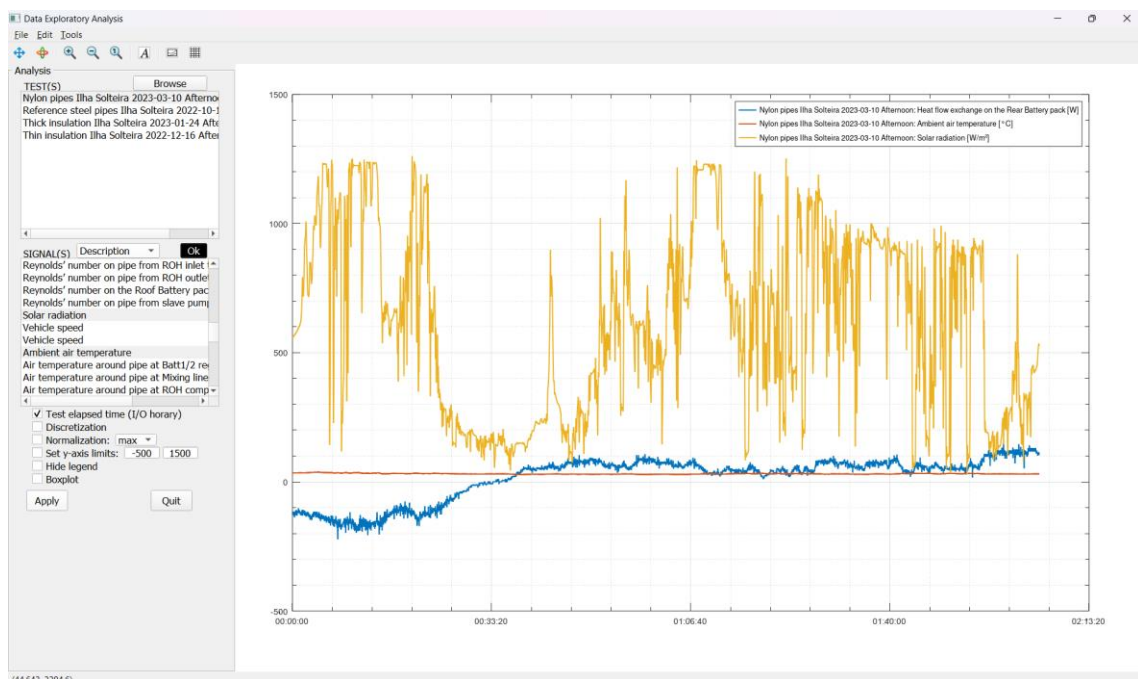


Fonte: Produção do próprio autor.

Outra situação pode ocorrer quando se compara sinais de unidades de medida diferentes ou com magnitudes muito discrepantes, pois isso altera a escala de intensidade (eixo vertical), prejudicando a visualização do comportamento de alguma(s) curva(s) no gráfico. Nesse contexto, como as combinações são ilimitadas, utilizar uma escala secundária pode não ser suficiente. Nesse sentido, uma solução abrangente é fazer a normalização dos dados de cada curva utilizando alguma medida estatística, tal como média (*mean*), mediana (*median*), moda (*mode*), desvio padrão (*std*, abreviação de *standart deviation*), máximo (*max*,

abreviação de *maximum*) e mínimo (*min*, abreviação de *minimum*). Dessa forma, é possível preservar o comportamento do sinal (tendência e sazonalidade) em detrimento do nível do sinal (magnitude), a qual será substituída pela razão entre os valores do sinal (magnitude) e a medida estatística escolhida para a normalização. Pensando nisso, a aplicação fornece um recurso para isso e, para acioná-lo, basta clicar na caixa de verificação (ticar) rotulada “Normalization:” e escolher a medida estatística na lista suspensa localizada na frente e, então, clicar no botão “Apply”. Vale comentar que todas as medidas estatísticas mencionadas à cima são oferecidas como opção pela aplicação e, assim, pode-se testar em cada caso qual delas entrega o melhor resultado, ao aplicar a opção e analisar o resultado no gráfico. Para exemplificar, primeiramente, vamos incluir outros sinais de unidades de medida diferentes, selecionando na caixa de opções da seção “SIGNAL(S)” (no caso, “Ambient air temperature” – Temperatura do ar ambiente, e “Solar radiation” – Radiação solar), e alterar a seleção dos testes, mantendo apenas um selecionado na caixa de opções da seção “TEST(S)”, apenas com o fim de evitar poluir a área de plotagem. Vale lembrar que, depois de alterar os testes selecionados, deve-se clicar no botão “Apply” (para aplicar a alteração), no botão “Ok” novamente e verificar se a opção previamente selecionada na caixa de opções da seção “SIGNAL(S)” não foi alterada (pois a lista de sinais pode ter sido alterada, visto que no arquivo mantido pode haver mais sinais do que a intersecção com os arquivos que deixaram de ser selecionados), para então incluir os novos sinais e clicar no botão “Apply” (Figura 24).

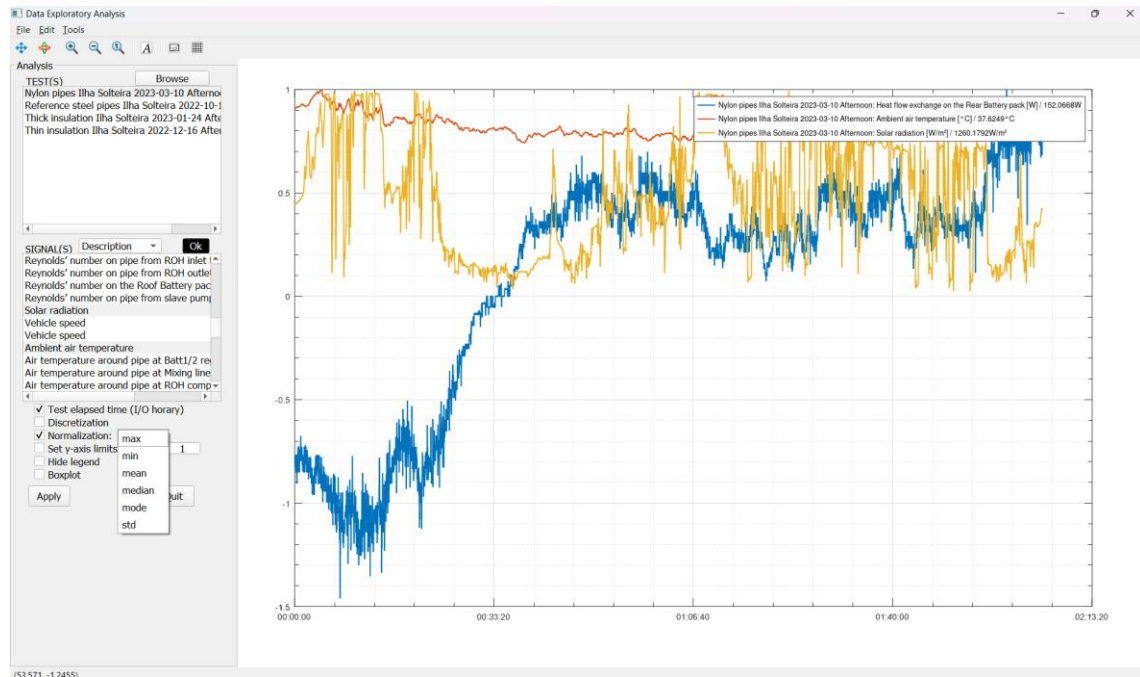
Figura 24 – Configuração da operação de normalização



Fonte: Produção do próprio autor.

Nesse exemplo, vamos utilizar o máximo como medida estatística para normalização (Figura 25).

Figura 25 – Aplicação da operação de normalização pelo valor máximo

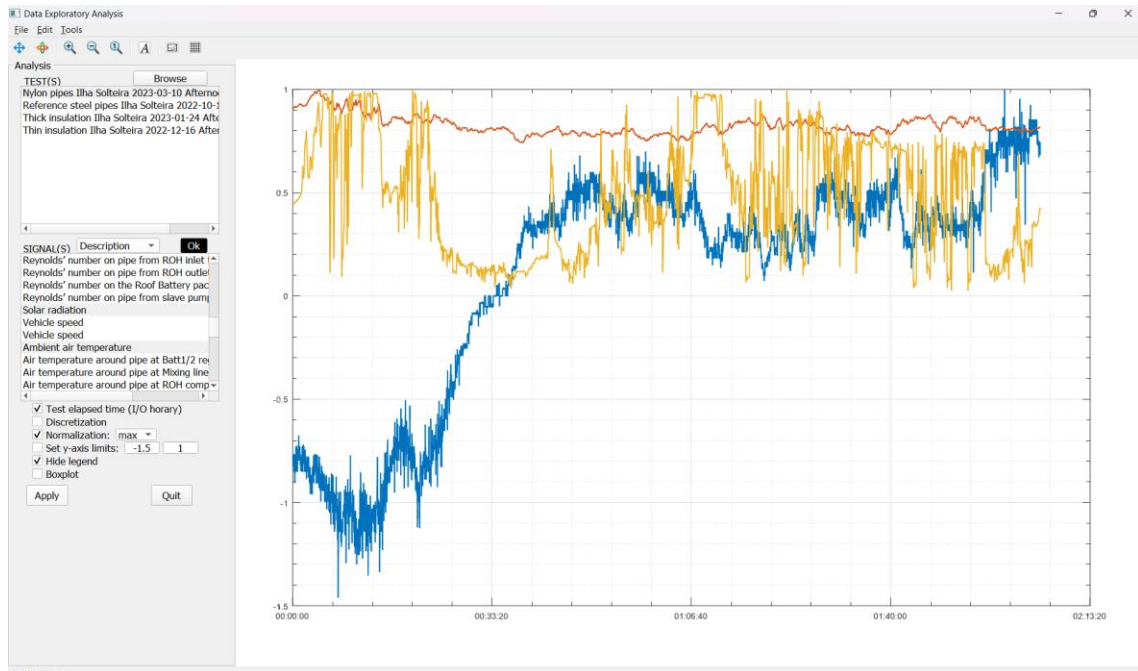


Fonte: Produção do próprio autor.

Note que a legenda foi alterada. Uma vez que os sinais representados no gráfico são normalizados em vez dos sinais originais e, conseqüentemente, as suas magnitudes (escala do eixo vertical) foram alteradas, é preciso que a legenda (que aqui também substituí o rótulo do eixo vertical, como já explicado) seja adequada para corresponder ao que está sendo representado, que consiste na razão entre o sinal e a norma (valor da medida estatística), o que varia de um sinal para outro, haja vista que a norma é calculada utilizando os valores do próprio sinal que será normalizado (por exemplo, é a média dos valores daquele sinal). Justamente, por causa disso, a unidade de medida torna-se adimensional, uma vez que a norma apresenta a mesma unidade de medida do sinal e o sinal é dividido por ela (por exemplo, °C/°C e W/W são adimensionais). Por isso, na legenda, são mostrados o símbolo de divisão (/) e o valor da norma (média, mediana, moda, desvio padrão, máximo ou mínimo do sinal).

Uma situação que ocorre também é a legenda comprometer a visualização do gráfico, como aconteceu no exemplo. Pensando nisso, a aplicação fornece o recurso de ocultar a legenda e, para acioná-lo, basta clicar na caixa de verificação rotulada "Hide legend" e, então, clicar no botão "Apply" (Figura 26).

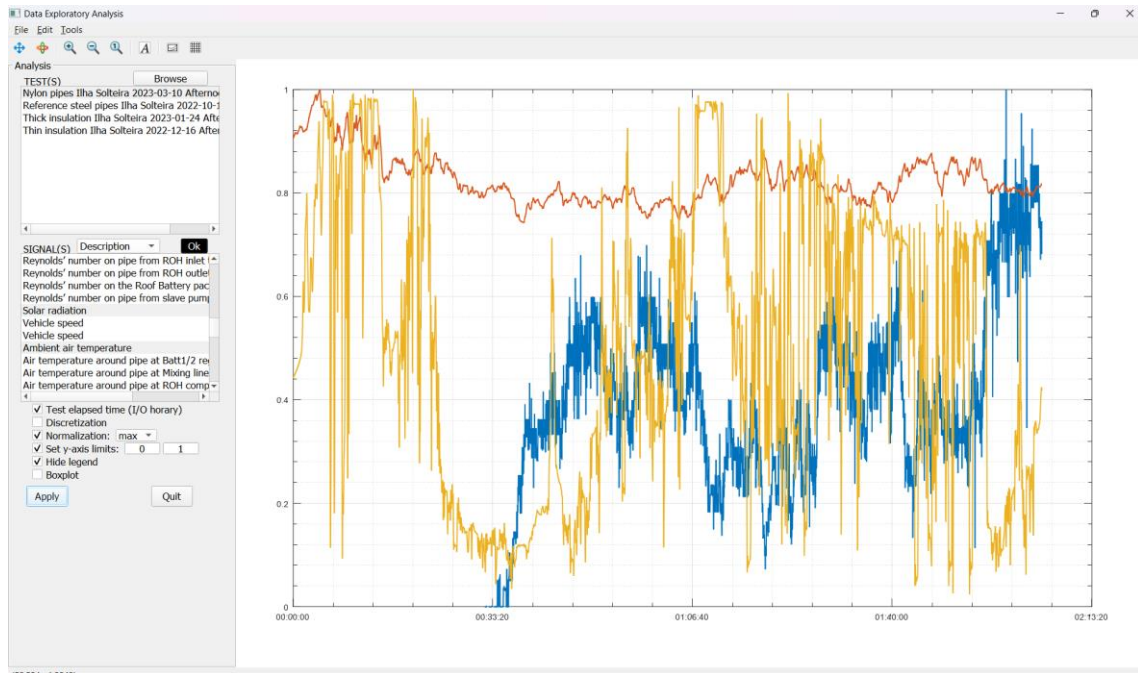
Figura 26 – Recurso de esconder a legenda



Fonte: Produção do próprio autor.

Além disso, a aplicação fornece outros recursos para facilitar a visualização do gráfico. Nesse sentido, é possível definir os limites inferior e superior do eixo vertical, clicando na caixa de verificação rotulada “Set y-axis limits:” e, então, digitando os valores nas entradas localizadas à frente para o limite inferior e o limite superior respectivamente. Assim, a escala do eixo vertical ajusta-se automaticamente e, por isso, se o intervalo entre os limites definidos for menor que aquele entre os limites originais, então a resolução da escala aumenta, de modo que se torna possível visualizar melhor a seção do gráfico enquadrada neste intervalo e, portanto, entender melhor o comportamento da(s) curva(s) e realizar a análise comparativa de curvas. Ademais, esse recurso também pode ser utilizado para restringir a exibição somente dos valores do gráfico que são de interesse ou até somente os que fazem sentido, por exemplo, definir o limite inferior como 0 para exibir somente os valores positivos do gráfico. No exemplo da Figura 27, os limites definidos foram 0 (inferior) e 1 (superior).

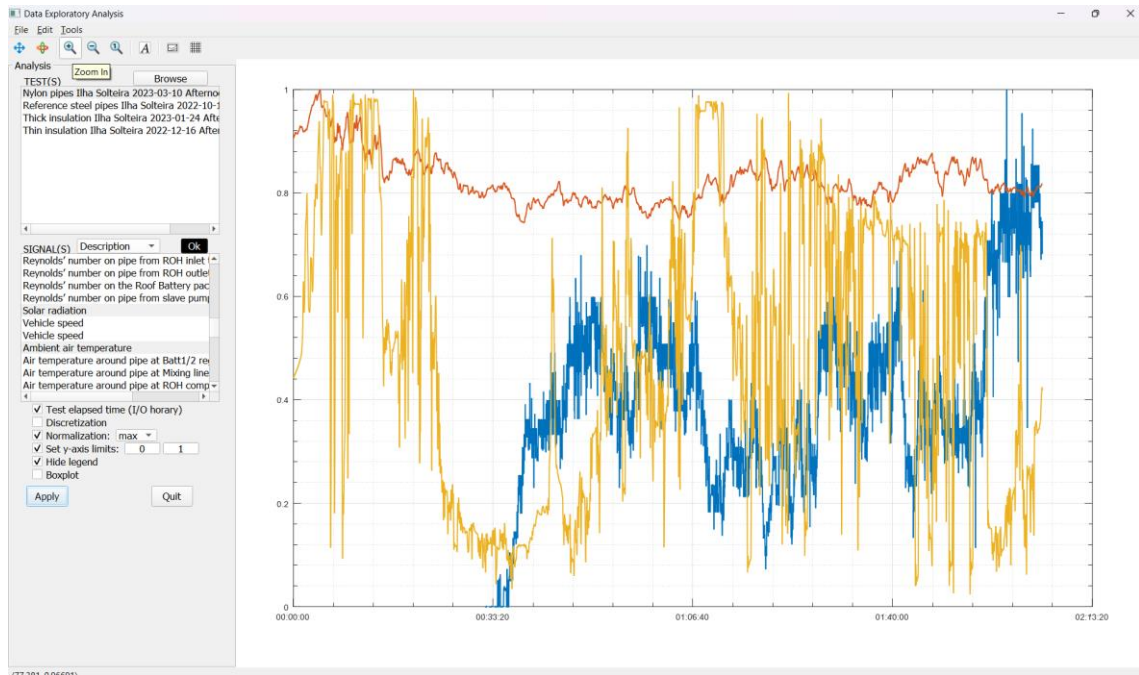
Figura 27 – Recursos de ajuste do eixo vertical



Fonte: Produção do próprio autor.

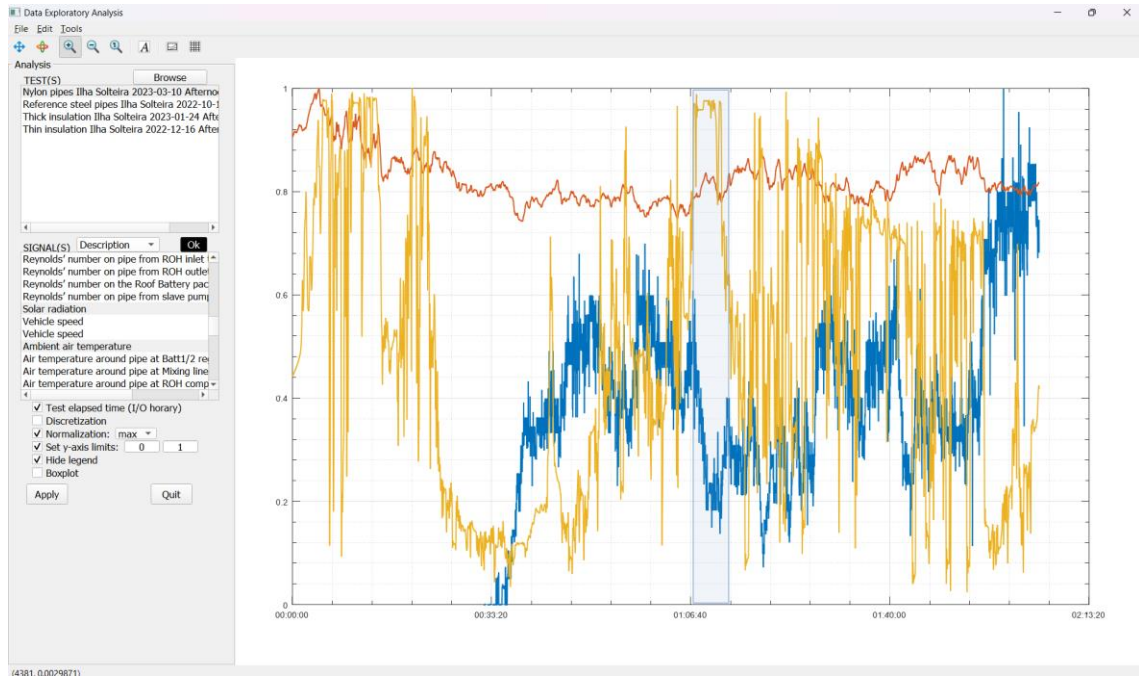
Ainda para facilitar a visualização, a aplicação dispõe de uma barra de ferramentas com alguns recursos: “Zoom In”, para amplificar (aumentar o zoom) uma seção do gráfico; “Pan”, para transladar os eixos do gráfico; “Zoom out”, para diminuir o zoom ou a imagem; e “Automatic limits for current axes”, para restaurar a configuração original dos eixos após ter aplicado algum(ns) dos recursos mencionados. O exemplo das Figuras 28, 29 e 30 ilustra a utilização do “Zoom In”.

