

# ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE AUTOCARROS MODELO e.COBUS

**PEDRO DUARTE LEAL DA COSTA SOUSA**

Outubro de 2022

# ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE AUTOCARROS MODELO e.COBUS

Pedro Duarte Leal Costa Sousa



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

outubro de 2022



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -  
Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Pedro Duarte Leal Costa Sousa, N.º 1150255, ([1150255@isep.ipp.pt](mailto:1150255@isep.ipp.pt))

Orientadores científicos (ISEP): Professor Veríssimo Santos ([vms@isep.ipp.pt](mailto:vms@isep.ipp.pt))

e Professor Mário Alves ([mif@isep.ipp.pt](mailto:mif@isep.ipp.pt))

Supervisor da Empresa CaetanoBus : Engenheiro Tiago Ramos,

([tiago.ramos@caetanobus.pt](mailto:tiago.ramos@caetanobus.pt))



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2022



...” O Fator Humano - O Homem - É no seu todo, o único e  
verdadeiro ativo das empresas”  
Salvador Fernandes Caetano







## *Agradecimentos*

Gostaria de aproveitar este espaço para agradecer a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

Quero agradecer aos meus orientadores, Eng.º Mário Alves e Eng.º Veríssimo Santos, por todo o apoio e dedicação, disponibilidade fora de horas, sugestões, críticas e transmissão de vários conhecimentos ao longo deste relatório.

À CaetanoBus, em especial ao meu mentor Eng. Tiago Ramos, que me proporcionou todas as condições para realizar este trabalho. A transmissão dos conhecimentos ao longo deste percurso foi fundamental tanto para o meu percurso profissional como académico. Aos meus colegas de departamento, pela disponibilidade, apoio e incentivo. Em particular, ao Rui, Sérgio, João, Carlos, Hugo e Miguel, com vocês aprendi e cresci tanto a nível pessoal como profissional. Ao Barbosa e ao Nogueira, agradeço por todos os ensinamentos. À equipa Cobus, Andreia, Rafael, Ana, Luísa, Amaro e Diogo, que sempre me apoiaram quando precisei.

Um grande Obrigado ao meu amigo Eduardo Silva, por toda amizade e apoio ao longo destes anos.

Quero também, agradecer-te Rita, por toda paciência e apoio dado, pelo tempo dispensado, sem ti teria sido muito mais difícil.

Por fim, agradeço aos meus pais e irmã por todo o esforço que fizeram e apoio que me deram ao longo de todo o meu percurso académico.

Um grande Obrigado a todos!



## *Resumo*

No mundo atual em que vivemos, em constante mudança, o setor dos transportes tem um papel crucial na atividade económica mundial. Contudo, representa um consumo elevado de recursos energéticos e ainda é um dos principais responsáveis pela emissão de gases com efeito de estufa.

A mobilidade elétrica e eletrificação das frotas contribuiu para uma redução direta da emissão de gases, representando uma vantagem sobre os veículos com motores de combustão interna. Todavia, a limitação dos sistemas de armazenamento de energia elétrica em termos de autonomia (número de quilómetros percorridos) ainda é um dos maiores entraves a uma maior penetração no mercado dos veículos elétricos.

No setor mais específico dos autocarros elétricos, em particular o autocarro de aeroporto, esta desvantagem é amplificada não só pela dimensão e peso, mas também pelos sistemas auxiliares de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC) inerentes a este tipo de veículos.

O presente trabalho tem por objetivo a análise e otimização da eficiência energética do modelo e.Cobus, um autocarro de aeroporto. Para alcançar o objetivo foram estudadas algumas unidades e.Cobus em condições reais de operação e analisadas as potências e consumos de energia das diferentes cargas, criando diversos *dataset's*.

Com os *dataset's* elaborados, e recorrendo à plataforma de aprendizagem máquina WEKA, e aplicação de alguns algoritmos, foram desenvolvidos modelos de previsão do consumo de energia que permitiram otimizar a capacidade de armazenamento energético (baterias) destes autocarros, em função da utilização e local geográfico.

### ***Palavras-Chave***

*Eficiência e Otimização Energética, Mobilidade elétrica, Autocarro Elétrico de Aeroporto, e.Cobus, Armazenamento de Energia, Climatização, Algoritmos de previsão, WEKA, Aprendizagem Máquina, Dataset's.*



## *Abstract*

In a globalized and ever-changing world, the transportation sector plays a crucial role in global economic activity. However, it represents a significant share of global energy resources and is responsible for a non-negligible amount of greenhouse gases emission.

In this context, electric mobility and fleet electrification have been contributing to a direct reduction in gas emissions, representing an advantage over vehicles with internal combustion engines. However, the autonomy of energy storage systems is still a disadvantage.

In the electric bus sector, in particular the airport bus, the disadvantage is intensified not only in size and weight but also by the presence of auxiliary systems such as HVAC.

The present work aims to analyze and optimize the energy efficiency of the e.Cobus model, an airport bus. To achieve the objective, some e.Cobus units were studied under real operating conditions and the power and energy consumption of the different loads were analyzed, creating several datasets.

With the elaborated datasets, using some machine learning algorithms in the WEKA platform, energy consumption predictive models were developed to optimize the energy storage capacity (batteries) of these buses, depending on the use and their geographic location.

## ***Keywords***

*Energy Optimization, Airport Electric Bus, e.Cobus, Energy Storage, Air Conditioning, Prediction Algorithms, WEKA, HVAC*



# Índice

|                                                                          |             |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMENTOS.....</b>                                               | <b>III</b>  |
| <b>RESUMO .....</b>                                                      | <b>V</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                    | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>                                            | <b>XIII</b> |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>                                            | <b>XVII</b> |
| <b>ACRÓNIMOS .....</b>                                                   | <b>1</b>    |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                                | <b>1</b>    |
| 1.1. ENQUADRAMENTO GERAL .....                                           | 1           |
| 1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....                                          | 2           |
| 1.3. ABORDAGEM E TAREFAS.....                                            | 2           |
| 1.4. CONTRIBUIÇÕES.....                                                  | 4           |
| 1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....                                      | 4           |
| <b>2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS E ESTADO DA TECNOLOGIA .....</b>            | <b>5</b>    |
| 2.1. VEÍCULO ELÉTRICO.....                                               | 5           |
| 2.2. PRINCÍPIOS DE UM VEÍCULO ELÉTRICO.....                              | 6           |
| 2.2.1. Arquitetura do veículo elétrico.....                              | 6           |
| 2.2.2. Topologias de um veículo elétrico (BEV).....                      | 7           |
| 2.2.3. Componentes principais de um veículo elétrico.....                | 8           |
| 2.3. AUTOCARROS DE AEROPORTO.....                                        | 9           |
| 2.3.1. Autocarros de Aeroporto- Contextualização.....                    | 9           |
| 2.3.2. CaetanoBus .....                                                  | 10          |
| 2.3.3. COBUS- Modelos e Características.....                             | 11          |
| 2.4. SISTEMA DE TRAÇÃO DO E.COBUS.....                                   | 14          |
| 2.4.1. Motor de Tração Elétrico.....                                     | 15          |
| 2.4.2. Inversor de Tração.....                                           | 15          |
| 2.4.3. Inversor e Motor Auxiliar .....                                   | 16          |
| 2.4.4. Sistema de Gestão de Energia das Baterias.....                    | 16          |
| 2.4.5. Sistema de controlo .....                                         | 17          |
| 2.4.6. Módulo de Alimentação de Energia (Power Supply Module - PSM)..... | 17          |
| 2.4.7. Sistema de Armazenamento de Energia .....                         | 17          |

|           |                                                                   |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA- APRENDIZAGEM MÁQUINA.....</b>           | <b>18</b> |
| 3.1.      | CONTEXTUALIZAÇÃO.....                                             | 18        |
| 3.2.      | CIÊNCIA DE DADOS .....                                            | 19        |
| 3.3.      | MEDIDAS DE DESEMPENHO .....                                       | 22        |
| 3.3.1.    | Coefficiente de Correlação (Correlation Coefficient) -r .....     | 22        |
| 3.3.2.    | Média do Erro Absoluto - MAE (mean absolute error) .....          | 22        |
| 3.3.3.    | Média Quadrática do Erro - RMSE (root mean squared error) .....   | 23        |
| 3.4.      | TIPOS DE APRENDIZAGEM .....                                       | 23        |
| 3.4.1.    | Aprendizagem Supervisionada (Supervised learning) .....           | 23        |
| 3.4.2.    | Aprendizagem Não Supervisionada (Unsupervised learning) .....     | 24        |
| 3.4.3.    | Aprendizagem Semissupervisionada (Semi-Supervised learning) ..... | 24        |
| 3.4.4.    | Aprendizagem por Reforço (Reinforcement learning) .....           | 25        |
| 3.5.      | PROBLEMAS DE MACHINE LEARNING .....                               | 25        |
| 3.5.1.    | Classificação.....                                                | 25        |
| 3.5.2.    | Regressão.....                                                    | 26        |
| 3.6.      | ALGORITMOS .....                                                  | 26        |
| 3.6.1.    | Redes Neurais Artificiais (Artificial Neural Networks) .....      | 27        |
| 3.6.2.    | Árvores de Decisão (Decision Tree) .....                          | 28        |
| 3.6.3.    | Floresta Aleatória (Random Forest).....                           | 28        |
| 3.6.4.    | Máquina de Suporte Vetorial (Support Vector Machine) .....        | 29        |
| 3.6.5.    | K-Vizinho mais próximo (K-Nearest Neighbor -KNN) .....            | 30        |
| 3.7.      | FERRAMENTAS DE SUPORTE À ANÁLISE/DECISÃO .....                    | 31        |
| 3.7.1.    | KNIME .....                                                       | 31        |
| 3.7.2.    | Orange .....                                                      | 32        |
| 3.7.3.    | RapidMiner .....                                                  | 33        |
| 3.7.4.    | WEKA .....                                                        | 34        |
| 3.7.5.    | Análise comparativa das ferramentas.....                          | 36        |
| <b>4.</b> | <b>METODOLOGIA DE ANÁLISE – MODELO E.COBUS .....</b>              | <b>39</b> |
| 4.1.      | AQUISIÇÃO DE DADOS.....                                           | 40        |
| 4.2.      | VARIÁVEIS DE SELEÇÃO .....                                        | 43        |
| 4.3.      | UNIDADES EM ESTUDO.....                                           | 45        |
| 4.3.1.    | e.Cobus 3001 (Demonstration Unit)- F183206006 .....               | 46        |
| 4.3.2.    | e.Cobus 3001 (Düsseldorf Airport)- F193206008 .....               | 47        |
| 4.3.3.    | e.Cobus 3002 (Dallas Airport) - F213215001/02 .....               | 47        |
| 4.3.4.    | e.Cobus 3002 (Test Unit-Dubai)- F213215004 .....                  | 48        |
| 4.4.      | ANÁLISE DE DADOS .....                                            | 48        |
| 4.4.1.    | Análise de dados - Cargas e Potencias.....                        | 48        |
| 4.4.2.    | Análise de dados - Consumos energéticos - dataset .....           | 52        |
| <b>5.</b> | <b>ANÁLISE DE DADOS NO CASO DE ESTUDO .....</b>                   | <b>53</b> |

|           |                                                                                          |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.1.    | Preparação dos Dados.....                                                                | 53        |
| 5.1.2.    | Algoritmos de Previsão- Seleção .....                                                    | 56        |
| 5.1.3.    | Algoritmos de Previsão- Treino e Resultados .....                                        | 60        |
| 5.1.4.    | Algoritmos de Previsão - Análise de Resultados.....                                      | 69        |
| <b>6.</b> | <b>IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA.....</b>                                                 | <b>71</b> |
| 6.1.      | NORTE DA ALEMANHA .....                                                                  | 71        |
| 6.2.      | EMIRADOS ÁRABES UNIDOS - 12 HORAS DE OPERAÇÃO .....                                      | 74        |
| 6.3.      | EMIRADOS ÁRABES UNIDOS – 20 HORAS DE OPERAÇÃO.....                                       | 78        |
| <b>7.</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>                                                                   | <b>79</b> |
| 7.1.      | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                               | 79        |
| 7.2.      | DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....                                                            | 80        |
| <b>8.</b> | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                  | <b>82</b> |
|           | <b>ANEXOS .....</b>                                                                      | <b>91</b> |
|           | ANEXO A. CIRCUITO AVAC E.COBUS 3002.....                                                 | 91        |
|           | ANEXO B. SEGMENTO DE VEÍCULOS FABRICADO DA CAETANOBUS.....                               | 93        |
|           | ANEXO C. DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DO DATASET NO WEKA .....                                   | 94        |
|           | ANEXO D. DATASET E.COBUS 3001 DEMONSTRATION UNIT- F183206006 .....                       | 92        |
|           | ANEXO E. - DATASET E.COBUS 3001 (DÜSSELDORF AIRPORT)- F193206008.....                    | 94        |
|           | ANEXO F. DATASET SIMPLIFICADO DA UNIDADE E.COBUS 3002 (DALLAS AIRPORT)- F213215001 ..... | 105       |
|           | ANEXO G. DATASET SIMPLIFICADO DA UNIDADE E.COBUS 3002 (DALLAS AIRPORT)- F213215002.....  | 107       |
|           | ANEXO H. . DATASET SIMPLIFICADO DA UNIDADE E.COBUS 3002 (TEST UNIT)- F213215004.....     | 105       |
|           | ANEXO I. MODELO - MULTILAYER PERCEPTRON E.COBUS - F183206006 .....                       | 106       |
|           | ANEXO J. MODELO - MULTILAYER PERCEPTRON-E.COBUS- F193206008.....                         | 106       |
|           | ANEXO K. MODELO - MULTILAYER PERCEPTRON-E.COBUS- F213215001 .....                        | 105       |
|           | ANEXO L. MODELO - MULTILAYER PERCEPTRON-E.COBUS- F213215002 .....                        | 105       |
|           | ANEXO M. MODELO - MULTILAYER PERCEPTRON-E.COBUS- F213215004 .....                        | 106       |



# Índice de Figuras

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Automóvel e autocarro elétrico [60] [76] .....                                                                    | 5  |
| Figura 2-Constituição de um Veículo elétrico SAE (Bateria) [53] [54] [55] .....                                             | 6  |
| Figura 3 - Configurações de Veículos elétricos [7] .....                                                                    | 7  |
| Figura 4- Subsistemas de um Veículo Elétrico [56] .....                                                                     | 8  |
| Figura 5- Exemplo da operação de um autocarro de aeroporto .....                                                            | 9  |
| Figura 6- Superior (fabricantes Europeus): Cobus 3002(CBus) [69], Vivair104WL (TAM) [70], Árbus 50W (Mallaghan) [71]; ..... | 10 |
| Figura 7- Sr. Salvador Caetano e os primeiros autocarros produzidos [66] .....                                              | 10 |
| Figura 8- Distribuição do produto COBUS pelo Mundo- Veículos em circulação [12].....                                        | 11 |
| Figura 9- COBUS 3000 vs. Veículos urbanos [14] .....                                                                        | 11 |
| Figura 10- COBUS 3002 em Colorado (USA) e nos Emirados Árabes Unidos [12] .....                                             | 12 |
| Figura 11- <i>Power Pack</i> num COBUS [57] e circuito de refrigeração [58] .....                                           | 12 |
| Figura 12- Frota de e.Cobus no Aeroporto de Estugarda [11] .....                                                            | 13 |
| Figura 13 – Vista 3D (superior) do chassis e.Cobus.....                                                                     | 14 |
| Figura 14- Diagrama do Sistema de Tração ELFA .....                                                                         | 14 |
| Figura 15- Características Técnicas PEM MOTOR [59] .....                                                                    | 15 |
| Figura 16- Características Técnicas Inversor de tração (iVPM) [59] .....                                                    | 15 |
| Figura 17- Motor de Auxiliar e ELFA2-Inversor Auxiliar [59] .....                                                           | 16 |
| Figura 18- Ilustração da BMS [59] .....                                                                                     | 16 |
| Figura 19-Ilustração e Características do pack de baterias de 99kWh e 126kWh [59] .....                                     | 17 |
| Figura 20- Processo <i>Knowledge Discovery in Databases</i> [67] .....                                                      | 19 |
| Figura 21- <i>Underfitting</i> (esquerda); <i>Good balance</i> (centro); <i>Over-fitting</i> (direita) [25].....            | 21 |
| Figura 22- Demonstração da relação entre <i>Bias</i> e <i>Variância</i> [26] .....                                          | 21 |
| Figura 23-Exemplo de Aprendizagem Supervisionada- Regressão e Classificação .....                                           | 23 |
| Figura 24-Exemplo de Aprendizagem não supervisionada [61] .....                                                             | 24 |
| Figura 25-Exemplo de Aprendizagem Semissupervisionada [62].....                                                             | 24 |
| Figura 26- Aprendizagem por reforço [75] .....                                                                              | 25 |
| Figura 27-Regressão linear Simples (esquerda) Múltipla (direita) [31] .....                                                 | 26 |
| Figura 28-Rede Neural Artificial [63] .....                                                                                 | 27 |
| Figura 29 Modelo matemático do neurónio [35].....                                                                           | 27 |
| Figura 30-Diagrama Árvore de Decisão [64] .....                                                                             | 28 |
| Figura 31 - Diagrama do Algoritmo Floresta Aleatória [37] .....                                                             | 29 |
| Figura 32- Hiperplanos em 2D [68].....                                                                                      | 30 |
| Figura 33-Exemplo de classificação de K-Vizinho mais próximo para K=3 e K=7 [65] .....                                      | 30 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 34- Recorte do ambiente de trabalho no KNIME [45] .....                                                                                | 31 |
| Figura 35- <i>Workflow</i> da ferramenta Orange [47].....                                                                                     | 33 |
| Figura 36- <i>Workflow</i> do <i>RapidMiner Studio</i> ® [19] .....                                                                           | 34 |
| Figura 37- Exemplo do ambiente de trabalho do <i>WEKA</i> .....                                                                               | 35 |
| Figura 38- Processo simplificado da inserção dos dados no <i>WEKA</i> .....                                                                   | 35 |
| Figura 39- <i>Datalogger</i> instalado no quadro elétrico do e.Cobus.....                                                                     | 40 |
| Figura 40 -Painel principal da plataforma de telemetria (fonte: plataforma de telemetria) .....                                               | 41 |
| Figura 41 – Recorte de operação da plataforma de telemetria (fonte: plataforma de telemetria) .....                                           | 42 |
| Figura 42- Diagrama de Agregação das formas de Energia (fonte: plataforma de telemetria) .....                                                | 44 |
| Figura 43- Explicação do termo <i>pep</i> .....                                                                                               | 45 |
| Figura 44- Cronologia Geográfica da unidade F183206006 fonte: plataforma de telemetria .....                                                  | 46 |
| Figura 45- e.Cobus F193206008 em operação (fonte: plataforma de telemetria) .....                                                             | 47 |
| Figura 46- unidades e.Cobus 3002 no aeroporto de Dallas (Fonte: plataforma de telemetria) .....                                               | 47 |
| Figura 47- e.Cobus 3002 <i>Test Unit</i> no aeroporto do Dubai (Fonte: plataforma de telemetria).....                                         | 48 |
| Figura 48- Diagrama representativo dos principais componentes (fonte: autoria própria).....                                                   | 48 |
| Figura 49- Diagrama ativação automatizada sistema AVAC através de <i>setpoints</i> [50] .....                                                 | 49 |
| Figura 50- Análise de parâmetros de um período de operação e.Cobus F193206008 (fonte: plataforma de telemetria).....                          | 50 |
| Figura 51- Análise de parâmetros de um período de operação e.Cobus F183206006 em Sevilha (fonte: plataforma de telemetria).....               | 51 |
| Figura 52- Análise de parâmetros de um período de operação e.Cobus F213215002 em Dallas (fonte: plataforma de telemetria).....                | 51 |
| Figura 53- Arquitetura da Abordagem .....                                                                                                     | 53 |
| Figura 54- Preparação de conjunto de dados de treino no programa <i>WEKA</i> .....                                                            | 55 |
| Figura 55- Ambiente de trabalho após aplicado o algoritmo .....                                                                               | 56 |
| Figura 56- <i>Multilayer perception</i> e.Cobus.....                                                                                          | 58 |
| Figura 57- Comparação entre os valores reais e previsão obtidos com o modelo Floresta Aleatória .....                                         | 59 |
| Figura 58- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Regressão Linear</i> da unidade- F183206006.....        | 60 |
| Figura 59- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Multilayer perceptron</i> da unidade - F183206006 ..... | 60 |
| Figura 60- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Random Forest</i> da unidade - F183206006.....          | 61 |
| Figura 61- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Regressão Linear</i> da unidade - F193206008.....       | 62 |
| Figura 62- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Multilayer perceptron</i> da unidade- F193206008 .....  | 62 |

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 63- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Random Forest</i> da unidade - F193206008 .....       | 63 |
| Figura 64 - Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Regressão Linear</i> da unidade - F213215001 .....   | 64 |
| Figura 65- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Multilayer perceptron</i> da unidade- F213215001..... | 64 |
| Figura 66- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Random Forest</i> da unidade - F213215001 .....       | 64 |
| Figura 67- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do algoritmo <i>Regressão Linear</i> da unidade - F213215002 .....    | 65 |
| Figura 68- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Multilayer perceptron</i> da unidade- F213215002..... | 66 |
| Figura 69- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Random Forest</i> da unidade - F213215002 .....       | 66 |
| Figura 70 - Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do algoritmo <i>Regressão Linear</i> da unidade - F213215004 .....   | 67 |
| Figura 71- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Multilayer perceptron</i> da unidade- F213215004..... | 67 |
| Figura 72 - Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo <i>Random Forest</i> da unidade - F213215004 .....      | 67 |
| Figura 73- Leitura de temperaturas nos Emirados Árabes Unidos (fonte: plataforma de telemetria) .....                                       | 74 |



## *Índice de Tabelas*

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Calendarização do Projeto .....                                                         | 3  |
| Tabela 2- Distribuição do e.Cobus pelo mundo [12].....                                            | 13 |
| Tabela 3- Sistema AVAC nas unidades e.Cobus em estudo.....                                        | 49 |
| Tabela 4 – Excerto dos dados recolhidos da plataforma de telemetria da unidade F193206008 .....   | 52 |
| Tabela 5- Parâmetros utilizados para a criação dos modelos de previsão .....                      | 54 |
| Tabela 6- Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade - F183206006 .....    | 61 |
| Tabela 7- Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F193206008.....      | 63 |
| Tabela 8- Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F213215001.....      | 65 |
| Tabela 9 Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F213215002.....       | 66 |
| Tabela 10 Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F213215004.....      | 68 |
| Tabela 11 – Registo de temperaturas médias na unidade e.Cobus Düsseldorf .....                    | 71 |
| Tabela 12- Previsão de Energia para 12 horas de operação de um e.Cobus no Norte da Alemanha ..... | 72 |
| Tabela 13- Previsão de Energia para 6 horas de operação de um e.Cobus no Norte da Alemanha .....  | 73 |
| Tabela 14 - Previsão de Energia para 12 horas de operação de um e.Cobus no Dubai.....             | 75 |
| Tabela 15 - Previsão de Energia para 6 horas de operação de um e.Cobus no Dubai.....              | 76 |
| Tabela 16 - Previsão de Energia para 20 horas de operação de um e.Cobus no Dubai.....             | 78 |
| Tabela 17 - Dados técnicos da célula de combustível [53].....                                     | 81 |



## *Acrónimos*

|      |   |                                                                                   |
|------|---|-----------------------------------------------------------------------------------|
| AGPL | – | <i>Affero General Public License</i> (Licença Pública Geral Affero)               |
| AHM  | – | <i>Airport Handling Manual</i> (Manual de Manuseamento do Aeroporto)              |
| AVAC | – | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado                                         |
| API  | – | <i>Application Programming Interface</i> (Interface de programação de aplicações) |
| BEV  | – | <i>Battery Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico com Bateria)                    |
| BMS  | – | <i>Battery Management System</i> (Sistema de Gestão da Bateria)                   |
| CNG  | – | <i>Compressed Natural Gas</i> (Gás Natural Comprimido)                            |
| CSV  | – | <i>Comma-Separated Values</i> (valores separados por virgula)                     |
| ECU  | – | <i>Electronic Control Unit</i> (Unidade de Controlo Eletrónico)                   |
| EPS  | – | <i>Electronic Stability Program</i> (Direção Eletrónica Assistida)                |
| EV   | – | <i>Electric vehicles</i> (Veículos Elétricos)                                     |
| FCEV | – | <i>Fuel Cell Electric Vehicles</i> (Veículo Elétrico com Célula de Combustível)   |
| GPL  | – | <i>General Public License</i> (Licença Pública Geral)                             |
| GUI  | – | <i>Guide User Interface</i> (Guia de interface do utilizador)                     |
| HEV  | – | <i>Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico Híbrido)                         |
| HVAC | – | <i>Heating Ventilation and Air Conditioning</i>                                   |
| I/O  | – | <i>Input/ Output</i>                                                              |

|       |   |                                                                                            |
|-------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| IATA  | – | <i>International Air Transport Association</i>                                             |
| ICE   | – | <i>Internal Combustion Engine</i> (Motor a Combustão Interna)                              |
| iVPM  | – | <i>Inverter Voltage Protection Module</i> (Inversor e Modulo de proteção de tensão)        |
| KNIME | – | <i>Kontanz Information Miner</i>                                                           |
| KNN   | – | <i>K-Nearest Neighbor</i>                                                                  |
| LNG   | – | <i>Liquefied Natural Gas</i> (Gás natural liquefeito)                                      |
| LGPL  | – | <i>Lesser General Public License</i>                                                       |
| LR    | – | <i>Linear Regression</i> (Regressão Linear)                                                |
| LTO   | – | <i>Lithium Titanate Oxide</i>                                                              |
| MAE   | – | <i>Mean Absolut Error</i> (Média do Erro absoluto)                                         |
| ML    | – | <i>Machine Learning</i> (Aprendizagem Máquina)                                             |
| MLP   |   | <i>Multilayer Perceptron</i>                                                               |
| PHEV  | – | <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico Híbrido com carregamento externo) |
| PSM   | – | <i>Power Supply Module</i> (Módulo de Alimentação de Energia)                              |
| RF    | – | <i>Random Forest</i> (Floresta Aleatória)                                                  |
| RMSE  | – | <i>Root Mean Squared Error</i> (Raiz Quadrada do Erro)                                     |
| SAE   | – | Sistema de Armazenamento de Energia                                                        |
| SoC   | – | <i>State Of Charge</i>                                                                     |
| WEKA  | – | <i>Waikato Environment for Knowledge Analysis</i>                                          |

## **1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento geral**

O aumento da complexidade dos centros urbanos está associado, não só mas também à utilização de transporte, nomeadamente quando as cidades assumem uma dimensão metropolitana, comprometendo alguns níveis de acessibilidade para funções básicas e de suporte a atividades económicas. Neste contexto a mobilidade urbana é crucial, são feitas mais deslocações, os motivos e os lugares são diversos, a possibilidade de utilização de diferentes modos de transporte com diferentes itinerários é uma realidade [1].

Como se tem vindo a constatar, o aumento continuado do tráfego nas zonas urbanas e interurbanas é crescente. Como refere a Agência Europeia do Ambiente o setor dos transportes é um dos que mais contribui para o consumo de combustíveis fósseis e, consequentemente, para a emissão de gases com efeito de estufa.

No setor dos transportes coletivos de passageiros urbanos e no segmento de aeroporto, os operadores têm optado por autocarros menos poluentes, como veículos movidos a gás natural, elétricos 100% bateria (BEV) ou célula de combustível a hidrogénio (FCEV). Neste tipo de veículos, devido às características associadas a alguns sistemas auxiliares, surgem alguns desafios aos quais é necessário dar resposta, como a capacidade do sistema de armazenamento de energia elétrica.

## 1.2. Motivação e Objetivos

O setor dos transportes é um dos que mais recursos fósseis utiliza e emissões de gases liberta. O acentuado investimento na disseminação de veículos com “zero emissões”, através do cumprimento das metas para a neutralidade carbónica impostas pelo Acordo de Paris, fomentou nos fabricantes de veículos para a mudança e reflexão sobre a motorização dos veículos analogamente às emissões que estes libertam na sua operação.

O autocarro marca Cobus é comercializado para os aeroportos de todo mundo. O que os distingue são os requisitos de cliente e zonas geográficas onde se encontram a operar. Os Cobus produzidos para um cliente que se encontra na Finlândia, geralmente não possuem a mesma especificação de produto que um autocarro que opera no Qatar. As condições climáticas influenciam diretamente a escolha de alguns equipamentos como sistemas AVAC a implementar nas unidades em produção.

No caso particular de uma unidade e.Cobus, 100% elétrica, o desafio é acentuado com a escolha da capacidade de armazenamento da bateria. Atualmente existem duas opções de capacidade de pack de baterias, com 99 kWh e 126 kWh, podendo ser um problema de sobredimensionamento ou subdimensionamento.

Em parceria com a CaetanoBus, surge a oportunidade de acompanhar o projeto e.Cobus. Neste âmbito, o presente trabalho consiste em desenvolver uma metodologia, com base em modelos de previsão que apoie a decisão na escolha da bateria em função de alguns requisitos de cliente e condições climáticas onde a unidade vai operar.

## 1.3. Abordagem e tarefas

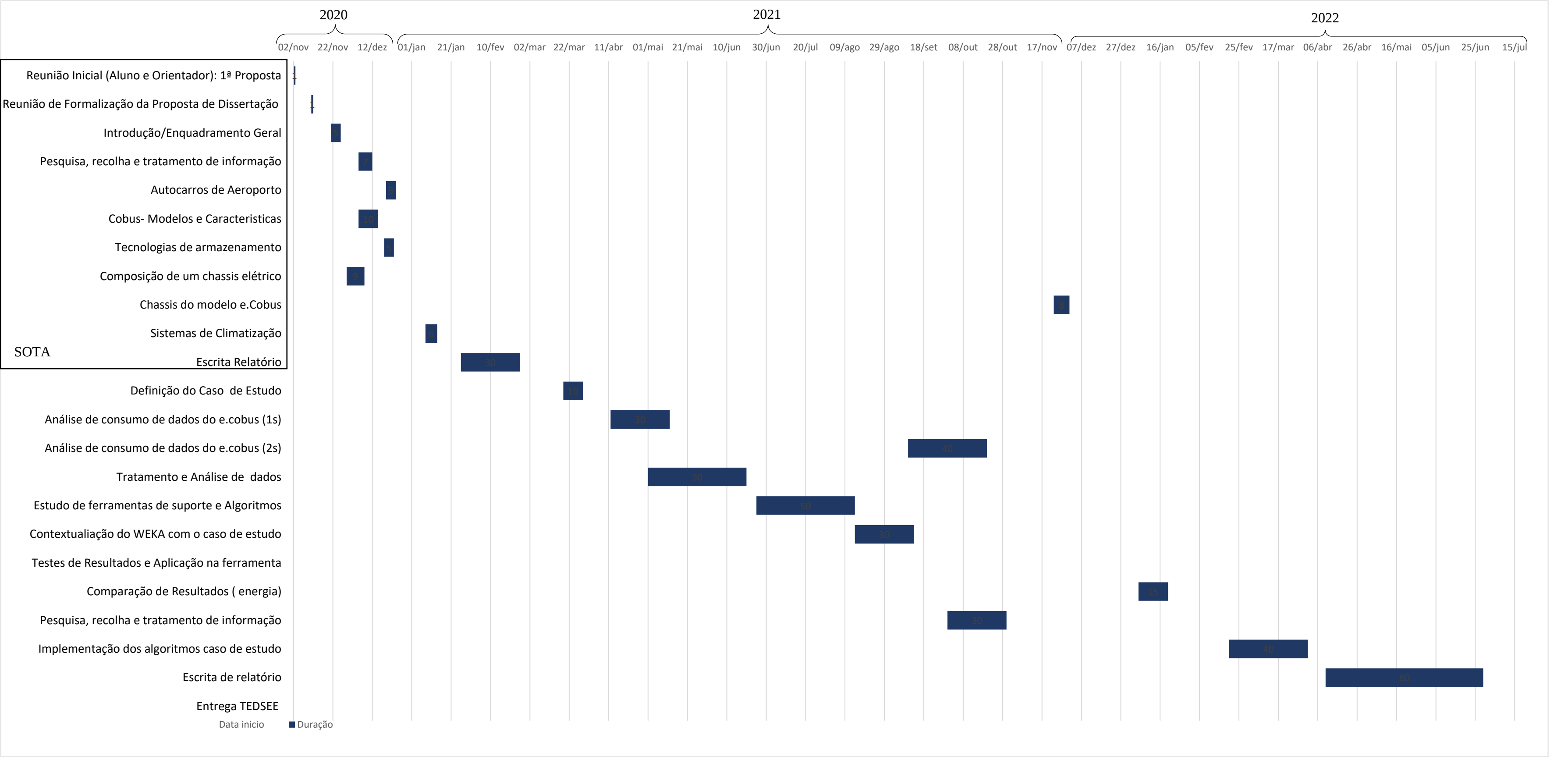
De forma a dar resposta ao ponto anterior, através da análise dos dados de potência e consumo de energia elétrica recolhidos de uma plataforma de telemetria de algumas unidades modelo e.Cobus em operação, será possível constatar como estão distribuídas as cargas.