Figura 28 – Seleção da opção de “zoom”



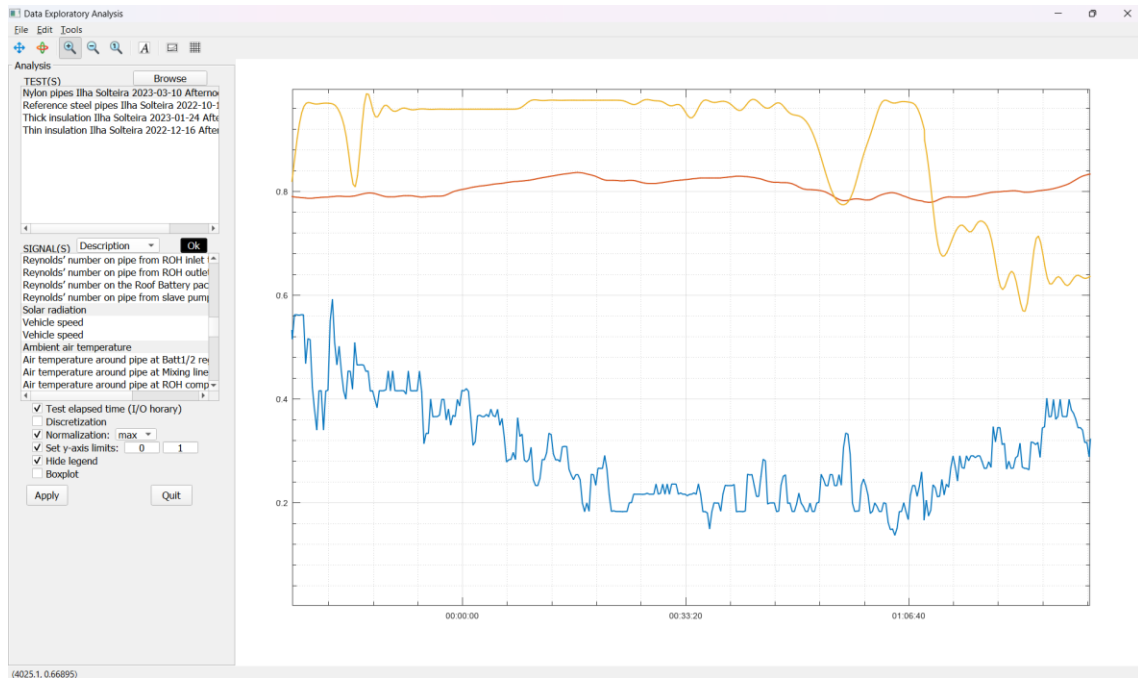
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 29 – Aplicação da opção de “zoom”



Fonte: Produção do próprio autor.

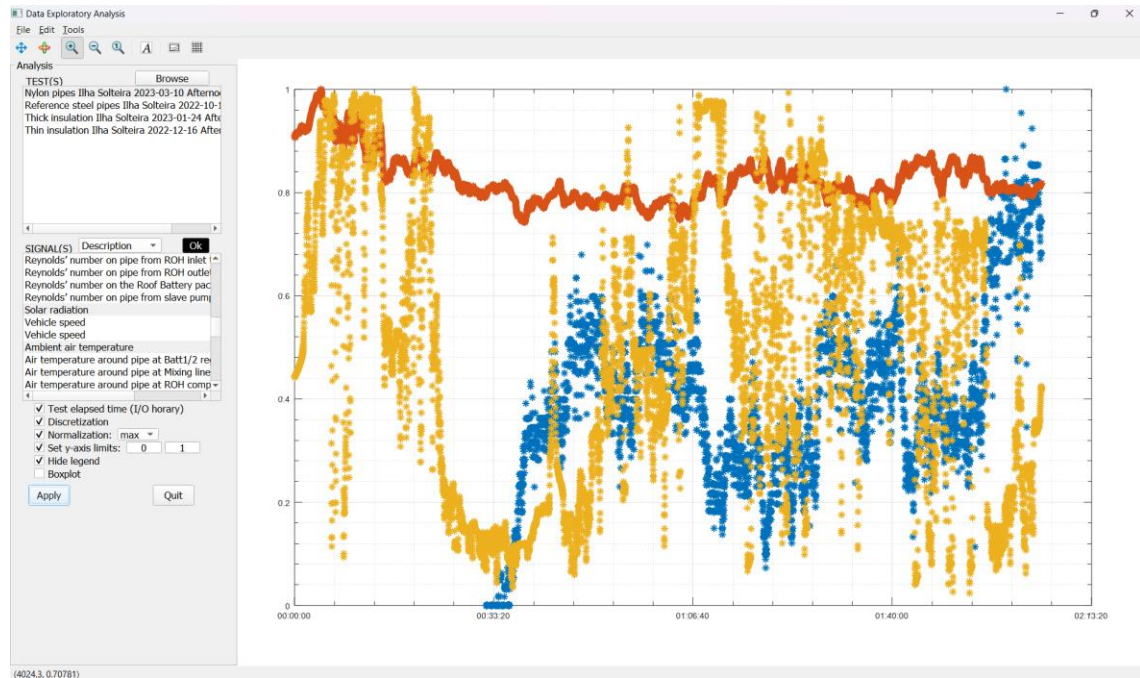
Figura 30 – Resultado da aplicação da opção de “zoom”



Fonte: Produção do próprio autor.

É importante recordar que os sinais, como são provenientes de testes experimentais, são discretos. Logo, são formados por pontos e, por isso, quando uma linha é utilizada como marcador no gráfico para conectar esses pontos, o usuário pode confundir o segmento que conecta dois pontos com o comportamento que o sinal apresenta dentro do intervalo de tempo entre esses dois pontos. Esse intervalo entre os pontos é resultante de fatores, tais como a taxa de amostragem do sensor, dados faltantes devido à falha da instrumentação ou à junção de dois arquivos no pré-processamento dos dados etc. Pensando nisso, a aplicação fornece um recurso para discretização, ou seja, exibir somente os pontos dos sinais. Para isso, basta selecionar a caixa de verificação rotulada “Discretization”, como mostra o exemplo da Figura 31.

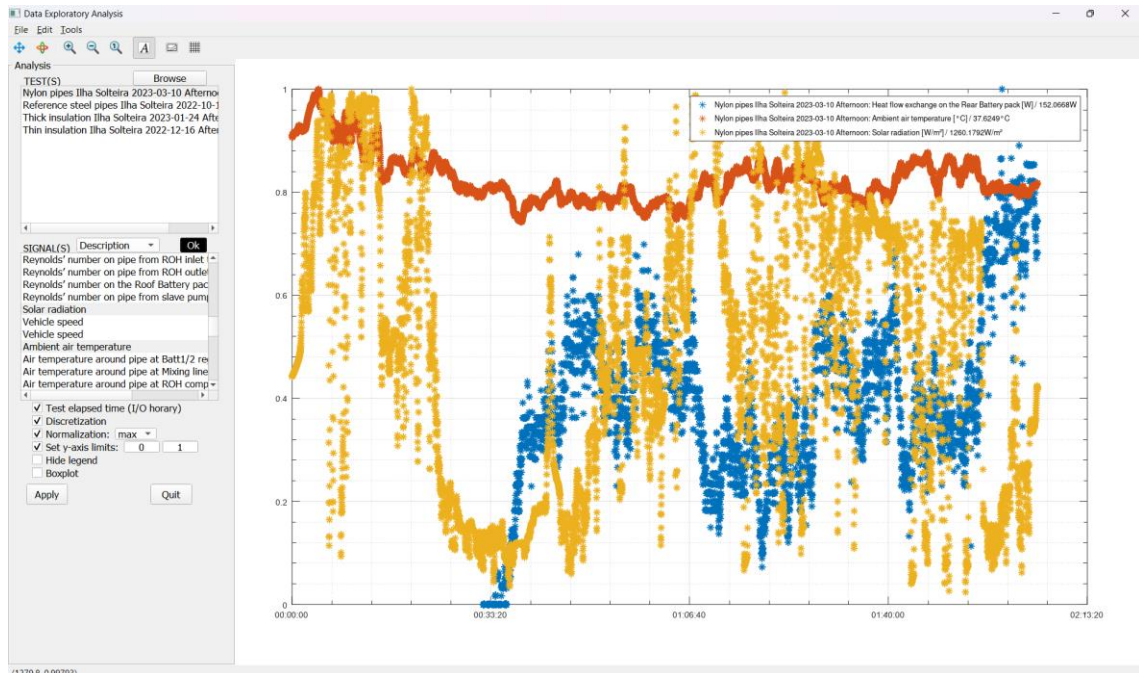
Figura 31 – Recurso de visualização somente dos dados (pontos) do sinal



Fonte: Produção do próprio autor.

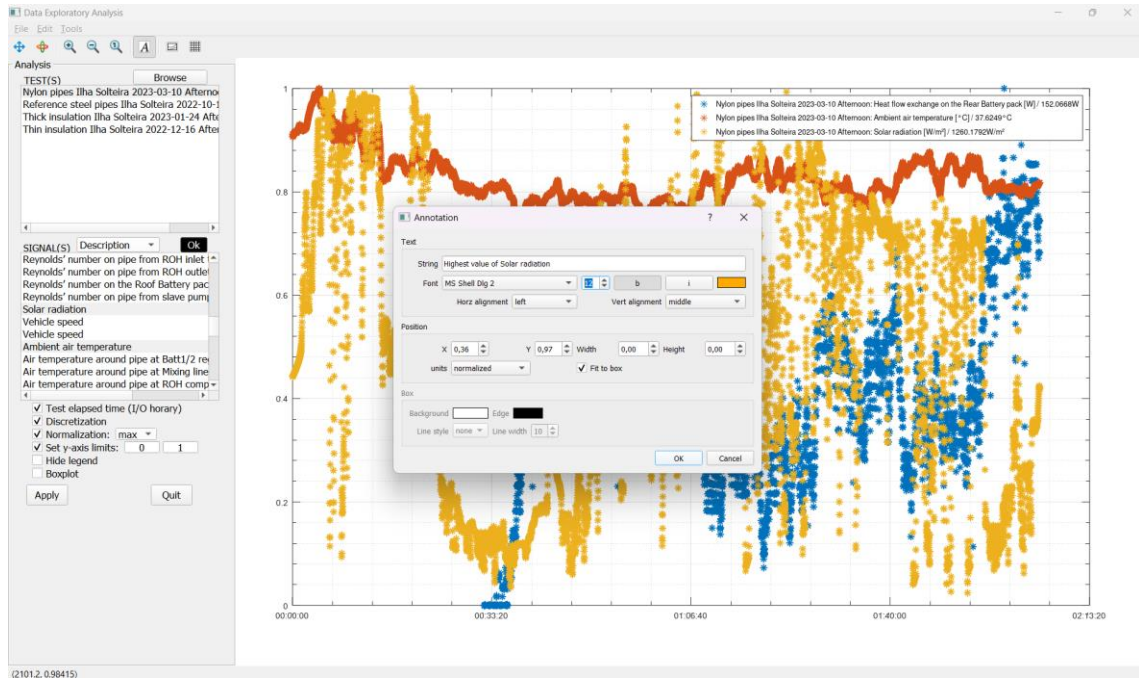
A aplicação também dispõe do recurso “Insert Text” na barra de ferramentas, o qual pode ser utilizado para fazer anotações na área do gráfico, bem como “Save As” e “Copy Figure to Clipboard” na barra de menus, os quais podem ser utilizados para salvar ou copiar, respectivamente, o gráfico, inclusive com anotações feitas. Assim, é possível registrar a(s) análise(s) feita(s) para documentar e/ou relatar. O exemplo das Figuras 32, 33 e 34 mostra a utilização do “Insert Text”.

Figura 32 – Seleção do recurso de anotação



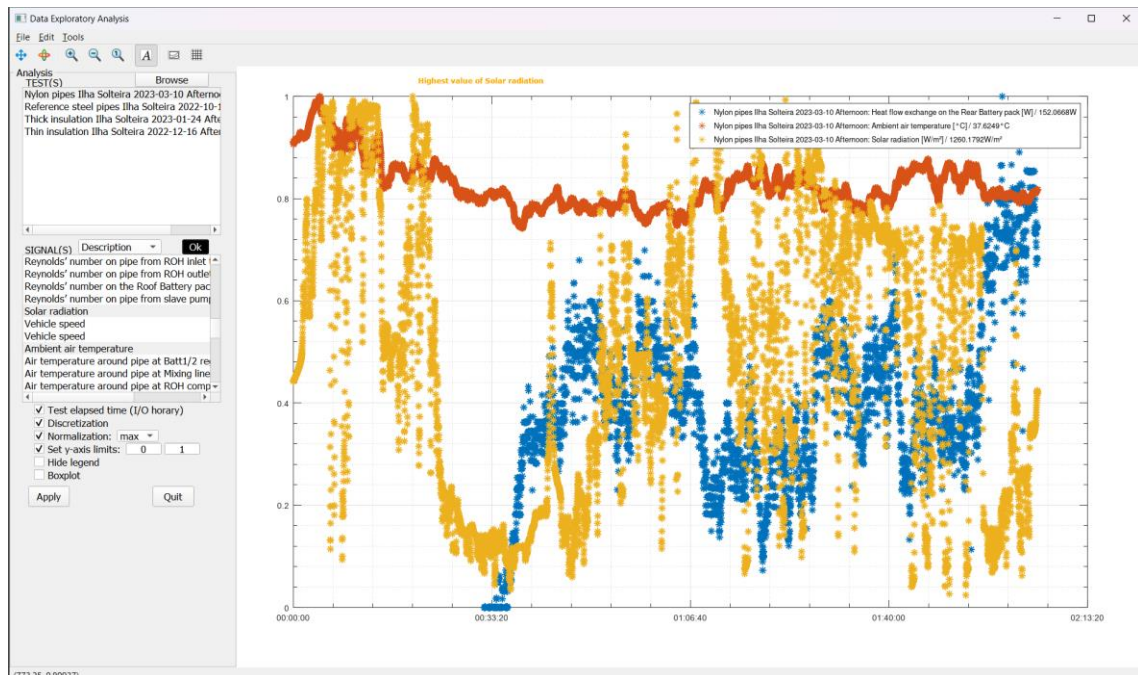
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 33 – Aplicação do recurso de anotação



Fonte: Produção do próprio autor.

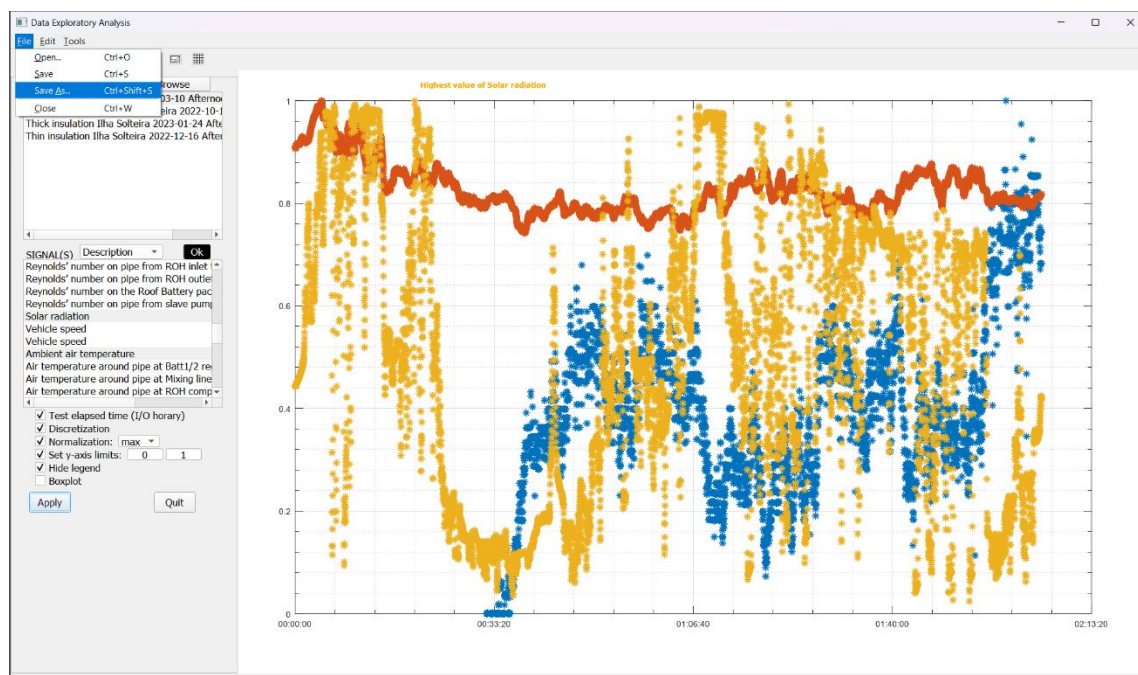
Figura 34 – Resultado da aplicação do recurso de anotação



Fonte: Produção do próprio autor.

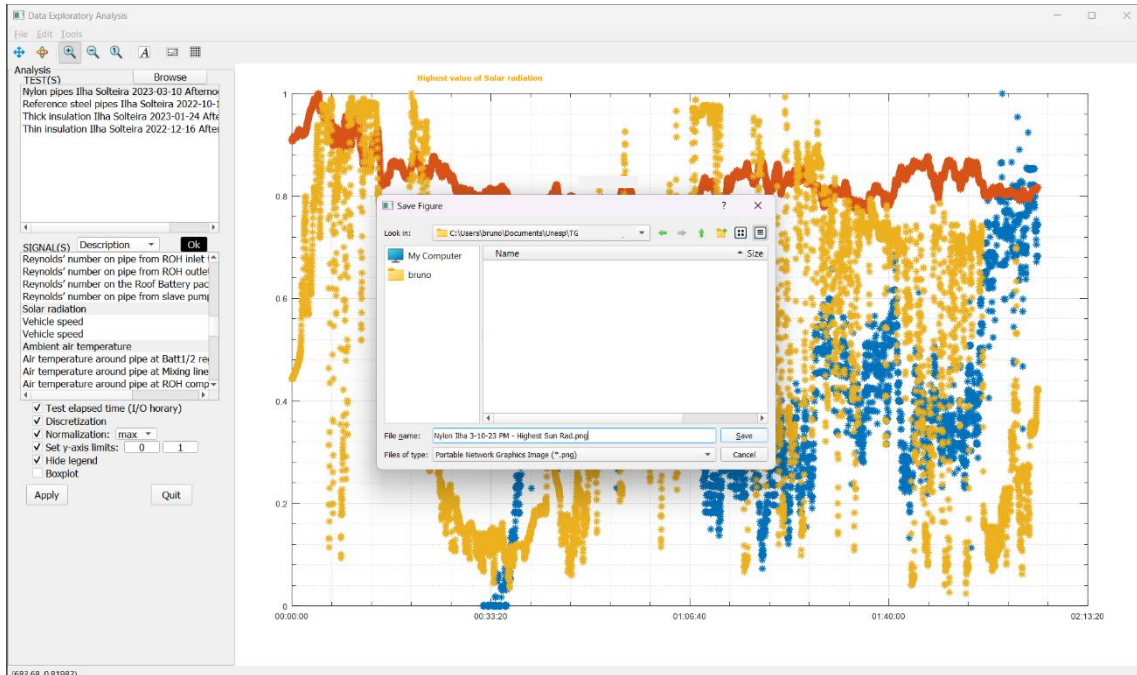
O exemplo das Figuras 35 a 38 mostra a utilização do “Save As”, encontrado no menu “File”.

Figura 35 – Seleção da opção “Salvar como”



Fonte: Produção do próprio autor.

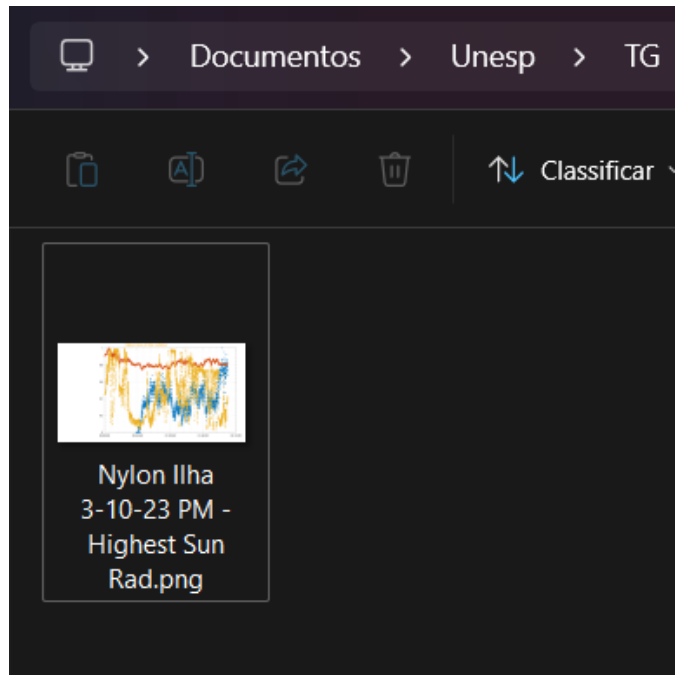
Figura 36 – Escolhendo o local de salvamento e o nome do arquivo salvo



Fonte: Produção do próprio autor.

A seguir, o arquivo salvo no explorador de arquivos do computador.

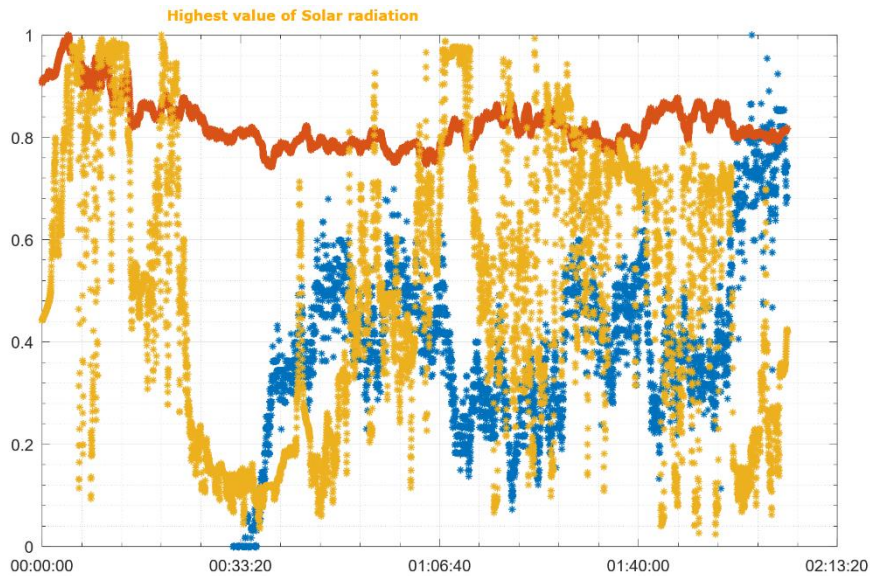
Figura 37 – Evidência do arquivo salvo no local escolhido



Fonte: Produção do próprio autor.

A seguir, o resultado ao abrir o arquivo salvo.

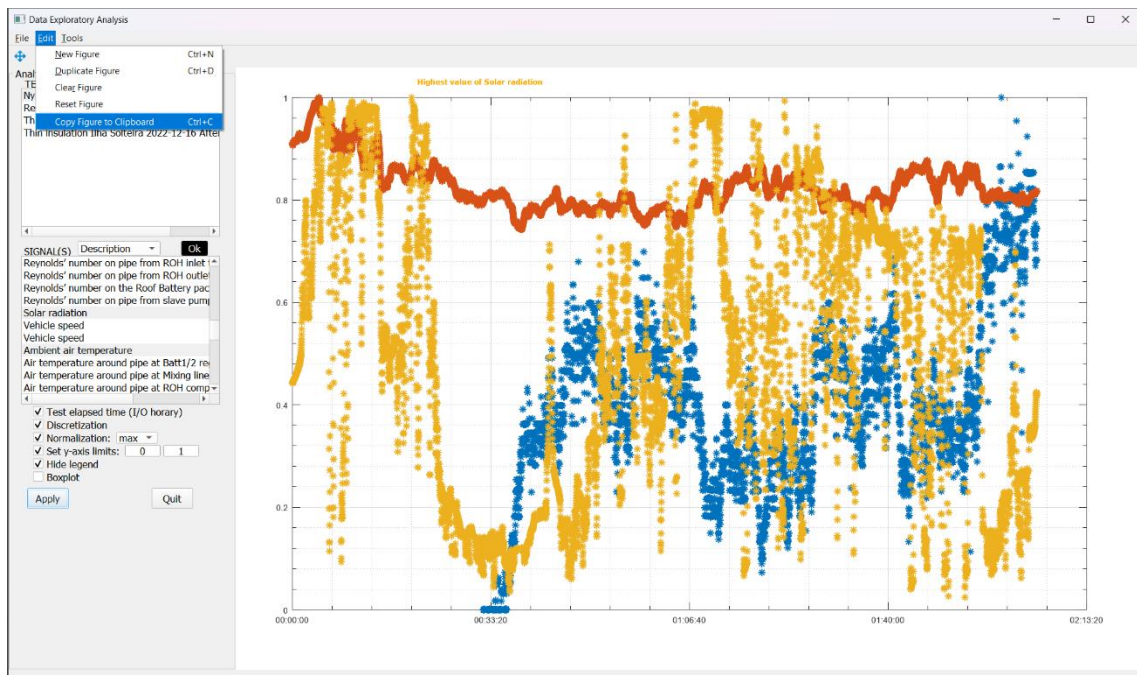
Figura 38 – Imagem salva no arquivo



Fonte: Produção do próprio autor.

O exemplo das Figuras 39 e 40 mostra a utilização do “Copy Figure to Clipboard” (copiar figura para a área de transferência), encontrado no menu “Edit”.

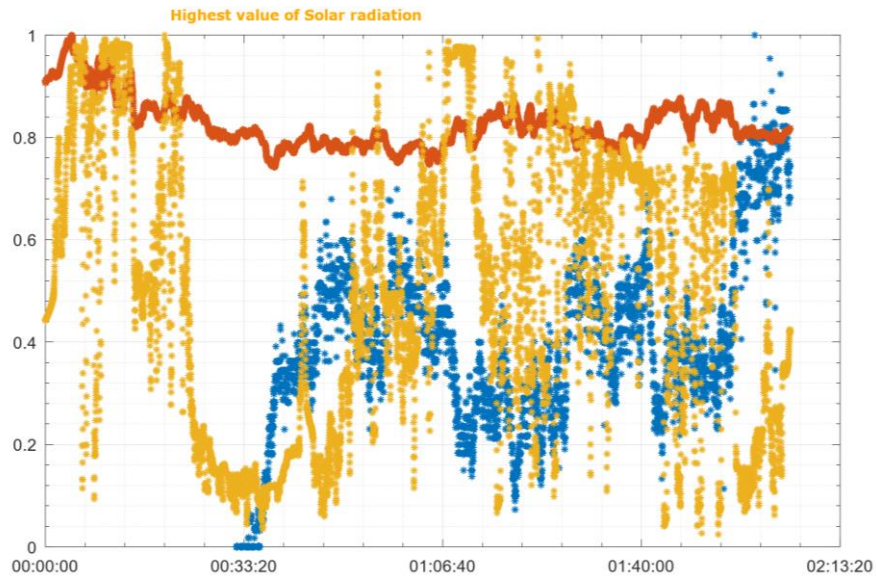
Figura 39 – Seleção da opção “Copiar para a área de transferência”



Fonte: Produção do próprio autor.

A seguir, o resultado após colar (*paste*, Ctrl+V) neste documento a cópia da área de transferência.

Figura 40 – Imagem colada



Fonte: Produção do próprio autor.

Note que os resultados tanto do “Save As” quanto do “Copy Figure to Clipboard” são os mesmos, de modo que a diferença é que com o primeiro é possível salvar o resultado em um arquivo e com o segundo, inserir (colar) diretamente em um documento já sendo editado.

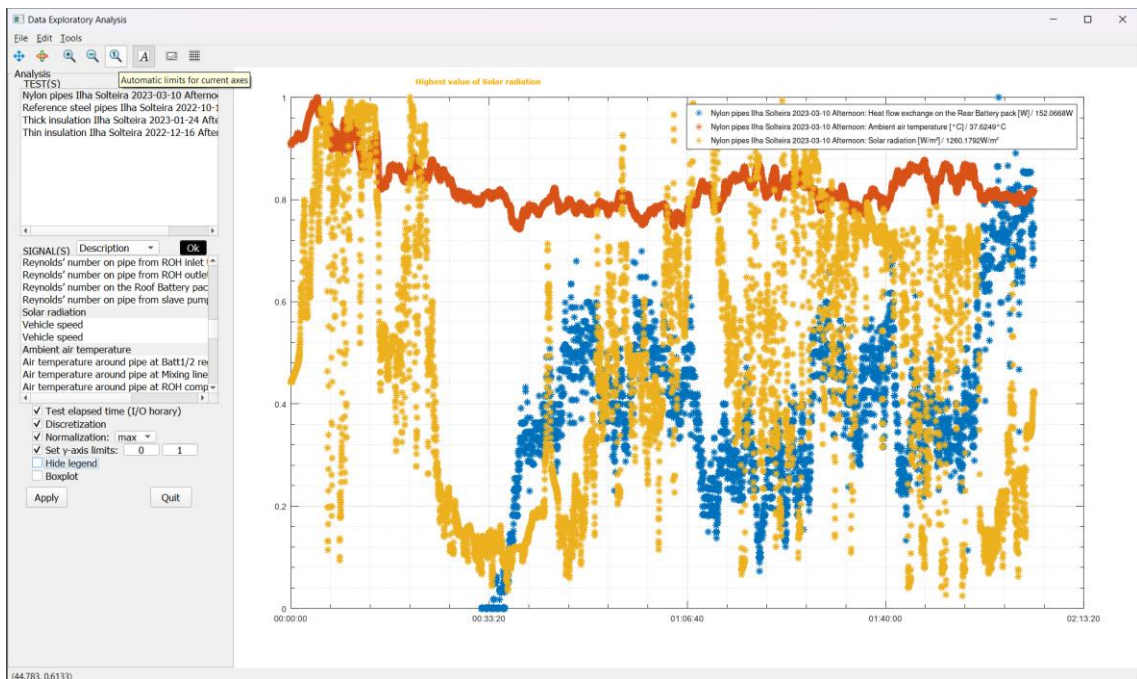
O exemplo das Figuras 41 e 43 ilustra a utilização do “Zoom Out” e do “Automatic limits for current axes” respectivamente.

Figura 41 – Opção de retirar o “zoom” antes aplicado com “Zoom Out”



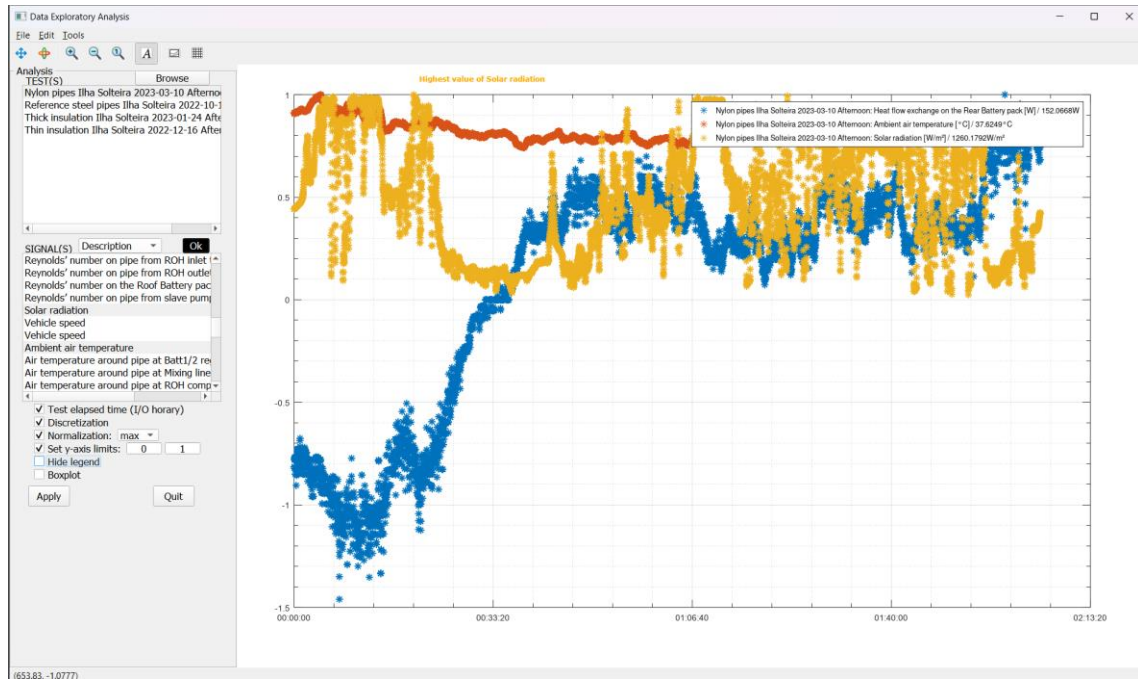
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 42 – Opção de retirar o “zoom” antes aplicado com “Automatic limits for current axes”



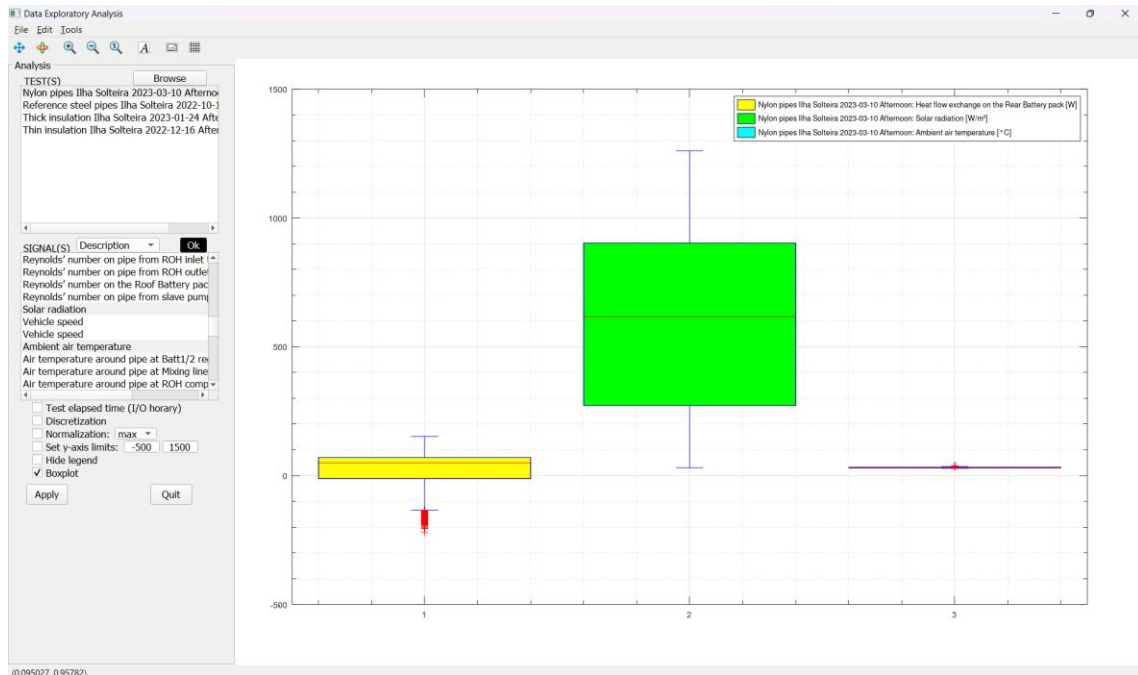
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 43 – Resultado da opção de retirar o “zoom”

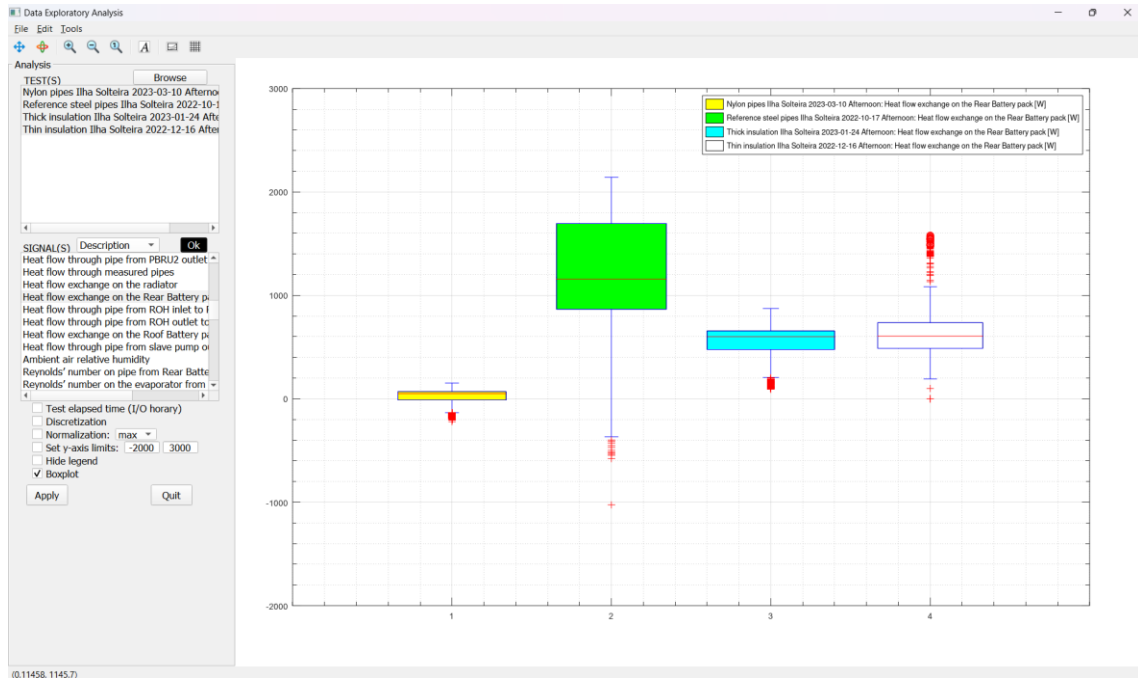


Fonte: Produção do próprio autor.

Por fim, a aplicação apresenta um recurso para realizar uma análise estatística descritiva dos sinais por meio de um gráfico *boxplot*, como mostram as Figuras 44 e 45 (BUSSAB and MORETTIN, 2017). Com esse gráfico, é possível analisar os dados dos sinais como um axis conjunto de dados, em vez de uma série temporal, e, assim verificar a tendência central (nível da linha central da caixa) e variação (tamanho da caixa) dos sinais durante o teste, individual e comparativamente. Para isso, basta clicar na caixa de verificação rotulada “Boxplot”. Vale mencionar que se pode aplicar no *boxplot* os recursos de normalização, configuração dos limites do eixo vertical e ocultar legenda.