Com o conjunto de dados criados e o auxílio de uma ferramenta de suporte à análise, em conjunto com alguns algoritmos de previsão, nomeadamente de regressão linear, rede neural e floresta aleatória é possível desenvolver um modelo de previsão de energia em função do consumo que as unidades despenderam nas suas operações.

Na Tabela 1 encontra-se a planificação das tarefas sob a forma de um diagrama de *Gantt*.

A ordem de trabalhos prevista para esta dissertação, será apresentada sob a forma de tabela.

Tabela 1- Calendarização do Projeto



## 1.4. Contribuições

O principal objetivo deste relatório é a otimização e eficiência energética do modelo e.Cobus, através do desenvolvimento de uma metodologia de apoio à decisão. Comparando com outros estudos, não é recorrente a utilização de uma ferramenta de aprendizagem máquina no auxílio da otimização de energia de um veículo com estas características. Através da metodologia de abordagem sistemática, desenvolvendo *datasets* reais, com base na operação de diversos veículos em diferentes zonas/climas, recorrendo a algoritmos de inteligência artificial para auxiliar na metodologia de seleção da capacidade de armazenamento de energia ótima, para o banco de bateria em função das necessidades de um cliente. Assim pretende-se contribuir de uma forma inovadora para atingir o objetivo deste trabalho.

## 1.5. Organização do relatório

O presente relatório encontra-se dividido em 7 capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada, uma breve introdução ao tema, a motivação, os objetivos propostos, a estrutura da dissertação e duração e escalonamento das tarefas.

O segundo capítulo, conceitos básicos e estado da tecnologia, a arquitetura, configuração e os principais sistemas que compõem um veículo elétrico. Ainda no segundo capítulo é introduzido o segmento autocarro de aeroporto, e em particular o Cobus/e.Cobus, findando o capítulo com composição do chassis do modelo e.Cobus.

No terceiro capítulo, é exposta a fundamentação e conceitos teóricos inerentes à aprendizagem máquina (*machine learning*), algumas ferramentas informáticas de suporte à análise de dados e os principais algoritmos utilizados.

O quarto capítulo compreende a metodologia de análise de dados, onde se expõe como são extraídos, interpretados os dados recolhidos das unidades através da plataforma de telemetria.

No quinto capítulo é retratado o caso de estudo, como são adquiridos, preparados e tratados os dados, apresentadas as unidades em estudo, ensaio dos dados com os algoritmos de aprendizagem máquina, comparação e avaliação dos resultados obtidos.

No sexto capítulo é implementada a metodologia de auxílio em três novos cenários.

Por fim, no sétimo e último capítulo, encontram-se as considerações finais e ainda possíveis trabalhos a realizar no futuro.

## 2. Conceitos fundamentais e estado da tecnologia

### 2.1. Veículo Elétrico

Nas últimas décadas vieram à tona problemas ambientais e de mobilidade urbana aos quais requerem respostas eficazes e céleres. As alterações climáticas, resultam em grande medida do impacto das atividades humanas, como, a queima de combustíveis fósseis para diversas finalidades. Consequentemente, o tratamento e a redução de emissões de gases com efeito de estufa tornaram-se uma preocupação acrescida. Crises petrolíferas e ambientais desencadearam instabilidade no preço dos combustíveis fósseis, e as leis tornaram-se cada vez mais restritas quanto às emissões de gases poluentes e com efeito de estufa [2]. A eletrificação dos transportes e a mobilidade “verde” tornou-se a nova realidade dos fabricantes de veículos. Esta mudança não se deu apenas no setor dos automóveis, mas também no setor do transporte de passageiros, como os autocarros.

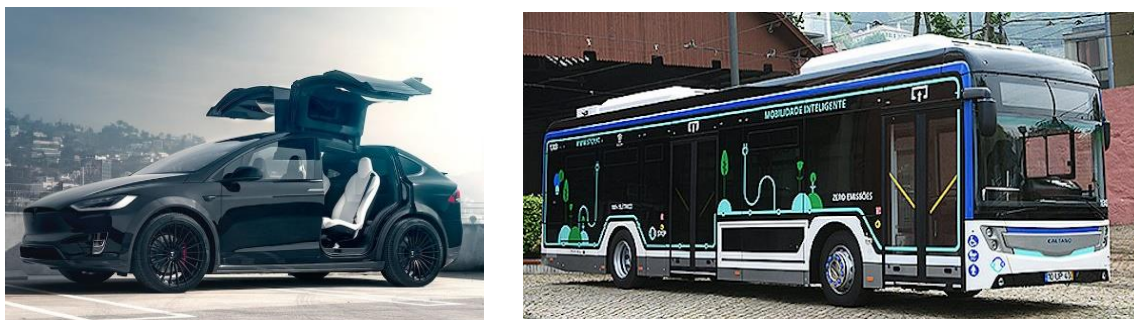


Figura 1- Automóvel e autocarro elétrico [60] [76]

Sendo o setor do transporte uma peça fundamental na economia mundial, essencial para o funcionamento e a livre circulação de pessoas e bens, foram desenvolvidas medidas para que os transportes pudessem ser enquadrados na transição global para uma economia de baixo carbono, apoiada pelo *Acordo do Clima de Paris* [3].

Como refere Hugo Fernandes na sua dissertação [4], as principais vantagens dos autocarros elétricos a bateria em relação aos convencionais a gasóleo ou a gás natural (CNG, gás natural

comprimido, ou LNG, gás natural liquefeito) residem nos baixos custos de manutenção e no facto de a energia elétrica ter um preço mais estável, em função das alterações que se têm vindo a fazer sentir com o preço dos combustíveis fósseis. Segundo o artigo “*Electric buses: A review of alternative powertrains*”, os custos operacionais dos autocarros elétricos a bateria, são mais reduzidos quando comparados com autocarros convencionais, enquanto o nível de serviço é mantido ou melhorado, no que toca ao trajeto efetuado diariamente e conforto proporcionado aos passageiros.

## 2.2. Princípios de um veículo elétrico

### 2.2.1. Arquitetura do veículo elétrico

O termo veículo elétrico (EV) pode corresponder a mais do que uma tecnologia de locomoção de um veículo. Com os avanços da engenharia nesta vertente, foi possível dinamizar não só o veículo puramente elétrico, ou seja, movendo-se apenas a partir de uma fonte de energia, convencionalmente energia armazenada numa bateria (BEV), existem também os veículos híbridos equipados com dois motores, um a combustão interna (ICE) e um motor elétrico, aos veículos híbridos dispõem de um sistema de armazenamento a baterias podendo ser recarregável externamente *plug-in* (PHEV) ou não (HEV). Existem também os veículos elétricos impulsionados com células de combustível (FCEV), trata-se de um processo eletroquímico resultante da reação de elementos químicos com uma célula produzindo eletricidade, esta energia é então armazenada numa bateria para posteriormente acionar um motor elétrico [5]. No que toca aos veículos elétricos movidos apenas com um sistema de armazenamento a bateria, foco desta dissertação, a Figura 2 apresenta a constituição do mesmo.

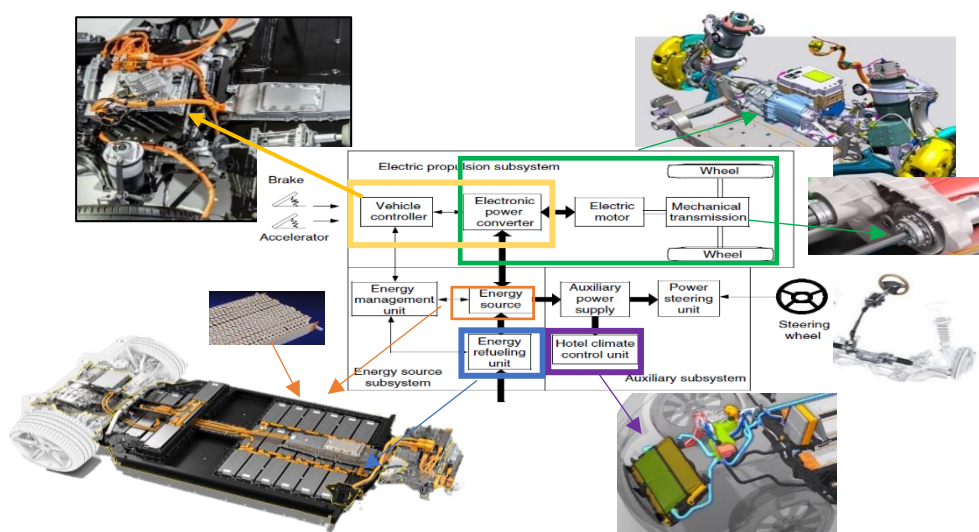


Figura 2-Constituição de um Veículo elétrico SAE (Bateria) [53] [54] [55]

De uma forma simples o funcionamento do veículo elétrico inicia a partir de um primeiro estado, quando o veículo se encontra parado, a eletricidade que ira utilizar para se mover encontra-se sob a forma de energia química armazenada um banco de baterias. Quando acionado o comando para deslocar o veículo tanto para a frente como marcha atrás (através do seletor e pedais), os sinais são enviados para uma unidade de controlo de processamento, no seu interior correm vários algoritmos. Resultado do processamento são enviados sinais de comando para um inversor que recebe a energia das baterias e injeta no motor elétrico. Como o veio do motor se encontra acoplado a um veio de transmissão, ao girar promove o movimento mecânico e o veículo inicia o seu movimento [6].

### 2.2.2. Topologias de um veículo elétrico (BEV)

Dependendo do sistema de armazenamento e do tipo de motor com que o veículo está dotado existem várias configurações possíveis de veículos elétricos [7], nomeadamente:

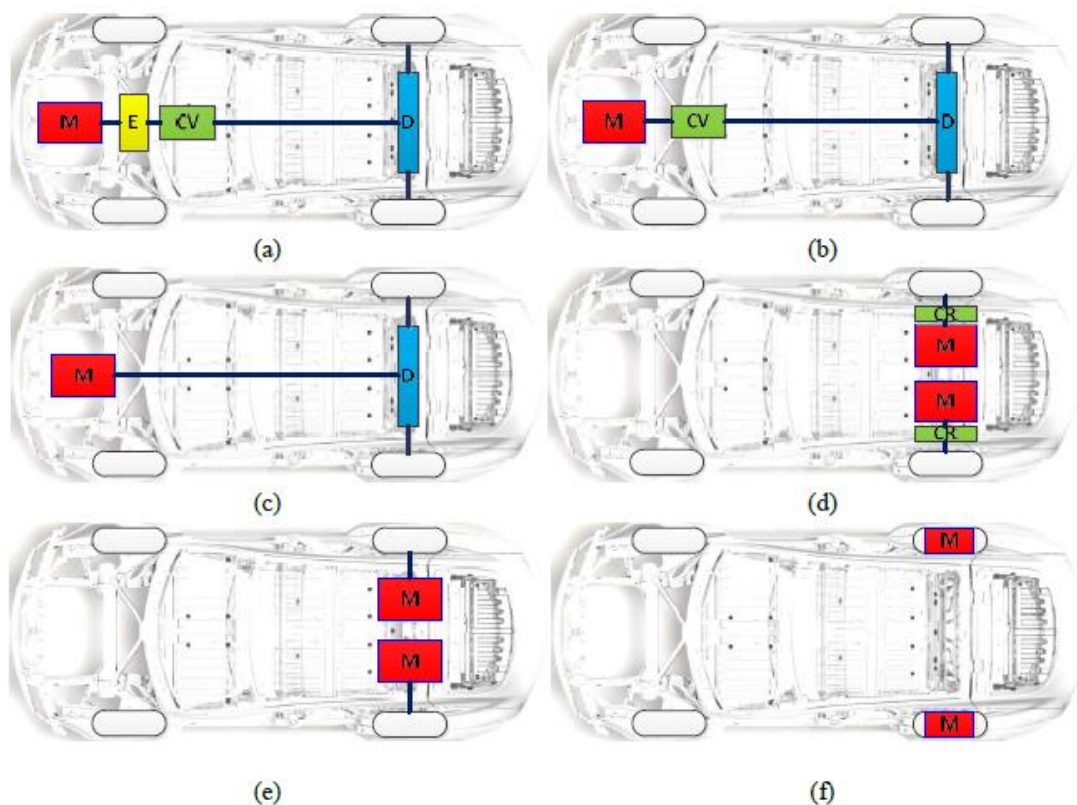


Figura 3 - Configurações de Veículos elétricos [7]

Na Figura 3 encontra-se representado os tipos de configuração das diferentes utilizações de motores e seus componentes de tração num veículo elétrico com tração traseira. Segue a respetiva descrição da configuração com legenda da simbologia [7]:

Na configuração (a) temos o motor elétrico (M) com embraiagem (E), caixa de velocidades (CV) e diferencial (D); Na (b) temos o motor (M) com caixa de velocidades (CV) e

diferencial (D); Na configuração (c) temos apenas o motor (M) apenas com diferencial (D); Na configuração (d) dois motores (M) com respectivas caixas redutoras (CR); Na (e) motores com veio direto para as rodas (M) e na configuração (f) motores (M) incorporados nas rodas.

### 2.2.3. Componentes principais de um veículo elétrico

Neste subcapítulo serão abordados os componentes eletromecânicos com características mais relevantes na propulsão de um sistema de tração de um veículo elétrico.

O sistema de tração de um veículo não se centra apenas no motor ou na bateria e, portanto, é importante refletir que existem outros componentes que tem funções importantes para que o processo ocorra. Na Figura 4 podemos observar os componentes principais que compõem o veículo elétrico.

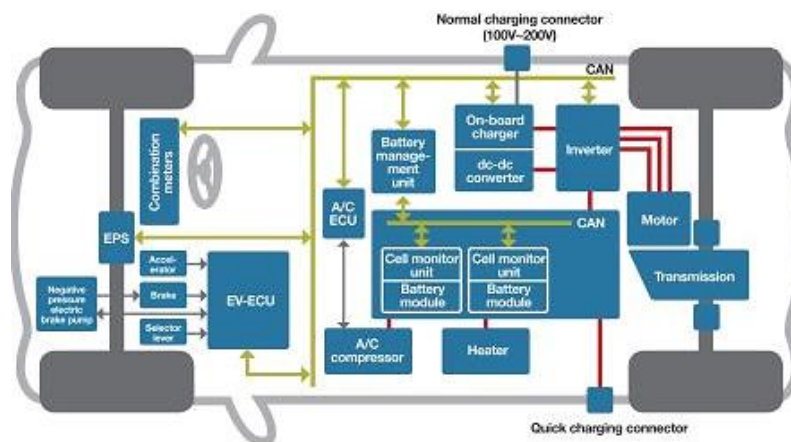


Figura 4- Subsistemas de um Veículo Elétrico [56]

## 2.3. Autocarros de Aeroporto

### 2.3.1. Autocarros de Aeroporto- Contextualização

Assim como os transportes coletivos de passageiros têm a função de transportar pessoas de um ponto A para um ponto B, nos aeroportos existe um segmento de autocarros similar. Estes autocarros foram concebidos para dar resposta às grandes dimensões do recinto, fluxo de tráfego aéreo, necessidade de rápido escoamento de pessoas e cargas num curto espaço de tempo. De forma organizada, os autocarros de aeroporto transportam mais pessoas desde o embarque/desembarque do avião até ao terminal do aeroporto, quando comparados com os tradicionais autocarros urbanos de transporte de passageiros.

A Figura 5 representa o percurso de um autocarro de aeroporto, em que a unidade parte de um ponto base (sinal de localização) até ao ponto de receção de passageiros (ícone do autocarro), como se pode ver na parte de cima da imagem que representa a velocidade a que circula a unidade em quilómetros por hora, fica em repouso durante alguns minutos e depois retoma o seu trajeto terminando num outro ponto do aeroporto (ícone da bandeira). Através da imagem retirada da plataforma de telemetria, podemos ainda constatar algumas informações como a data e hora do início e fim do serviço, a percentagem e energia da bateria despendida para realizar este serviço, distância percorrida e energia regenerada.

Durante um dia, um autocarro pode fazer este tipo de trajeto dezenas ou até centenas de vezes.

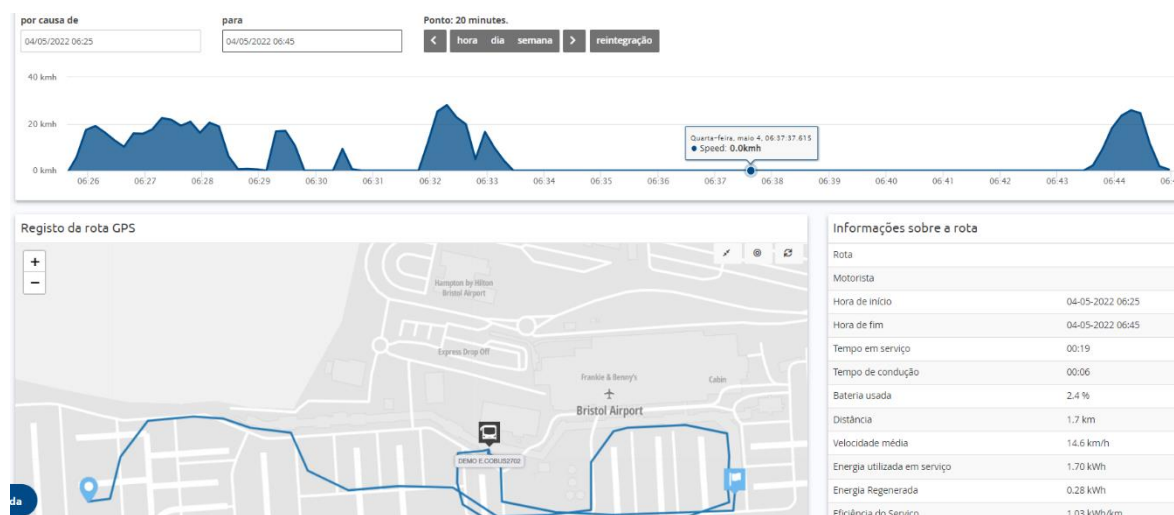


Figura 5- Exemplo da operação de um autocarro de aeroporto

Nestas operações existem condições de climatização e conforto que os veículos têm de garantir como requisito mínimo.

Os autocarros de aeroporto seguem normas específicas (como a IATA AHM950) onde são descritas as especificações que cada veículo deve ter no circuito do aeroporto.

Tal como na indústria automóvel, nos autocarros de aeroporto também existem vários fabricantes, marcas e modelos de autocarros. A Figura 6 apresenta alguns modelos e respetivos fabricantes: na parte superior, fabricantes europeus e na parte inferior fabricantes asiáticos.



Figura 6- Superior (fabricantes Europeus): Cobus 3002(CBus) [69], Vivair104WL (TAM) [70], Árbus 50W (Mallaghan) [71];

Inferior (fabricantes Asiáticos): K9 (BYD) [72], Apron Bus (Xinfa) [73], ZK6140BD (Yutong) [74]

### 2.3.2. CaetanoBus

A CaetanoBus, S.A (CBus) é o maior fabricante de carroçarias e autocarros em Portugal, pertencendo ao Grupo Salvador Caetano. A maior parte dos autocarros produzidos destinam-se à exportação e estão ao serviço de operadores de transporte um pouco por todo o mundo. A Figura 7 ilustra os primeiros autocarros produzidos pela empresa.



Figura 7- Sr. Salvador Caetano e os primeiros autocarros produzidos [66]

Na CaetanoBus são produzidos diversos segmentos de autocarros, desde o transporte urbano, turismo, aeroporto e até especiais, como é possível verificar no Anexo B.

Quanto à mobilidade Elétrica, em 1984 foi apresentada uma solução para o transporte coletivo de passageiros de troleicarros em parceria com a EFACEC, para o operador STCP. Nos dias de hoje, possui já uma oferta de mercado diversificada, com unidades elétricas e célula de combustível a hidrogénio para o segmento urbano e unidades elétricas para o segmento de aeroporto [8].

### 2.3.3. COBUS- Modelos e Características

O produto COBUS destina-se ao transporte de passageiros no setor da mobilidade aeroportuária. As unidades são produzidas na CaetanoBus e distribuídas pela empresa alemã *COBUS Industries*, que faz parte da *Daimler AG* e do Grupo Salvador Caetano (parte maioritária), ficando também encarregue da comercialização e assistência após venda para todo o mundo (do produto COBUS). A Figura 8 representa a distribuição do produto pelo mundo.

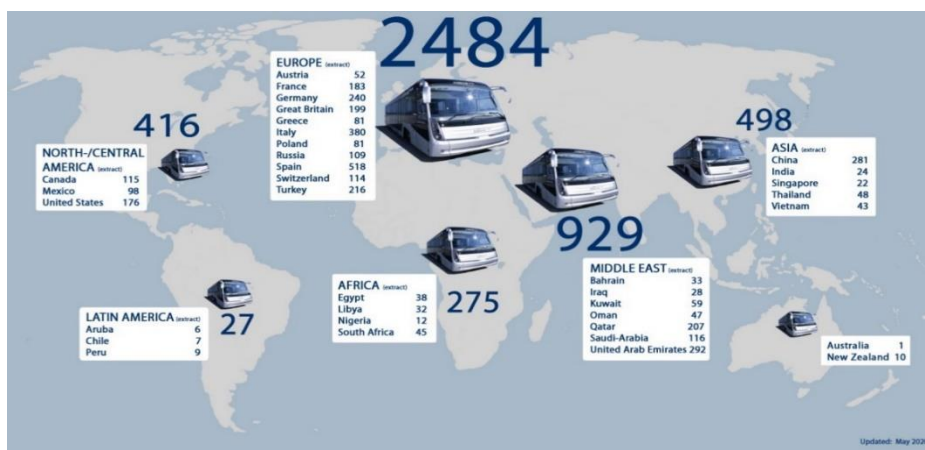


Figura 8- Distribuição do produto COBUS pelo Mundo- Veículos em circulação [12]

As grandes vantagens deste produto, como representa a Figura 9, são a comodidade e a diversidade. Quando comparado com um autocarro de circuito urbano, um COBUS, para além de ser maior, tem melhor resposta a condições extremas (calor ou frio extremo) [9].



Figura 9- COBUS 3000 vs. Veículos urbanos [14]

Atualmente na CaetanoBus são produzidos diversos modelos do produto COBUS, tanto motorização Diesel como elétrica. Nos modelos Diesel, para corresponder positivamente em mercados adversos com climas mais frios como Finlândia ou Colorado (nos Estados Unidos da América), os autocarros têm de estar equipados com sistemas de aquecimento eficazes para enfrentar as baixas temperaturas que predominam no inverno. Desde queimadores a Diesel, como sistemas de aquecimento elétrico alimentados à rede para pré-aquecer as unidades quando se encontram parquedadas.



Figura 10- COBUS 3002 em Colorado (USA) e nos Emirados Árabes Unidos [12]

Para regiões com temperaturas mais elevadas, como Emirados Árabes Unidos ou Qatar, são aplicados sistemas com mais capacidade de refrigeração, onde acoplado ao ar condicionado se encontra um sistema “*Power Pack*”. Este sistema trata-se de um grupo motor Diesel-compressor com a finalidade de produzir mais energia calorífica para refrigerar o compartimento dos passageiros.

Na Figura 11 é possível visualizar a foto de um *Power Pack* e o seu circuito de refrigeração.

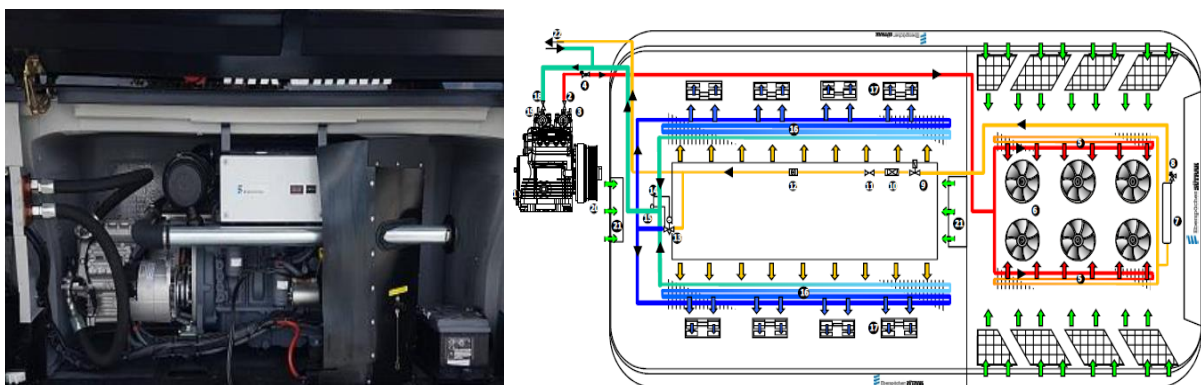


Figura 11- *Power Pack* num COBUS [57] e circuito de refrigeração [58]

Os complexos aeroportuários representam um impacto ambiental relevante, devido à função que têm no tráfego aéreo [10]. Alguns clientes com veículos a motorização Diesel solicitaram a substituição destes por veículos elétricos.

Por exemplo, o aeroporto de Estugarda na Alemanha foi um dos pioneiros na transição da mobilidade elétrica, eletrificando toda a sua frota de autocarros de passageiros (Figura 12) [11]



Figura 12- Frota de e.Cobus no Aeroporto de Estugarda [11]

À data de 2022 circulam mais de oitenta e.Cobus, dispostos por diversas zonas geográficas, a Tabela 2 apresenta as unidades em operação.

Tabela 2- Distribuição do e.Cobus pelo mundo [12]

| Cliente             | País      | Modelo  | Armazenamento kWh | Quantidade |
|---------------------|-----------|---------|-------------------|------------|
| Stuttgart           | Alemanha  | ec3001  | 86 kWh            | 12         |
| Vancouver           | Canadá    | ec3001  | 99 kWh            | 12         |
| Vancouver           | Canadá    | ec2702s | 99 kWh            | 3          |
| Regal Motors        | Hong Kong | ec3001  | 126 kWh           | 1          |
| Air China           | China     | ec3001  | 126 kWh           | 2          |
| Genebra             | Suíça     | ec3001  | 86 kWh            | 8          |
| Genebra             | Suíça     | D2EU    | 86 kWh            | 2          |
| Copenhague          | Dinamarca | ec3001  | 86 kWh            | 1          |
| Montreal            | Canadá    | ec3001  | 86 kWh            | 1          |
| Fraport             | Alemanha  | ec2702s | 99 kWh            | 2          |
| Düsseldorf          | Alemanha  | ec3001  | 86 kWh            | 1          |
| Toronto             | Canadá    | ec3001  | 99 kWh            | 2          |
| Bacau               | Roménia   | ec3001  | 86 kWh            | 1          |
| SEA                 | Itália    | ec3001  | 86 kWh            | 13         |
| China Southern      | China     | ec3001  | 126 kWh           | 6          |
| Salzburg            | Áustria   | D2EU    | 86 kWh            | 2          |
| Dallas              | USA       | ec3002  | 126 kWh           | 4          |
| Bristol             | UK        | D2EU    | 99 kWh            | 1          |
| Trial Unit          | UK        | ec2702  | 99 kWh            | 1          |
| JFK                 | USA       | ec3002  | 126 kWh           | 4          |
| Emirates -Test Unit | EAU       | ec3002  | 126 kWh           | 1          |
| Aruba               | Aruba     | ec3002  | 126 kWh           | 1          |
|                     |           |         |                   | 81         |

## 2.4. Sistema de Tração do e.Cobus

O chassis do modelo e.Cobus, em termos estruturais segue a filosofia de montagem de autocarros de placa, com características bastante específicas tendo a particularidade de os componentes motrizes serem posicionados na parte dianteira, assim como a sua tração ser feita pelo eixo dianteiro [13]. O primeiro chassis foi desenvolvido para uma carroçaria de um modelo 3001, sendo um chassis para o transporte de passageiros com uma motorização 100% elétrica para o setor dos aeroportos. A Figura 13 é uma vista 3D do chassis de um e.Cobus (através do programa *Solidworks*).

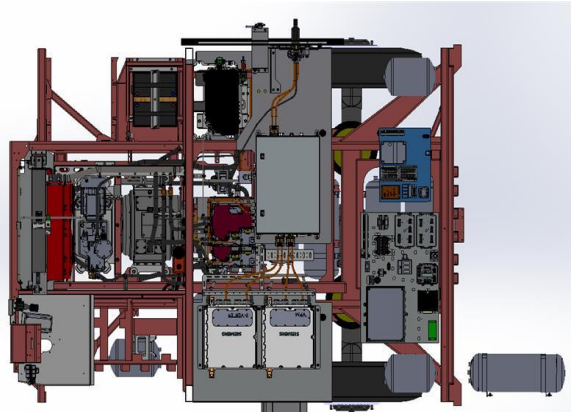


Figura 13 – Vista 3D (superior) do chassis e.Cobus

Os chassis dos e.Cobus são dotados com um sistema de tração de acionamento modular da Siemens ELFA. Esta solução combina diversos sistemas isolados (motores de tração e auxiliares, inversores, comunicações) num sistema compacto, integrado, eficiente e com elevada capacidade e disponibilidade [14]. Na Figura 14 é ilustrado o diagrama com os componentes do sistema de tração ELFA.

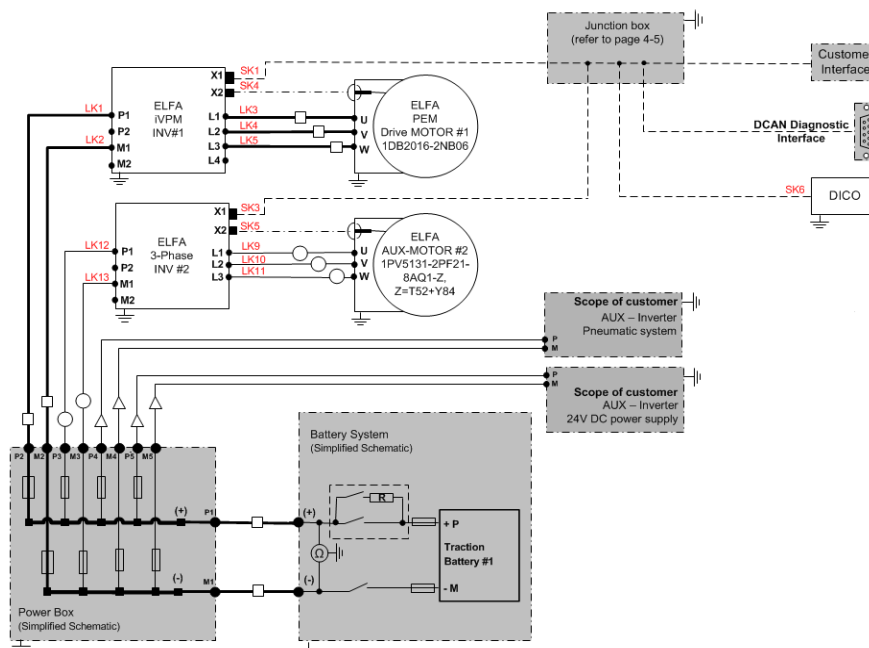


Figura 14- Diagrama do Sistema de Tração ELFA

### 2.4.1. Motor de Tração Elétrico

O chassi está equipado com um motor síncrono de ímanes permanentes (motor síncrono trifásico com doze polos). As principais características do motor PEM 1DB2016-2NB06 estão listadas na Figura 15 [15]:

|                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| Voltage Range            | 525 V - 740 V     |
| Max current              | 283 A             |
| Max power                | 160 kW            |
| Max Torque               | 2500 Nm           |
| Max 30min Power          | 116 kW @ 1500 rpm |
| Rated Torque             | 739 Nm @ 1500 rpm |
| Rated Current            | 193 A             |
| Maximum speed            | 3500 rpm          |
|                          |                   |
| Motor weight (w/o water) | Aprox. 300 kg     |



Figura 15- Características Técnicas PEM MOTOR [59]

Com uma velocidade e potência máxima de 3500 rpm e 160 kW respectivamente. A 116 kW de potência, o motor atinge uma velocidade 1500 rpm e 739 Nm de torque.

### 2.4.2. Inversor de Tração

O Inversor de tração (iVPM) é o dispositivo que controla o motor de tração, com um alcance de operação entre os 300 e os 750 VDC. Este tipo de inversores proporciona um controlo eficaz e otimizado de veículos que têm de cumprir todos os requisitos de operação típico de um veículo automóvel, bem como com todos os requisitos de homologação segundo as diretrizes dos países de destino a nível mundial. Todo o controlo é efetuado através de protocolos de comunicação normalizados como o J1939 [14].

Em conjunto com o motor de ímanes permanentes, o sistema possibilita o funcionamento reversível, motor ou gerador. Esta função é de extrema importância quando se fala de veículos 100% elétricos, onde a energia recuperada da ação do efeito de desaceleração é incorporada nas baterias. Na Figura 16 são apresentadas as características do inversor.

|                                  |                                                              |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Type                             | Inverter 3 Phases & 1 Phase for - Chopper or DC/DC converter |
| Cooling                          | Water                                                        |
| Rated DC voltage                 | 650 V                                                        |
| DC voltage range                 | 300 – 750 V                                                  |
| Rated current                    | 250 A                                                        |
| Rated power (460V AC)            | 200 KVA                                                      |
| Maximum current (10s)            | 350 A                                                        |
| Maximum power (500V AC)          | 320 KVA                                                      |
| Switching Frequency              | 2 – 6 Hz                                                     |
| Rated current Chopper ou DC/DC   | 1 x 150 A (@ 6 kHz)<br>1 x 300 A (@ 0 kHz)                   |
| Frequency Chopper e DC/DC        | 2 – 6 Hz                                                     |
| Weight                           | 30 kg                                                        |
| Dimension (LxCxA) w/o connectors | 411 x 454 x 183 mm                                           |
| Protection class                 | IP 6K9K                                                      |
| Temperature environment          | -25 a 50 °C<br>(For rated values)                            |



Figura 16- Características Técnicas Inversor de tração (iVPM) [59]

### 2.4.3. Inversor e Motor Auxiliar

À semelhança de outros veículos, existem diversos equipamentos que dependem de energia mecânica para poderem operar, como bombas de direção, compressores mecânicos, entre outros. Para este efeito, existe um motor auxiliar que é o responsável por produzir a energia mecânica necessária. Havendo um segundo inversor é responsável pelo seu controlo [15] [14]. No modelo e.Cobus é utilizado o motor auxiliar e o inversor Elfa 2 como está representado na Figura 17.

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Type                             | AC Induction Motor |
| Cooling                          | Water-Glycol       |
| Rated DC voltage                 | 450 - 650 V        |
| Rated power                      | 20 KW / 3.000 rpm  |
| Rated Torque                     | 65 Nm (<3.000 rpm) |
| Max. Torque                      | 120 Nm @ 90A       |
| Rated current                    | 54 A               |
| Maximum Speed                    | 5.000 rpm          |
| Weight                           | 54 kg              |
| Dimension (LxCxA) w/o connectors | 320 x 245 x 245 mm |
| Degree of Protection             | IP 54              |
| Ambient Temperature              | -30 a 70 °C        |

|                                  |                                                            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Type                             | Inverter 3 Phases & 1 Phase for Chopper or DC/DC converter |
| Cooling                          | Water                                                      |
| Rated DC voltage                 | 650 V                                                      |
| DC voltage range                 | 300 – 750 V                                                |
| Rated current                    | 250 A                                                      |
| Rated power (460V AC)            | 200 KVA                                                    |
| Maximum current (10s)            | 350 A                                                      |
| Maximum power (500V AC)          | 320 KVA                                                    |
| Switching Frequency              | 2 – 6 Hz                                                   |
| Rated current Chopper ou DC/DC   | 1 x 150 A (@ 6 kHz)<br>1 x 300 A (@ 0 kHz)                 |
| Frequency Chopper e DC/DC        | 2 – 6 Hz                                                   |
| Weight                           | 30 kg                                                      |
| Dimension (LxCxA) w/o connectors | 411 x 454 x 183 mm                                         |
| Protection class                 | IP 6K9K                                                    |
| Temperature environment          | -25 a 50 °C<br>(For rated values)                          |

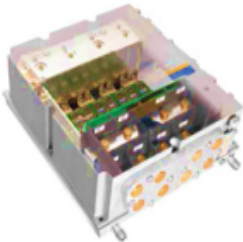


Figura 17- Motor de Auxiliar e ELFA2-Inversor Auxiliar [59]

### 2.4.4. Sistema de Gestão de Energia das Baterias

A BMS (*Battery Management System*) é o equipamento/sistema responsável pela gestão de cada célula de lítio aplicada. Esta monitoriza o estado de carga, faz a gestão e controlo da carga em função do balanceamento otimizado. Existe ainda uma rede de comunicação CAN, de forma a partilhar toda a informação acerca das baterias com a unidade de gestão central do veículo [14]. A Figura 18 ilustra a Master BMS I+ME do fornecedor ACTIA.



Figura 18- Ilustração da BMS [59]

### 2.4.5. Sistema de controlo

O controlo do sistema de tração, motor e caixa de velocidades do e.Cobus é feito por um módulo processador com tecnologia CAN e disponibiliza ao condutor toda a informação do veículo no painel de instrumentos. A maior parte do controlo dos dispositivos é feita através de ECUs programáveis, permitindo monitorizar falhas e fazer diagnóstico. Contudo, para alguns sistemas mais analógicos são utilizados relés.

### 2.4.6. Módulo de Alimentação de Energia (*Power Supply Module - PSM*)

A PSM consiste num quadro, que engloba os dispositivos que permitam fazer a gestão e distribuição da energia nos diversos circuitos de potência. A eletrónica de comutação tem de ser dimensionada de acordo com a tensão e a classificação de corrente. Dentro da PSM temos o circuito de pré-carregamento e os contactos do carregador, sendo que o circuito de pré-carga permite um fluxo de corrente.

### 2.4.7. Sistema de Armazenamento de Energia

Com base no conhecimento adquirido ao longo de vários anos do produto COBUS, nos trajetos efetuados nos aeroportos, em média, e com base no perfil de utilização, a capacidade energética total instalada deveria rondar os 90 kWh. Em função da oferta disponível no mercado e em parceria com o sistema de tração ELFA da Siemens, hoje o modelo e.Cobus conta com a tecnologia LTO (*Lithium Titanate Oxide*) com uma capacidade de armazenamento de 99kWh ou 126 kWh para uma maior autonomia do veículo e integrar sistemas de climatização mais potentes para aeroportos com condições climatéricas mais exigentes, tal como ilustra na Figura 19.

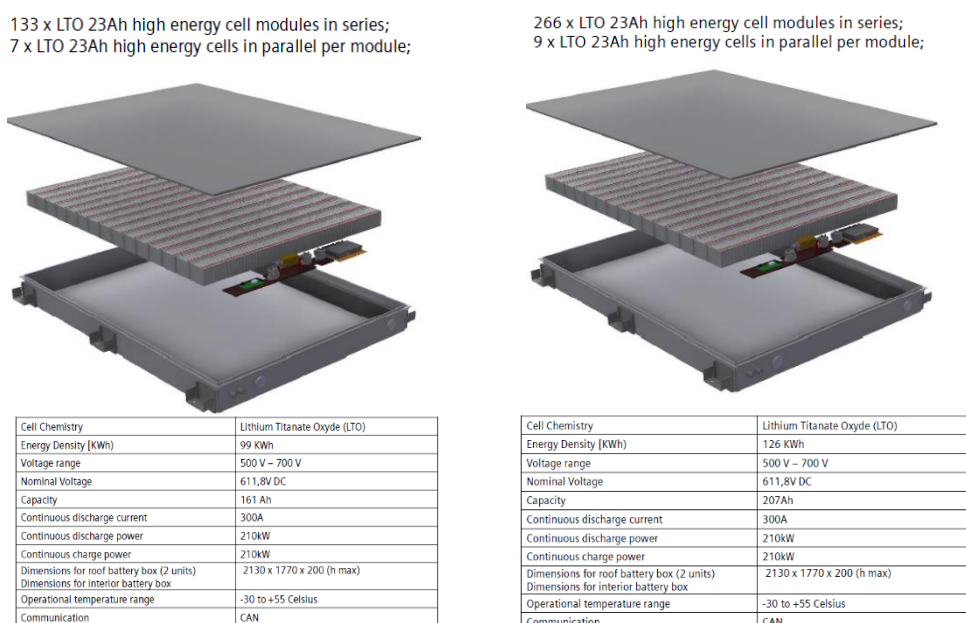


Figura 19-Ilustração e Características do pack de baterias de 99kWh e 126kWh [59]

### 3. Fundamentação Teórica- Aprendizagem Máquina

#### 3.1. Contextualização

Nos dias de hoje, a recolha, armazenamento e processamento de dados tornou-se uma necessidade constante, resultado do fenómeno *Big Data*. Para efeitos de previsão de alguns cenários, foi possível reagir com mais eficácia e fiabilidade às preferências de consumidores, nas redes sociais, e até prever necessidades logísticas, hospitalares minimizando desta forma assim alguns riscos associados a cada uma destas tarefas [16].

Segundo a *SBCOACHING* [17], a cada segundo que passa é estimado que sejam produzidos 29 terabytes de informação, com tendência a aumentar. Entre muitas definições, o *Big Data* pode ser descrito como uma combinação de tecnologias que visa administrar esse volume gigantesco de dados diferentes, na velocidade certa, para permitir uma análise em tempo real.

A *Aprendizagem Máquina (Machine Learning - ML)* assume-se como uma parte da inteligência artificial que permite a um sistema aprender a partir de padrões existentes nos dados e não através de instruções pré-programadas, permitindo-lhe melhorar gradualmente a sua precisão [18]. Na descoberta de conhecimento *Data Mining (DM)* o principal objetivo é encontrar as melhores e mais recentes informações através do estudo de enormes volumes de dados [19].

Neste capítulo será contextualizada a temática *Aprendizagem Máquina*, quanto à sua tipologia, bem como alguns algoritmos mais utilizados.

### 3.2. Ciência de dados

Nesta vertente (*ML*) uma máquina/computador pode tomar decisões com a ajuda de um algoritmo. Os algoritmos reconhecem padrões nos dados tornando-os capazes de fazer novas previsões a partir de um *dataset* (conjunto de dados) previamente definido [20].

Para que as previsões tenham bons resultados, é importante que o *dataset* de treino seja robusto e fiável, permitindo ao algoritmo treinar de forma eficaz [21].

De forma simples pode dizer-se que a máquina “aprende” com os dados, e com que o aumento de informação adquirida, melhora o seu desempenho.

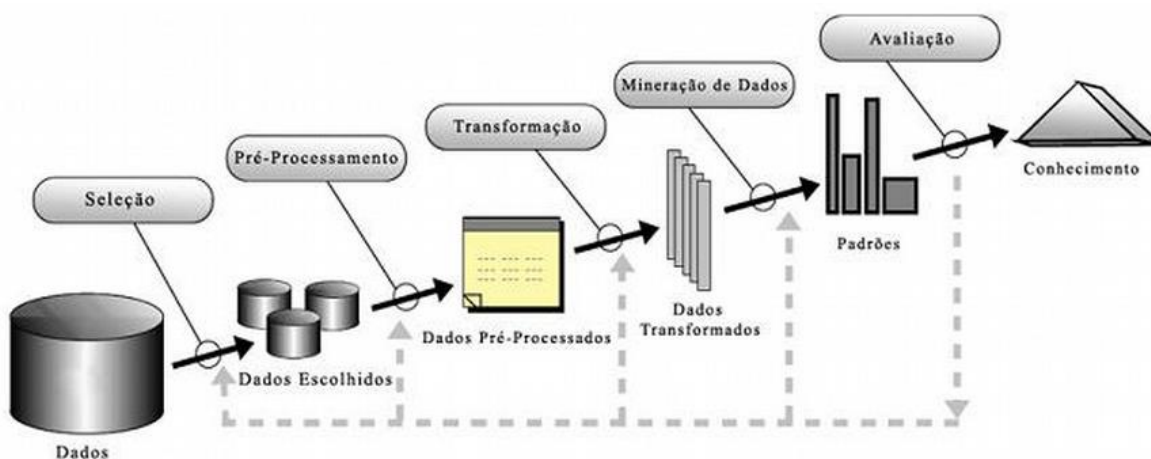


Figura 20- Processo *Knowledge Discovery in Databases* [67]

A análise de dados é uma tarefa essencial para compreender a fiabilidade de um determinado dado num determinado conjunto.

Existem diversos tipos e formas de dados, no entanto os modelos de *Machine Learning* dependem essencialmente de quatro tipos de dados primários [22]:

- Dados numéricos – altura, peso, preço, entre outros;
- Dados categóricos – gênero, classe social, etnia, cidade, etc.;
- Dados de série temporal – semana, mês, ano, ou outra série temporal;
- Dados de texto – palavras ou frases frequentemente agrupadas.

O Pré-processamento ou Preparação de dados é uma das ações com mais relevo na utilização de algoritmos para projetos de *Machine Learning*. Esta etapa consiste em garantir que os dados que serão utilizados nos algoritmos são robustos e consistentes de forma a garantir um melhor desempenho e resultados confiáveis [21] [23].

Antes de serem utilizados num modelo de previsão, os dados devem ser pré-processados e tratados. O tipo de tratamento pode divergir de projeto para projeto devido às características associadas ao tema em que está inserido, contudo o tratamento incorpora algumas das seguintes tarefas:

- Limpeza de dados:

Por vezes, é comum que o conjunto de dados selecionado contenha dados em falta. Durante a criação do *dataset* é necessário identificar e corrigir os erros, eliminar as linhas com dados em falta, sendo possível estimar o valor em falta por exemplo através de uma média ou mediana.

- Integração de dados:

A tarefa de integração de dados resulta da combinação de dados de várias fontes num grupo de informação concisa. A *metadata* das várias bases de dados é utilizada para impedir a ocorrência de erros nas validações, inconsistências e redundâncias nos atributos do *dataset* [23] [24].

- Transformação dos dados:

Nesta etapa os dados são transformados em dados próprios, para serem utilizados pelos modelos. Esta transformação engloba as seguintes etapas [23]:

- Normalização dos dados;
- Técnicas de *Smoothing* (remoção de *outliers*);
- Agregação dos dados;
- Substituição do valor de atributos para formato categórico.

- Redução dos dados

O conjunto de dados pode conter um grande número de dados de entradas, podendo tornar a sua análise lenta e pouco eficiente. Para mitigar a ineficiência do processo, podem ser utilizadas técnicas de redução do tamanho do *dataset*, mantendo a qualidade e a integridade da informação. Neste processo poderão ser removidos atributos irrelevantes [23].

As tarefas acima indicadas requerem tempo e estudo preciso sobre os dados. O propósito deste processo é preparar o *dataset* com toda a informação relevante de análise efetuada para

posteriormente com um algoritmo de *Machine Learning* serem obtidos resultados mais confiáveis.

Devido ao grande número de metodologias e abordagens, é necessário fazer um grande trabalho de investigação para cada variável/atributo a escolher. Mediante o projeto que se tem em mãos, pode ou não ser possível manter dados de instâncias vazios ou nulos [23].

A performance do modelo selecionado para o tratamento dos dados pode ser avaliada utilizando métricas para perceber se os resultados são ou não satisfatórios, se estão ou não manipulados, podendo ocorrer *overfitting* ou *underfitting*. Para enquadrar o conceito de forma simples e clara, segue o exemplo na Figura 21 [25].

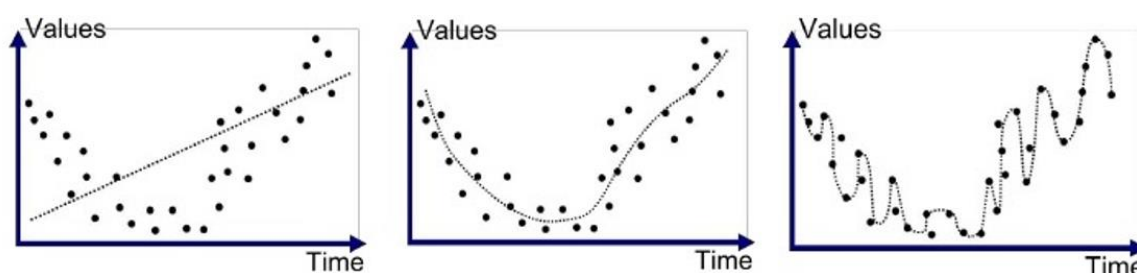


Figura 21- *Underfitting* (esquerda); *Good balance* (centro); *Overfitting* (direita) [25]

Para encontrar uma medida certa entre o *overfitting* e *underfitting*, é necessário encontrar um ponto de equilíbrio entre o viés (*Bias*) e a variância (*Variance*). O viés é a diferença entre a previsão média e o valor correto que estamos a prever. Um modelo com um alto viés significa que deu pouca atenção aos dados de treino, resultando num erro maior. A variância é a variabilidade da previsão do modelo para um determinado ponto de dados. Um modelo com alta variância presta mais atenção aos dados de treino [26]. A Figura 22 representa o ponto de equilíbrio.

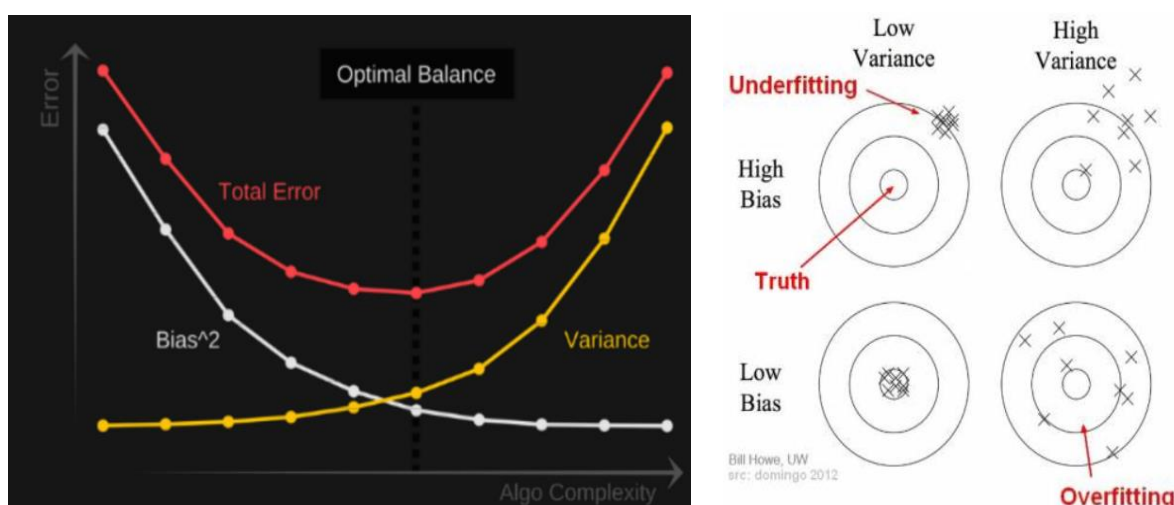


Figura 22- Demonstração da relação entre *Bias* e *Variância* [26]

### 3.3. Medidas de desempenho

Avaliar o resultado de um algoritmo é uma ação relevante para compreender se os resultados obtidos são de confiança ou não. O modelo pode apresentar resultados satisfatórios quando estes são avaliados com métricas e sob uma análise minuciosa para perceber se os resultados estão ou não manipulados (ocorrência de *overfitting* ou *underfitting*). Normalmente os resultados dos algoritmos são avaliados apenas com base numa métrica, a precisão. Para confirmar a robustez dos resultados obtidos pelo modelo, a melhor opção é a consideração de outras métricas de medição de desempenho. Nos subcapítulos seguintes serão expostas e explicadas algumas das métricas com relevo para a tomada de decisão no processo de escolha de um algoritmo [21].

#### 3.3.1. Coeficiente de Correlação (*Correlation Coefficient*) - $r$

Mede a correlação estatística entre os valores previstos e os valores reais. O valor do coeficiente de correlação  $r$  varia entre -1 e 1, valores de  $r$  positivos corresponde a uma correlação direta, e a valores de  $r$  negativos, corresponde a uma correlação inversa; quando  $r$  é 0, não existe correlação.

$$r = \frac{S_{PA}}{\sqrt{S_P S_A}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,  $S_{PA} = \frac{\sum_i (P_i - \bar{P})(a_i - \bar{a})}{n-1}$ ,  $S_P = \frac{\sum_i (P_i - \bar{P})^2}{n-1}$  e  $S_A = \frac{\sum_i (a_i - \bar{a})^2}{n-1}$

e,  $P_i$  refere-se aos valores numéricos da previsão para a instância  $i$ ,  $\bar{P}$  é o valor médio sobre os dados da previsão,  $a_i$  corresponde aos valores reais para a instância  $i$ ,  $\bar{a}$  é o valor médio sobre os dados de teste e  $n$  o número de medidas.

#### 3.3.2. Média do Erro Absoluto - MAE (*mean absolute error*)

A métrica MAE calcula o “erro absoluto médio” dos erros entre os valores reais observados e as previsões que o modelo nos fornece. O erro indica-nos a medida de quão longe as previsões estão do valor real. No entanto não indica a direção do erro. Pode ser representado através da seguinte equação [27]:

$$\text{Mean Absolute Error} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N |y_j - \hat{y}_j| \quad \text{Equação 2}$$

Onde,  $y_j$  corresponde ao valor real e  $\hat{y}_j$  ao valor de previsão,  $n$  representa o número de pontos. O MAE utiliza valores absolutos dos erros, o que não é desejável em muitos cálculos.

### 3.3.3. Média Quadrática do Erro - RMSE (*root mean squared error*)

O RMSE é a medida que calcula a raiz quadrática dos erros entre os valores observados e as previsões, e pode ser dado pela seguinte equação [27]:

$$\text{Root Mean Squared Error} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad \text{Equação 3}$$

O RMSE tem o benefício de penalizar os erros de maior magnitude. A métrica pode não descrever sozinha o erro médio e tem outras implicações que são mais difíceis de descobrir e entender [27].

## 3.4. Tipos de Aprendizagem

### 3.4.1. Aprendizagem Supervisionada (*Supervised learning*)

O algoritmo de aprendizagem supervisionada passa por um processo de análise adequado para resolver problemas em que os dados nos permitem treinar um modelo utilizando variáveis de entrada e saída (*input* e *output*) [21]. Os problemas de aprendizagem supervisionados são os de regressão e classificação suprarreferidos. Num problema de regressão pretende prever se os resultados de forma contínua, o que significa que se tenciona mapear as variáveis numa função contínua. Para um problema de classificação é pretendido mapear as variáveis de entrada em categorias distintas [28]. Como ilustra a Figura 23, numa primeira fase temos um conjunto de dados rotulados inserido num modelo, neste caso gatos. Numa segunda fase o modelo é novamente alimentado, com novos dados, e o algoritmo compara os novos dados com os dados de treino [29].

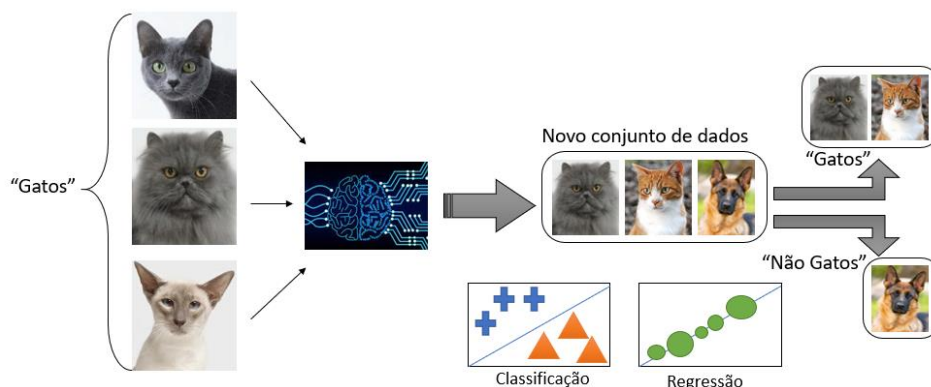


Figura 23-Exemplo de Aprendizagem Supervisionada- Regressão e Classificação

### 3.4.2. Aprendizagem Não Supervisionada (*Unsupervised learning*)

Ao contrário da aprendizagem supervisionada, as técnicas da aprendizagem não supervisionadas não contêm informação da classificação, ou seja, o dado de saída (*output*) de um determinado dado de entrada (*input*) não é conhecido antecipadamente. Desta forma os modelos aprendem com os dados de uma forma iterativa e produzem conclusões através das relações da informação. É esperado que o algoritmo deduza, com o principal objetivo a adaptação do seu comportamento ao analisar informação desconhecida [23]. Como ilustra a Figura 24, apenas são divididos os dados sem “rótulos” iniciais.

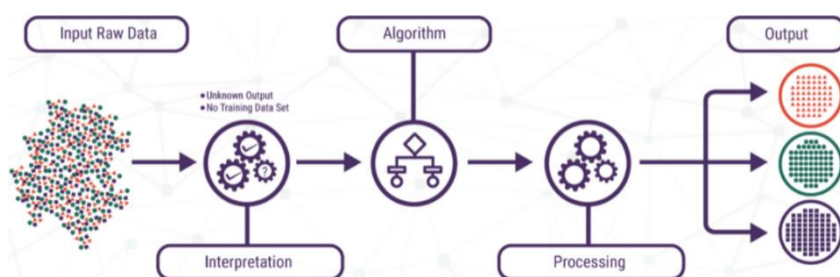


Figura 24-Exemplo de Aprendizagem não supervisionada [61]

### 3.4.3. Aprendizagem Semissupervisionada (*Semi-Supervised learning*)

Este tipo de aprendizagem é semelhante ao tipo de aprendizagem supervisionado, no entanto utiliza dados “rotulados” e “não rotulados”. Este método é útil quando é muito difícil extrair recursos e rotular os exemplos de um processo demorado/complexo. A utilização deste tipo de aprendizagem é comum em situações médicas como ressonâncias magnéticas, termografias computadorizadas, entre outros [29]. Como ilustra a Figura 25, através de um conjunto de dados que contenha os dois tipos, rotulados e não rotulados, o modelo faz a separação dos dados que consegue identificar, dos que não consegue.

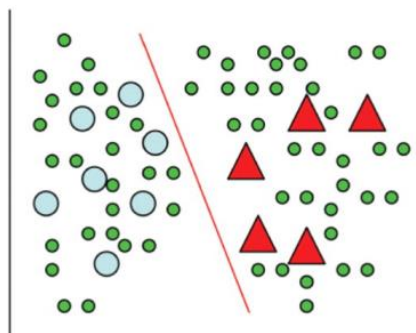


Figura 25-Exemplo de Aprendizagem Semissupervisionada [62]

### 3.4.4. Aprendizagem por Reforço (*Reinforcement learning*)

A aprendizagem por reforço é baseada no comportamento e interação com o ambiente, ou seja, o algoritmo recebe o *feedback* da análise dos dados levando o utilizador a receber o melhor resultado. O sistema aprende por tentativa-erro uma vez que não é treinado por um conjunto de dados definidos [21].

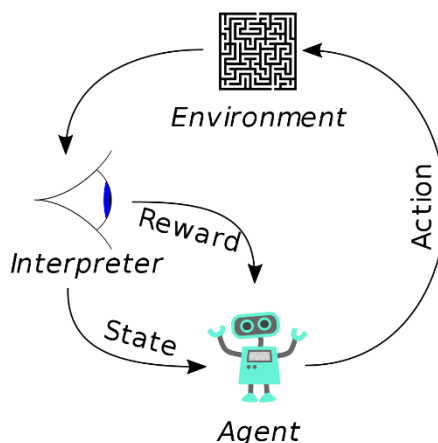


Figura 26- Aprendizagem por reforço [75]

## 3.5. Problemas de *Machine Learning*

Existem diversos tipos tarefas que podem ser resolvidos com *Machine Learning*. No subcapítulo que se segue serão descritos os principais.

### 3.5.1. Classificação

Classificação consiste no processo de encontrar ou descobrir um modelo que ajuda a separar os dados em várias classes/categorias. Na classificação, a associação ao grupo do problema é identificada, o que significa que os dados são categorizados sob rótulos diferentes, de acordo com alguns parâmetros. Os problemas de classificação correspondem àqueles onde se procura encontrar uma classe, dentro de um conjunto de dados, por exemplo se um aluno foi aprovado ou reprovado. Num contexto prático de *Machine learning* um bom exemplo de classificação é a detecção de *spam* de uma caixa de e-mail. O modelo é treinado com base em milhões de e-mails em diferentes parâmetros e sempre que recebe um novo e-mail, identifica se o e-mail é *spam* ou não. Se o e-mail for *spam*, ele será movido para a pasta *spam* [30].

### 3.5.2. Regressão

Regressão é um processo de encontrar as correlações entre várias variáveis dependentes e independentes, podendo ajudar na previsão de variáveis contínuas, como na previsão de tendências de mercado. Os problemas de regressão estão associados à previsão de um valor numérico específico. Este valor pode ser o preço de um produto, o peso ou altura de uma pessoa, a área de uma casa.

#### 3.5.2.1 Regressão Linear (Linear Regression)

A *Regressão Linear* é um algoritmo de aprendizagem supervisionada utilizado para estimar uma relação linear entre uma variável (dependente) e as restantes variáveis (independentes) valor numérico com base numa série de outros dados históricos, portanto informalmente é uma forma de prever o valor da variável de saída com base em dados passados [31].