Figura 44 – Troca para a análise por *boxplot*

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 45 – Análise descritiva usando *boxplot*

Fonte: Produção do próprio autor.

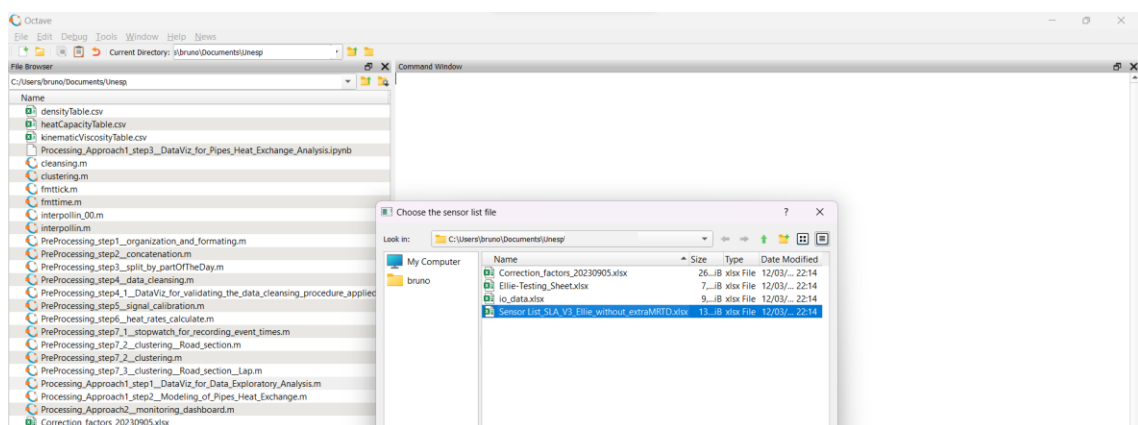
Além das condições ambientais, características da rota realizada pelo veículo pode influenciar nos dados experimentais. Logo, torna-se interessante rastrear o veículo quando um certo comportamento foi verificado no gráfico de algum(ns) sinal(is) ou verificar o

comportamento de certos sinais em certos trechos da rota. Para isso, é necessário usar os dados de longitude e latitude registrados por um GPS embarcado no veículo. Pensando nisso, foi desenvolvida uma aplicação para fazer a verificação dos sinais em comparação à trajetória do veículo, a qual é ilustrada a seguir. Sobretudo, essa aplicação contém gráficos animado que fazem a reprodução dos sinais para o usuário como se este estivesse monitorando em um painel a cada instante a localização momentânea do veículo em um mapa e as leituras do instrumento de medição até o momento.

Quanto à ferramenta para análise da influência das condições de rodagem no comportamento dos sinais do BTMS, antes de tudo, é necessário executar o arquivo de extensão .m que contém o *script* da GUI desenvolvida para monitoramento dos testes veiculares a partir dos sinais de medição tratados. O primeiro passo é executar o *software* GNU Octave no computador. O segundo passo é procurar na janela do Navegador de Arquivos (*File Browser*) do *software* GNU Octave pelo arquivo nomeado “PreProcessing_step7_1__stopwatch_for_recording_event_times.m” e abri-lo na janela do Editor (*Editor*). O terceiro e último passo é executar (*Run*) esse arquivo.

Uma janela do Navegador de Arquivos do computador será aberta (Figura 46) para que o usuário selecione e abra a planilha que contém a lista de sinais tratados com a relação entre o código e a descrição desses sinais, bem como outras informações importantes, tais como as unidades de medida correspondentes. Neste exemplo, o arquivo é o “Sensor List_SLA_V3_Ellie_without_extraMRTD.xlsx”.

Figura 46 – Importação da planilha com a lista de sinais

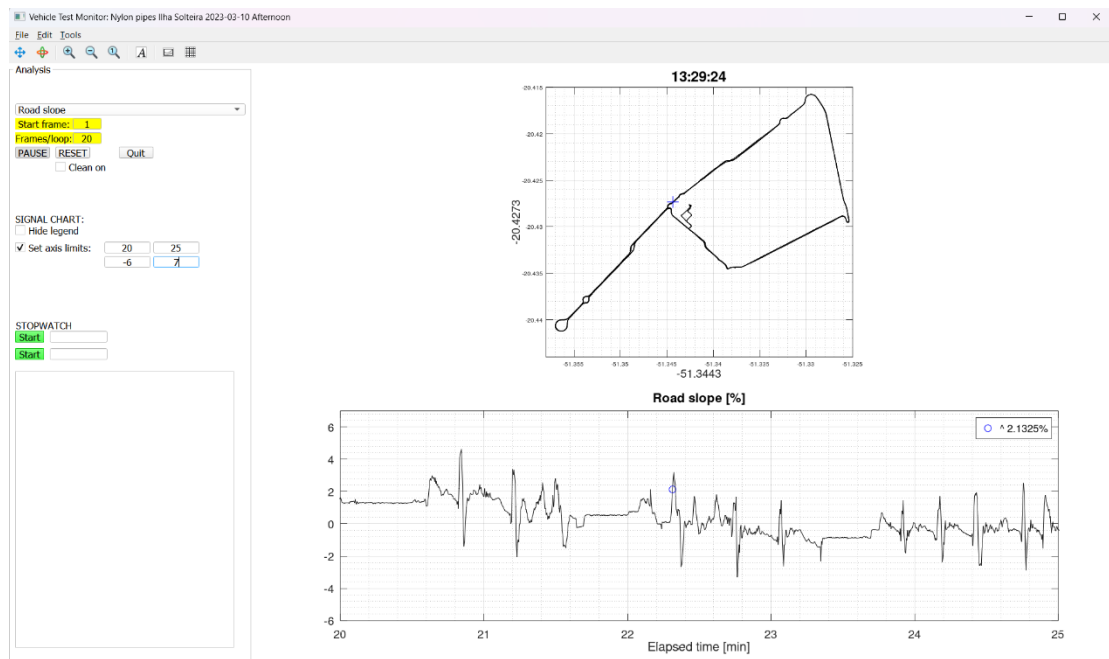


Fonte: Produção do próprio autor.

Uma janela do Navegador de Arquivos do computador será aberta para que o usuário selecione e abra o arquivo de teste que será analisado e, quando a GUI é aberta, o nome do arquivo selecionado é exibido no título da figura da aplicação. Recomenda-se clicar no botão expandir da janela da aplicação, para assim aparecer no canto inferior esquerdo da janela as

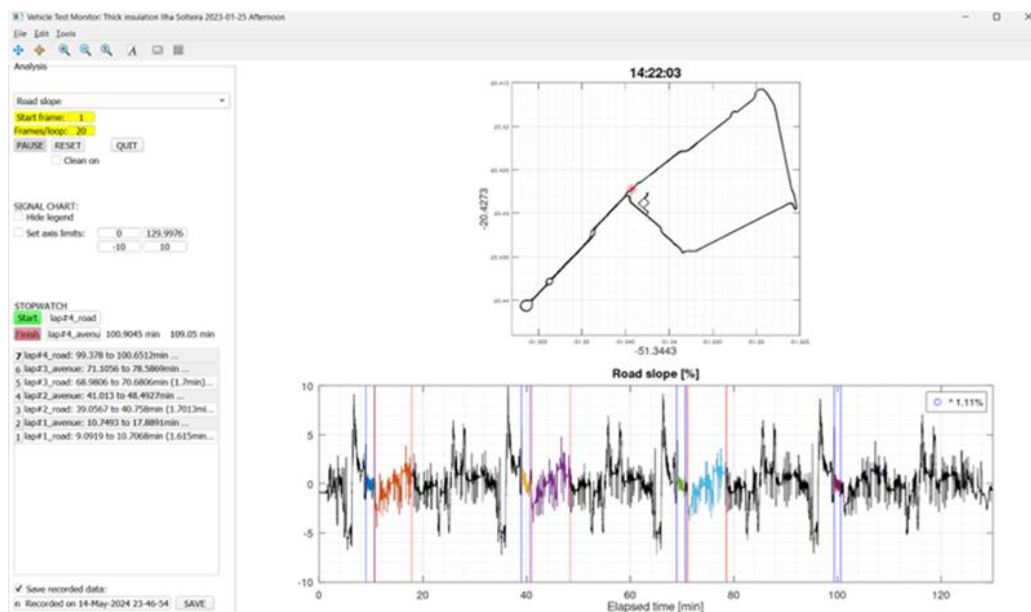
coordenadas do gráfico, que quando o cursor do mouse é posicionado sobre um ponto qualquer da área do gráfico, essas coordenadas indicam o par ordenado do gráfico. As Figuras 47 e 48 demonstram a configuração e exemplo de que pode ser realizada nessa ferramenta.

Figura 47 – Entrada de informações



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 48 – Análise da rota



Fonte: Produção do próprio autor.

Nessa aplicação, é possível selecionar na lista suspensa o sinal o qual se deseja analisar, em seguida, na caixa de entrada “Start frame”, digitar quadro inicial da animação (o valor pré-definido é 1, mas se pode desejar iniciar a reprodução a qualquer momento (instante de tempo) do teste, por exemplo, nos casos em que os registros começaram quando o veículo ainda estava na garagem), depois digitar na caixa de entrada “Frame/loop” a velocidade da reprodução, o que pode ser utilizado também para retornar a reprodução, ao colocar um número negativo. Por fim, clicar no botão “Play” para iniciar a reprodução.

Vale comentar que a qualquer momento o botão “Pause” pode ser acionado para interromper momentaneamente a reprodução para: verificar alguma informação; inserir algum dado nas caixas de entrada; alterar o sinal selecionado e reiniciar a reprodução, clicando no botão “Reset”; etc. Além disso, o botão “Quit” pode ser acionado para encerrar a aplicação, aliás, ao chegar no final, se os botões “Reset”, “Pause” ou “Quit” não forem acionados tampouco a janela da aplicação for fechada, a reprodução será reiniciada automaticamente.

A reprodução é composta por dois gráficos animados. O de cima mostra a rota registrada no arquivo do teste selecionado (linha preta; estática) e reproduz a posição do veículo (marcador “+” azul, cuja posição varia dinamicamente) em cada instante do teste (horário no título do gráfico, cujo valor varia dinamicamente), a qual é definida pela longitude (rótulo do eixo vertical, cujo valor varia dinamicamente) e pela latitude (rótulo do eixo horizontal, cujo valor varia dinamicamente). Enquanto que o gráfico de baixo, mostra o sinal selecionado para análise (linha preta; estática), cujo nome é exibido no título do gráfico juntamente com a unidade do sinal entre colchetes, e indica o valor do sinal em cada instante do tempo decorrido de teste, tanto na curva do gráfico (marcador “o” azul, cuja posição varia dinamicamente), quanto na legenda do gráfico (cujo valor varia dinamicamente) juntamente da unidade do sinal e de um símbolo (que varia dinamicamente) que indica se o valor em um dado instante aumentou (símbolo “^”), diminuiu (símbolo “v”) ou manteve-se (símbolo “=”) em relação ao valor do instante anterior.

Neste gráfico de baixo, é possível aplicar alguns recursos para facilitar a sua visualização e, conseqüentemente, a análise. Um deles é ocultar a legenda (a qual exibe dinamicamente o valor do sinal no dado instante) a qualquer momento da reprodução, o que pode ser útil caso a legenda esteja sobrepondo algum trecho do sinal, e, para isso, basta clicar na caixa de verificação rotulada “Hide legend” para ativar enquanto necessitar, e para reexibir a legenda basta clicar novamente. Outro recurso consiste em ajustar as escalas dos eixos horizontal (tempo decorrido de teste em minutos) e/ou vertical (intensidade do sinal), configurando os limites inferior e superior de cada escala, a fim de focalizar em um trecho mais próximo do instante reproduzido para visualizar melhor o comportamento do sinal nesse dado instante e isso pode ser feito a qualquer momento da reprodução ao clicar na caixa de verificação rotulada “Set axis limits” e, então, alterando os valores nas caixas de entrada na

frente, sendo o primeiro correspondente ao limite inferior, o segundo o limite superior, a primeira linha para o eixo horizontal e a segunda linha para o eixo vertical, e para restaurar a configuração original das escalas, basta clicar de novo na caixa de verificação.

O terceiro e último recurso consiste em um cronômetro “Stopwatch”, o qual pode ser utilizado para registrar tempos parciais (*split time* ou volta – *lap*) no cronômetro para alguns trechos de interesse da rota, utilizando o botão “Start” (verde) e a caixa de entrada a sua frente, a fim de poder verificar o comportamento do sinal analisado em um certo trecho da trajetória (circuito) ou trechos com as mesmas características (por exemplo, placas de pare, pontos de ônibus, rotatórias, avenidas, aclive, declive; o que pode ser identificado analisando os valores e/ou o comportamento de certos sinais, tais como o de velocidade do veículo – por exemplo, se igual a zero, então está parado – e o de inclinação da pista – por exemplo, se negativa, então é um declive) e se esse comportamento se repete em todas as voltas da rota, bem como, se foi verificado algum comportamento específico no sinal que se deseja entender, então pode-se identificar em qual trecho de qual volta da rota ele ocorreu para analisar se há alguma correlação. Como se pode registrar vários tempos parciais no cronômetro, a qualquer momento e de qualquer forma, existe a caixa de entrada para que o usuário possa inserir um texto que identifique cada registro de tempo parcial, como um rótulo.

Explicando o funcionamento do cronômetro, ao clicar no botão “Start”, algumas ações são executadas pela aplicação: a reprodução é travada momentaneamente e o marcador da posição no mapa da trajetória é alterado momentaneamente para um asterisco (*) verde, a fim de o usuário possa verificar se acionou o botão na posição que esperava e conferir as informações daquele instante; é exibido, à frente da caixa de entrada, o valor do tempo da largada, isto é, o tempo decorrido de teste correspondente ao momento em que o botão foi acionado durante a reprodução; e o botão “Start” é alterado para “Finish” (vermelho). Dessa forma, define-se o ponto de largada (início) do trecho e, para definir o ponto de chegada (final) do trecho, basta clicar no então botão “Finish” quando o marcador do mapa chegar na posição esperada. Com isso, as ações executadas pela aplicação são análogas ao do botão “Start”, sendo que as diferenças existem somente para diferenciar, isto é, a cor do marcador muda para vermelho em vez de verde e o valor do tempo da chegada é exibido à frente do valor do tempo da largada. Por fim, o texto na caixa de entrada é apagado, o botão “Finish” volta a ser “Start”, as informações do tempo parcial são registradas na tabela abaixo como um histórico, no formato “[rótulo]: [tempo_da_largada] to [tempo_da_chegada] ([intervalo_de_tempo]) | [valor_do_sinal_na_largada] to [valor_do_sinal_na_chegada]([variação_no_valor_do_sinal])”, o gráfico do sinal é marcado com duas barras verticais indicando os instantes da largada e da chegada registradas, e a amostra do sinal entre as barras verticais é colorido para destacar o comportamento do sinal naquele trecho da rota.

Como já mencionado, se outro sinal for selecionado na lista suspensa e o botão “Reset” for acionado, a reprodução reiniciará e o sinal no gráfico de baixo será atualizado para o sinal atualmente selecionado, sobretudo, se a caixa de verificação “Clean on” abaixo do botão “Reset” não for selecionada antes que esse botão seja acionado, os registros do cronômetro serão mantidos e as marcações no gráfico serão replicadas para o sinal então selecionado, a fim de seja possível fazer a mesma análise sem que seja necessário repetir o trabalho de cronometragem, bem como buscar padrões e correlações entre os sinais analisados. Visto isso, se a opção “Clean on” estiver ativada, então o gráfico será limpo quando o botão “Reset” for acionado, o que é interessante a análise com o outro sinal for diferente ou seja atrapalhada pelas marcações e, ainda, essa opção junto com o botão “Reset” pode ser utilizada simplesmente no caso de querer limpar as marcações no gráfico do mesmo sinal, caso, por exemplo, tenha errado ou pretenda iniciar uma nova análise.

Caso queira verificar dois trechos na mesma análise ou compará-los, há dois botões “Start”, a fim de facilitar a diferenciação entre esses trechos no gráfico, uma vez que a cor das barras verticais é diferente, sendo que, para o primeiro botão “Start”, elas são sempre azuis, enquanto, para o segundo botão “Start”, elas são sempre vermelhas. Essa diferenciação por meio da cor das barras é ainda mais significativa, no caso de um trecho conter o outro ou no caso de um trecho começar antes de o outro finalizar e ainda finalizar depois, o que pode ser resolvido usando os dois botões de forma combinada, porque pode-se seguir qualquer ordem no acionamento dos botões “Start” e “Finish” (o “Start” de cima pode ser acionado tanto primeiro quanto depois, o primeiro “Finish” pode ser acionado tanto antes quanto depois do segundo “Finish” etc.) a fim de atingir o resultado pretendido. Sobretudo, usar um certo botão para um determinado trecho não somente é vantajoso na diferenciação dos trechos por meio da cor das barras verticais, mas também permite correlacionar os registros feitos com cada botão, porque, a partir do segundo registro feito com o mesmo botão, uma informação adicional é agregada ao registro na tabela, que consiste no tempo de intermitência, isto é, o intervalo de tempo desde a chegada do último registro com esse botão até a largada do registro consecutivo feito com o mesmo botão, no formato “[tempo_de_intermitência]”.

Como não há um limite de registro de tempo parcial no cronômetro, eles são ordenados em linhas na tabela, de modo que o número da linha indica a ordem de registro (1º, 2º, 3º, ...), e de forma decrescente, de modo que o registro mais recente fica no topo da lista a fim de facilitar a visualização do usuário. O texto de cada registro (linha) é editável, de modo que é possível selecionar e copiá-lo a fim de possibilitar, por exemplo, a transferência do registro para algum arquivo de texto.

Os registros de tempos parciais cronometrados podem ser salvos em um arquivo *.mat. Para isso, deve-se selecionar a caixa de verificação “Save recorded data” e os registros correntes serão salvos se e quando o botão “Save” for acionado, e o nome do arquivo salvo

será o texto presente na caixa de entrada atrás do botão “Save”, que pode ser o mesmo proposto pela aplicação (usando as informações do teste e a data e o horário de criação do arquivo) ou pode ser editado pelo usuário para outro que seja mais sugestivo da análise que tenha feito. Vale comentar que não há limite de arquivos salvos por reprodução, bem com que os arquivos *.mat gravados não tem os mesmos formato, estrutura nem informações da lista de registros na tabela do cronômetro, porque essas características foram pensadas para que esse arquivo fosse compatível com a aplicação de Análise Exploratória de Dados, de modo que se tornou possível carregar nessa ferramenta os registrados desse arquivo, a fim de que a mesma análise feita então pudesse ser replicada, sobretudo usufruindo dos recursos de tal ferramenta, tal como a comparação de vários sinais no mesmo gráfico. Lembrando que as linhas da tabela do cronômetro são editáveis, logo, para guardar os registros do cronômetro no formato em que é exibido na tabela, basta, para cada linha, clicar duas sobre ela, copiar todo o texto e colar em um arquivo de um editor de texto (por exemplo, o Bloco de Notas do Microsoft Windows).

5.2 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

A Tabela 1 exibe as especificações da tubulação de cada configuração, bem como a respectiva resistência térmica total, obtida por meio da avaliação da Equação 5 (parede simples, isto é, sem isolante) ou da Equação 8 (parede composta, isto é, tubo com isolante). Assim, durante a análise e interpretação dos resultados, pode-se tentar correlacionar algum comportamento à essa característica. Vale comentar que a referência *steel pipes* e a variante *nylon pipes* são tubos sem isolante, ao passo que as variantes *thin insulation* e *thick insulation* consistem do tubo do *steel pipes* revestido com um respectivo isolante térmico.