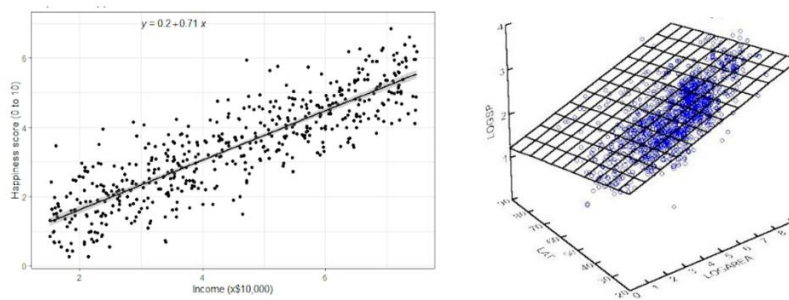


Figura 27-Regressão linear Simples (esquerda) Múltipla (direita) [31]

As regressões lineares podem ser simples ou múltiplas. Se apenas tiver uma variável independente para fazermos uma predição, a regressão é simples; se tivermos várias variáveis independentes então a regressão é múltipla [31].

Para este algoritmo, o valor a prever é expresso como uma combinação linear dos atributos, com pesos pré-determinados:

$$x = w_0 + w_1a_1 + w_2a_2 + \dots + w_ka_k \quad \text{Equação 4}$$

Onde  $x$  é o valor a prever e  $w_i$  são os pesos, determinados numa fase de treino, e  $a_k$  corresponde aos atributos.

## 3.6. Algoritmos

No presente subcapítulo serão identificados alguns dos algoritmos mais comuns.

### 3.6.1. Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks*)

Baseadas nas redes neurais biológicas, as *Redes Neurais Artificiais* RNAs podem ter centenas ou milhares de unidades de processamento (neurónios artificiais) [32]. Estas redes são adequadas para o tratamento de problemas complexos, conjuntos de dados incompletos, com falhas pontuais. As RNAs podem aprender a partir de exemplos e são capazes de lidar com problemas não lineares e apresentam ainda alguma tolerância a falhas. Este tipo de algoritmos tem aplicabilidade em previsão das tendências de mercado e até previsões meteorológicas [33].

Como se pode constatar pela , a maioria das redes neurais possui uma regra de treino, onde os pesos das ligações são ajustados de acordo com algum tipo de padrão.

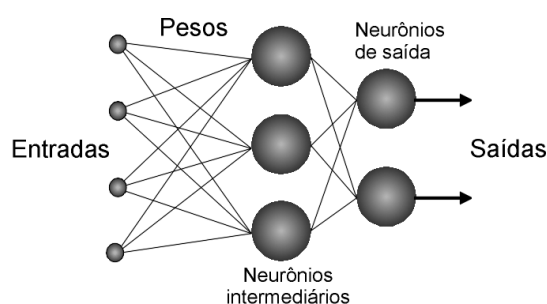
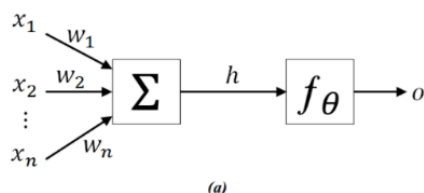


Figura 28-Rede Neural Artificial [63]

A operação de uma unidade de processamento com base numa rede neural artificial, pode ser dada pelo modelo matemático do neurónio proposto por *McCulloch and Pitts* e é composto por [34]:

- (a) Os valores de entradas multiplicados por pesos, representando as sinapses;
- (b) Os somatórios destes valores de entrada representam uma membrana que recebe os pulsos elétricos vindos das sinapses;
- (c) uma função de ativação que decide se o neurónio envia os valores recebidos [35].



$$h = \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad o = f_\theta = g(h) = \begin{cases} 1, & \text{se } h > \theta \\ 0, & \text{se } h \leq \theta \end{cases}$$

(b)
(c)

Figura 29 Modelo matemático do neurónio [35]

### 3.6.2. Árvores de Decisão (*Decision Tree*)

A *Árvore de Decisão* é um algoritmo de aprendizagem supervisionada que é treinado para aprender regras de decisão através das quais irá prever valores de determinada variável contínua (no caso de um problema de regressão) ou discreta (no caso de um problema de classificação). Como mostra a Figura 30, o algoritmo aprende com os dados através de um conjunto de decisões “se-então-senão”, quanto mais profunda for a árvore, mais regras de decisão terá o modelo [23].

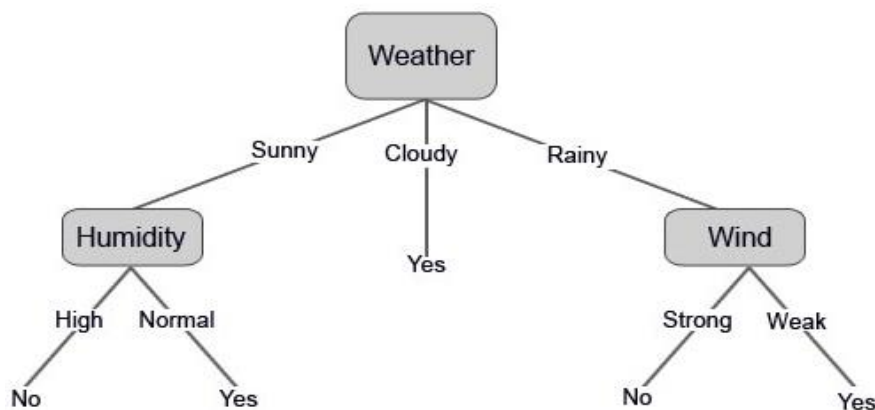


Figura 30-Diagrama Árvore de Decisão [64]

### 3.6.3. Floresta Aleatória (*Random Forest*)

O algoritmo Floresta Aleatória é um método de aprendizagem supervisionada, onde a “Floresta” é constituída por um conjunto de árvores de decisão, onde cada árvore foi treinada num subconjunto de dados amostrados aleatoriamente do conjunto de dados de treino. Como apresenta a Figura 31, são treinadas em paralelo sem nenhuma interação direta entre elas, seguido de uma agregação mais precisa e estável [36] [37].

Segundo *Breiman* [38], as florestas aleatórias apresentam grande eficácia na previsão de dados. Devido à *Lei dos Grandes Números*, quanto mais tentativas são feitas, maior é a probabilidade da média aritmética dos resultados observados se aproximar da probabilidade real. Na Figura 31 encontra-se a exposição do pseudocódigo que tem por base o algoritmo *Random Forest* [35].

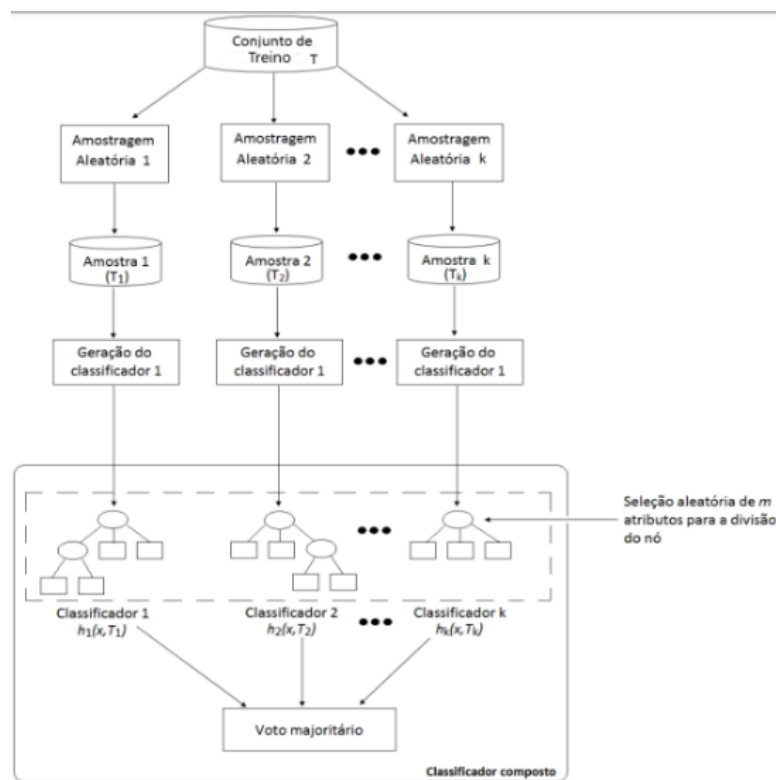


Figura 31 - Diagrama do Algoritmo Floresta Aleatória [37]

#### 3.6.4. Máquina de Suporte Vetorial (*Support Vector Machine*)

Trata-se de um método de classificação e análise de regressão de aprendizagem supervisionada. Disponibilizando um conjunto de dados, o algoritmo constrói um modelo, que atribui os novos exemplos em uma ou duas categorias. Cada atributo é mapeado sob a forma de vetor num espaço  $n$ -dimensional ( $n$  é o número de atributos) [32]. É traçado um espaço, cuja dimensão varia com o número de atributos, que divide os dados em grupos [39].

A linha que divide os dois grupos é designada de *hyperlane*. Como demonstra a Figura 32, os pontos que se encontrarem mais perto da linha recebem um valor de coeficiente maior que zero, enquanto aos restantes é-lhes atribuído o valor zero. [23]

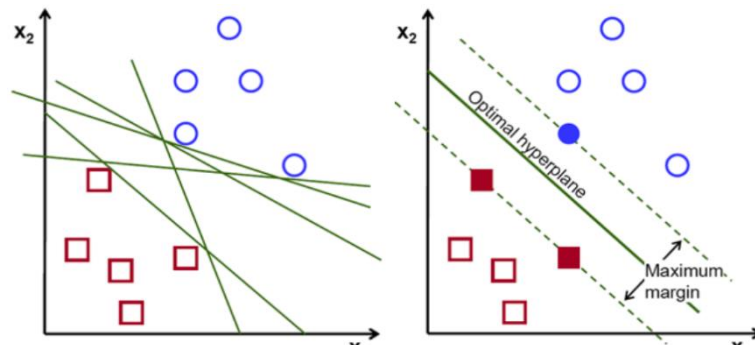


Figura 32- Hiperplanos em 2D [68]

### 3.6.5. K-Vizinho mais próximo (*K-Nearest Neighbor -KNN*)

É um algoritmo de aprendizagem supervisionado utilizado para problemas de classificação e regressão com relação de “K” vizinhos mais próximos, é utilizado para rotular ou prever o valor de um ponto de uma determinada base de dados [40]. O algoritmo utiliza a ideia de proximidade através do cálculo da distância entre pontos num gráfico [23].

Para seleccionar o “K” correto sobre os dados introduzidos no algoritmo, o algoritmo é executado várias vezes com diferentes valores de “K”, sendo escolhido aquele que reduz o número de erros, enquanto se mantém a capacidade de o algoritmo efetuar previsões com precisão [23].

A Figura 33 apresenta um exemplo do algoritmo KNN com dois valores para K.

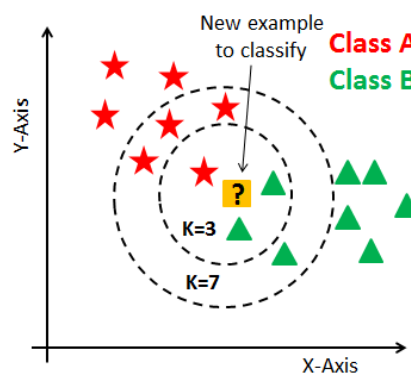


Figura 33-Exemplo de classificação de K-Vizinho mais próximo para K=3 e K=7 [65]

### 3.7. Ferramentas de Suporte à Análise/Decisão

A análise de dados pode ser feita através da utilização de plataformas digitais ou programas informáticos, gratuitos ou não, que fornecem um ambiente gráfico e amigável com maior interatividade entre os utilizadores e os dados. Muitos dos *softwares* já disponibilizam algumas funcionalidades melhorando o fluxo e rapidez na resposta [33].

Atualmente existem dezenas de *softwares* de análise de dados / *data mining*, que podem ser utilizados numa vertente de aprendizagem máquina (*machine learning*). Nos subcapítulos seguintes iremos apresentar quatro ferramentas com estas características.

#### 3.7.1. KNIME

O KNIME, acrônimo de *Konstanz Information Miner*, é um *software* escrito em Java, concebido inicialmente para a indústria farmacêutica, mas que mais tarde ficou disponível em formato *open source* [41] [42].

A plataforma executa diversas operações matemáticas integrando as várias componentes de *machine learning* e *data mining* sob a forma visual de nós (*nodes*), como se observa na Figura 34 [43]. Cada nó é exibido num diagrama aberto com os dados de entrada e saída, bem como o estado em que se encontra num determinado momento. Cada nó tem configurações específicas que podem ser ajustadas através de uma caixa de diálogo. Quando as configurações são alteradas, o *status* do nó muda, sendo exibido um semáforo na parte inferior de cada nó [44].

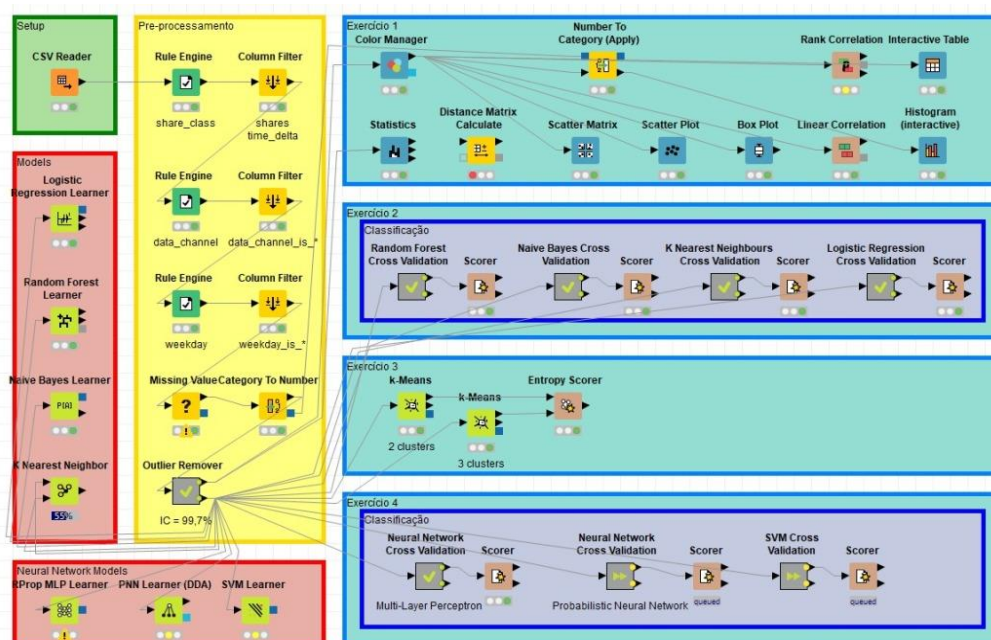


Figura 34- Recorte do ambiente de trabalho no KNIME [45]

A plataforma é composta por vários módulos, de onde se destacam os o KNIME *Analytics Platform* e o KNIME *Server*.

Começando pelo KNIME *Server*, é o modulo de configuração do KNIME. Nele é possível ter acesso a todos os *workflows* da plataforma e integrá-los numa arquitetura orientada a serviços caso seja necessário. São ainda disponibilizadas várias *features* que incluem autenticação e direitos de utilizador, execução remota ou agendável, geração de relatórios, acesso do portal *web* aos *workflows*, serviços *web*, *workflow versioning*, repositório de *workflow* partilhado, espaço de dados partilhado, *meta nodes* partilhados, acordo de suporte proprietário e *update* de produtos prioritários [43].

Quanto ao KNIME *Analytics Platform* é o produto da plataforma responsável pelo pré-processamento, limpeza, modelação, análise e *data mining*. Incorpora ainda centenas de *nodes* de processamento para dados I/O e vários tipos de visualizações interativas como gráficos de dispersão, coordenadas, paralelas e outros [43].

### 3.7.2. Orange

Orange é um software *open source* de análise de dados que permite criar todo fluxo de trabalho de um projeto de *data mining*, sem necessidade de código, desenvolvido no laboratório de bioinformática na Faculdade de Ciência da Computação e Tecnologias da Universidade de Ljubljana, na Eslovénia [46].

A primeira versão da plataforma surgiu em 1996, com a designação de ML\*, e tinha por base uma *framework* de *machine learning* com base em C++. Até aos dias de hoje têm surgido algumas alterações de forma a melhorar a capacidade e desempenho da plataforma, onde foram adicionadas ligações da linguagem *Python* [43].

O Orange vem equipado com vários tipos de visualizações, desde gráficos de dispersão, barras, árvores, dendrogramas, *networks* e até mapas sensoriais. É uma ferramenta que escolhe de forma inteligente que tipo de canais de comunicação a usar. As ações propagam-se facilmente através de esquemas de análise de dados. Devido à boa extensibilidade, é possível desenvolver os próprios *widgets*, e estender a interface de *scripting*, ou ainda criar o próprio contentor de *add-ons*, tudo de forma integrada com a restante aplicação, permitindo a reutilização de código e componentes [43].

A Figura 35 apresenta o ambiente de trabalho da ferramenta Orange.

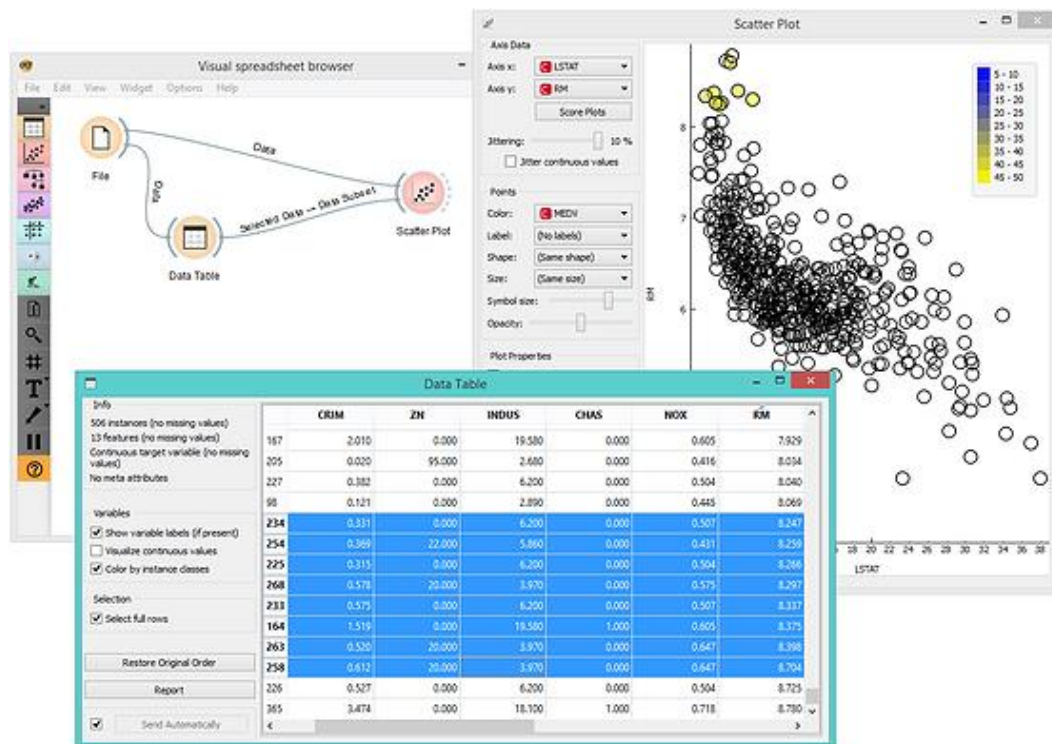


Figura 35- Workflow da ferramenta Orange [47]

### 3.7.3. RapidMiner

O RapidMiner® foi desenvolvido pela Unidade de Inteligência Artificial da Universidade de Dortmund, é uma ferramenta que tem o propósito de fornecer soluções e serviços na área de análise avançada. Trabalha com grandes quantidades de dados, mais especificamente com operações de *data mining* e procedimentos de *Machine Learning* como carregamento, transformação e pré-processamento de dados, visualização, análise preditiva e modelação estatística. Conta com 3 módulos associados [43]:

- *RapidMiner GO*®: é um produto comercial, de utilização online que permite de uma forma rápida e simples da análise dos dados, inclinado para a projeção de analistas de negócios, permite guiar de uma forma rápida utilizando o processo de avaliação dos dados e usá-los para obter previsões [19];
- *RapidMiner AI Hub*®: é um ambiente do tipo servidor que possibilita a análise preditiva com obtenção de resultados em tempo real, integração de outras ferramentas, algoritmos e fontes de dados [19];
- *RapidMiner Studio*®: dispõe de uma interface de utilização intuitivo, para desenhar os processos de análise. Um ambiente visual fácil de usar permite que se reconheçam erros,

aplicação de correções e visualização de resultados rápidos, sem necessidade de recorrer a código [43].

A Figura 36 apresenta o ambiente de trabalho do *RapidMiner Studio*®.

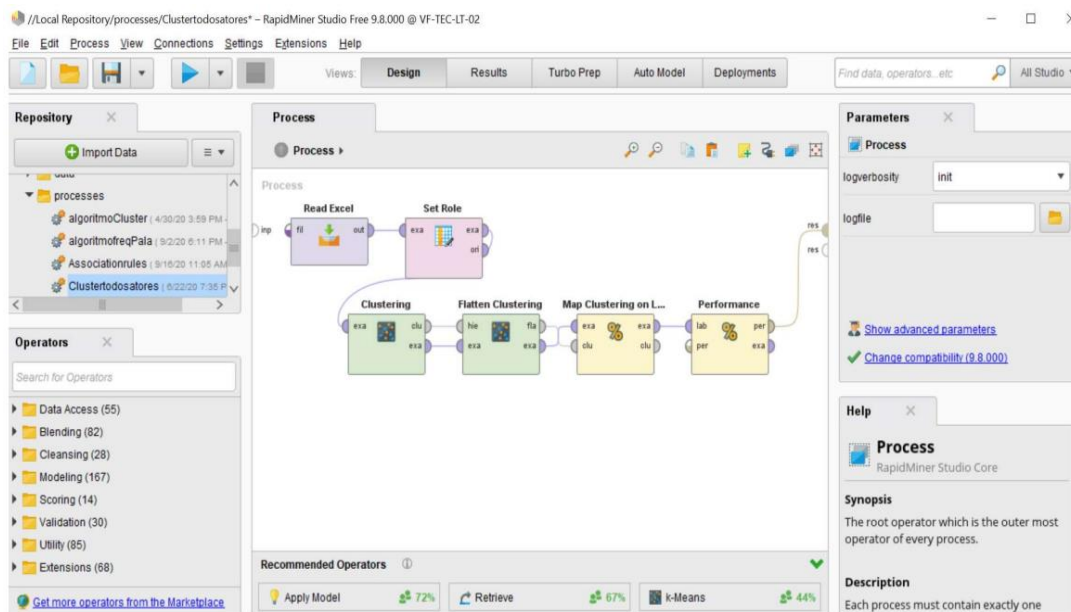


Figura 36- *Workflow* do *RapidMiner Studio*® [19]

### 3.7.4. WEKA

O *WEKA*® é o acrônimo de *Waikato Environment for Knowledge Analysis*. Consiste num *software* livre (distribuído sob os termos da *GNU General Public License*) desenvolvida e escrito em linguagem *Java*®, pela Universidade de *Waikato* na Nova Zelândia, no qual disponibiliza diversos algoritmos de aprendizagem máquina. O *WEKA* tem um ambiente de trabalho apelativo e é utilizado por uma grande comunidade, dispondo de diversos conteúdos documentais para o auxílio na aprendizagem e utilização do programa [33].

Uma das interfaces de utilizador mais utilizados é o *Explorer*, que é composto por seis painéis com as respetivas funções [35]:

- *Preprocess*: aceder, analisar, visualizar e aplicar transformações nos dados;
- *Classify*: aplicar e avaliar algoritmos de classificação ou regressão sobre o *dataset* selecionado no *Preprocess*;
- *Cluster* e *Associate*: aplicar e avaliar algoritmos de agrupamento ou associação, respetivamente, sobre conjunto de dados disponível no painel *Preprocess*;
- *Select attributes*: aplicar e avaliar técnicas de identificação de importância de atributos;

- **Visualize:** permite visualizar um *scatter plot* dos atributos do *dataset*;

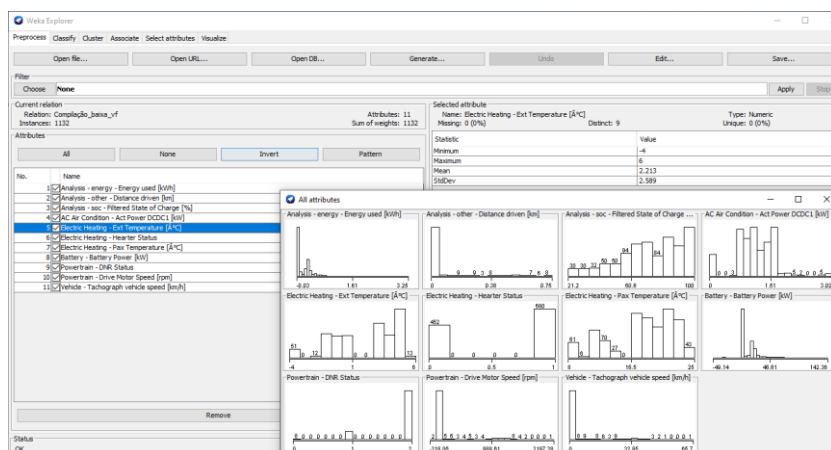


Figura 37- Exemplo do ambiente de trabalho do WEKA

Em paralelo com a funcionalidade *Explorer*, a interface *Experimenter* pode ser utilizada para a comparação de resultados obtidos entre os diferentes algoritmos. Apesar de ser menos requerida, a avaliação de resultados pode ser feita com mais facilidade através do *Experimenter*.

O WEKA<sup>®</sup> dispõe de diversos tipos de formatos de armazenamento de dados, como JSON, CSV e ARFF. No entanto, os dados devem ser previamente tratados de forma a cumprir com os parâmetros de entrada (dados de colunas transpostos em texto), sob pena de não serem reconhecidos pelo programa. A Figura 38 ilustra o processo de forma simplificada.

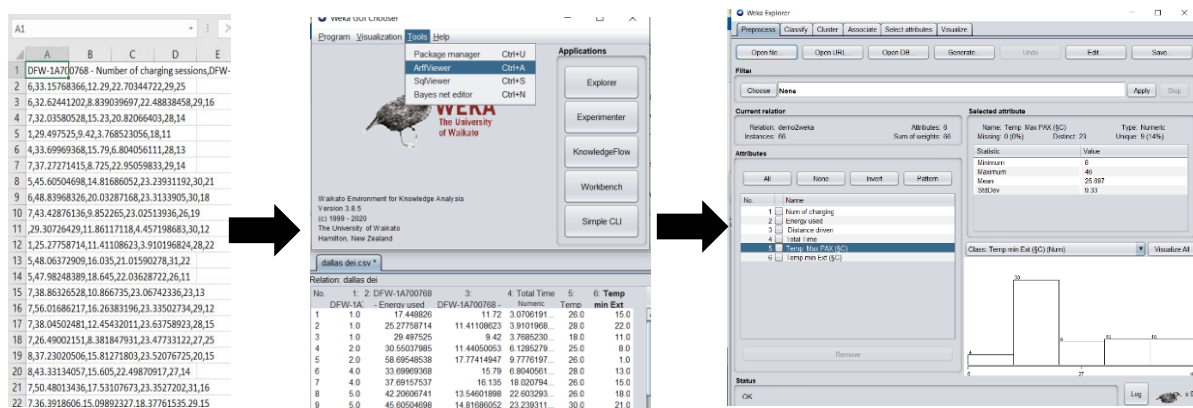


Figura 38- Processo simplificado da inserção dos dados no WEKA

Antes dos dados serem carregados no WEKA, passam por um processo de tratamento, onde os dados de entrada têm de ser escritos como texto, separados por “;”, como se pode ver na primeira imagem da esquerda (ainda com formato CSV). Após realizar este processo, os dados podem ser pré visualizados, como apresenta a imagem do centro. Findado o processo podemos iniciar a análise com o ambiente de trabalho da imagem da direita.

### 3.7.5. Análise comparativa das ferramentas

Com base nas ferramentas de análise abordadas nos subcapítulos anteriores e um breve estudo podemos verificar que, com a exceção da ferramenta Orange, que utiliza a linguagem de desenvolvimento C++ e *Python*, as restantes (KNIME, RapidMiner e WEKA) são desenvolvidas em Java. Em termos de funcionalidades e características, ambas possuem as mesmas componentes implementadas, apesar de serem exibidas de formas parcialmente diferentes.

Das quatro ferramentas em análise, todas possuem uma licença do tipo GPL, exceto o RapidMiner que utiliza AGPL. Quanto aos anos de desenvolvimento podemos referir que as ferramentas mais recentes são o RapidMiner e KNIME, 2001 e 2004 respetivamente, contudo o Orange e WEKA apresentam um nível de maturidade maior tendo sido desenvolvido em 1996 e 1993 respetivamente. No que diz respeito aos formatos de ficheiros de armazenamento de dados, apenas os formatos .ARFF e .CSV são compatíveis com todas as ferramentas.

Relativamente a funcionalidades de *pré-processamento de dados*, todas as ferramentas integram a sua maioria, desde medidas de dispersão de dados e tendência para a subdivisão de Estatística. Nas tarefas de limpeza, ambas as ferramentas incluem a deteção de *outliers*, filtros, ordenação, substituição e preenchimento (exceto o KNIME). No que toca à visualização de dados, estão incluídos gráficos, tabelas e texto para as quatro ferramentas. Quanto à funcionalidade de transformação e redução de dados, a seleção de atributos, discretização e a funcionalidade de fundir estão incluídas [43].

No que concerne à utilização de algoritmos, todas as ferramentas suportam um determinado tipo algoritmo, sejam eles de associação, classificação ou regressão. Ainda assim é importante referir que o WEKA é a ferramenta com maior número de algoritmos de classificação, regressão e *clustering* [43].

O KNIME disponibiliza uma API modular, facilmente extensível, com sistema de *plugins*, e inclui os principais algoritmos de *data mining*. É orientada para utilizadores com necessidades específicas, na medida em que disponibiliza extensões para âmbitos particulares como é o caso da indústria química. De acordo com o estudo feito por Tânia Gomes na sua dissertação [43], em comparação com outras ferramentas, nas tarefas de regressão e classificação os resultados obtidos pelo KNINE são muito equilibrados, e nas tarefas *clustering* são equilibrados.

O Orange está direcionado para o público que já tem alguns conhecimentos na área de programação e *data mining*. Quanto à integração com os algoritmos apresenta um desenvolvimento progressivo. A análise de dados e os resultados produzidos são obtidos com rapidez, para as diferentes tarefas.

O RapidMiner, para empresas é uma solução muito sólida e atual, tornando-se ideal para um projeto realizado nos dias de hoje. Porém, apresenta uma curva de aprendizagem mais acentuada que as restantes ferramentas, podendo ser superada com a documentação disponibilizada. A ferramenta fornece mais passos de análise (*operators*) permitindo a possibilidade de combinar diferentes resultados. Está direcionada para os desenvolvedores dispostos a despendar tempo e aplicar técnicas de *data mining*. Comparativamente com outras ferramentas, os algoritmos executados no RapidMiner foram otimizados para que se torne mais rápido no fornecimento de resultados [48]. Durante a criação de *flows*, o *Editor* sugere alterações quando uma das partes da análise está incorreta. Em termos de visualização apresenta um bom desempenho durante todas as fases da análise, tornando os processos mais fluidos [49].

O WEKA é uma ferramenta intuitiva que devido à longevidade (quando comparada com as restantes soluções) apresenta maior maturidade, e quantidade de algoritmos. Na análise de problemas, torna acessível a comparação de diferentes algoritmos, bem como os seus resultados. O ambiente de trabalho é apelativo, tanto na preparação dos dados de entrada como na visualização dos resultados obtidos, processos e avaliação de resultados.

Depois da abordagem às ferramentas de suporte à análise de dados, a ferramenta de análise/otimização escolhida é o WEKA, devido à sua versatilidade, maturidade e quantidade de algoritmos disponíveis.



#### **4. Metodologia de Análise – modelo e.Cobus**

As unidades e.Cobus operam em diversos aeroportos de todo mundo, sujeitos às mais diversas condições climáticas, como as baixas temperaturas do norte da Alemanha em Düsseldorf, ou as temperaturas quentes de Dallas, nos Estados Unidos da América.

Com base no conhecimento adquirido pela Cobus e CaetanoBus ao longo de mais de 30 anos, tanto nos equipamentos instalados, como no sistema de tração elétrico, o banco de baterias deveria ter uma capacidade instalada de energia na ordem dos 90 kWh. Em função da geometria e oferta de mercado, a primeira versão de baterias surgiu com 86 kWh que posteriormente passou para 99 kWh disposta em dois grupos localizados no tejadilho [14].

Devido às particularidades de alguns aeroportos, não só relacionados com os opcionais que alguns clientes pretendem incluir nas unidades, mas também relacionados com os sistemas de climatização mais potentes que garantem o conforto e a comodidade dos passageiros em aeroportos com climas mais agrestes, surgiu a possibilidade de aplicar um banco de baterias com maior capacidade de armazenamento: 126 kWh, divididos em três grupos de baterias. Embora os bancos de baterias cumpram as necessidades exigidas pelas cargas, em determinadas circunstâncias o banco de baterias pode estar sobredimensionado correspondendo num acréscimo do custo do sistema como um todo e na sua operação (peso, volume, consumo).

No presente capítulo desta dissertação serão recolhidos, tratados e analisados os dados provenientes dos consumos das unidades de estudo, bem como as metodologias adotadas, para cumprir o objetivo principal desta dissertação: a otimização do banco de baterias para cada caso de estudo.

#### 4.1. Aquisição de Dados

O objetivo de otimizar a capacidade de energia de um banco de baterias de um autocarro elétrico modelo e.Cobus depende de vários fatores, nomeadamente das próprias características técnicas do sistema de armazenamento de energia. Quanto maior for o banco de baterias, maior será o peso e o custo do autocarro como conjunto. Como um autocarro de aeroporto transporta mais passageiros do que um autocarro urbano, o desafio centra-se em manter o embarque do maior número de pessoas, conseguindo reduzir o banco de baterias indo ao encontro do objetivo.

Das unidades e.Cobus que se encontram em operação, alguns dos autocarros são dotados com um *datalogger* (representado na Figura 39) interligado a uma plataforma de telemetria capaz de fornecer informações sobre o estado das unidades em tempo-real e armazenando os dados em *cloud*.

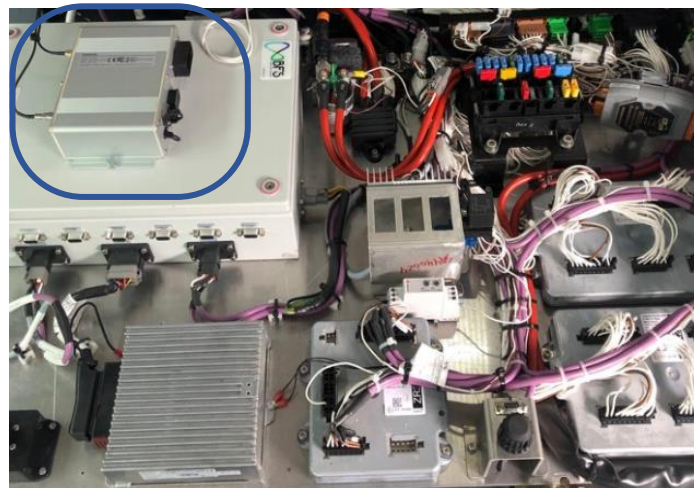


Figura 39- *Datalogger* instalado no quadro elétrico do e.Cobus

Na página principal da plataforma (Figura 40), o utilizador autorizado pode visualizar onde se encontram as unidades que pretende inspecionar. Após selecionar a unidade pretendida, são apresentados alguns dados alusivos à última rota efetuada pelo veículo.

Estes dados, expostos de forma clara, mostram informações como distância percorrida, velocidade média, energia despendida, energia regenerada, tempo de condução<sup>1</sup>, tempo de serviço<sup>2</sup>, entre outros.

<sup>1</sup> Tempo de condução corresponde ao tempo medido com a unidade em movimento, ato efetivo da condução;

<sup>2</sup> Tempo de serviço corresponde ao tempo medido da unidade ligada (“Power train ON”).

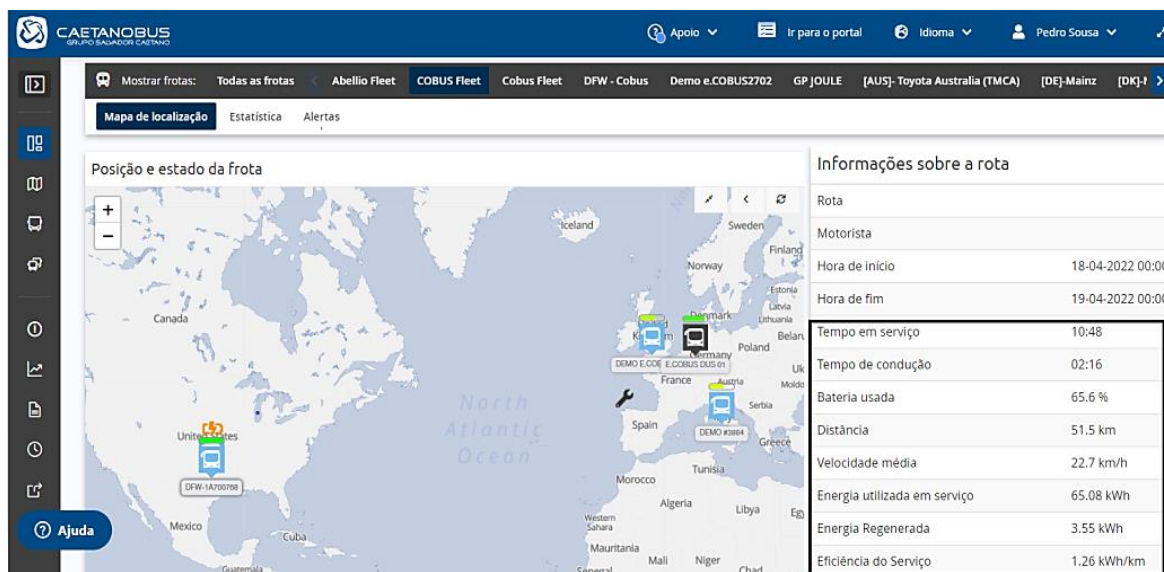


Figura 40 -Painel principal da plataforma de telemetria (fonte: plataforma de telemetria)

Como referido anteriormente, os autocarros de aeroporto operam com o propósito de transportarem os passageiros entre o avião e o terminal do aeroporto, e vice-versa. Nestes percursos devem garantir todas as condições de conforto exigidas; para tal o autocarro deverá dispendar energia elétrica para as cargas necessárias.

Após selecionar o painel de “Análise” podemos aceder a um conjunto de parâmetros predispostos sobre os veículos dotados com o *datalogger*. Ao escolher o veículo a analisar podemos inserir um período temporal específico para analisar o comportamento do veículo nesse período de tempo.

De forma a compreender a dinâmica da plataforma de telemetria, é apresentado um breve exemplo, da unidade e.Cobus que se encontra no aeroporto de Dusseldorf onde podemos extrair algumas informações permitindo interpretar melhor os dados futuros. A Figura 41 corresponde a um *trace*<sup>3</sup> do dia 12 de agosto de 2021 entre as 10:19h e as 13:36 h e de uma das unidades em estudo com alguns parâmetros selecionados.

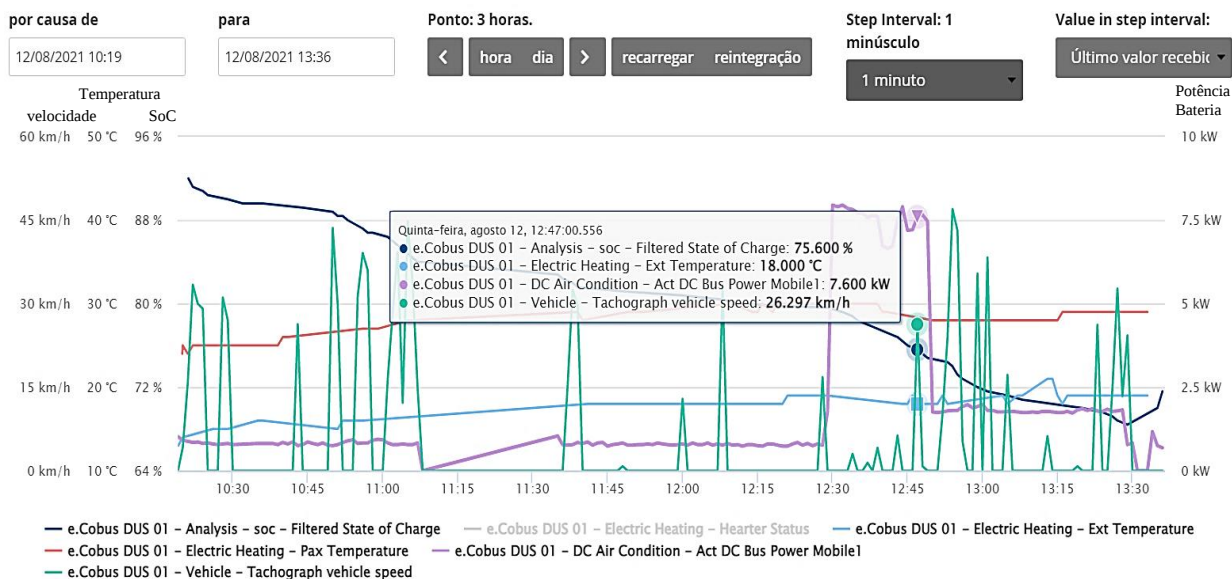


Figura 41 – Recorte de operação da plataforma de telemetria (fonte: plataforma de telemetria)

No registo temporal de 3 horas podemos ver 5 linhas com cores<sup>4</sup> e características diferentes:

- Azul-escuro: “*Filtered State of Charge*” - representa a percentagem da carga da bateria ao longo do tempo; com o veículo em operação este registo é decrescente;
- Verde: “*Tachograph vehicle speed*”- velocidade do veículo registada pelo tacógrafo;
- Violeta: “*Air Condition-Act DC Bus Mobile1*”- corresponde à potência elétrica fornecida para a unidade de Ar condicionado;

3 trace- Registo de um período temporal;

4 O programa de telemetria atribui as cores momentaneamente, não sendo fixas de trace para trace.

- Laranja: “*Pax Temperature*”- Temperatura no interior do compartimento dos passageiros, a medida é apresentada em °C (graus Celsius);
- Azul-Claro- “*Ext Temperature*”-Temperatura no exterior do autocarro, a medida é apresentada em °C (graus Celsius);

Verificamos que a unidade iniciou a operação com aproximadamente 92% de bateria e terminou com 68% (após 3 horas e 17 minutos). Durante a operação a temperatura no compartimento dos passageiros variou entre os 24 e os 30°C, já no exterior foi entre os 13 e os 21°C. Durante este percurso, o ar condicionado foi ligado e conseguimos ver a alteração da potência do compressor do AC através da variação da linha violeta. Pode-se ainda inferir que o veículo se locomoveu sempre a uma velocidade inferior a 50 km/h.

A plataforma de telemetria foi desenvolvida para diversos tipos de autocarros, particularmente para os que operam em percursos urbanos. Desta forma, algumas das variáveis a analisar serão sujeitas a um tratamento de forma que possam ser consideradas no contexto desta dissertação.

## 4.2. Variáveis de seleção

Nos subcapítulos seguintes serão descritas as variáveis que podemos retirar da plataforma de telemetria. Nem todas as variáveis recolhidas são numéricas (contínuas), sendo algumas categóricas e contendo informação sobre o estado do seletor de velocidade em que se encontra a unidade ( 0 - Ponto morto; 1 - Drive; 2 - Reverse), estado de carga de bateria (carga/descarga) sob a forma de percentagem, ou mesmo a velocidade a que circula o veículo em quilómetros por hora. Por exemplo no caso do sistema de aquecimento, categoricamente quando está ligado está representado por 1 e desligado 0, já no caso do sistema de arrefecimento é possível visualizar a potência que o inversor debita em kW para o motor-compressor do ar condicionado.

- Energia de Condução (*Energy driven*):

Energia total consumida em kWh durante o exercício da condução.

$$\text{Energia de condução} = \text{energia consumida condução} - \text{energia regenerada}$$

- Energia em ponto morto (*Energy idled*):

Energia consumida pelo veículo em ponto morto medida em kWh.

- Energia utilizada em serviço (*Energy used in service*):

Energia total consumida em kWh pelo veículo no exercício da condução, e em ponto morto pelo período inferior a 10 minutos.

$$\text{Energia utilizada em serviço} = \text{energia de condução} + \text{energia ponto morto} < 10 \text{ minutos}$$

Os autores da plataforma de telemetria desenvolveram esta variável com preferência nas rotas dos veículos urbanos, dado que este tipo de veículos tem um modo de operação “para-arranca” devido aos trajetos com paragens frequentes para receber/largar os passageiros.

- Energia utilizada fora de serviço (*Energy used not in service*):

A Energia fora de serviço engloba toda a energia que o veículo consumiu após estar 10 minutos em ponto morto. Para os autocarros de aeroporto esta variável tem relevo, na medida em que as unidades passam muito tempo ligadas com os sistemas auxiliares conectados, enquanto aguardam pelos passageiros (na pista ou nas portas de embarque).

- Energia regenerada (*Energy regenerated driving*):

Energia regenerada pelo veículo no exercício da condução medida em kWh.

- Energia utilizada (*Energy used*):

O parâmetro Energia Utilizada (medido em kWh) corresponde à adição da Energia Utilizada em Serviço com a Energia Utilizada Fora de Serviço. A Figura 42 ilustra a forma como a plataforma de telemetria tem dispostas as “Energias”.

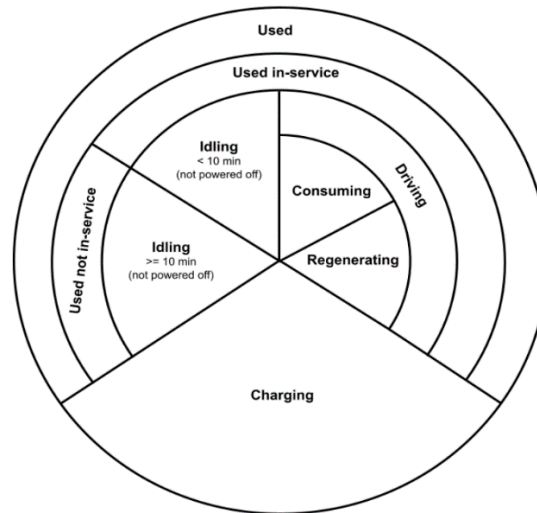


Figura 42- Diagrama de Agregação das formas de Energia (fonte: plataforma de telemetria)

- Distância percorrida (*Distance driven*):

Distância registada durante um período de tempo selecionado; pode ser lida em quilómetros ou milhas. Este parâmetro pode ser selecionado desde o início de operação da unidade ou para um período muito preciso como um dia de trabalho.

- Estado de Carga (SoC *State of charge*):

Regista a percentagem do estado de carga da bateria do período de operação selecionado. Com a unidade em operação, a percentagem tem sentido decrescente; em modo de carregamento, o sentido do estado da carga é crescente.

- Número de carregamentos (*Number of charging*):

Número de sessões de carregamento durante o período de tempo selecionado.

- Potência do Inversor do Ar Condicionado (*DC Air Condition-Act DC Power*):

Regista a potência instantânea a montante do inversor do sistema de ar condicionado.

- Potência da Bateria (*Battery Power*):

Regista a potência que a bateria debita para as cargas.

- Tempo de carregamento (*Time charging*):

Período de tempo em que a unidade esteve em carregamento no *trace* selecionado. Por exemplo se selecionarmos um período de 24 horas e a unidade esteve em carregamento em

duas sessões separadas de 60 minutos. A plataforma de telemetria irá indicar que para o período selecionado o tempo de carregamento totalizou 2 (ou seja, 2h = 60 min x 2).

- Tempo de condução (*Time driving*):

Período de tempo (em horas) em que a unidade esteve a operar no exercício de condução .

- Tempo de Serviço (*Time in service*):

Período de tempo (em horas) em que o veículo esteve no exercício de condução e/ou período de tempo em que o veículo esteve em ponto morto até 10 minutos (0.167 horas)

- Tempo fora de Serviço (*Time in service*):

Período de tempo (em horas) em que o veículo esteve em ponto morto acima de 10 minutos (0.167 horas).

- Tempo total (*Total Time*):

Soma dos tempos (em horas) em serviço e fora de serviço.

- Temperatura Exterior (*Exterior Temperature*):

Registo o valor da temperatura no exterior do veículo (em °C).

- Temperatura Compartimento Passageiros (*Pax Temperature*):

Registo do valor da temperatura no compartimento dos passageiros do veículo (em °C).

### 4.3. Unidades em Estudo

Para abranger um maior registo temporal e condições de funcionamento, com diferentes perfis climatéricos, foram selecionadas 4 unidades e.Cobus para estudo. Assim como os veículos rodoviários possuem uma matrícula, na CaetanoBus todos os veículos dispõem de um código interno que distingue o veículo, esta nomenclatura é designado de *pep* iniciando com um “F” seguido do ano de produção (como mostra a Figura 43). No presente subcapítulo serão descritas e caracterizadas as unidades do caso de estudo.

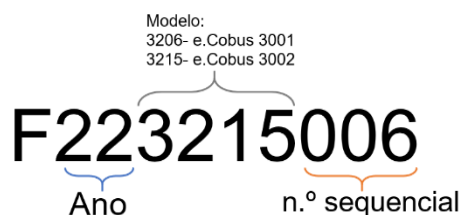


Figura 43- Explicação do termo *pep*

#### 4.3.1. e.Cobus 3001 (*Demonstration Unit*)- F183206006

A unidade F183206006 trata-se de um veículo de demonstração cedido temporariamente pela Cobus Industries aos operadores de aeroportos para experimentação. A recolha de dados de consumos energéticos foi feita com base no seguinte período de operação:

- 03/11/2020-22/11/2020- Berlin-*Schönefeld Airport*;
- 17/08/2021-12/10/2021- Sevilha- *San Pablo Airport*;
- 27/10/2021-23/11/2021- Paris- *Charles de Gaulle Airport*;
- 11/12/2021-22/12/2021-Lisboa – *Aeroporto Humberto Delgado*;
- 05/04/2022-07/04/2022- Leipzig- *Halle Airport*

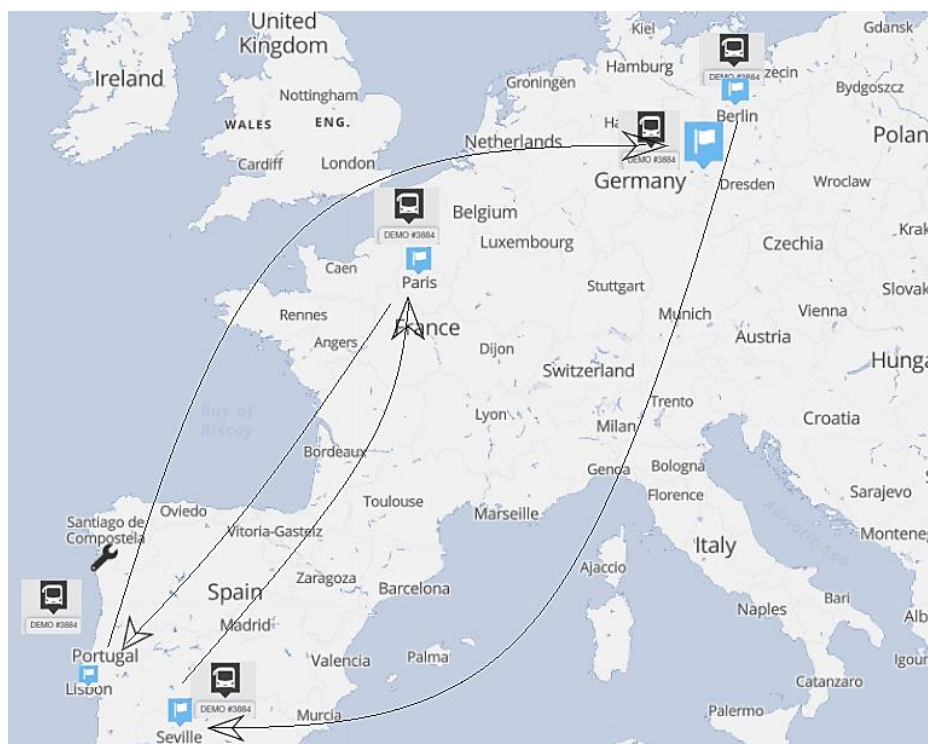


Figura 44- Cronologia Geográfica da unidade F183206006 fonte: plataforma de telemetria

A Figura 44 apresenta a cronologia da unidade F183206006.

O estudo energético deste tipo de unidades permite compreender como operam os diferentes operadores com o mesmo veículo.

#### 4.3.2. e.Cobus 3001 (Düsseldorf Airport)- F193206008

A unidade F193206008 opera permanentemente no aeroporto de Düsseldorf, no norte de Alemanha. Devido às condições climáticas que predominam na região, esta unidade foi selecionada para estudo.

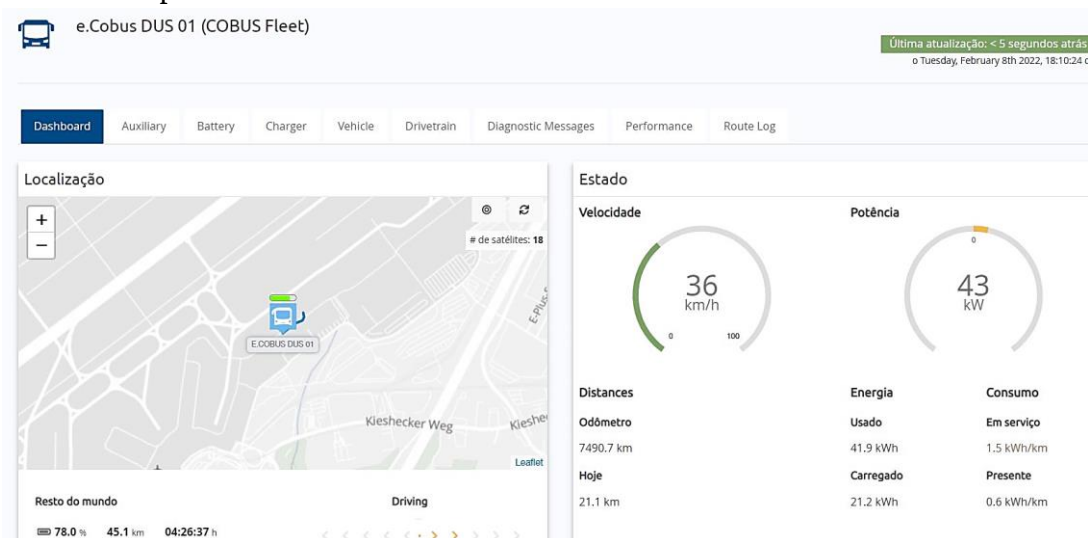


Figura 45- e.Cobus F193206008 em operação (fonte: plataforma de telemetria)

#### 4.3.3. e.Cobus 3002 (Dallas Airport) - F213215001/02

No aeroporto de Dallas encontram-se 4 unidades e.Cobus 3002 em operação. Para análise foram consideradas as duas unidades que apresentam mais dados de operação registrados. Dado que na plataforma de telemetria existe mais do que uma unidade registrada, neste aeroporto em particular, para além o elemento de identificação pep, existe outro dado de identificação do veículo em questão. As unidades em estudo do aeroporto de Dallas são:

- F213215001- DFW-1A 700 768
- F213215002- DFW-1A 700 766

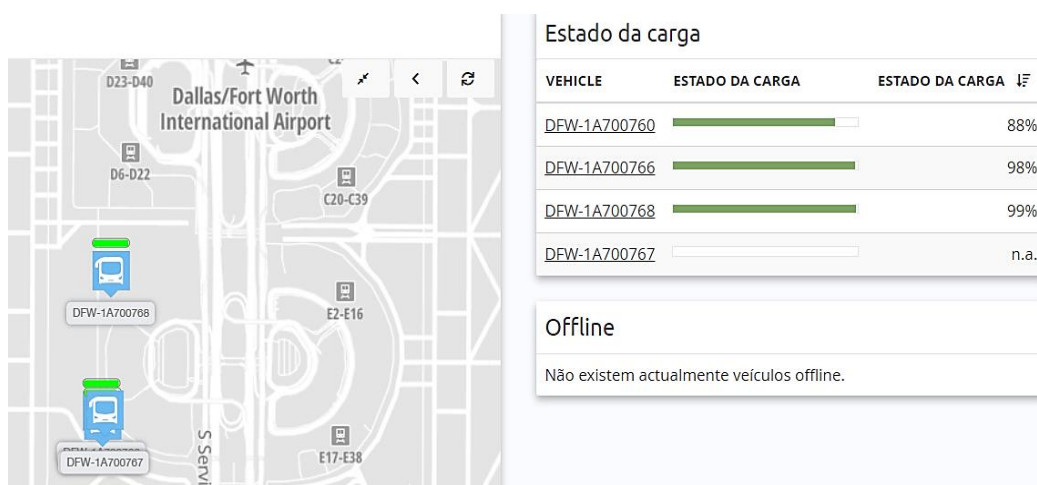


Figura 46- unidades e.Cobus 3002 no aeroporto de Dallas (Fonte: plataforma de telemetria)

#### 4.3.4. e.Cobus 3002 (Test Unit-Dubai)- F213215004

A unidade F213215004 trata-se de uma unidade e.Cobus 3002 a realizar testes no aeroporto do Dubai. A Figura 47 apresenta um excerto de 3 horas de operação no aeroporto do Dubai.

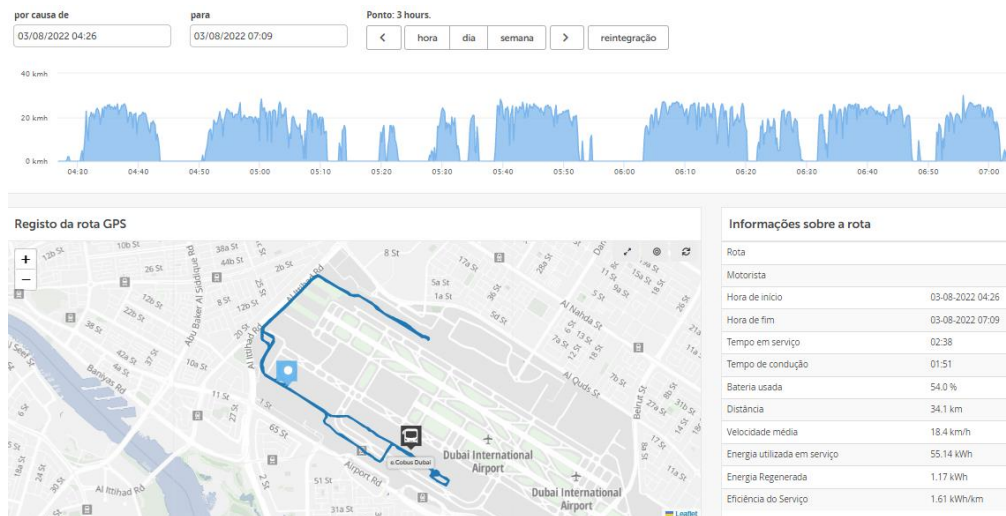


Figura 47- e.Cobus 3002 Test Unit no aeroporto do Dubai (Fonte: plataforma de telemetria)

### 4.4. Análise de dados

#### 4.4.1. Análise de dados - Cargas e Potencias

No presente subcapítulo, serão analisados e recolhidos os dados de operação e consumos energéticos das unidades. Torna-se importante referir que as unidades e.Cobus são caracterizadas por serem produzidas com particularidades únicas para cada cliente. Porém, nas unidades em estudo as potências das cargas do sistema de tração e aquecimento são idênticas. Relativamente aos sistemas auxiliares como ar condicionado ou sistemas de cliente como apoio à informação de passageiros são selecionados com base no local onde as unidades vão operar. Na Figura 48 encontram-se representados os dispositivos que apresentam maior impacto no consumo da unidade.



Figura 48- Diagrama representativo dos principais componentes (fonte: autoria própria)

As unidades e.Cobus 3001 F183206006 e F193206002 são dotadas de um sistema AVAC totalmente elétrico, controlado manualmente pelo condutor. Nas unidades F213215001, 02 e 04 a gestão da climatização no compartimento dos passageiros é feita de forma automática. Na Tabela 3 encontram-se representados os sistemas AVAC integrados nas unidades bem como algumas características técnicas.

Tabela 3- Sistema AVAC nas unidades e.Cobus em estudo

|                       | F183206006                                                                                            | F193206008                                                                                             | F213215001/02                                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema Aquecimento   |                      |                                                                                                        |                        |
|                       | Resistência de Aquecimento (max. 20kW @690VDC)<br>Convetores salão (max. combinado 1,4kW@28VDC)       |                                                                                                        | Resistência de Aquecimento (max. 20kW @690VDC)                                                            |
| Sistema Arrefecimento | <br>TK Athenia E 960 | <br>TK Athenia E 700 | <br>Eb 353-5 + 2 comp. |
|                       | Blowers:<br>Compressor:                                                                               | 2,67kW@27VDC<br>3,6kW@260-460VAC                                                                       | 2,19kW@27VDC<br>3,6kW@260-460VAC                                                                          |
|                       |                                                                                                       |                                                                                                        | 2,88kW@26,5VDC<br>2x 6.1kW@380/400VAC                                                                     |

No modelo e.Cobus 3001, o motorista ativa o sistema de aquecimento através de interruptores ON-OFF. Para ativar o sistema de arrefecimento, o condutor liga a unidade de controlo e introduz a temperatura pretendida para o conforto, tendo a possibilidade de ajustar a velocidade da ventilação.

No modelo e.Cobus 3002, com sistemas AVAC tecnologicamente mais avançados (com mais detalhe no Anexo A), a unidade de controlo tem a função “AUTO” e o condutor não necessita de ter qualquer intervenção, quer no aquecimento, quer no arrefecimento. A unidade de ar condicionado monitoriza a temperatura através de sensores, e quando são atingidos os *setpoints* previamente definidos, os sistemas são ativados/desativados automaticamente. A Figura 49 seguinte ilustra o processo.