Tabela 1 – Características das tubulações de cada configuração

Configuração do BTMS	Material	Dimensões da tubulação		Resistência térmica, R_t [(m*K)/W]
	Condutividade térmica, k [W/(m*K)]	Diâmetro interno, \varnothing [mm]	Espessura, t [mm]	
Steel pipes	15,000	19	1,5	0,00068
Thin insulation	0,037	22	3,0	0,50600
Thick insulation	0,036	22	10,0	1,29701
Nylon pipes	0,250	18	2,0	0,05548

Fonte: Produção do próprio autor.

Na Tabela 2, são resumidas as condições ambientes e de operação do BTMS que foram verificadas durante os testes e que se entende que são as que mais influenciam os resultados. Para isso, foram utilizados os valores médios para temperatura ambiente e radiação solar, enquanto, para os equipamentos do subsistema de arrefecimento do BTMS (radiador e chiller), foi considerado o percentual de tempo em que o determinado equipamento ficou ligado durante o tempo decorrido do teste.

Tabela 2 – Condições dos testes

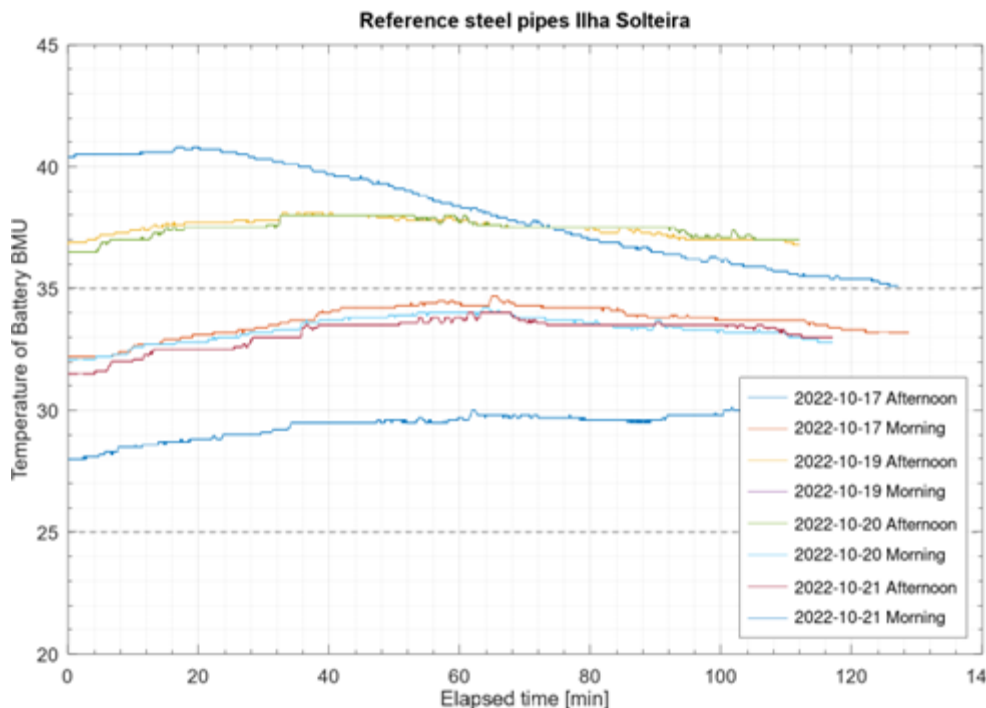
Configuração	Data do teste [dd/mm/aa]	Período do teste	Radiador [%]	Chiller [%]	Temperatura ambiente [°C]	Radiação solar [W]
Steel pipes	17/10/22	Tarde	0	92	35,3	313,4
Steel pipes	19/10/22	Tarde	99	1	31,7	6,7
Steel pipes	19/10/22	Manhã	100	100	37,5	374,8
Steel pipes	20/10/22	Tarde	100	100	37,5	374,8
Steel pipes	17/10/22	Manhã	0	57	33,1	710,3
Steel pipes	20/10/22	Manhã	0	55	31,9	4,7
Steel pipes	21/10/22	Tarde	100	100	33,2	329,3
Steel pipes	21/10/22	Manhã	0	0	25,9	4,9
Thin insulation	16/12/22	Tarde	99	1	29,7	308,6
Thin insulation	20/12/22	Tarde	100	0	32,1	613,8
Thin insulation	21/12/22	Tarde	97	1	32,2	638,9
Thin insulation	21/12/22	Manhã	0	78	29,9	804
Thin insulation	20/12/22	Manhã	23	0	29,3	538,9
Thin insulation	16/12/22	Manhã	0	14	29,6	528,4
Thin insulation	19/12/22	Manhã	0	0	29,3	446,6
Thick insulation	31/01/23	Tarde	0	97	31,6	681
Thick insulation	02/02/23	Tarde	15	55	32,4	218,6
Thick insulation	01/02/23	Tarde	0	96	32,2	703,3
Thick insulation	26/01/23	Tarde	0	97	35,3	842
Thick insulation	27/01/23	Tarde	0	82	34,7	846,2
Thick insulation	24/01/23	Tarde	0	100	33,1	653,1
Thick insulation	25/01/23	Tarde	0	74	32,2	467,2
Nylon pipes	16/03/23	Tarde	0	100	31,4	578,9
Nylon pipes	13/03/23	Tarde	0	96	31,1	355
Nylon pipes	15/03/23	Tarde	0	69	32	854,8
Nylon pipes	21/03/23	Tarde	0	57	33,7	775,7
Nylon pipes	20/03/23	Tarde	0	48	31,1	506,5
Nylon pipes	14/03/23	Tarde	71	0	27,2	254,2
Nylon pipes	17/03/23	Tarde	41	0	28,2	367,4
Nylon pipes	10/03/23	Tarde	0	0	31,1	615,5

Fonte: Produção do próprio autor.

Para entender melhor as médias das condições ambientes para os testes de cada configuração, vale mencionar que os testes da referência *steel pipes* e da variante *thin insulation* foram realizados durante a estação da primavera, ao passo que os testes da variante *thick insulation* e da variante *nylon pipes* foram realizados durante a estação do verão.

Quanto à validação do BTMS, foram analisadas as temperaturas das baterias. BMU, BSU1, BSU2 e BSU3 são os códigos para as baterias do conjunto localizado no teto do ônibus e BSU4, BSU5, BSU6 e BSU7 são os códigos para as baterias do conjunto localizado na traseira do ônibus. Nesse sentido, as Figuras 49 a 80 foram geradas pela ferramenta de análise comparativa visando o processo de verificação e validação do BTMS. Para isso, foram traçados os gráficos dos sinais de temperatura média de cada bateria durante o tempo decorrido de cada teste realizado com cada configuração do BTMS, bem como foram traçadas linhas de referência para os limites de temperatura de operação das baterias, isto é, 25°C e 35°C. Sendo assim, se o gráfico de um teste não interceptou qualquer uma das linhas de referência em qualquer ponto, ou seja, se os valores do sinal se mantiveram entre 25°C e 35°C, então significa que esse teste foi aprovado na validação.

Figura 49 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (*steel pipes*) em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 50 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



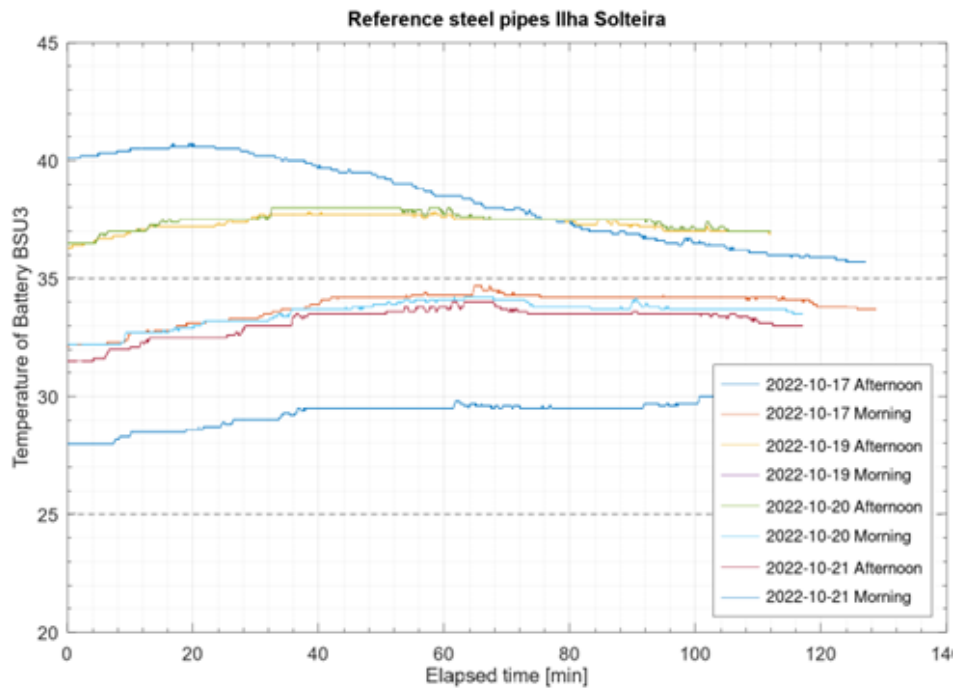
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 51 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 52 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



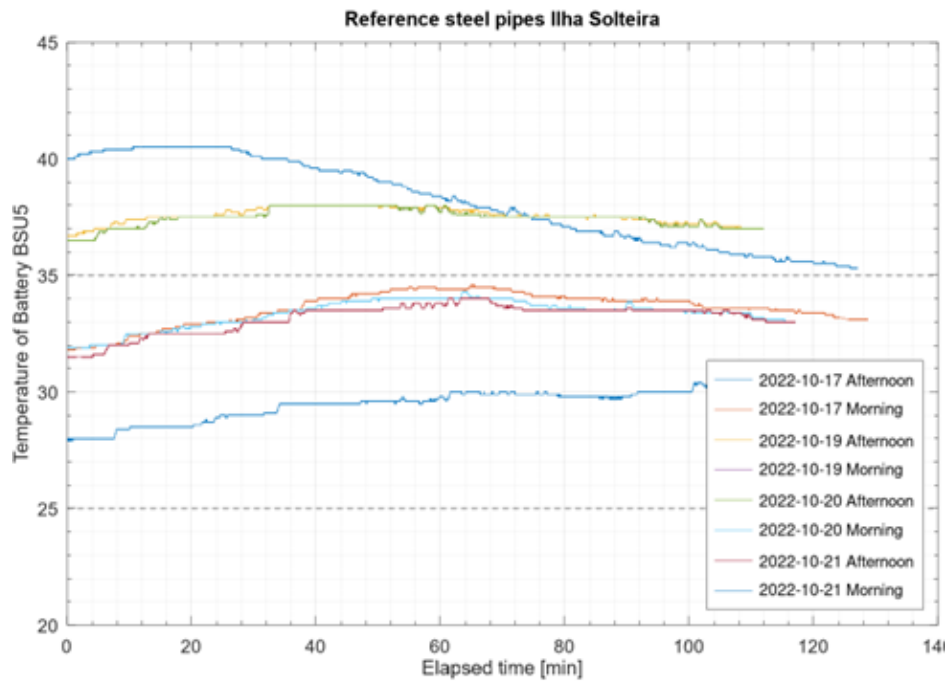
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 53 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



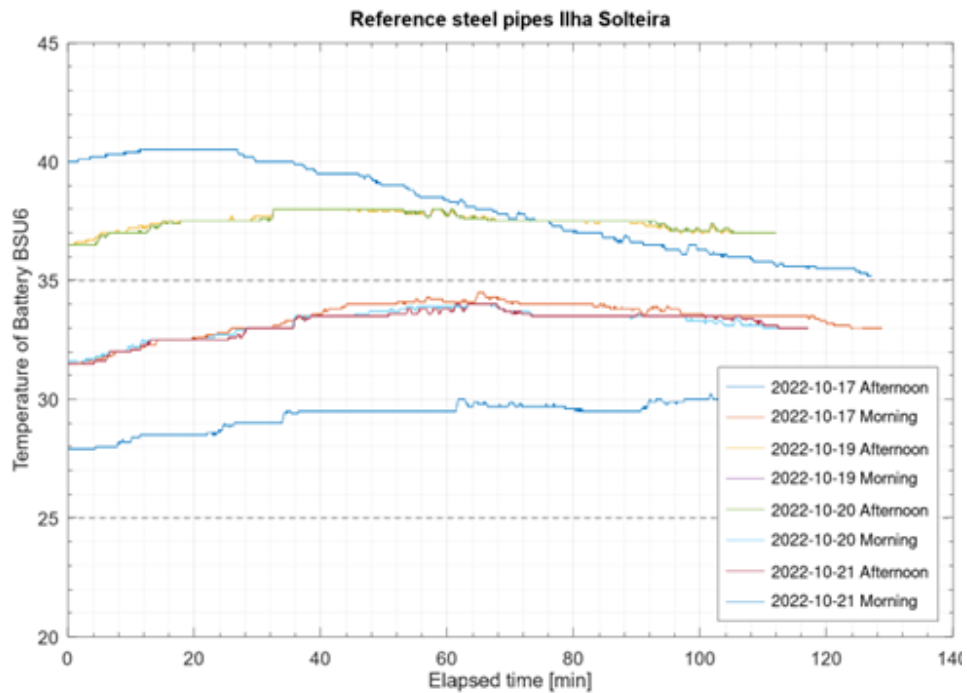
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 54 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 55 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

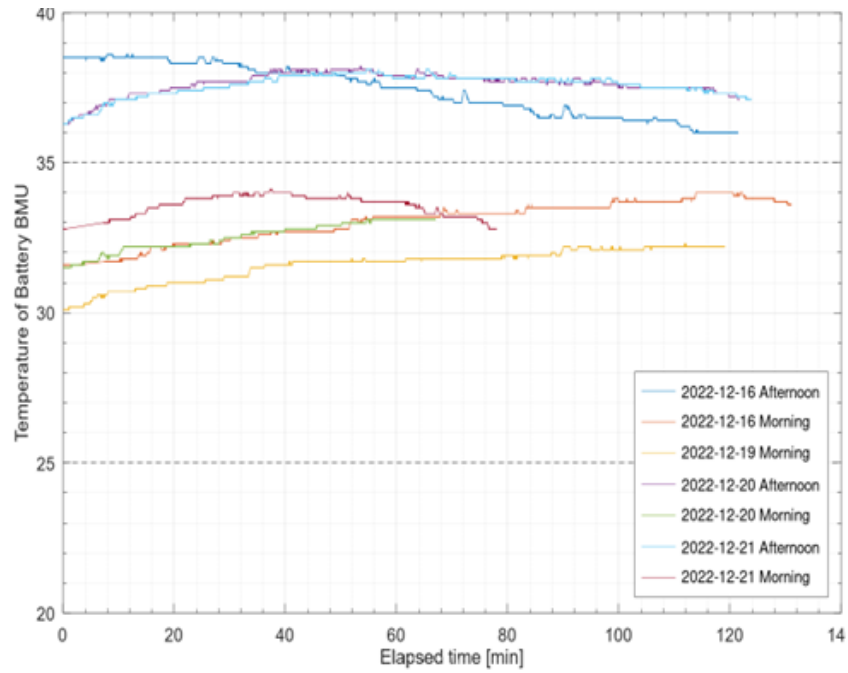
Figura 56 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a configuração de referência (steel pipes) em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

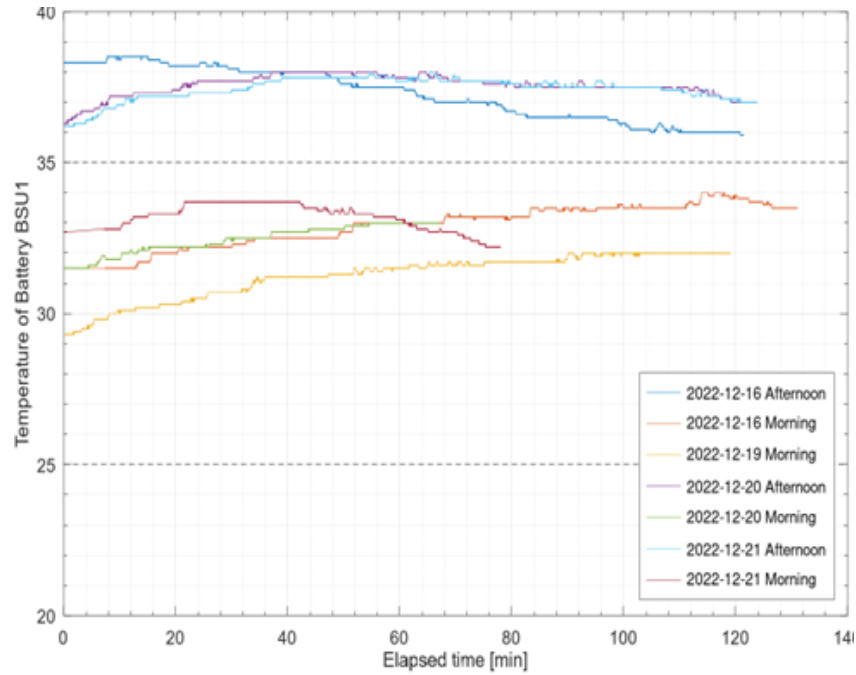
As Figuras 49 a 56 mostram que os testes dos dias 17, 19 e 20 realizados no período da tarde utilizando a configuração de referência foram reprovados, uma vez que seus gráficos para todas as baterias do veículo elétrico ficaram acima da linha de 35°C durante todo o tempo decorrido de teste.

Figura 57 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira.



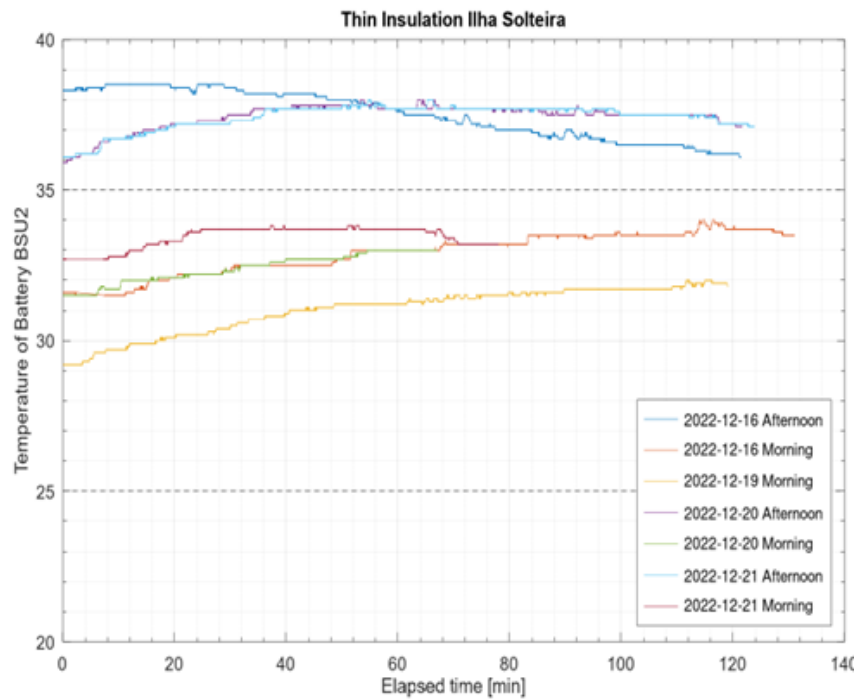
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 58 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira.