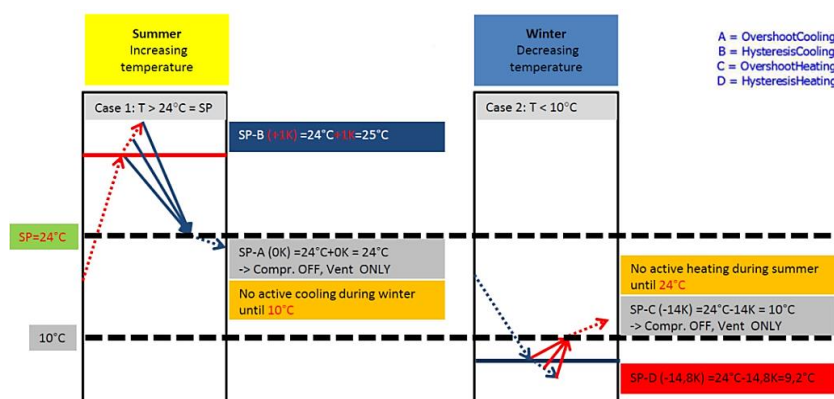


Figura 49- Diagrama ativação automatizada sistema AVAC através de *setpoints* [50]

Através da plataforma de telemetria, iniciou-se a análise observando as 4 unidades em estudo em regimes de operação diferentes. Como se verifica na Figura 50, no dia 18 de novembro de 2021 a unidade F193206008 iniciou a sua atividade no aeroporto de Düsseldorf com 96% de percentagem de carga da bateria (linha verde). Não iniciou logo a atividade de condução pois a velocidade do veículo manteve-se nula por alguns minutos (linha vermelha). Com uma temperatura exterior de  $-1^{\circ}\text{C}$  (linha preta) e temperatura interior de  $13^{\circ}\text{C}$  (linha azul-escura), torna-se necessário aquecer o compartimento dos passageiros (linha azul-claro), garantido o conforto exigido.



Figura 50- Análise de parâmetros de um período de operação e.Cobus F193206008 (fonte: plataforma de telemetria)

Com o aquecimento ligado (linha azul-clara no estado1), observa-se uma subida do valor da temperatura interior no compartimento dos passageiros (linha azul-escura) e uma alteração no valor da potência debitada pela bateria (linha violeta). Constatou-se que em vários momentos do período temporal, não houve alteração na deslocação do veículo através da variação da velocidade, no entanto, houve alteração de potência debitada pela bateria devido à carga elétrica imposta pelo sistema de aquecimento, como se pode verificar nas zonas circundantes a azul-claro. Com isto observa-se que o sistema de aquecimento representa uma carga com expressão no que toca a potência debitada pela bateria na ordem dos 20 kW, não só quando o veículo se encontra em movimento, mas também quando está parado.

Observando agora a unidade F183206006, que no dia 20 de setembro de 2021 (Figura 51) operava no aeroporto San Pablo em Sevilha, pelas 16h o termómetro marcava  $43^{\circ}\text{C}$  (linha preta) dentro do compartimento dos passageiros e  $38^{\circ}\text{C}$  no exterior (linha violeta). O motorista ligou o ar condicionado e, como podemos observar através da linha vermelha que representa a potência de operação do inversor para a alimentação das cargas da unidade ar condicionado, o valor da potência ascende e gradualmente é visível o valor da temperatura

do compartimento dos passageiros a baixar. Durante este período de tempo, a unidade deslocou-se, como é possível ver através da linha azul-claro que corresponde à velocidade do veículo. Não obstante, houve períodos em que o veículo esteve imobilizado e o arrefecimento manteve-se ativo.

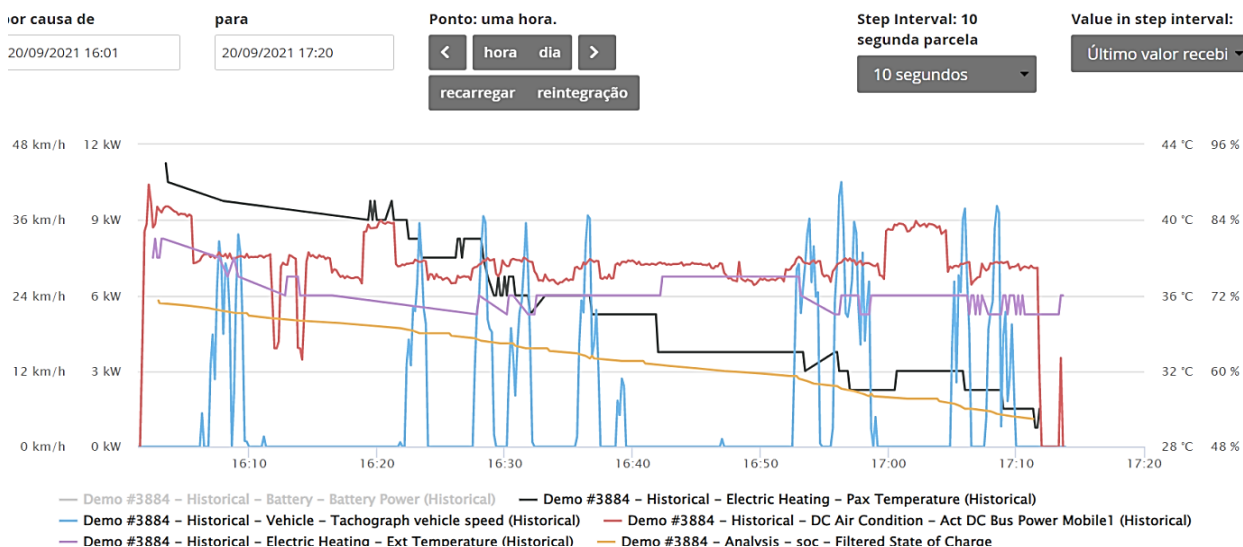


Figura 51- Análise de parâmetros de um período de operação e.Cobus F183206006 em Sevilha (fonte: plataforma de telemetria)

Examinando a Figura 52, a unidade F213215002 no aeroporto de Dallas, no dia 20 de janeiro de 2022, pelas 16:15h, a temperatura no exterior (linha preta) registava -1°C e no interior (linha azul-escura) 1°C, quando iniciou a operação, a potência debitada pela bateria ultrapassava os 20 kW (linha verde). Entre o período das 16:30-16:45 h e 17:45-18:45 h não houve movimentação da unidade (com velocidade nula, linha azul-clara), contudo o sistema AVAC manteve-se ligado, climatizando o compartimento dos passageiros.

Através destes excertos temporais, constatamos a afetação do sistema de climatização à disponibilidade de potência, por parte da bateria.

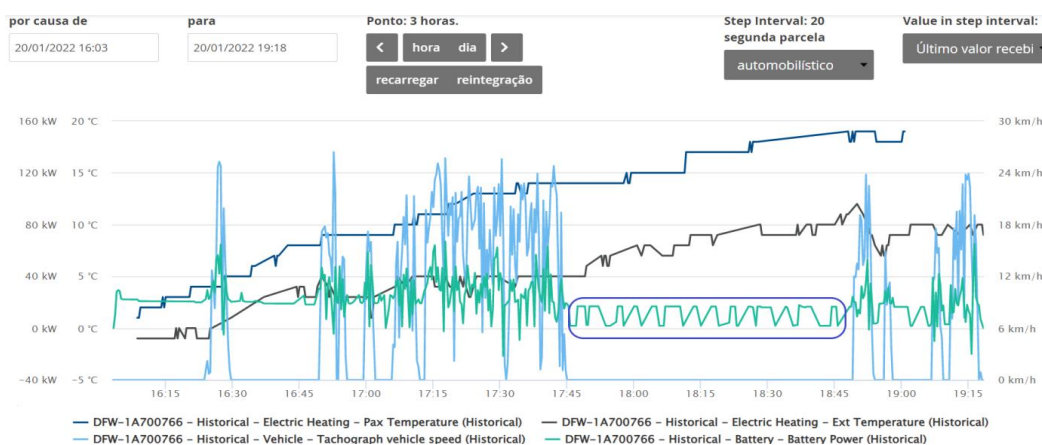


Figura 52- Análise de parâmetros de um período de operação e.Cobus F213215002 em Dallas (fonte: plataforma de telemetria)

#### 4.4.2. Análise de dados - Consumos energéticos - *dataset*

Após a observação pormenorizada das cargas sob a forma de potência ao longo de diferentes dias de operação, para proceder com a análise energética é necessário saber qual é a quantidade de energia que cada unidade despendeu para alimentar as cargas. Por conseguinte, foram selecionados os dias de operação com relevância, considerando os quilómetros percorridos, horas de operação (em serviço e fora de serviço), número de carregamentos e fatores climatéricos, como a temperatura no exterior e no interior dos veículos.

Foram recolhidos os dados da plataforma de telemetria, tratados e compilados em ficheiros formato .xlsx. estando disponíveis nos Anexos D, E, F e G. A Tabela 4 apresenta alguns dos dados recolhidos na unidade F193206008.

Tabela 4 – Excerto dos dados recolhidos da plataforma de telemetria da unidade F193206008

| Data       | Numb of charging sessions | Energy driven | Energy idled | Energy used in service | Energy used not in service | Energy used | Distance driven | Time charge | Time driving | Time in service | Time not in service | Total time | Eficiencia consumo kWh/h | Eficiencia consumo kWh/km | Temp min PAX (°C) | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) |
|------------|---------------------------|---------------|--------------|------------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-------------|--------------|-----------------|---------------------|------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 25/09/2020 | 1                         | 16,06177      | 2,946        | 16,905                 | 2,092                      | 19,01128    | 23,655          | 0,366       | 0,906        | 1,2438          | 1,5579              | 2,8017     | 6,786                    | 0,804                     | 19                | 23                | 5                 |
| 09/10/2020 | 1                         | 8,693         | 1,506        | 9,793                  | 0,404                      | 10,20216    | 9,205           | 0,111       | 0,3005       | 0,4513          | 0,0648              | 0,51604    | 19,770                   | 1,108                     | 14                | 18                | 5                 |
| 11/10/2020 | 1                         | 40,37322      | 28,949       | 60,982                 | 8,271                      | 69,33003    | 34,705          | 0,882       | 1,3261       | 3,4828          | 3,9209              | 7,40375    | 9,364                    | 1,998                     | 10                | 23                | -1                |
| 12/10/2020 | 2                         | 32,59228      | 35,426       | 51,229                 | 16,740                     | 68,02143    | 31,32           | 1,310       | 1,084        | 2,9584          | 4,2598              | 7,21816    | 9,424                    | 2,172                     | 15                | 23                | 1                 |
| 13/10/2020 | 2                         | 17,52213      | 36,142       | 20,674                 | 32,972                     | 53,66643    | 19,215          | 1,390       | 0,8013       | 1,8309          | 13,386              | 15,2172    | 3,527                    | 2,793                     | 10                | 28                | -1                |
| 14/10/2020 | 3                         | 31,84207      | 22,371       | 43,197                 | 10,976                     | 54,22091    | 32,88           | 1,185       | 1,4417       | 3,564           | 1,7846              | 5,34862    | 10,137                   | 1,649                     | 10                | 18                | -1                |
| 15/10/2020 |                           | 13,41517      | 4,635        | 16,784                 | 1,245                      | 18,05296    | 14,775          | 0,007       | 0,5927       | 1,6089          | 6,8941              | 8,503      | 2,123                    | 1,222                     | 11                | 14                | -1                |
| 16/10/2020 | 3                         | 30,79553      | 22,454       | 42,760                 | 10,452                     | 53,2535     | 28,485          | 1,225       | 1,2782       | 2,8277          | 1,2227              | 4,05036    | 13,148                   | 1,870                     | 10                | 18                | -1                |
| 18/10/2020 | 2                         | 26,89643      | 64,374       | 62,964                 | 28,221                     | 91,27799    | 17,075          | 1,983       | 0,8657       | 3,5732          | 2,5581              | 6,13131    | 14,887                   | 5,346                     | 9                 | 26                | -1                |
| 03/11/2020 | 1                         | 27,08529      | 16,112       | 33,666                 | 9,527                      | 43,19797    | 25,705          | 0,812       | 0,8843       | 1,7442          | 3,8823              | 5,62646    | 7,678                    | 1,681                     | 14                | 23                | 1                 |
| 11/11/2020 |                           | 13,94402      | 3,803        | 14,315                 | 3,421                      | 17,75523    | 15,61           |             | 0,528        | 0,7316          | 0,3177              | 1,04935    | 16,920                   | 1,137                     | 13                |                   | 1                 |
| 12/11/2020 | 1                         | 10,53567      | 9,499        | 19,666                 | 0,351                      | 20,03782    | 9,105           | 1,271       | 0,4458       | 1,6616          | 0,7088              | 2,37042    | 8,453                    | 2,201                     | 14                | 26                | 1                 |
| 15/11/2020 | 1                         | 23,45298      | 25,560       | 48,285                 | 0,704                      | 49,01546    | 20,05           | 2,036       | 0,7971       | 2,7753          | 1,0734              | 3,8487     | 12,736                   | 2,445                     | 13                | 22                | 1                 |
| 20/11/2020 | 1                         | 24,50238      | 15,826       | 38,731                 | 1,586                      | 40,33635    | 21,395          | 0,940       | 0,8093       | 2,2936          | 1,088               | 3,38157    | 11,928                   | 1,885                     | 8                 | 13                | -5                |
| 21/11/2020 | 1                         | 11,87535      | 18,570       | 29,361                 | 1,075                      | 30,45209    | 8,98            | 0,726       | 0,3316       | 1,8571          | 0,0958              | 1,95293    | 15,593                   | 3,391                     | 6                 | 15                | -5                |
| 23/11/2020 |                           | 6,59788       | 2,576        | 7,317                  | 1,851                      | 9,17621     | 6,21            |             | 0,2822       | 0,4956          | 0,1061              | 0,60167    | 15,251                   | 1,478                     | 8                 | 10                | -4                |
| 25/11/2020 | 1                         | 16,52051      | 36,332       | 39,428                 | 13,408                     | 52,86014    | 14,81           | 1,378       | 0,5771       | 2,8256          | 1,1241              | 3,94965    | 13,383                   | 3,569                     | 12                | 17                | -1                |
| 04/12/2020 | 2                         | 19,8909       | 17,052       | 34,500                 | 2,406                      | 36,94729    | 17,8            | 0,916       | 0,6469       | 3,039           | 1,3404              | 4,37944    | 8,437                    | 2,076                     | 10                | 13                | -4                |
| 05/12/2020 | 1                         | 18,12945      | 11,563       | 29,103                 | 0,569                      | 29,69588    | 16,35           | 1,138       | 0,5716       | 2,1144          | 0,0865              | 2,20095    | 13,492                   | 1,816                     | 8                 | 12                | -5                |
| 14/12/2020 | 1                         | 10,36013      | 5,161        | 11,842                 | 3,675                      | 15,52223    | 12,495          | 0,564       | 0,4677       | 2,0944          | 1,9789              | 4,0733     | 3,811                    | 1,242                     | 11                | 12                | 0                 |
| 12/01/2021 | 1                         | 14,67564      | 2,703        | 15,199                 | 2,163                      | 17,38623    | 12,55           | 0,578       | 0,4202       | 0,5241          | 0,1393              | 0,66341    | 26,208                   | 1,385                     | 7                 | 9                 | -5                |
| 13/01/2021 | 2                         | 23,68212      | 33,310       | 40,026                 | 16,935                     | 56,9999     | 16,45           | 1,548       | 0,593        | 1,4894          | 0,8659              | 2,35528    | 24,201                   | 3,465                     | 3                 | 18                | -9                |
| 03/02/2021 | 2                         | 38,90945      | 11,351       | 47,862                 | 2,385                      | 50,26432    | 39,93           | 1,521       | 2,4544       | 4,2108          | 0,6398              | 4,85058    | 10,363                   | 1,259                     | 10                | 14                | -1                |
| 05/02/2021 | 1                         | 18,76063      | 20,465       | 31,489                 | 7,706                      | 39,22811    | 16,175          | 0,629       | 0,5663       | 1,2681          | 1,6679              | 2,93598    | 13,361                   | 2,425                     | 11                | 19                | -1                |
| 06/02/2021 | 2                         | 27,42348      | 27,582       | 40,695                 | 14,271                     | 55,01315    | 18,77           | 1,167       | 0,6805       | 1,4638          | 2,0378              | 3,50163    | 15,710735                | 2,931                     | 8                 | 17                | -6                |
| 19/02/2021 | 2                         | 18,83494      | 15,509       | 28,511                 | 5,823                      | 34,34895    | 20,835          | 1,228       | 0,8218       | 2,0274          | 1,6775              | 3,70487    | 9,2712852                | 1,649                     | 11                | 21                | -1                |
| 20/02/2021 |                           | 14,0417       | 6,130        | 16,275                 | 3,888                      | 20,17441    | 16,37           |             | 0,6938       | 1,6463          | 4,1946              | 5,84087    | 3,4540102                | 1,232                     | 19                | 21                | 7                 |
| 21/02/2021 | 1                         | 13,6582       | 5,120        | 17,042                 | 1,723                      | 18,77926    | 17,87           | 1,118       | 0,816        | 2,3194          | 2,5269              | 4,84631    | 3,8749623                | 1,051                     | 15                | 25                | 5                 |
| 24/02/2021 | 1                         | 11,02795      | 2,905        | 13,150                 | 0,765951                   | 13,93624    | 13,99           | 0,236       | 0,5869       | 1,4133          | 0,2184              | 1,63166    | 8,5411347                | 0,996                     | 13                | 21                | 1                 |
| 25/02/2021 | 1                         | 9,831566      | 2,453603     | 11,360                 | 0,918167                   | 12,2881     | 12,855          | 0,448       | 0,6169       | 1,4805          | 0,6344              | 2,11496    | 5,8100965                | 0,956                     | 15                | 21                | 5                 |

Segundo os dados recolhidos e com base no que já se tinha verificado no subcapítulo anterior através da análise de potência dos dispositivos, depreende-se que as unidades passam muitas horas do seu tempo de operação imobilizadas e com os sistemas de climatização ativos. Todavia, como se pode observar na coluna laranja com o parâmetro “*Energy used*”, não utilizam toda a capacidade energética da bateria.



*outliers* são removidos, corrigidos e tratados procedendo com a tarefa de limpeza dos dados. O *dataset* é adaptado para o formato dos dados de entrada do programa (.ARFF). Após a realização de alguns testes na monitorização das unidades, foram considerados os parâmetros apresentados na Tabela 5 disponíveis para a implementação do treino dos modelos de previsão.

Tabela 5- Parâmetros utilizados para a criação dos modelos de previsão

| Parâmetro                        | Descrição                                                                                     |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Energia Utilizada (kWh)</i>   | Toda a energia utilizada pelo veículo durante um dia de operação                              |
| <i>Distância Percorrida (km)</i> | Distância percorrida pelo veículo durante um dia de operação                                  |
| <i>Tempo de operação (h)</i>     | Somatório de tempo em que o veículo esteve em operação, tanto em serviço como fora de serviço |
| <i>Temperatura interior (°C)</i> | Temperatura máxima (°C) medida no compartimento dos passageiros                               |
| <i>Temperatura exterior (°C)</i> | Temperatura mínima (°C) medida no exterior do veículo                                         |
| <i>Instância (dia)</i>           | Cada instância representa um dia de operação                                                  |

Ao contrário dos restantes parâmetros, a seleção do parâmetro *Temperatura interior* e exterior pode não ser claro num ponto inicial e, portanto, segue a seguinte exposição.

Atendendo a que os consumos da unidade são influenciados pelas condições climáticas predominantes nas regiões onde os veículos se encontram em operação, o conceito de equilíbrio térmico enquadra-se quando abrangemos o sistema como um todo.

A atmosfera tem um papel importante no equilíbrio térmico do planeta, e sabemos que a transferência de calor se propaga de um ponto de temperatura mais elevado para um ponto de temperatura inferior até atingir o equilíbrio [51]. No período de Inverno, considerando que o veículo se encontra imobilizado, a temperatura registada no compartimento dos passageiros apresenta valores relativamente próximos à o exterior e, portanto, é necessário aquecer o habitáculo. Neste ponto é importante destacar o registo da temperatura mínima exterior no dia de operação, uma vez que temperaturas inferiores requerem de mais tempo/energia de funcionamento do sistema de aquecimento.

No período de Verão, assiste-se a um processo termodinâmico com características diferentes, ou seja, como nos aeroportos a maior parte dos autocarros estão nas pistas com poucas áreas de sombreamento, o Sol irradia sobre o veículo, aumentando a temperatura no seu interior.

Ocorre então o processo de efeito de estufa, determinando a consideração do valor da temperatura máxima no interior do compartimento dos passageiros, pois é a partir de um valor de registo mais elevado que é considerada a utilização mais frequente da unidade de ar condicionado.

O período temporal dos veículos em estudo está sujeito ao início de atividade em que cada unidade entrou em operação. A unidade F183206006 de demonstração foi produzida primeiro do que a unidade F193206008. Contudo, devido à sua finalidade ser estar temporariamente em determinados aeroportos, é possível obter mais dados da unidade que se encontra em Düsseldorf, pois mantém-se no mesmo local de operação.

Na tabela da análise de dados encontra-se inserido o dia a que corresponde cada instância, porém para o programa de previsão, este indicador tornou-se irrelevante.

Após a introdução dos dados no programa *WEKA*, mesmo antes de iniciar qualquer interação com os algoritmos, o software, apresenta um ambiente gráfico bastante intuitivo, com os parâmetros escolhidos sobre a forma de atributos, exibindo os mesmos graficamente.

A Figura 54 ilustra o ambiente de preparação de dados da unidade F193206008, onde é possível visualizar a distribuição dos valores de temperatura mínima exterior.

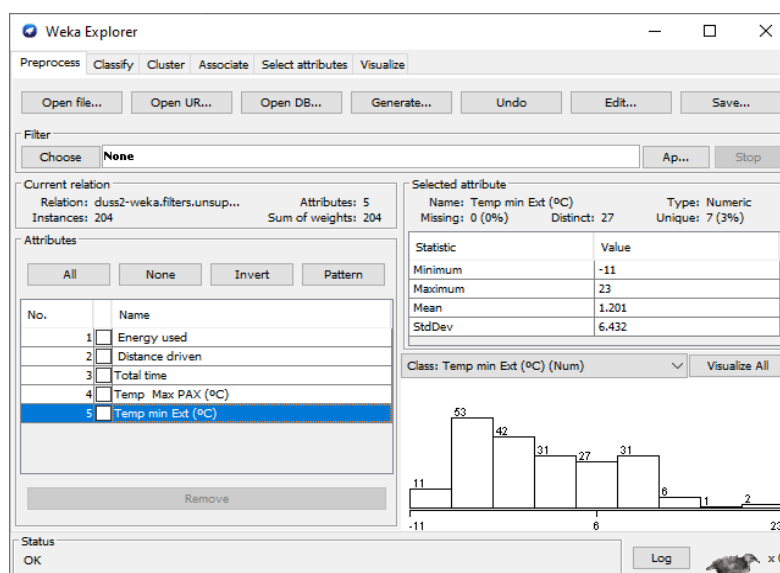


Figura 54- Preparação de conjunto de dados de treino no programa *WEKA*

Numa fase inicial introdutória, foram testados diversos algoritmos com conjuntos de dados de treino de diversas áreas de intervenção como setor imobiliário, análises laboratoriais e flora. Com base nos testes realizados e um breve estudo sobre a performance dos algoritmos,

para o caso de estudo foram selecionados 3 dos algoritmos mais favoráveis. Na secção seguinte serão apresentados os algoritmos escolhidos.

### 5.1.2. Algoritmos de Previsão- Seleção

Os algoritmos de previsão têm de particularidades que os distinguem entre si, bem como a interpretação dos dados. Quer isto dizer que o mesmo algoritmo pode considerar um determinado parâmetro mais relevante num conjunto de dados do que noutros. Em cada conjunto de treino, quando selecionado um algoritmo, o programa *WEKA*, apresenta um “sumário”, após aplicado o algoritmo, onde se torna possível efetuar uma avaliação comparativa dos algoritmos. A Figura 55 explica em detalhe as informações que podem ser extraídas após o algoritmo ser aplicado.

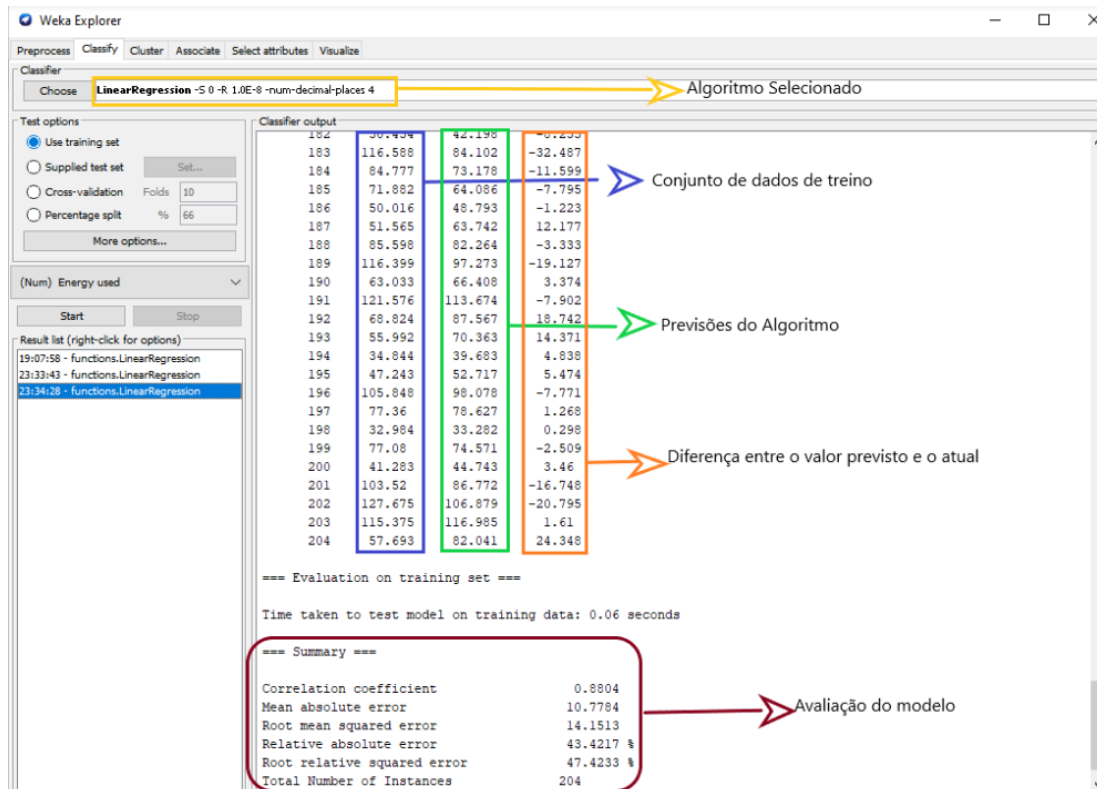


Figura 55- Ambiente de trabalho após aplicado o algoritmo

Neste trabalho, foram selecionados os seguintes algoritmos:

- Regressão Linear (*Linear Regression - LR*);
- Rede Neural Artificial (*Multilayer Perceptron - MLP*);
- Floresta Aleatória (*Random Forest - RF*).

Nos subcapítulos que se seguem serão demonstradas algumas particularidades da aplicação dos algoritmos nos casos de estudos.

### 5.1.2.1 Regressão Linear (*Linear Regression - LR*)

Nos dias de hoje, deparamo-nos com diversos tipos de problemas em que os valores envolvidos podem variar de forma aleatória ou imprevisível, influenciando o resultado da análise. Neste caso de estudo, as variáveis do *dataset* estão relacionadas entre si, já que o consumo de energia depende do simples facto do veículo estar ligado em operação, deslocar-se e ter os sistemas de climatização ativos.

Este algoritmo de regressão linear baseia-se no método dos mínimos quadrados, visando estimar o valor de uma variável “Y” através de uma função. No programa *Weka*, também podemos obter uma equação, onde a previsão de energia, “*Energy used*”, será o nosso “Y” e o algoritmo após ser treinado atribui pesos (coeficientes), valores associados às variáveis independentes (apresentados no lado esquerdo de cada variável). De seguida encontram-se as equações determinadas pelo WEKA para cada veículo em estudo.

- e.Cobus 3001 Demonstration Unit - F183206006

```
Energy used =
  2.1873 * Distance driven +
  0.7409 * Temp Max PAX(°C) +
 -0.7123 * Temp min Ext(°C) +
  9.9203
```

- e.Cobus 3001 Düsseldorf Airport - F193206008

```
Energy used =
  0.6907 * Distance driven +
  3.3408 * Total time +
  0.9872 * Temp Max PAX(°C) +
 -2.3131 * Temp min Ext(°C) +
 -6.9841
```

- e.Cobus 3002 Dallas Airport - F213215001

```
Energy used =
  1.2987 * Distance driven +
  1.1411 * Total Time +
 -1.2098 * Temp min Ext(°C) +
  23.9613
```

- e.Cobus 3002 Dallas Airport - F213215002

```
Energy used =
  2.1873 * Distance driven+
  0.7409 * Temp Max PAX(C)+
 -0.7123 * Temp min Ext(°C)+
  9.9203
```

➤ e.Cobus 3002 Dubai Test Unit - F213215002

```
Energy used =  
0.2853 * Distance driven+  
11.2713 * Total time  
-1.3808 * Temp PAX(°C)+  
2.1683 * Temp Ext(°C)+  
-46.0648
```

### 5.1.2.2 Rede Neural Artificial RNA (*Multilayer perceptron MLP*)

O algoritmo *multilayer perceptron (MLP)* é um modelo de rede neural artificial e pode ser treinado para implementar qualquer mapeamento de entrada-saída não linear. Para calcular o valor de saída dos neurônios, existe uma série de funções de ativação, dependendo do tipo de saída que se pretende para o problema, valores numéricos para regressões, categóricos para problemas de classes binárias ou múltiplas.

À semelhança do algoritmo de regressão, o *dataset* de cada unidade foi sujeito ao treino com o algoritmo *Multilayer perceptron* e os pesos correspondentes às sigmoides encontram-se representados de forma mais detalhada nos Anexos H, I, J, L. A Figura 56 representa o diagrama da rede neural que o programa *Weka* apresenta.

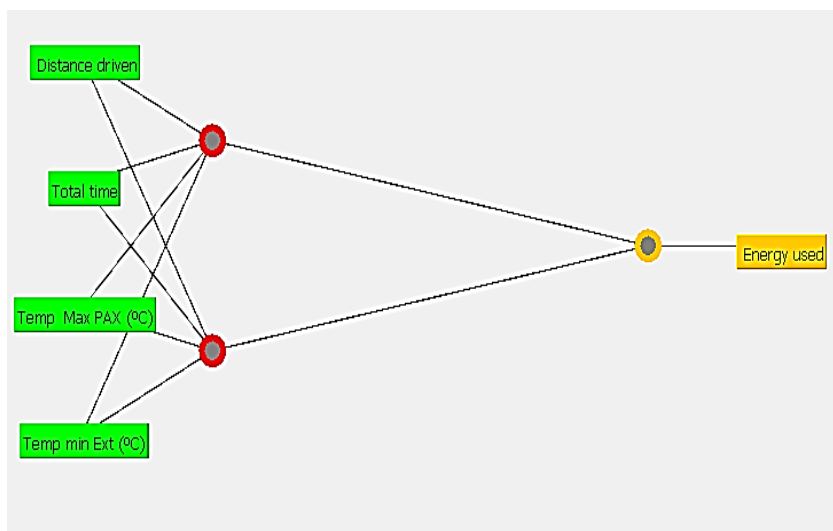


Figura 56- *Multilayer perception* e.Cobus

### 5.1.2.3 Floresta Aleatória (*Random Forest*)

O algoritmo *Random Forest* combina duas técnicas de *machine learning*, *bagging* e árvores de decisão. O *bagging* é uma técnica através da qual são criados vários subconjuntos por amostragem dos dados de treino, cada um a ser utilizado no treino de uma árvore de decisão. A combinação das respostas das diferentes árvores de decisão resulta numa capacidade preditiva superior e mais estável [52].

Na Figura 57 é apresentado o visualizador do classificador de erros para o algoritmo *Random Forest*. Neste gráfico são combinados os dados dos valores reais de energia com as previsões do algoritmo. Cada cruz representa uma instância num determinado gradiente, sendo que a cor com tom mais azul representa os valores mais baixos de energia e as cruzes com tons mais alaranjados os valores mais altos. Apesar dos pontos se encontrarem dispersos tendem a ter uma aproximação diretamente proporcional com o respetivo erro associado.



Figura 57- Comparação entre os valores reais e previsão obtidos com o modelo Floresta Aleatória

### 5.1.3. Algoritmos de Previsão- Treino e Resultados

No presente subcapítulo serão expostos os dados de previsão dos algoritmos para cada veículo em estudo.

#### 5.1.3.1 e.Cobus 3001 Demonstration Unit- F183206006

Os mesmos dados da unidade F183206006 foram sujeitos às mesmas condições de treino entre os três algoritmos selecionados. Nesta secção serão apresentados graficamente os dados comparativos entre a energia utilizada pela unidade ao longo dos 66 dias considerados o estudo, bem como as previsões. Nas Figura 58, Figura 59 e Figura 60, a linha azul representa a energia real que a unidade consumiu num determinado dia e a linha laranja representa a previsão de cada algoritmo.

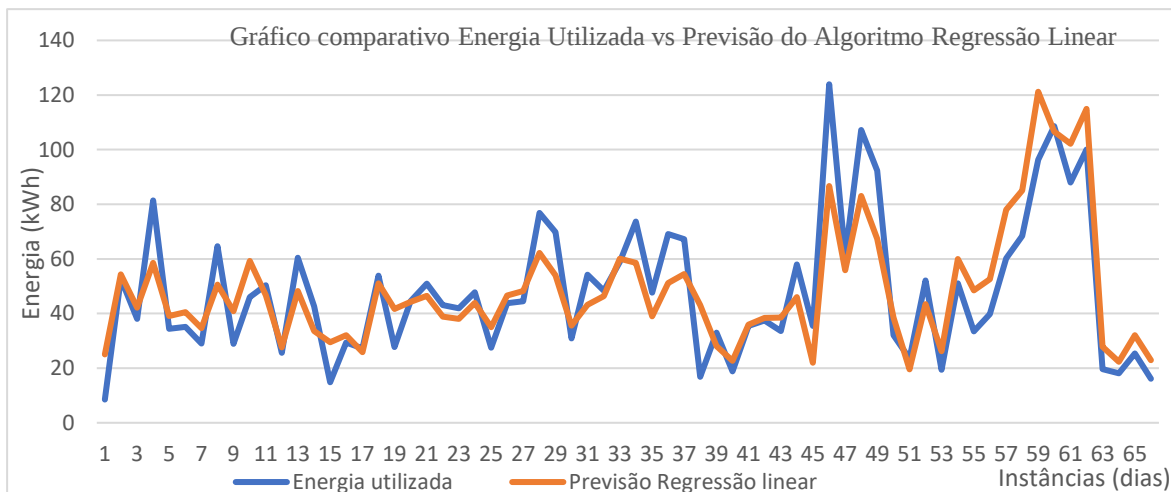


Figura 58- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Regressão Linear* da unidade- F183206006

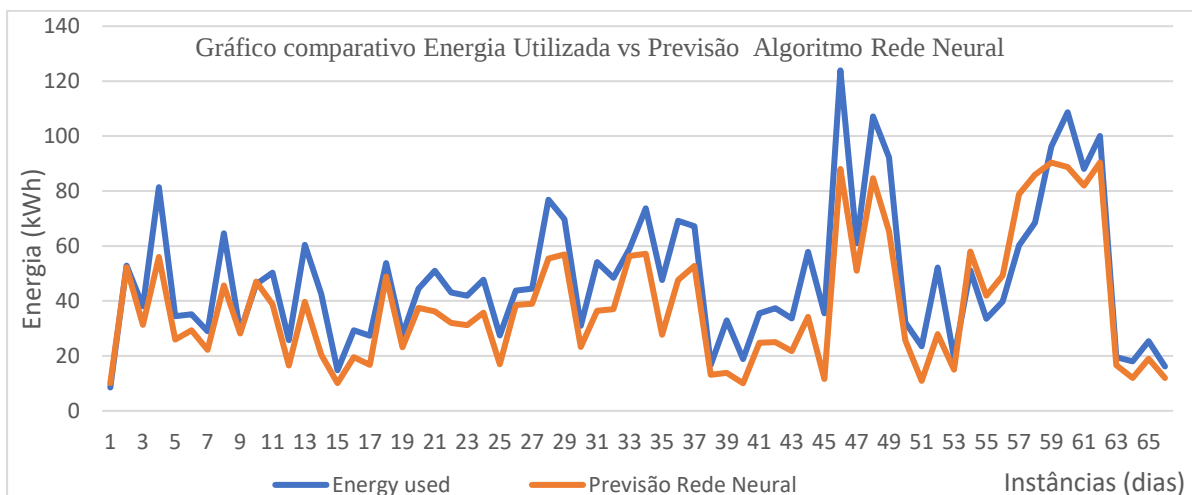


Figura 59- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Multilayer perceptron* da unidade - F183206006

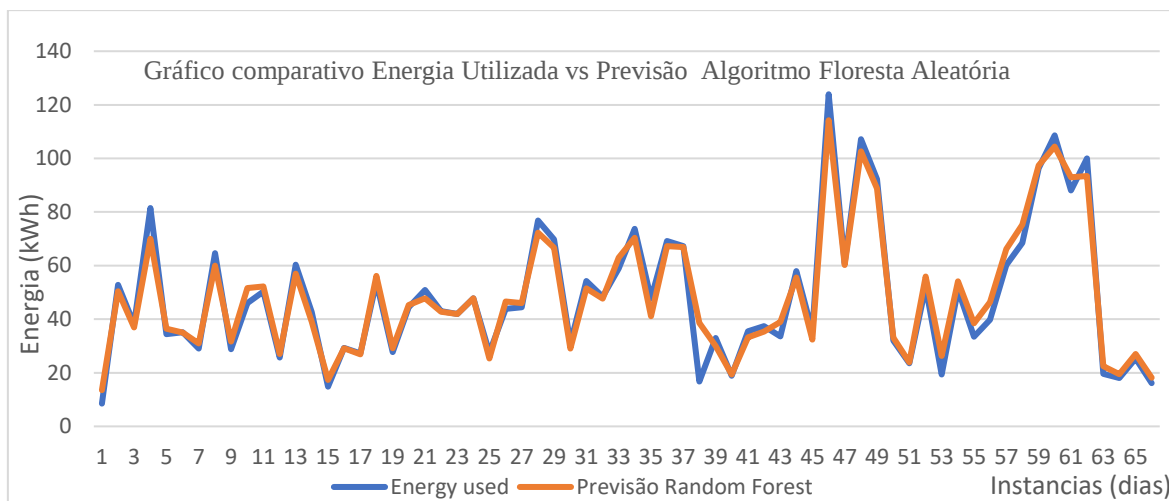


Figura 60- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Random Forest* da unidade - F183206006

Analisando os dados dos três gráficos podemos observar que a série de dados de previsão que se aproxima mais com a série real corresponde ao Algoritmo Floresta Aleatória (*Random Forest*).

Para avaliar e comparar a performance entre os algoritmos face aos valores reais, consideraram-se medidas quantitativas de desempenho que permitem, através de uma métrica comum a todos os parâmetros, auferir um ponto de vista crítico.

A Tabela 6 apresenta as métricas consideradas para a avaliação de desempenho.

Tabela 6- Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade - F183206006

| <i>Weka Summary</i>            | <i>Linear Regression</i> | <i>Multilayer perceptron</i> | <i>Random Forest</i> |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|
| Coeficiente de correlação      | 0,873                    | 0,918                        | 0,985                |
| Erro médio absoluto            | 9,612                    | 11,759                       | 3,289                |
| Erro médio quadrático          | 12,192                   | 13,958                       | 4,621                |
| <b><i>Dados Calculados</i></b> |                          |                              |                      |
| Erro médio relativo (%)        | 24,76                    | 25,84                        | 9,31                 |

Com base nos dados da Tabela 6, através das métricas quantitativas de desempenho, para a unidade F183206006, o algoritmo que apresenta melhor desempenho é o *Random Forest*.

### 5.1.3.2 e.Cobus 3001 Düsseldorf -F193206008

No caso da unidade F193206008, em operação no aeroporto de Düsseldorf foram totalizadas 204 instâncias, correspondendo a um dia de operação por instância. À semelhança da unidade de estudo do ponto anterior, serão apresentadas graficamente nas Figura 61, Figura 62, Figura 63 o conjunto de dados real (de treino) com a cor azul e as previsões dos algoritmos selecionados a cor-de-laranja.

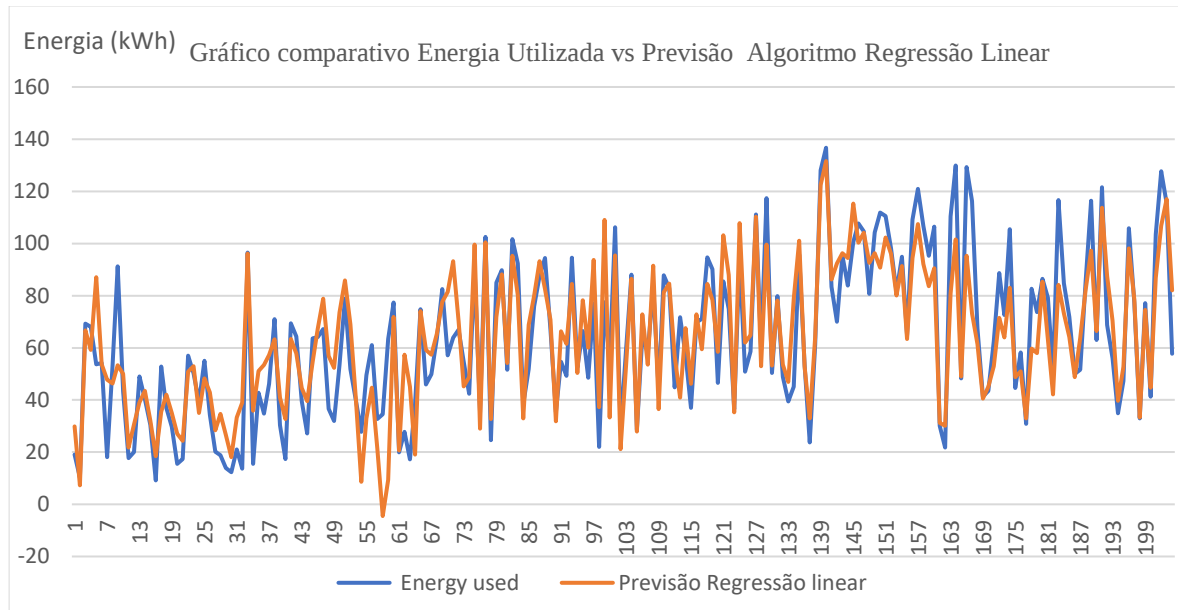


Figura 61- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Regressão Linear* da unidade - F193206008

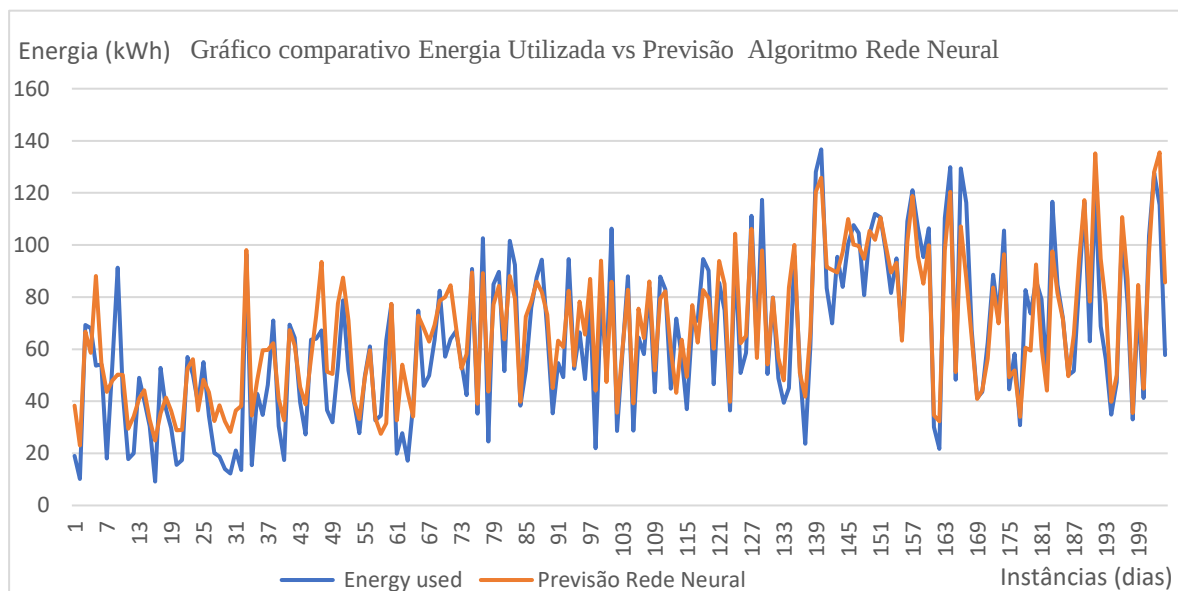


Figura 62- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Multilayer perceptron* da unidade- F193206008

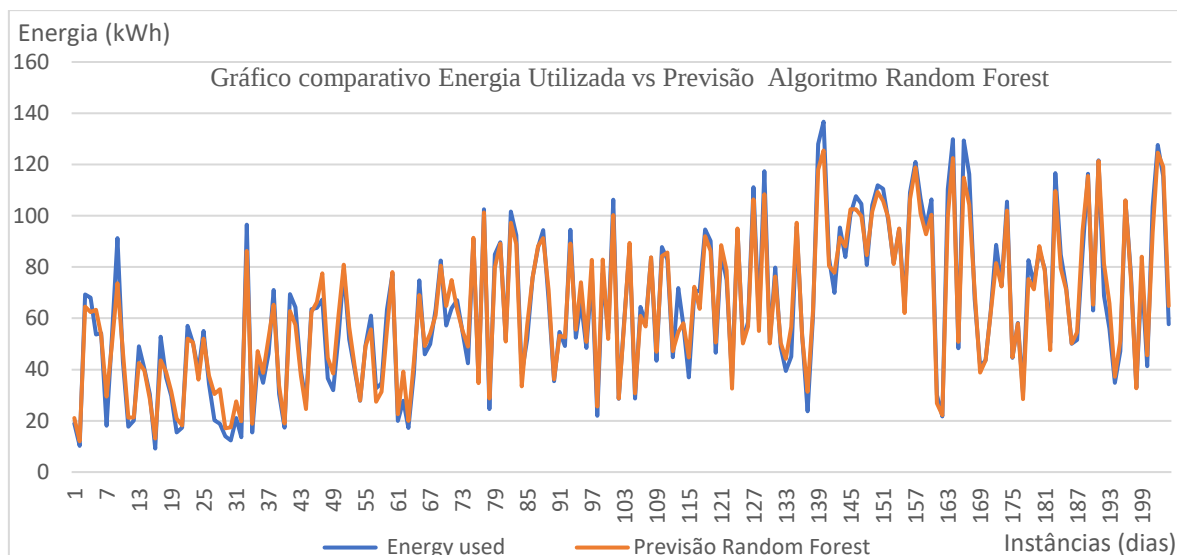


Figura 63- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Random Forest* da unidade - F193206008

Observando os três gráficos, é possível observar que a série de dados de previsão que se aproxima mais com a serie real corresponde ao Algoritmo Floresta Aleatória (*Random Forest*). Considerando a avaliação das métricas de desempenho, temos os resultados na Tabela 7.

Tabela 7- Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade-F193206008

| <b><i>Weka Summary</i></b>     | <i>Linear Regression</i> | <i>Multilayer perceptron</i> | <i>Random Forest</i> |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|
| Coeficiente de correlação      | 0,880                    | 0,912                        | 0,986                |
| Erro médio absoluto            | 10,778                   | 10,188                       | 4,097                |
| Erro médio quadrático          | 14,151                   | 12,931                       | 5,301                |
| <b><i>Dados Calculados</i></b> |                          |                              |                      |
| Erro médio relativo (%)        | 23,4                     | 25,02                        | 8,68                 |

Com base nos dados da Tabela 7, através das métricas quantitativas de desempenho, para a unidade F193206008, o algoritmo que apresenta melhor desempenho é o *Random Forest*.

### 5.1.3.3 e.Cobus 3002 Dallas - F213215001

A primeira unidade a ser estudada no aeroporto de Dallas foi a F213215001, tendo-se contabilizado 76 dias para o estudo. Assim como nos casos anteriores, serão apresentados graficamente nas Figura 64, Figura 65 e Figura 66 as previsões dos algoritmos a cor-de-laranja e conjunto de dados a azul.

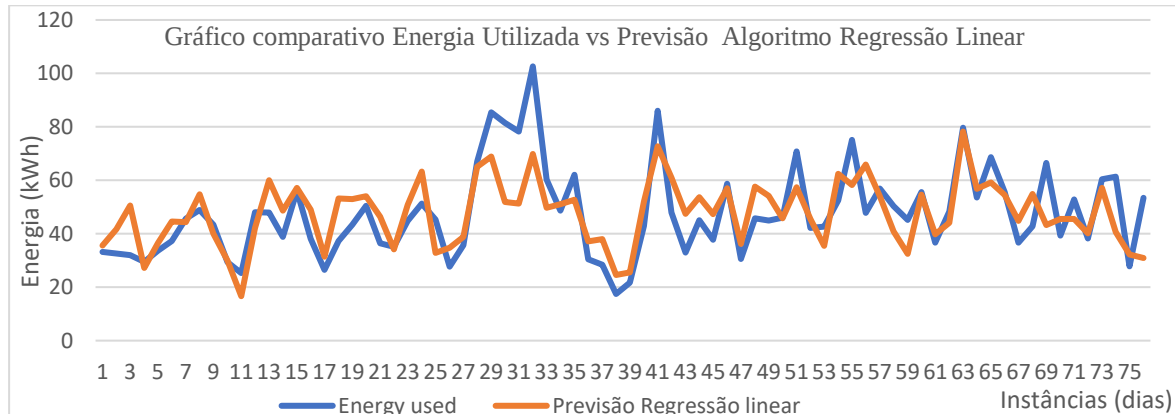


Figura 64 - Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Regressão Linear* da unidade - F213215001

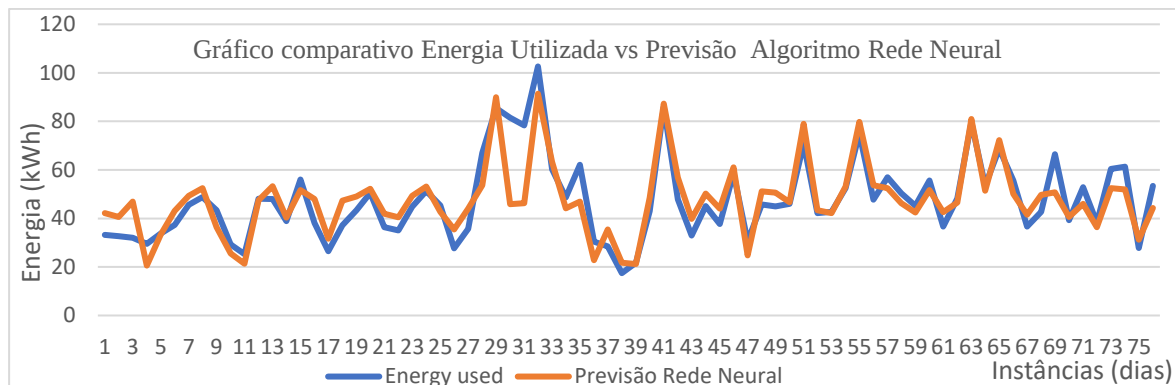


Figura 65- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Multilayer perceptron* da unidade- F213215001

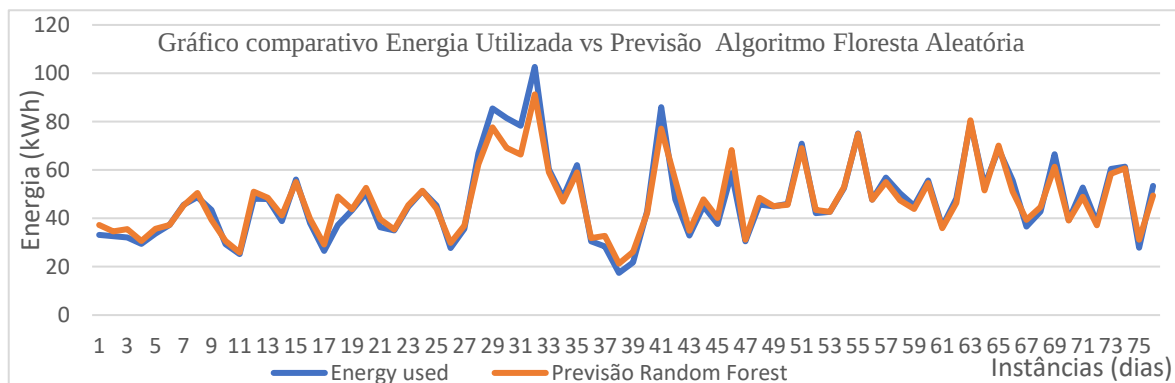


Figura 66- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Random Forest* da unidade - F213215001

Comparando os gráficos, o algoritmo *Random Forest* aparenta ser o algoritmo com mais semelhança entre as previsões e os dados reais. Como feito nos outros casos anteriores os resultados da avaliação das métricas de desempenho, encontram-se expostas na Tabela 8

Tabela 8- Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F213215001

| <i>Weka Summary</i>       | <i>Linear Regression</i> | <i>Multilayer perceptron</i> | <i>Random Forest</i> |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|
| Coeficiente de correlação | 0,729                    | 0,859                        | 0,977                |
| Erro médio absoluto       | 8,803                    | 6,138                        | 2,748                |
| Erro médio quadrático     | 11,176                   | 8,387                        | 4,009                |
| <b>Dados Calculados</b>   |                          |                              |                      |
| Erro médio relativo (%)   | 18,84                    | 13,48                        | 5,9                  |

Com base nos dados da Tabela 8, através das métricas quantitativas de desempenho, para a unidade F213215001, o algoritmo que apresenta melhor desempenho é o *Random Forest*.

#### 5.1.3.4 e.Cobus 3002 Dallas -F213215002

A última unidade a ser estudada no aeroporto de Dallas foi a F213215002, apresentando as seguintes previsões. Foram contabilizadas 128 instâncias e à semelhança dos casos anteriores, segue a comparação gráfica do conjunto de dados com a previsão dos algoritmos (Figura 67, Figura 68 e Figura 69).

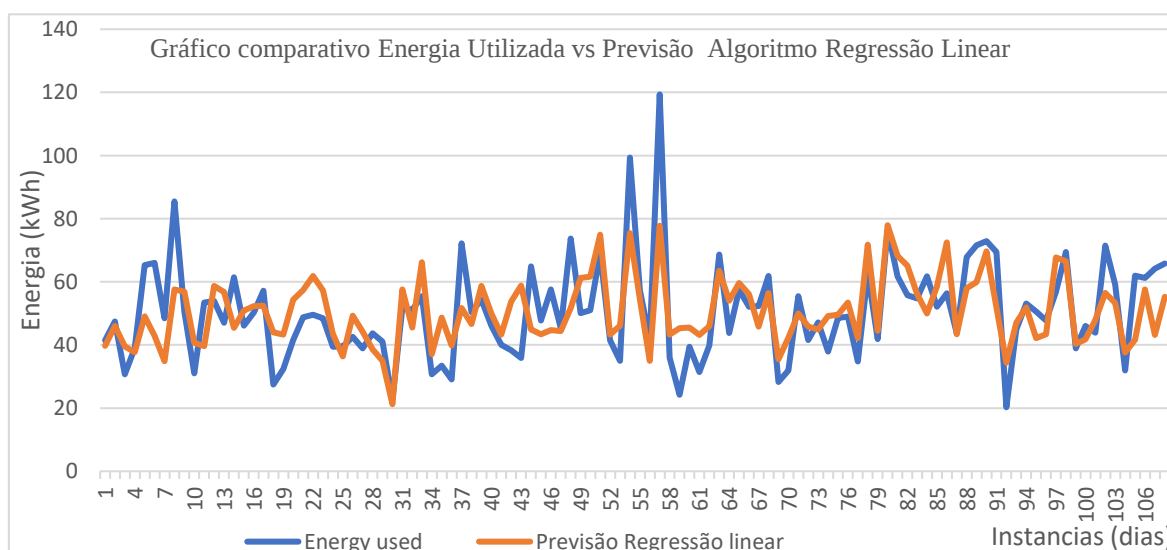


Figura 67- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do algoritmo Regressão Linear da unidade - F213215002

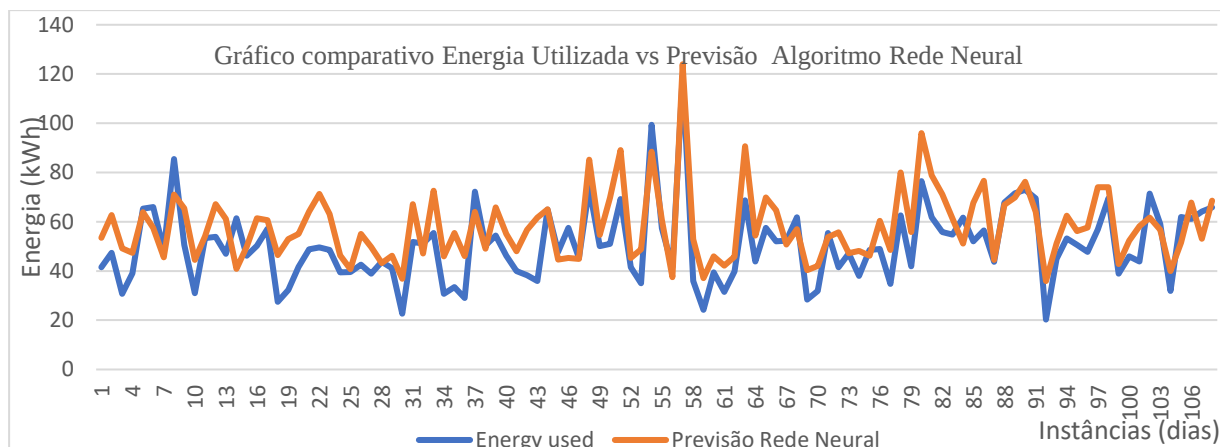


Figura 68- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Multilayer perceptron* da unidade- F213215002

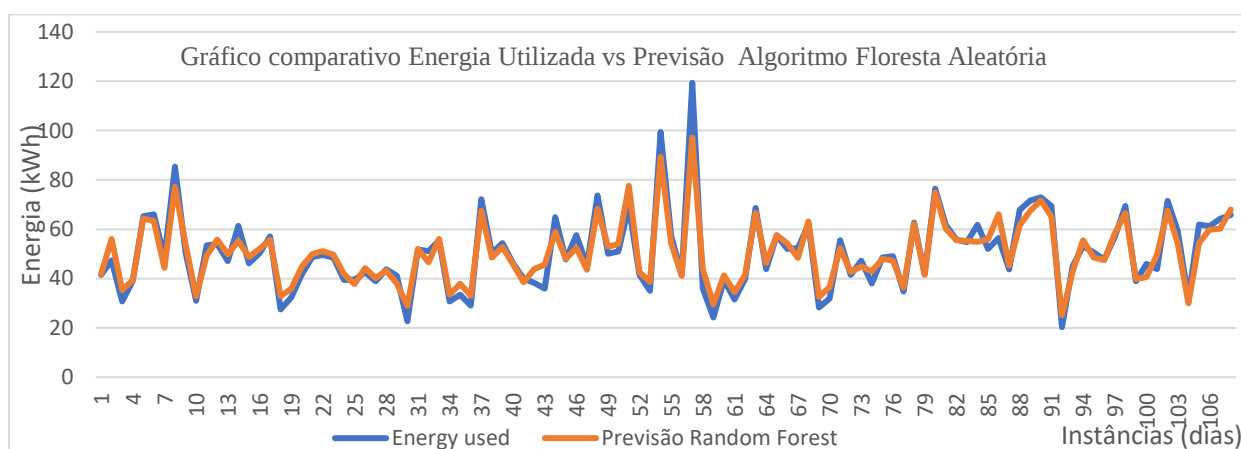


Figura 69- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Random Forest* da unidade - F213215002

Também nesta última unidade em estudo se confirma graficamente que o algoritmo *Random Forest* conduz à melhor previsão. Procedendo com a avaliação das métricas de desempenho, temos os resultados na Tabela 9.

Tabela 9 Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F213215002

| <b><i>Weka Summary</i></b>     | <i>Linear Regression</i> | <i>Multilayer perceptron</i> | <i>Random Forest</i> |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|
| Coeficiente de correlação      | 0,685                    | 0,798                        | 0,968                |
| Erro médio absoluto            | 8,828                    | 10,21                        | 3,305                |
| Erro médio quadrático          | 11,19                    | 11,96                        | 4,43                 |
| <b><i>Dados Calculados</i></b> |                          |                              |                      |
| Erro médio relativo (%)        | 18,37                    | 23,19                        | 6,9                  |

Com base nos dados da Tabela 9, através das métricas quantitativas de desempenho, para a unidade F213215002, o algoritmo que apresenta melhor desempenho é o *Random Forest*.

### 5.1.3.5 e.Cobus 3002 Test Unit- F213215004

No caso da unidade F213215004, recentemente em testes no aeroporto de Dubai apenas foi possível considerar 39 instâncias, correspondendo a um dia de operação por instância. À semelhança dos casos anteriores, serão apresentadas graficamente (Figura 70, Figura 71e Figura 72 o conjunto de dados real (de treino) com a cor azul e as previsões dos algoritmos selecionados a cor-de-laranja.