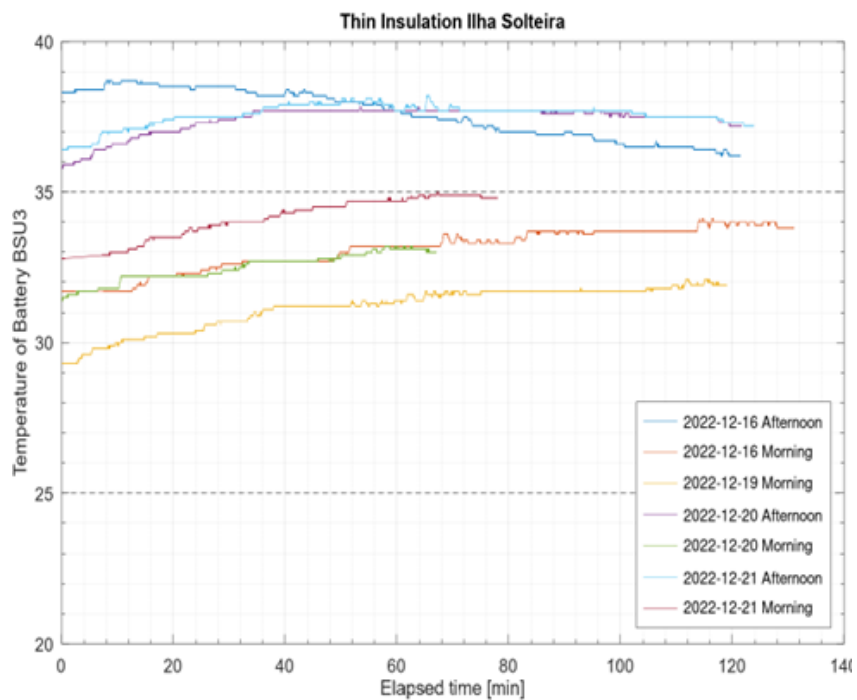
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 59 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira



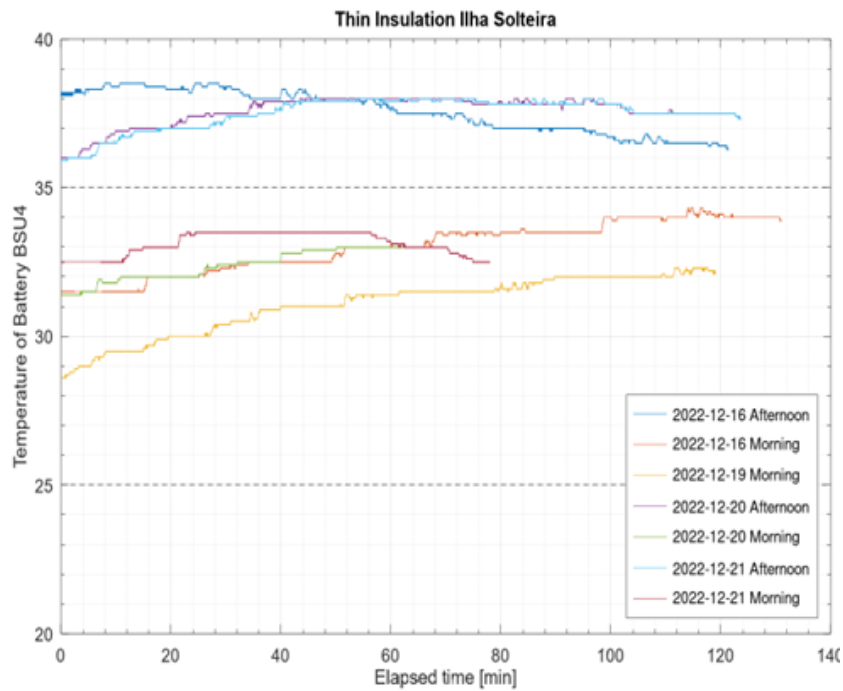
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 60 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira



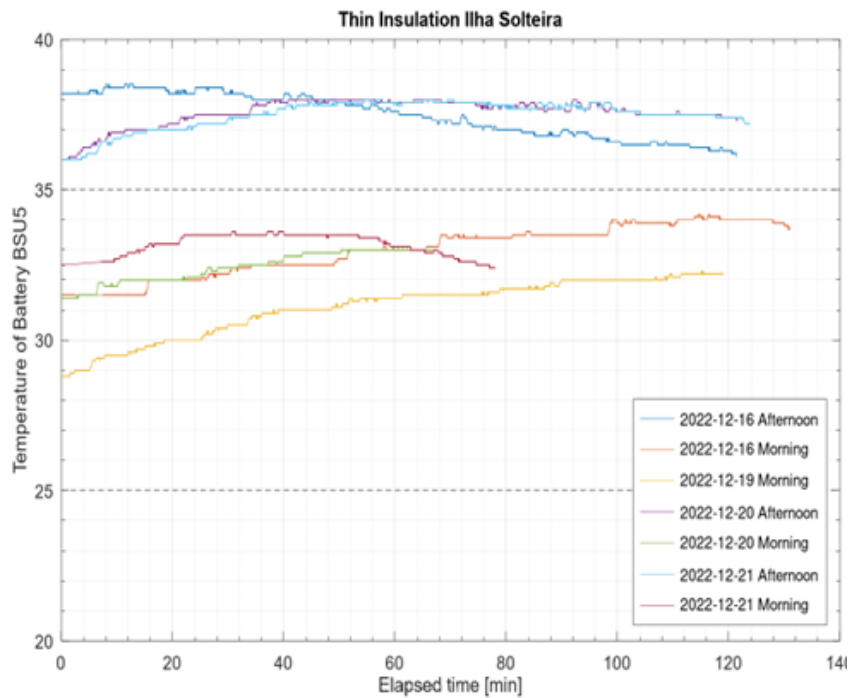
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 61 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira



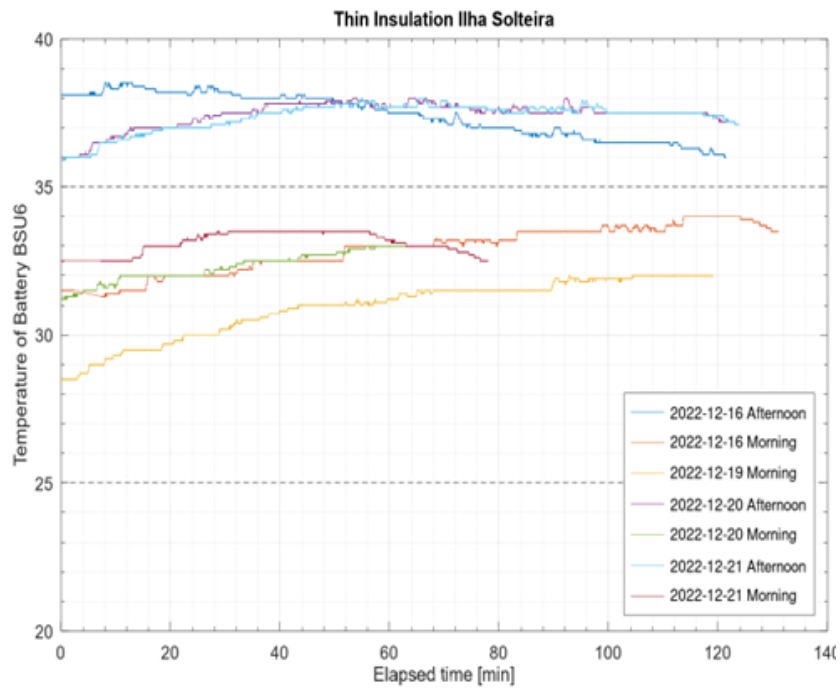
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 62 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira



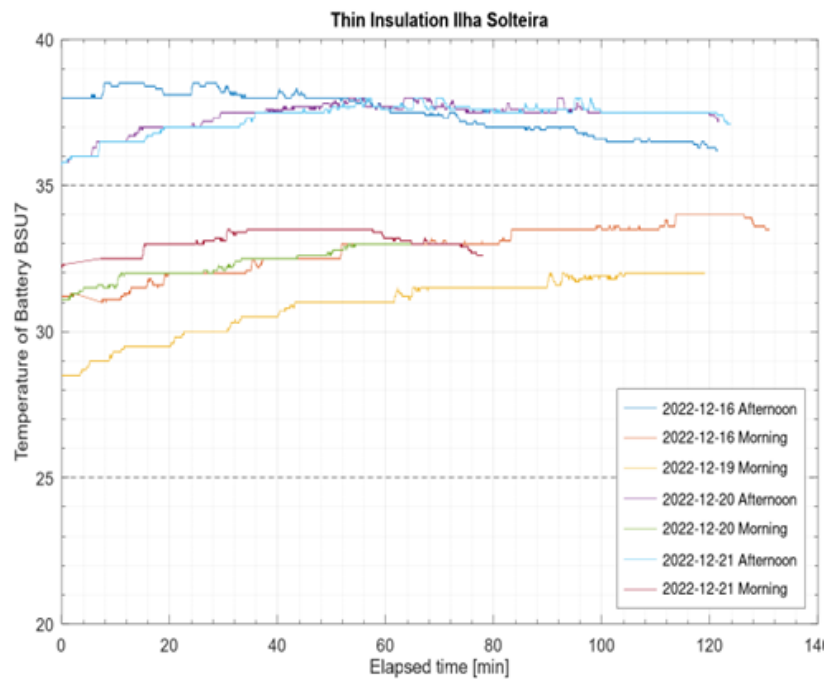
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 63 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

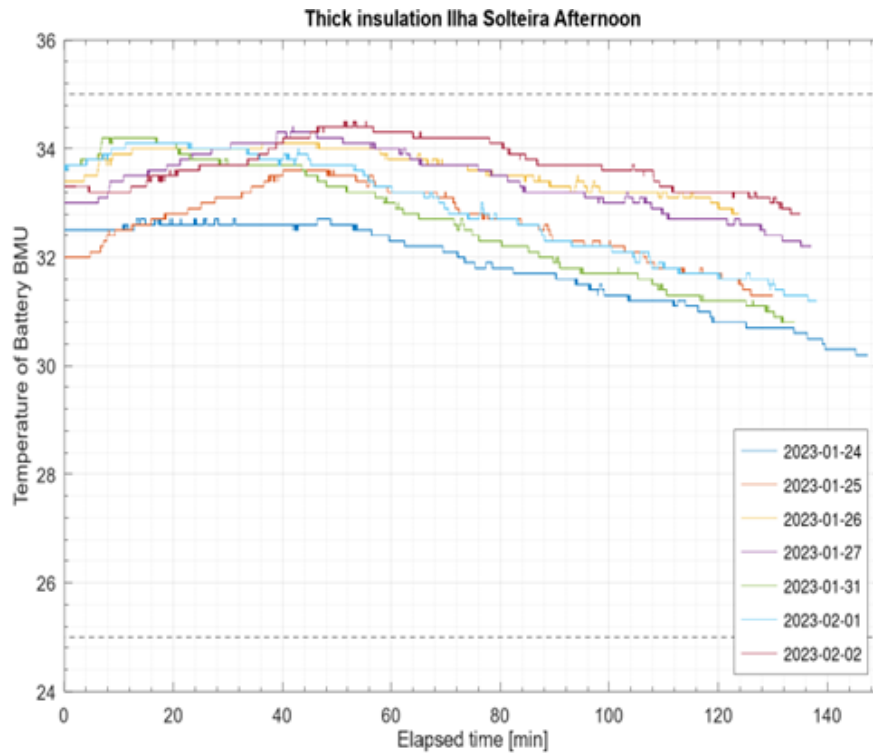
Figura 64 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a variante thin insulation em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

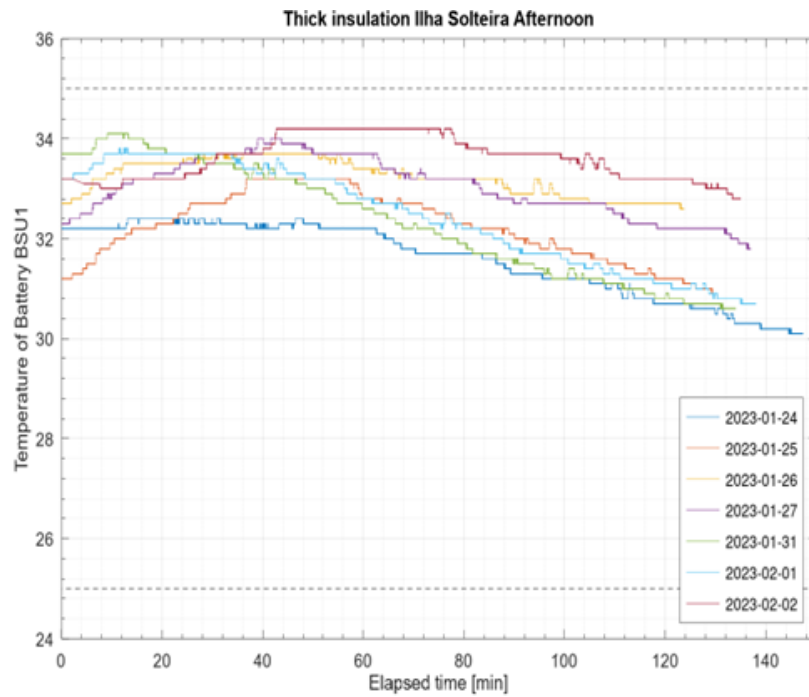
As Figuras 57 a 64 mostram que os testes dos dias 16, 20 e 21 realizados no período da tarde, isto é, todos à tarde, utilizando a variante *thin insulation* foram reprovados, uma vez que seus gráficos para todas as baterias do veículo elétrico ficaram acima da linha de 35°C durante todo o tempo decorrido de teste.

Figura 65 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



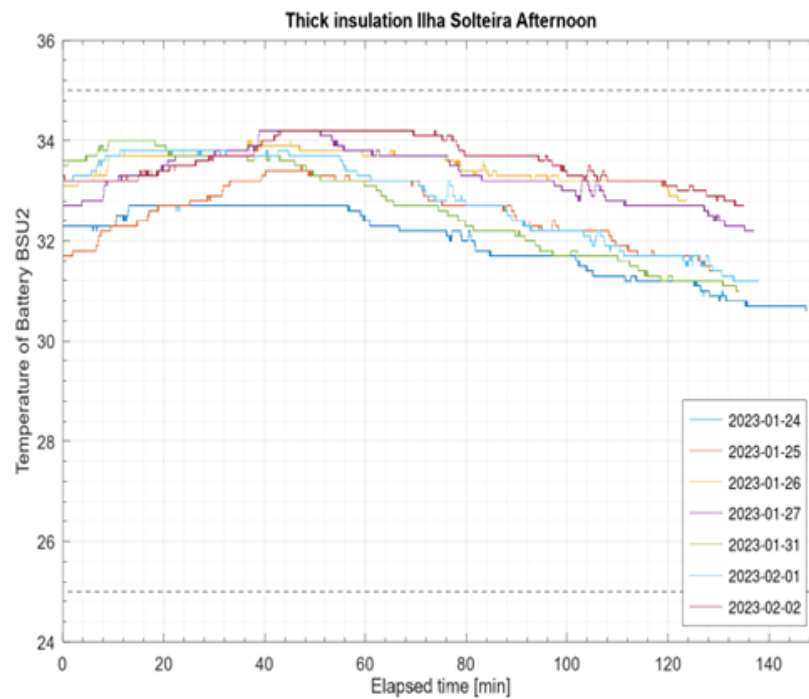
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 66 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



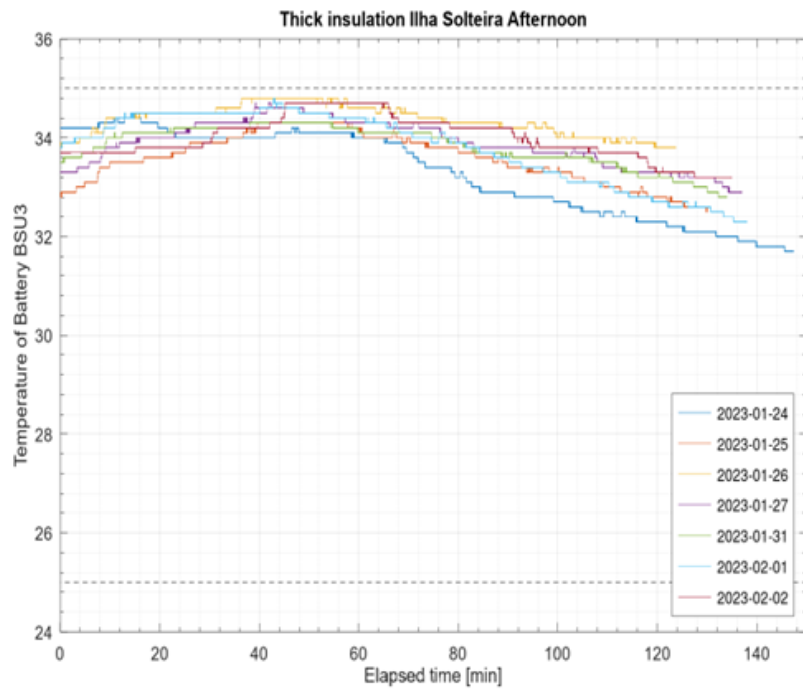
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 67 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



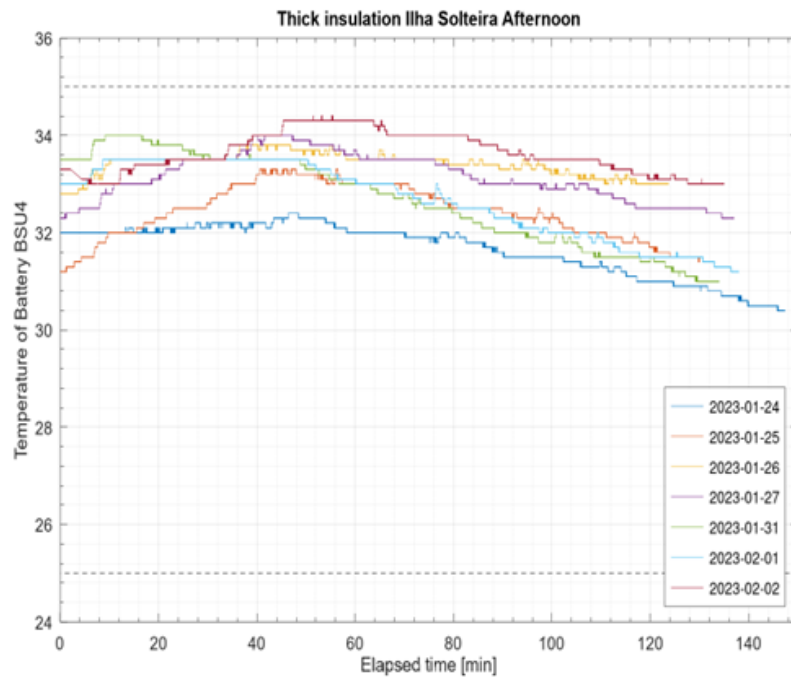
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 68 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



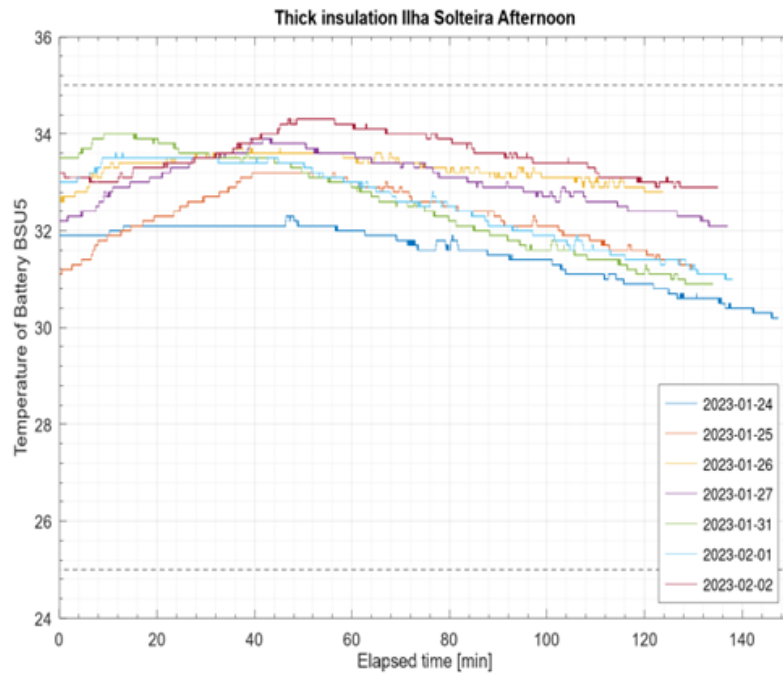
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 69 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



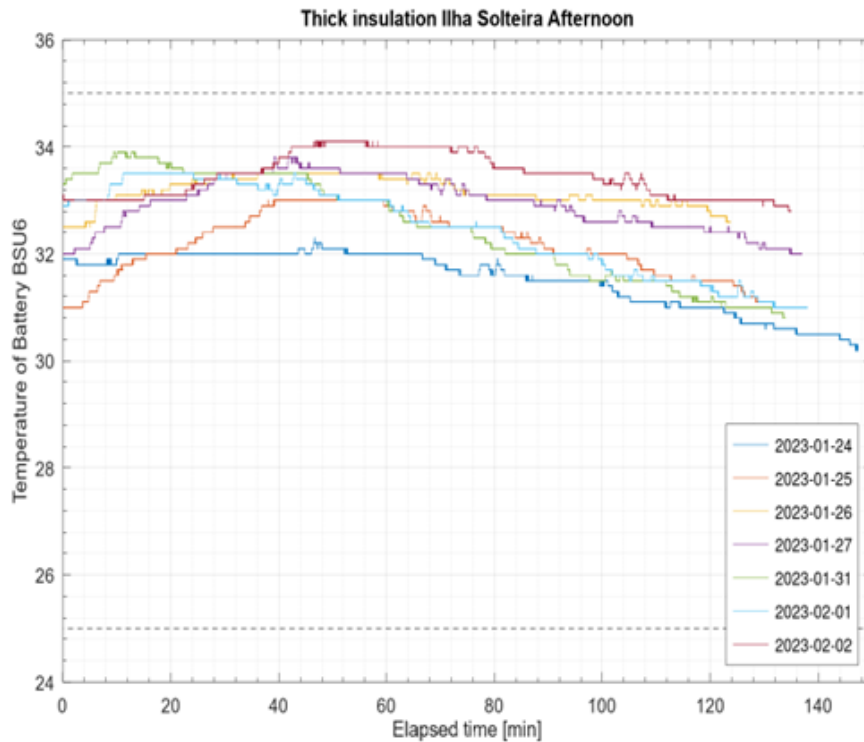
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 70 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 71 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

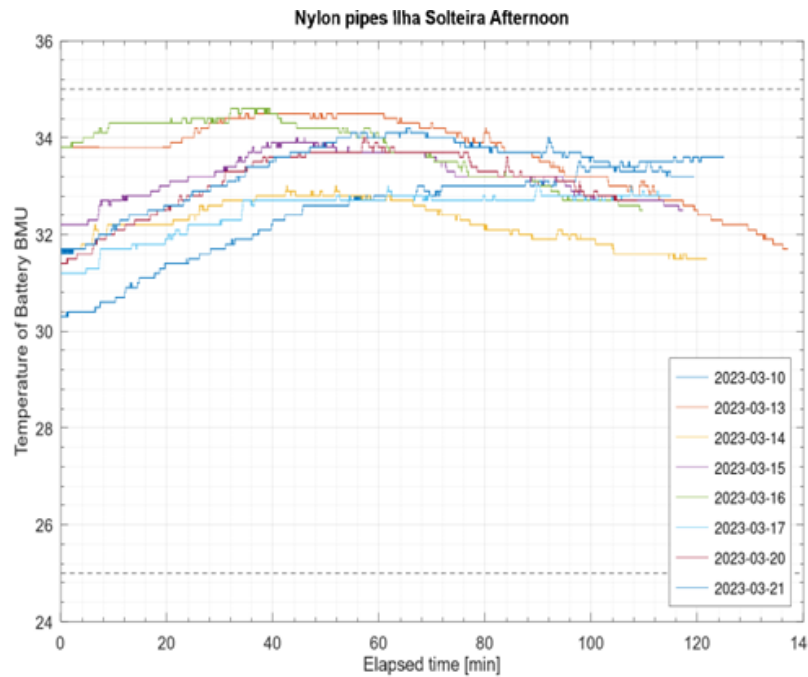
Figura 72 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a variante thick insulation em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

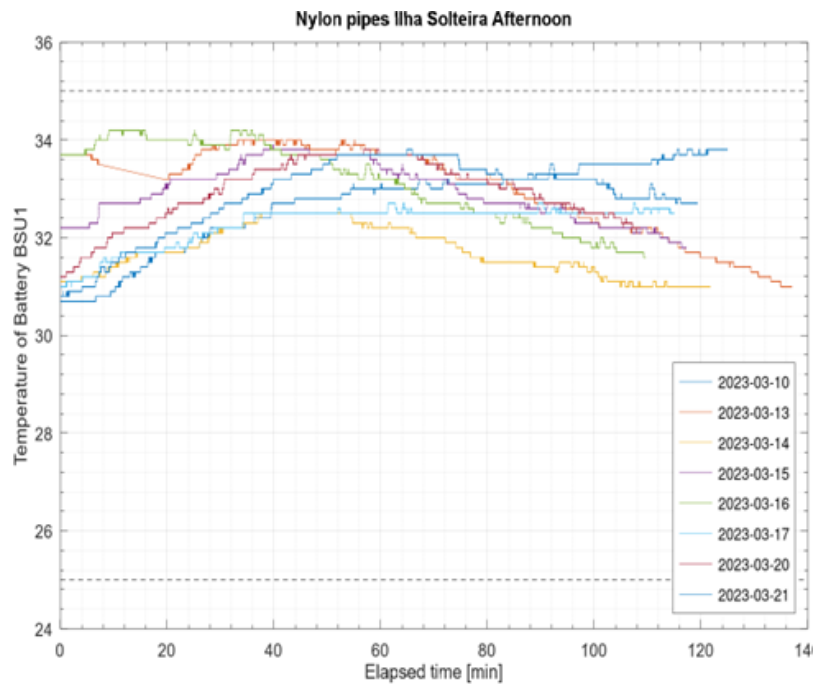
As Figuras 65 a 73 mostram que todos os testes realizados utilizando a variante *thick insulation*, sendo todos no período da tarde, foram aprovados, uma vez que seus gráficos para todas as baterias do veículo elétrico ficaram entre as linhas de 25°C e 35°C durante todo o tempo decorrido de teste.

Figura 73 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



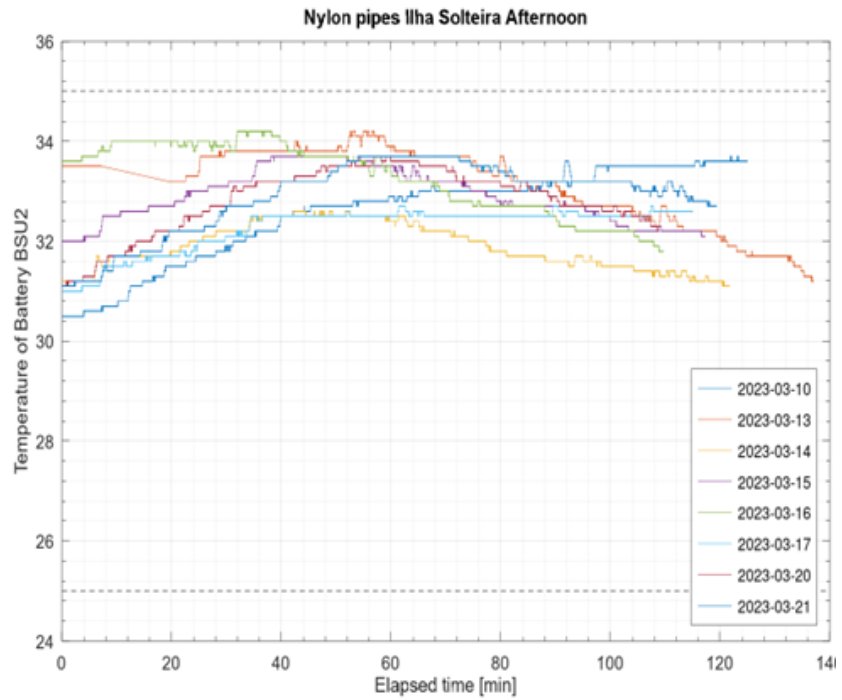
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 74 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



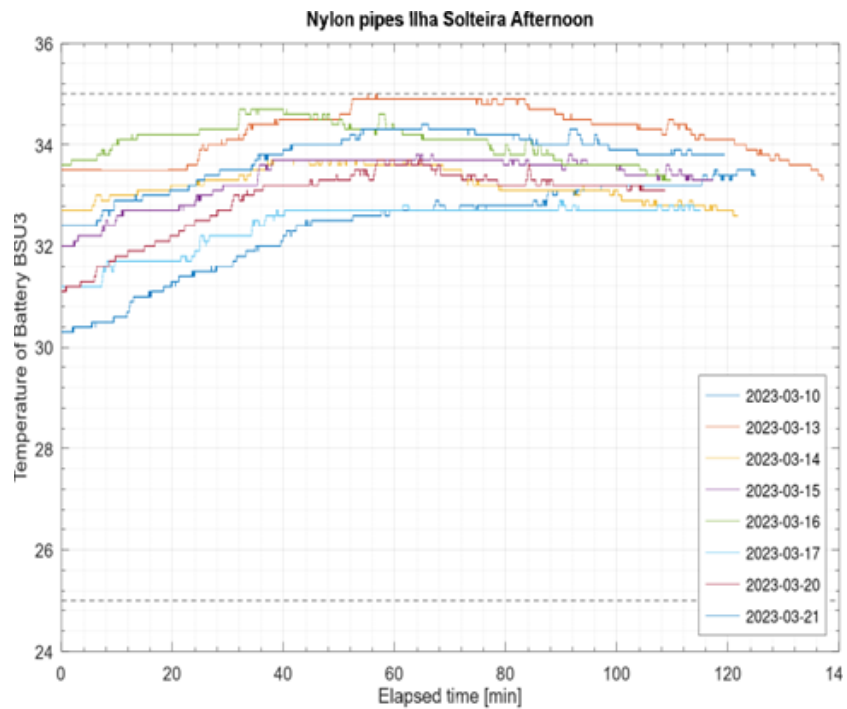
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 75 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



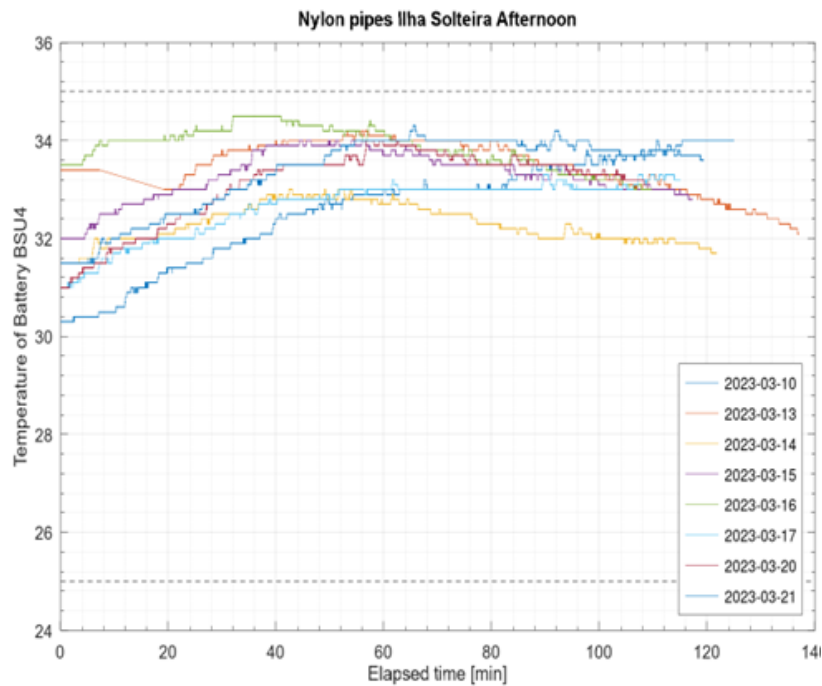
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 76 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto do teto nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



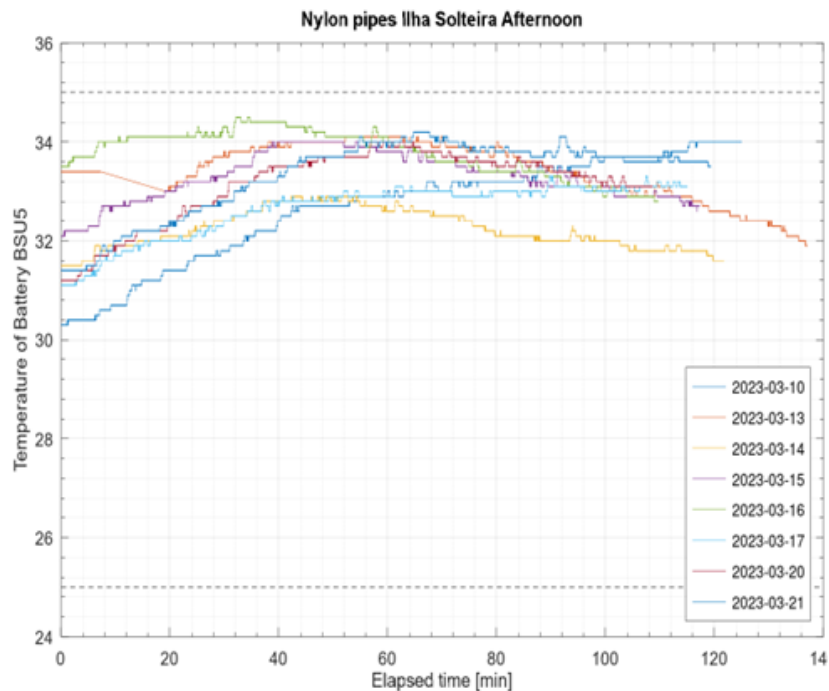
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 77 – Resultados da temperatura da bateria 1 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



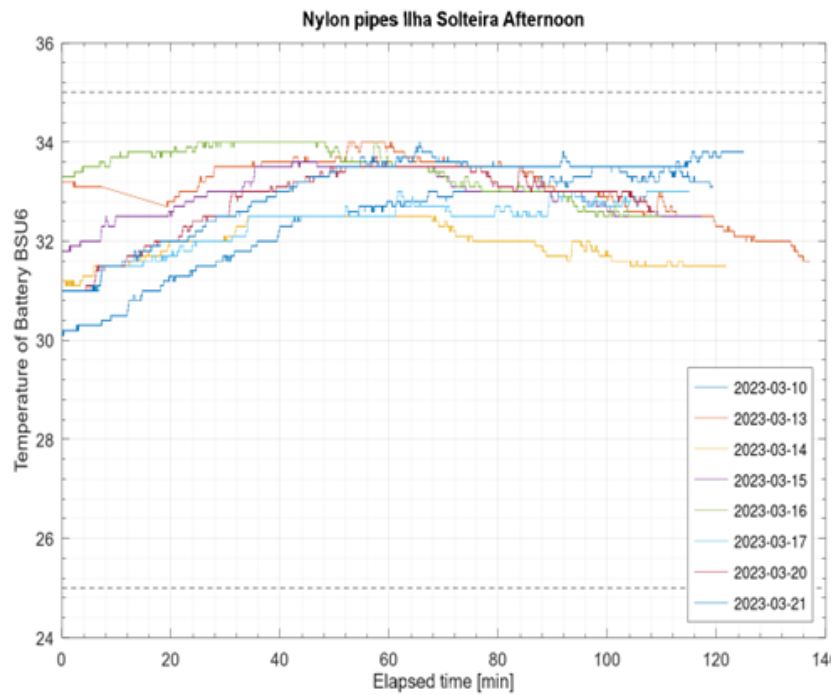
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 78 – Resultados da temperatura da bateria 2 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



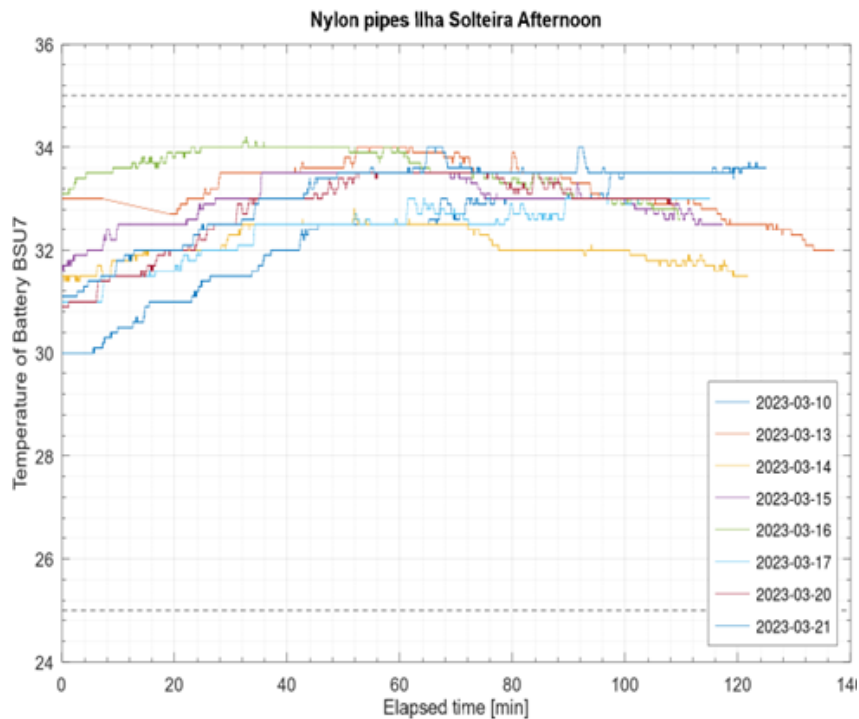
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 79 – Resultados da temperatura da bateria 3 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

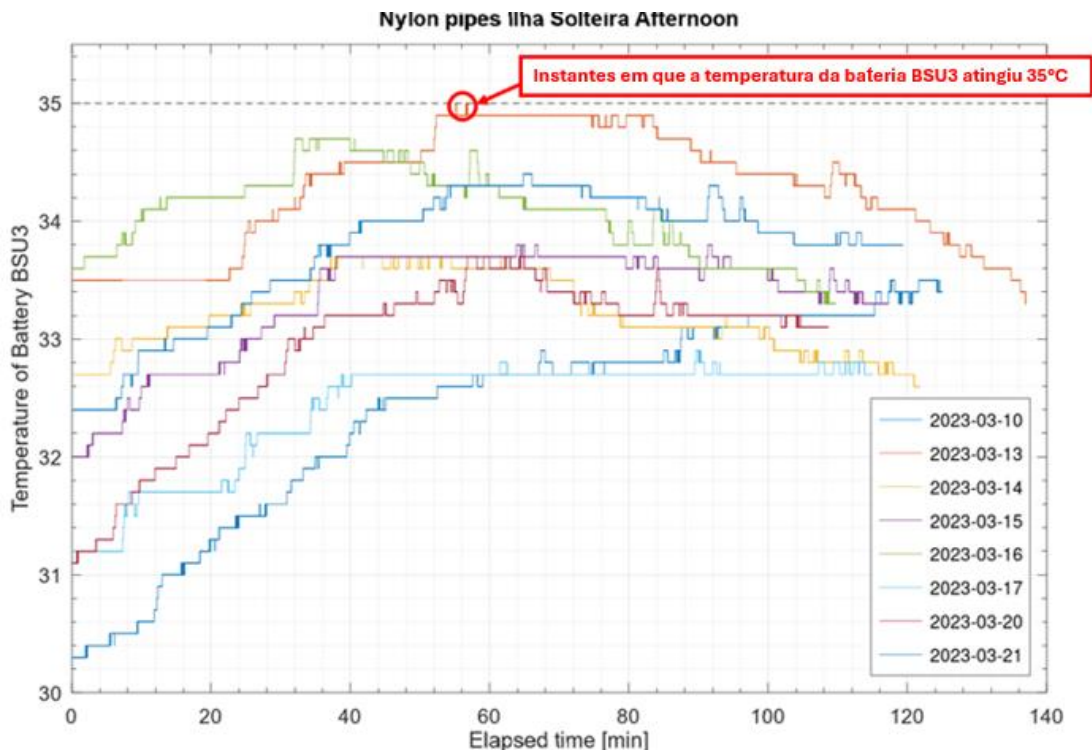
Figura 80 – Resultados da temperatura da bateria 4 do conjunto da traseira nos testes com a variante nylon pipes em Ilha Solteira



Fonte: Produção do próprio autor.

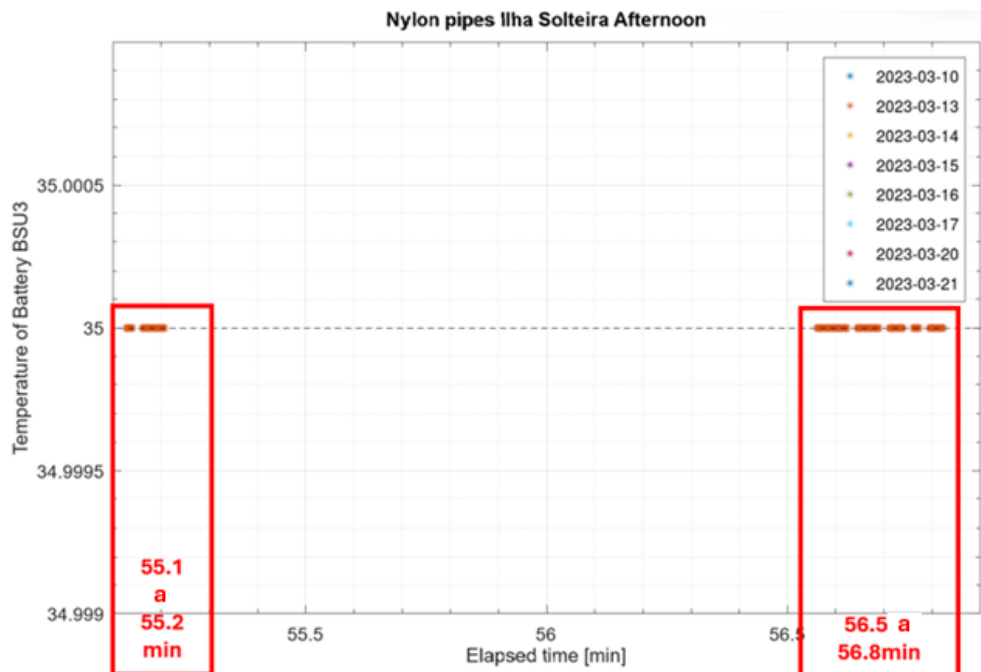
A Figura 76 mostra que o teste do dia 13 à tarde realizado utilizando a variante *nylon pipes* para a bateria 4 do conjunto do teto do veículo elétrico foi reprovado, uma vez que seu gráfico interceptou a linha de 35°C durante dois momentos do teste. Para melhor visualização, as Figuras 81 e 82 foram elaboradas para mostrar essas ocorrências em detalhes. Com essa exceção, as Figuras 73 a 80 mostram que os testes realizados utilizando a variante *nylon pipes*, sendo todos no período da tarde, foram aprovados, uma vez que seus gráficos para as baterias do veículo elétrico ficaram entre as linhas de 25°C e 35°C durante todo o tempo decorrido de teste.

Figura 81 – Falha no teste com a variante Nylon pipes em Ilha Solteira em 13/mar/23 à tarde identificada em uma bateria do conjunto do teto



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 82 – Detalhes da falha no teste com a variante Nylon pipes em Ilha Solteira em 13/mar/23 à tarde identificada em uma bateria do conjunto do teto



Fonte: Produção do próprio autor.

Em suma, para os testes no período da tarde, todos os testes da variante *thin insulation* e quase todos da referência *steel pipes* (exceto o de 21/10/2022) reprovaram, assim como o teste de 13/03/2023 à tarde da variante *nylon pipes* atingiu 35°C por cerca de 30 segundos (o que pode ser um ruído do sinal). Em seguida, as ferramentas de análise comparativa e da rota foram utilizadas para investigar a causa dessas falhas.

Ao analisar o teste realizado em 13/03/2023 à tarde com a variante *nylon pipes* para a bateria 4 do conjunto do teto, utilizando a ferramenta de análise da rota, na primeira ocorrência verificou-se a maior velocidade do veículo, a aceleração próxima de zero, o torque do motor próximo a zero, a maior taxa de descarga da bateria (maior potência consumida), uma alta demanda do sistema de arrefecimento e a maior radiação solar por intervalo de tempo. Já a última ocorrência aconteceu após o freio regenerativo recarregar a bateria durante uma parada do veículo.

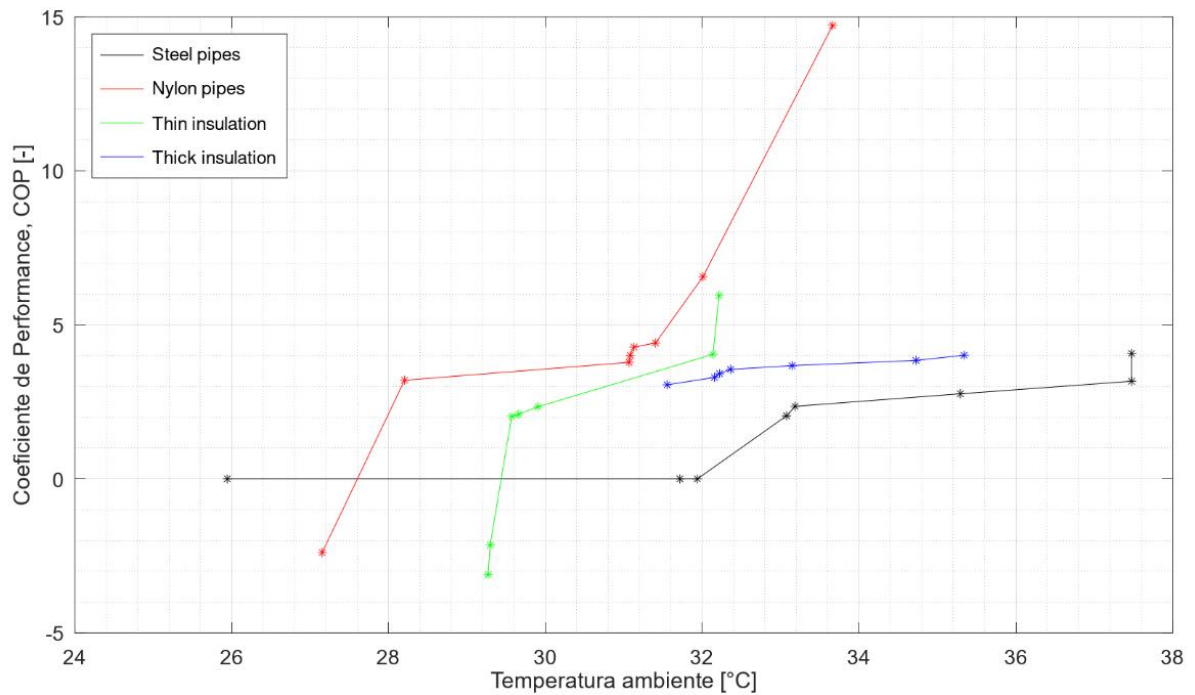
Por fim, ao analisar os testes da variante *thin insulation*, utilizando a ferramenta de análise comparativa e com base nos dados da Tabela 2, os testes que reprovaram foram os dos dias 16, 20 e 21 à tarde, sendo que os de 20 e 21 registraram as maiores temperaturas ambiente médias e estão dentro dos três maiores valores de radiação solar média. Nos três testes, o BTMS praticamente só ligou o Radiador, apesar de que aumentou a potência das bombas, e apresentou as maiores perdas térmicas nos tubos expostos ao ambiente. Comparativamente, o teste do dia 21 de manhã, o qual foi aprovado, registrou a terceira maior

temperatura ambiente média e a maior radiação solar média, mas o BTMS ligou o Chiller e manteve-o ligado durante 78% do tempo decorrido do teste.

5.3 DEFINIÇÃO DE DESIGN

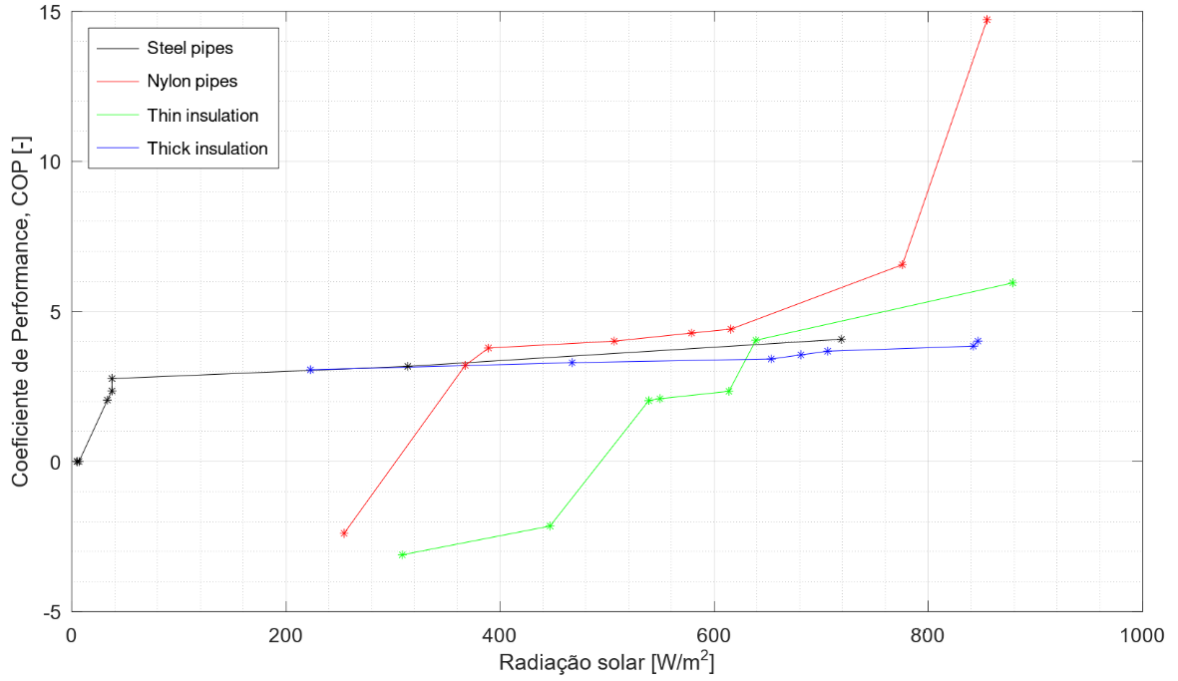
Quanto à decisão de engenharia para definição do design das tubulações, a proposta seria analisar comparativamente os coeficientes de performance (COP) médio de cada teste entre as variantes. No entanto, isso não foi possível, na medida em que se verificou os testes não foram realizados sob as mesmas condições ambientes para que os resultados fossem comparáveis, como pode ser visualizado nas Figuras 83, 84 e 85.

Figura 83 – Comparação do COP em função da temperatura ambiente



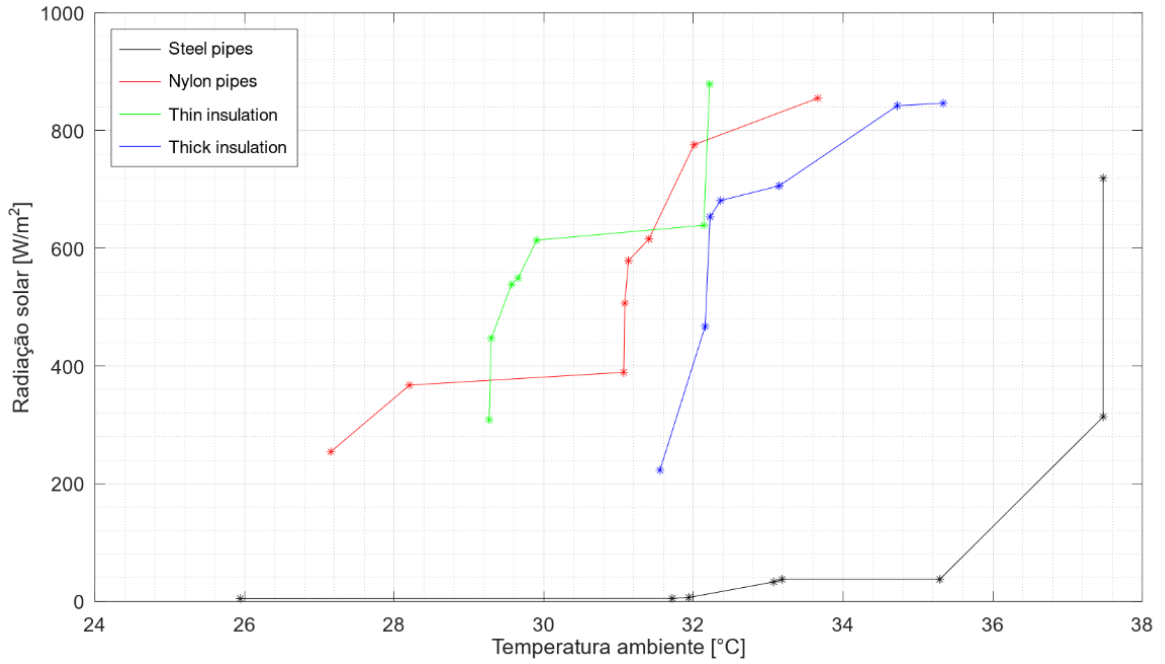
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 84 – Comparação do COP em função da radiação solar



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 85 – Comparação das condições ambientes dos testes (radiação solar versus temperatura ambiente)



Fonte: Produção do próprio autor.

6 CONCLUSÃO

Utilizando o conjunto de dados pré-processado e as ferramentas de análise, foi possível realizar a validação da metodologia, bem como investigar as eventuais falhas na operação do sistema de arrefecimento das baterias do veículo elétrico. Nesse contexto, verificou-se que a configuração com a maior resistência térmica da parede das tubulações, isto é, *thick insulation*, apresentou-se como a única em que todos os testes foram aprovados na validação. Sobretudo, as condições ambientes em que esses testes foram realizados estão entre as mais severas verificadas no conjunto de dados, uma vez que foram realizados durante o verão. Em contraste, os testes da variante *thin insulation* (segunda configuração com maior resistência térmica da parede das tubulações) foram realizados durante a primavera e todos os seus testes realizados no período da tarde foram reprovados. Ainda, verificou-se que todos os testes reprovados foram realizados no período da tarde e, muitas vezes, um teste da mesma configuração realizado na mesma data, mas no período da manhã foi aprovado. Com exceção de um, os testes da referência *steel pipes* (durante a primavera) que foram realizados no período da tarde foram reprovados. Com exceção de duas ocorrências momentâneas em um dos testes em função de alta demanda do sistema, os testes da variante *nylon pipes*, que ocorreram durante o verão, foram aprovados.

No entanto, não foi possível definir qual a melhor variante de *design*, pois, apesar da metodologia demonstra-se capaz de realizar isso, os resultados dos testes obtidos não são comparáveis, uma vez que, como foram realizados em estações do ano diferentes, as condições ambientes em que foram realizados são bem divergentes e observou-se que elas exercem uma influência expressiva no comportamento do BTMS. Visto isso, sugere-se que os testes sejam refeitos e que a metodologia seja reaplicada. Nesse sentido, como lições aprendidas, deve-se considerar no plano de teste o controle das condições do ambiente (principalmente, temperatura ambiente e radiação solar) ou, ao menos, mantendo valores comparáveis entre os testes das configurações. Ainda, a fim de fornecer informações mais relevantes para a análise, recomenda-se que, na configuração do sistema de instrumentação do BTMS, os sensores de temperatura da parede da tubulação sejam instalados na superfície da tubulação que esteja exposta ao ambiente, ou seja, nas tubulações revestidas com isolamento térmico, que seja a superfície externa do isolante.

Vale comentar que a metodologia forneceu um conjunto de dados e ferramentas que podem ser utilizados visando outros objetivos no contexto da aplicação. Nesse sentido, podem ser aplicados para análise exploratória dos dados ou com outra técnica de Mineração de Dados em busca de descobrir padrões no comportamento do BTMS, que forneçam mais conhecimento sobre esse tipo de sistema, o que pode orientar um processo de aperfeiçoamento do sistema.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA. **Cartilha: Eletromobilidade – Veículos eletrificados**. 1. ed. 2023. Disponível em: https://aea.org.br/inicio/wp-content/uploads/2023/12/cartilha_eletromobilidade.pdf. Acesso em: 28 jun. 2024.
- BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A. **Estatística básica**. 9. ed. São Paulo: SRV Editora LTDA, 2017.
- Clima.feis.unesp.br. **Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira - Área de Hidráulica e Irrigação**. Disponível em: <https://clima.feis.unesp.br/login.php>. Acesso em: 7 jul. 2024.
- EATON, J.W.; BATEMAN, D.; HAUBERG, S.; WEHBRING, R. **GNU Octave version 8.4.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations**. 9. ed. Boston: Free Software Foundation, 2023.
- FRANCO, N.B. **Cálculo Numérico**. 1. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- FIGLIOLA, R.S.; BEASLEY, D.E. **Teoria e projeto para medições mecânicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.
- GREENWICH MEAN TIME. **GMT/UTC offsets for South America time zones: Brazil – Brasilia Time**. Disponível em: <https://greenwichmeantime.com/time/brazil/brasil/>. Acesso em: 14 jul. 2024.
- GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E.; BEZERRA, E. **Data Mining: conceitos, técnicas, algoritmos, orientações e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2015.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2008.
- MATHWORKS. **MATLAB**. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- OLABI, A.G.; MAGHRABIE, H.M.; ADHARI, O.H.K.; SAYED, E.T.; YOUSEF, B.A.A.; SALAMEH, T.; KAMIL, M.; ABDELKAREEM, M.A. **Battery thermal management systems: Recent progress and challenges**. International Journal of Thermofluids, v.15, 100171, 2022.
- ROHATGI, A. **WebPlotDigitizer Version 4.8 – Web Based Plot Digitizer**. Disponível em: <https://apps.automeris.io/wpd4/>. Acesso em: 14 jul. 2024.
- STOECKER, W.F.; JABARDO, J.M.S. **Refrigeração industrial**. 3. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 2018.

TANG, X.; GUO, Q.; LI, M.; WEI, C.; PAN, Z.; WANG, Y. **Performance analysis on liquid-cooled battery thermal management for electric vehicles based on machine learning**. Journal of Power Sources, v.494, 229727, 2021.

WeatherSpark.com. **The Weather Year Round Anywhere on Earth**. Disponível em: <https://weatherspark.com/y/34152/Average-Weather-in-Sevilla-Spain-Year-Round>. Acesso em: 7 jul. 2024.