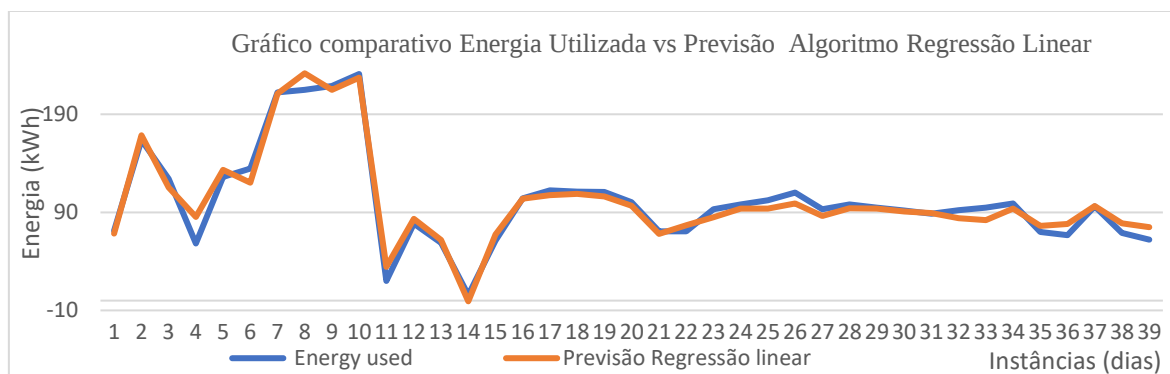


Figura 70 - Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do algoritmo Regressão Linear da unidade - F213215004

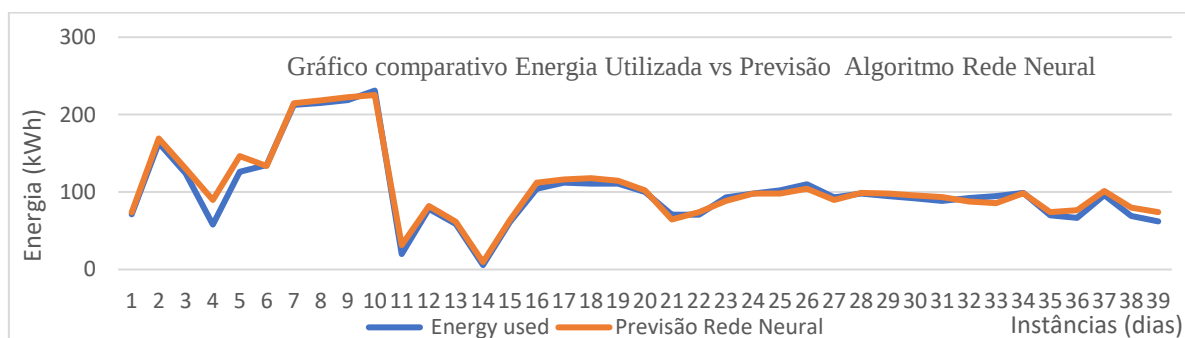


Figura 71- Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Multilayer perceptron* da unidade- F213215004

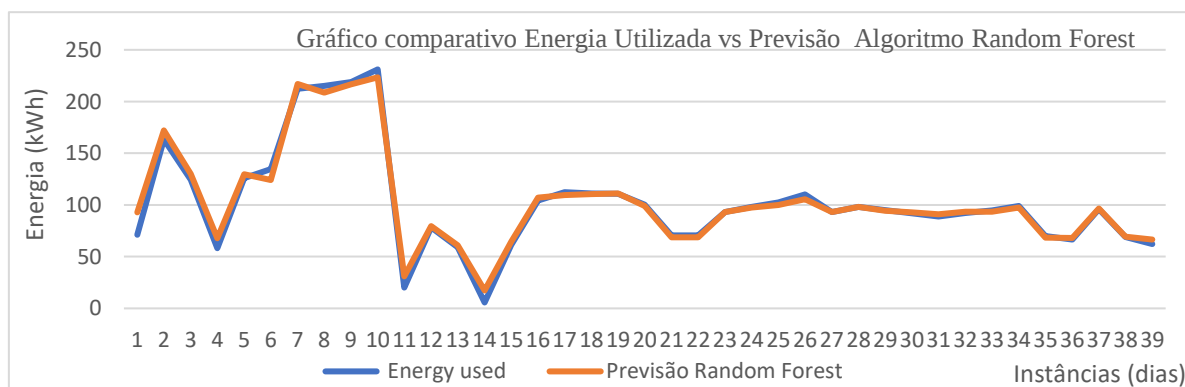


Figura 72 - Gráfico Comparativo entre a energia utilizada e a previsão do Algoritmo *Random Forest* da unidade - F213215004

Devido ao reduzido número de instâncias, quando comparado com as outras unidades em estudo, à primeira vista, graficamente não é tão perceptível qual o algoritmo que conduz à melhor previsão. Procedendo com a avaliação das métricas de desempenho, temos os resultados na Tabela 10

Tabela 10 Avaliação de desempenho dos Algoritmos de previsão para a unidade- F213215004

| <b><i>Weka Summary</i></b>     | <b><i>Linear Regression</i></b> | <b><i>Multilayer perceptron</i></b> | <b><i>Random Forest</i></b> |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Coeficiente de correlação      | 0,984                           | 0,929                               | 0,994                       |
| Erro médio absoluto            | 6,729                           | 9,050                               | 3,685                       |
| Erro médio quadrático          | 8,603                           | 11,418                              | 5,70                        |
| <b><i>Dados Calculados</i></b> |                                 |                                     |                             |
| Erro médio relativo (%)        | 11,65                           | 9,5                                 | 9,8                         |

Com base nos dados da Tabela 10, através das métricas quantitativas de desempenho, para a unidade F213215004, o algoritmo que apresenta melhor desempenho, díspar dos casos anteriores é o algoritmo *Multilayer perceptron* seguido do algoritmo *Random Forest* apenas com uma diferença de 0,3%.

#### 5.1.4. Algoritmos de Previsão - Análise de Resultados

Relativamente à análise de resultados das previsões dos algoritmos, através de métricas de avaliação de desempenho dos algoritmos, verificamos que em quatro de cinco casos em estudo o algoritmo Floresta Aleatória (*Random Forest*) apresenta o melhor desempenho. Com valores de erro médio relativo entre 5,9% e 9,8%, apenas o caso da unidade F213215004 teve um erro médio superior, mas com uma margem relativamente pequena.

Através das equações construídas pelo algoritmo de *Regressão Linear* na secção 5.2.7.1 verificamos que o mesmo algoritmo atribui mais peso a determinadas variáveis do que a outras, e em alguns casos de estudo, nomeadamente a unidade F183206006 e F213215002 os coeficientes “*Total Time*”, correspondendo ao tempo de operação, não são contabilizados para a equação determinada pelo algoritmo. Este algoritmo torna o modelo mais interpretável pois apresenta uma função onde é possível visualizar os pesos atribuídos às variáveis, já no algoritmo *Multilayer perceptron* e *Random Forest* este processo é extremamente complexo. Considerando que o erro médio relativo para o conjunto de dados de treino variou entre os 11,65 % a 24,76% torna o algoritmo menos favorável do que o *Random Forest*.

O algoritmo *Multilayer perceptron*, como já falado anteriormente tem por base uma rede Neural, com uma variação do erro médio entre 9,5% a 25,84%. Os pesos que o algoritmo dá às variáveis de cada função sigmoide podem ser verificados com mais detalhe nos Anexos I, J, K, L e M.

Com base nos dados coletados da plataforma de telemetria, e o auxílio de algoritmos de aprendizagem máquina através da ferramenta WEKA, foi possível produzir um modelo de previsão de energia total diária necessária para cada uma das instâncias das unidades em estudo. Os valores estimados pelos algoritmos resultam da correlação entre as variáveis consideradas relevantes para o estudo. A forma considerada para avaliar a performance dos algoritmos e compreender qual o que apresentava melhor desempenho foi através das métricas de desempenho como apresenta nas tabelas. Em termos práticos, o modelo (algoritmo) mais adequado (exato) para prever o valor de energia que assegure as cargas de uma nova unidade é o *Random Forest*.

A métrica adotada para diferenciar o valor real e o valor previsto foi o erro médio relativo. A percentagem do erro médio representa um desvio entre o valor real e o previsto, podendo ser positivo ou negativo.



## 6. Implementação da Metodologia

O propósito da metodologia desenvolvida tem por objetivo auxiliar na tomada de decisão no dimensionamento da capacidade de energia da bateria de um e.Cobus.

No que diz respeito ao sistema de tração, devido aos aeroportos serem na sua maioria planos e não oferecerem grande resistência quanto à inclinação e as velocidades médias não ultrapassarem os 50 km/h, o consumo médio apenas para a tração não sofre grandes variações de aeroporto para aeroporto encontrando-se entre 0,85 kWh e 1,25 kWh/km.

Em contrapartida, verificou-se que as condições climáticas e o sistema AVAC são os principais fatores que prejudicam o desempenho do e.Cobus. Através do estudo, obtivemos os dados reais da potência do sistema AVAC tanto em regime de ventilação como aquecimento e arrefecimento. Neste capítulo, pretende-se determinar qual a capacidade de energia necessária para um período de operação de uma unidade e.Cobus num aeroporto com novos requisitos, auxiliado pela metodologia desenvolvida. Importa salientar que associado ao aumento da capacidade de um banco de bateria está o agravamento do custo do veículo, bem como a tara da unidade afetando o número de passageiros a transportar por viagem.

Serão elaborados três casos de estudo com requisitos específicos, o primeiro e.Cobus terá como destino um aeroporto no norte da Alemanha, o segundo e o terceiro o Dubai, nos Emirados Árabes Unidos.

### 6.1. Norte da Alemanha

Vamos analisar o caso de uma nova unidade e.Cobus para um cliente no Norte da Alemanha. Em função do estudo feito na unidade e.Cobus em operação no aeroporto de Düsseldorf foi possível obter as temperaturas médias ao longo do ano, como se observa na Tabela 11.

Tabela 11 – Registo de temperaturas médias na unidade e.Cobus Düsseldorf

|                 | Média das temperaturas máximas no compartimento passageiros (°C) | Média das temperaturas mínimas no exterior (°C) |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Verão           | 29,48                                                            | 8,77                                            |
| Inverno         | 16,66                                                            | - 4,55                                          |
| Outras estações | 22,08                                                            | 3,29                                            |

Sendo um novo cliente são considerados novos requisitos para um período de operação:

- Distância percorrida: 80 km diários
- Tempo de operação diário: 12 horas de operação
  - o período noturno dispõe de uma pausa de 6 horas contínuas;
  - o período diurno dispõe de uma pausa de 1,5 a 2 horas;
- Durante todo período de operação, as condições de conforto ambiente têm de ser garantidas, nomeadamente a climatização do compartimento dos passageiros durante as diferentes estações do ano.

Com o modelo de previsão auxiliado pelo algoritmo *Random Forest* já treinado, em função das características térmicas da região geográfica e requisitos do novo cliente procedemos com introdução dos novos dados de forma a obter a previsão de energia para um período de operação de 12 horas.

Em paralelo com o modelo de treino é criado um novo cenário para três períodos de operação alusivos às diferentes estações do ano, nomeadamente verão, inverno e outras estações do ano (posicionados ordenadamente após o “@data”).

O valor da energia a prever é desconhecido e, portanto, encontra-se representado por “?”. Quanto aos atributos correspondentes aos requisitos de cliente (distância percorrida e tempo de operação), bem como as temperaturas são inseridos nos respetivos locais.

```
@relation_Norte_Alemanha_80km_12h

@attribute 'Energy used' numeric
@attribute 'Distance driven' numeric
@attribute 'Total time' numeric
@attribute 'Temp Max PAX (°C)' numeric
@attribute 'Temp min Ext (°C)' numeric

@data
?,80,12,29.48,8.77
?,80,12,16.65,-4.55
?,80,12,22.08,3.29
```

Após carregar os novos dados no WEKA e executar o programa de teste obtemos os seguintes valores de previsão de energia representados na Tabela 12.

Tabela 12- Previsão de Energia para 12 horas de operação de um e.Cobus no Norte da Alemanha

|                 | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,34%) |
|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Verão           | 85,228 kWh          | 81,529 / 88,927 kWh      |
| Inverno         | 119,841 kWh         | 114,639 / 125,042 kWh    |
| Outras estações | 92,368 kWh          | 88,359 / 96,377 kWh      |

Os dados da coluna “Previsão de Energia” apresentados na Tabela 12 foram determinados pelo modelo de previsão do programa WEKA resultado da interação com o conjunto de treino do caso de estudo da unidade em operação Düsseldorf.

A coluna da direita “Tolerância” deve-se ao facto de existir um erro médio relativo de 8,68% entre o valor real e o valor de previsão. Portanto, considerando este erro como desvio padrão, o valor de previsão pode sofrer uma variação positiva ou negativa de 4,34%, obtendo-se os valores mencionados na respetiva coluna.

Dado o facto de nos requisitos ser mencionado que o veículo dispõe de 2 pausas num dia, o processo será repetido de forma a obter o valor de previsão para meio período de operação. Alterando apenas os atributos distância percorrida e tempo de operação para 40 km e 6 horas, mantendo os restantes atributos, foi possível obter os dados da Tabela 13.

Tabela 13- Previsão de Energia para 6 horas de operação de um e.Cobus no Norte da Alemanha

|                 | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,34%) |
|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Verão           | 49,567kWh           | 47,416 / 51,718 kWh      |
| Inverno         | 67,844kWh           | 64,899 / 70,788 kWh      |
| Outras estações | 51,196 kWh          | 48,974 / 53,418 kWh      |

De acordo com os dados obtidos pelo modelo de previsão de energia representados na Tabela 13, em termos teóricos uma carga de bateria com 126 kWh cumpre com as necessidades expostas nos requisitos. Porém para o período de inverno, mesmo com a introdução do desvio no sentido positivo, a capacidade de 126 kWh pode não ser suficiente.

Devido a existirem duas pausas, por experiência da equipa e com uma boa gestão de frota a unidade pode não necessitar de um banco maior.

No período noturno, quando a temperatura é mais baixa, o autocarro fica imobilizado pelo período de 6 horas contínuas. Durante este intervalo, os operadores podem colocar o veículo no carregador para que mantenha o nível de bateria completo e em paralelo ative o pré-condicionamento de forma a climatizar o compartimento dos passageiros. Desta forma, o veículo não necessita de despende tanta energia para climatizar durante a operação.

Em função do estudo efetuado sobre a unidade de Düsseldorf, se o operador deste novo aeroporto realizar os carregamentos nos períodos de pausa e ativar o pré-condicionamento para climatizar o compartimento dos passageiros, apenas é necessário um banco de baterias com capacidade de 99 kWh.

## 6.2. Emirados Árabes Unidos - 12 horas de operação

Através da plataforma de telemetria, na Figura 73, foi possível observar, através de uma unidade que se encontrava a realizar testes, quais os valores de temperatura que predominam nos Emirados Árabes Unidos no período de verão, mais concretamente no dia 31 de julho. A linha preta representa a temperatura ambiente exterior, onde se constata que por alguns períodos ultrapassa os 50°C. Dotada de um sistema AVAC com características idênticas ao que se encontra implementado nas unidades de Dallas, podemos observar o valor da temperatura no interior do autocarro através da linha laranja.

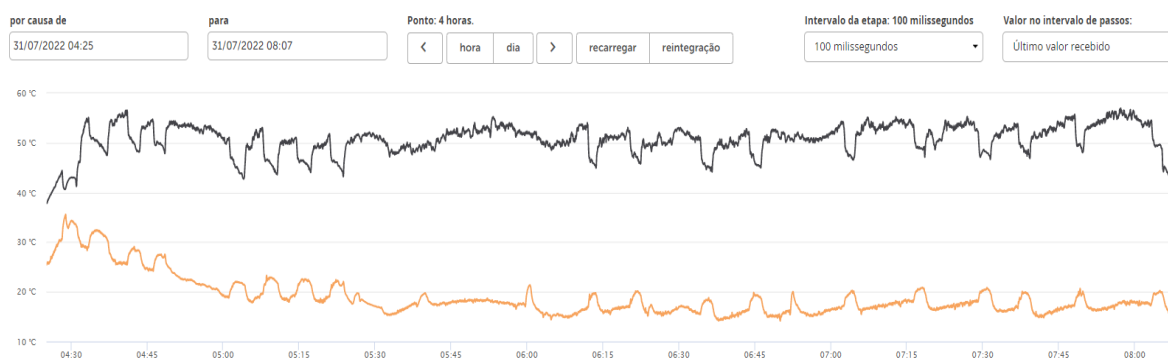


Figura 73- Leitura de temperaturas nos Emirados Árabes Unidos (fonte: plataforma de telemetria)

Como o sistema AVAC opera na sua maioria em modo automático, este é ligado dependendo do valor de temperatura medido no interior do autocarro, ou seja, se a temperatura for mais elevada do que o *set point* indicado, o sistema de arrefecimento ligará. Para o período de verão onde as temperaturas são extremas, o sistema AVAC operará com muita frequência, aumentando o consumo de potência elétrica em 15.1 kW. Para períodos do ano com temperaturas mais moderadas, o sistema não operará com tanta frequência, podendo estar apenas ligado o sistema de ventilação, com uma potência elétrica de 2.88 kW.

Considerando uma nova unidade para um novo cliente no Dubai nos Emirados Árabes Unidos, com os seguintes requisitos do produto:

- Distancia percorrida: 75 km diários (24 horas);
- Tempo de operação diário (24 horas): 12 horas de operação (sendo que o período noturno de 6 horas não dispõe de pausas, e o período diurno de 6 horas contempla de 4 a 5 paragens de 1 a 1,5 horas);
- Durante o período de operação, todas as condições de conforto ambiente têm de ser consideradas.

Em função do estudo realizado na unidade de teste (F213215004) que se encontra no Dubai, as temperaturas médias no interior do compartimento dos passageiros foram de 21,73°C e as temperaturas médias registadas no exterior do autocarro foram de 43,46°C. Deste modo, como nesta região geográfica o período mais criterioso tende a ser o verão, serão considerados estes dados como valores de entrada no que diz respeito aos valores das temperaturas.

Como os modelos de previsão da unidade de teste demonstraram que, apesar de reduzido, o erro médio do algoritmo *Multilayer perceptron* é menor do que algoritmo *Random Forest*. Neste cenário iremos executar o modelo de treino com os dois algoritmos. À semelhança do cenário anterior, colocamos um “?” no atributo correspondente à variável da energia, pois é desconhecida, e preenchemos os restantes valores com base nos requisitos.

```
@relation_Dubai_75km_12h

@attribute 'Energy used' numeric
@attribute 'Distance driven' numeric
@attribute 'Total time' numeric
@attribute 'Temp PAX (°C)' numeric
@attribute 'Temp Ext (°C)' numeric

@data
?,75,12,21.73,43.46
```

Executando o modelo com os dados dos requisitos obtemos os seguintes dados, apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Previsão de Energia para 12 horas de operação de um e.Cobus no Dubai

|                              | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,75%) |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|
| <i>Multilayer perceptron</i> | 194,483 kWh         | 185,245 / 203,721 kWh    |
|                              | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,9%)  |
| <i>Random Forest</i>         | 153,298 kWh         | 145,79 / 160,81 kWh      |

A coluna da esquerda apresenta o valor correspondente à energia necessária para cumprir com os requisitos apresentados. Os valores foram obtidos com a introdução dos novos dados nos modelos de previsão para cada um dos algoritmos, de forma individual.

A coluna da direita apresenta o parâmetro “Tolerância” obtido através do erro médio relativo para cada um dos algoritmos sob a forma de desvio padrão. Com isto, pretende-se expor que, apesar de serem modelos de previsão importa ter em atenção uma margem para os valores apresentados.

Portanto, através dos modelos de previsão sustentados pelos algoritmos de aprendizagem máquina *Multilayer perceptron* e *Random Forest*, para um novo cliente no Dubai cumprindo os respectivos requisitos de 12 horas de operação será necessário um banco de baterias que supra os valores apresentados na tabela.

Na medida em que nos requisitos é mencionado que o veículo não necessita de operar de forma ininterrupta, faremos um breve cenário de operação apenas alterando o período de operação para 6 horas e distancia percorrida de 40km.

```
@relation_Dubai_40km_6h

@attribute 'Energy used' numeric
@attribute 'Distance driven' numeric
@attribute 'Total time' numeric
@attribute 'Temp PAX (°C)' numeric
@attribute 'Temp Ext (°C)' numeric

@data
?, 40, 6, 21.73, 43.46
```

Após inserido os novos dados no modelo, obtém-se os dados apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Previsão de Energia para 6 horas de operação de um e.Cobus no Dubai

|                              | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,75%) |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|
| <i>Multilayer perceptron</i> | 98,73 kWh           | 94,04 / 103,42 kWh       |
|                              | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,9%)  |
| <i>Random Forest</i>         | 91,162kWh           | 86,69 / 95,63 kWh        |

Os resultados obtidos podem introduzir a seguinte pergunta: ***“A bateria de 126 kWh poderia ser implementada numa unidade e.Cobus para o Dubai?”***

Analisando o cenário, e condições inerentes, para operar durante 12 horas de forma ininterrupta, a bateria de 126 kWh não cumpre as necessidades. Porém, um dia de operação é dividido em dois períodos, diurno e noturno. No diurno, apesar de ser o período em que o e.Cobus necessitará de mais energia para climatizar por estar mais exposto ao sol, é-nos informado que podem existir 4 a 5 pausas. Nessas pausas a unidade pode ser colocada na estação de carregamento e, para além de carregar as baterias, poderá fazer pré-condicionamento climatizando o compartimento dos passageiros. Através desta funcionalidade, com o compartimento mais climatizado, não será necessário despende de tanta energia durante a operação. No período noturno, a unidade não dispõe de pausas, não obstante, a atividade do sistema AVAC será inferior (devido à reduzida exposição solar no

período noturno). Com um banco de baterias de 126 kWh, as necessidades 6 horas de operação seriam salvaguardadas, tanto no algoritmo *Multilayer perceptron* como *Random Forest* incluindo as devidas tolerâncias.

No que diz respeito à energia total, caso seja implementado um banco com 126 kWh de armazenamento, é importante mencionar que se todos os dias se verificarem condições extremas de temperatura (elevada) o e.Cobus terá de ir à estação de carregamento pelo menos duas vezes.

Em contrapartida, caso seja considerado um banco de baterias com capacidade superior a 205 kWh (referente ao valor 203,72 na Tabela 14), valor obtido através do algoritmo *Multilayer perceptron* com o incremento da tolerância, em primeira instância esta capacidade assegurará a operação em pleno.

Como referido no início do capítulo, o sistema de armazenamento representa um impacto elevado no custo do veículo (ultrapassando os 15% do valor do veículo). Caso o cliente pretenda que uma carga permita operar as 12 horas sem ir ao carregamento deverá adquirir um sistema de armazenamento com capacidade superior a 205 kWh, sujeito ao incremento do custo e peso no veículo, podendo comprometer o número de passageiros a transportar.

### 6.3. Emirados Árabes Unidos – 20 horas de operação

Tendo em conta o mesmo destino do subcapítulo anterior, porém, para este novo cenário serão considerados novos requisitos de cliente:

- Distancia percorrida: 140 km diários (24 horas);
- Tempo de operação diário (24 horas): 20 horas de operação ininterruptas
- Durante o período de operação, todas as condições de conforto ambiente têm de ser consideradas.

Garantindo que a unidade opera nas condições acima referidas, procederemos da mesma forma do subcapítulo anterior, inserido este novo cenário nos modelos de previsão temos:

```
@relation_Dubai_140km_20h

@attribute 'Energy used' numeric
@attribute 'Distance driven' numeric
@attribute 'Total time' numeric
@attribute 'Temp PAX (°C)' numeric
@attribute 'Temp Ext (°C)' numeric

@data
?,140,20,21.73,43.46
```

Após executado o programa obteve-se os dados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Previsão de Energia para 20 horas de operação de um e.Cobus no Dubai

|                              | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,75%) |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|
| <i>Multilayer perceptron</i> | 268,415 kWh         | 255,665 / 281,165 kWh    |
|                              | Previsão de Energia | Tolerância (- / + 4,9%)  |
| <i>Random Forest</i>         | 219,998kWh          | 209,218 / 230,778 kWh    |

Como era esperável, quando comparado com o cenário anterior, os valores para os novos requisitos são significativamente mais elevados em ambos os algoritmos. Atendendo que a unidade apenas tem uma pausa diária de 4 horas, caso a potência e períodos de carregamento não seja assegurada para uma bateria com a capacidade de armazenamento superior a 209,22 kWh (menor valor de previsão obtido pelos algoritmos), a probabilidade de a unidade não cumprir com os requisitos de operação torna-se muito elevada. Em termos técnico-económicos, se for considerado um banco de baterias com a tecnologia LTO (aplicadas atualmente nos e.Cobus) o peso iria ser incrementado em mais duas vezes, devido à densidade energética desta tecnologia. Em termos económicos, o custo do veículo também seria extremamente agravado devido ao aumento do banco de baterias tornando esta solução pouco adequada para dar resposta a este cenário.

## 7. Conclusões

### 7.1. Considerações Finais

Com este trabalho pretendia-se desenvolver técnicas que permitissem a modelização do consumo energético de um veículo com o intuito de criar uma metodologia de auxílio à tomada de decisão na capacidade de armazenamento. Mais do que obter um valor ótimo para a capacidade de energia que um autocarro deve ter para efetuar as suas operações, o estudo energético permitiu verificar que:

- A capacidade energética dum banco de baterias não deve ser sempre a mesma, sendo necessário otimizar o seu dimensionamento, mediante as características geográficas e climáticas de operação de cada operador/aeroporto;
- Os sistemas de climatização, tanto aquecimento como arrefecimento, representam um consumo de energia elevado, em alguns casos dois terços do total da energia consumida pelo veículo;
- A análise e o tratamento de dados são cruciais para distinguir as variáveis com impacto no consumo energético e atribuir-lhes pesos adequados;
- Não só os modelos de dados são importantes, mas também a qualidade e quantidade de dados disponíveis para treino dos mesmos são cruciais para a obtenção de uma boa capacidade preditiva;

Relativamente à utilização do software *WEKA* neste caso de estudo, constata-se que o manuseamento do programa é acessível, bem como os resultados e tempo de obtenção dos mesmos. Porém após a avaliação conclui-se que os algoritmos de previsão têm resultados mais eficazes com um maior número de instâncias inseridas no *dataset* de treino.

Com a metodologia proposta e seguida nesta Dissertação, passa a ser possível estimar com baixo grau de incerteza, entre 8 e 9,8%, as necessidades energéticas de um veículo elétrico para um determinado cliente, de acordo com as características, expressos através de um conjunto de variáveis facilmente caracterizáveis.

Esta ferramenta é útil em diversos momentos da vida do veículo. Logo na fase de negociação do mesmo, permite um dimensionamento ajustado aos requisitos do cliente e, caso os requisitos se alterem, permite reavaliar as necessidades energéticas do veículo auxiliando em soluções tais como o reajustamento da capacidade da bateria ou a adição de um sistema

auxiliar de produção de energia como por exemplo uma célula de combustível. Desta forma, pelo melhor dimensionamento da capacidade de armazenamento das baterias, pode ser evitado o habitual sobredimensionamento das mesmas, o que permite uma redução do peso do veículo o que se traduz numa dupla vantagem económica pela redução do consumo e pela redução do custo de produção garantindo uma maior margem negocial.

## 7.2. Desenvolvimentos Futuros

Como trabalho futuro, considera-se frutífero o seguimento da recolha de dados da plataforma de telemetria. Alterando o processo de extração de dados, por exemplo com através de um *script* em *python* tornando o fluxo mais automatizado, perseguindo assim e aprimorando o estudo, pois nenhum programa pode ser considerado completo, quando existem pontos de melhoria.

Assim sendo, aqui estão algumas das possibilidades de desenvolvimentos futuros para o e.Cobus:

- Melhorar as técnicas de climatização através da utilização de um pré-condicionamento (climatizar enquanto carrega) e estudo de melhorias ao sistema de isolamento térmico deste tipo de veículos;
- Estudo e implementação de sistemas de armazenamento alternativo como “*range extender*”, por exemplo uma célula de combustível impulsionada a hidrogénio.

Adicionalmente, e como projeto de evolução do trabalho já desenvolvido, dado que a CaetanoBus tem em operação veículos urbanos dotados com um sistema de célula de combustível a hidrogénio, onde a produção de energia elétrica é feita durante a operação, esta pode ser uma alternativa para satisfazer as necessidades energéticas mais elevadas de alguns clientes.

Conforme os dados apresentados na Tabela 16 no subcapítulo 6.3. e em função do estudo realizado, em termos médios a potência necessária para satisfazer as cargas do veículo será inferior a 20 kW ( caso as cargas fossem constantes, o resultado seria correspondente ao valor 281,165 kWh a dividir pelo período de 20 hora).

De forma a analisar a viabilidade técnica da célula de combustível para o cenário analisado, foi realizada uma reunião com a equipa que desenvolve trabalhos na gestão de energia dos veículos dotados com célula de combustível. Foi possível apurar que a gama de potências em que a célula opera com maior eficiência é em torno dos 20 kW, bem como o consumo de hidrogénio a esta potência. Os dados obtidos encontram-se representados na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados técnicos da célula de combustível [53]

| Parâmetros                                               | Valor               |
|----------------------------------------------------------|---------------------|
| Potência nominal (Toyota FC Stack) :                     | 60 kW               |
| Capacidade dos Tanques de hidrogénio:                    | 37,5 kg             |
| Tempo de abastecimento:                                  | < 9 min             |
| Consumo de hidrogénio a uma potência de 20 kW :          | 0.000427 kg/segundo |
| Energia produzida a uma potência 20 kW durante 20h :     | 400 kWh             |
| Consumo de hidrogénio a uma potência 20 kW durante 20h : | 30,7 kg             |

Com base nos dados presentes da Tabela 17, em termos energéticos, a célula de combustível considerada, operando a uma potência continua de 20 kW, pode fornecer a energia necessária para as cargas do veículo.

Em termos energéticos a implementação deste tipo de tecnologia no sistema de tração apresenta inúmeras vantagens :

- aumento de autonomia;
- redução de peso, dependendo do número de baterias poderá atingir entre 500 a 1000 kg, aumentando diretamente a capacidade de passageiros a embarcar;
- tempo de abastecimento / carregamento inferior a 9 minutos.

## 8. Referências

- [1] A. A. M. GOUVEIA, “Regulação Do Transporte Rodoviário Coletivo De Passageiros,” Novembro 2013. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/70368>. [Acedido em novembro 2020].
- [2] C. Europeia, “Energia, alterações climáticas, ambiente,” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_pt](https://ec.europa.eu/clima/change/causes_pt). [Acedido em Dezembro 2020].
- [3] E. E. Agency, “A European Strategy for Low-Emission Mobility,” 20 Julho 2016. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/a-european-strategy-for-low>. [Acedido em Novembro 2020].
- [4] H. J. d. S. Fernandes, “Avaliação do desempenho de autocarro eléctrico em condições reais de utilização,” IST, Lisboa, 2018.
- [5] R. Oliveira, “Estudo da viabilidade energética de amortecedores,” UNESP, Guaratinguetá, 2012.
- [6] T. Ramos, “Sistema de tracção de um Veículo Elétrico de Competição,” FEUP, Porto, 2011.
- [7] V. Azevedo, “Projeto de um Protótipo de um Veículo Elétrico,” Universidade da Madeira, Madeira, 2015.
- [8] CaetanoBus, “A nossa história,” CaetanoBus, [Online]. Available: <https://caetanobus.pt/pt/company/our-history/>. [Acedido em maio 2022].
- [9] Contrac, “Aviaco,” 2006. [Online]. Available: [https://aviaco-gse.com/static/09b9ef23870e5e093791ce3a59f86473/Technical\\_ContracCobus3000S\\_pecNGmodel2006.pdf](https://aviaco-gse.com/static/09b9ef23870e5e093791ce3a59f86473/Technical_ContracCobus3000S_pecNGmodel2006.pdf). [Acedido em Dezembro 2020].
- [10] L. Flemming, “Os Aeroportos e as condições ambientais”.

- [11] elect-expo, “elect-expo,” elect-expo, [Online]. Available: <https://www.elect-expo.com/en/electrifying-stories/stuttgart-airport-is-aiming-to-be-climate-neutral-by-the-year-2050/>. [Acedido em Dezembro 2020].
- [12] COBUS, “Cobus sales in the world,” Wiesbaden, 2020.
- [13] A. Costa, “Avaliação do Desempenho de Ligações aparafusadas em perfis de alumínio aplicados em superestruturas de autocarros,” ISEP, PORTO, 2019.
- [14] CAETANOBUS- Fabricação de Carroçarias, S.A., “Relatório Técnico Científico "DIESEL TO ELECTRIC UPGRADE-D2EU",” Vila Nova de Gaia, 2011.
- [15] CAETANOBUS/SIEMENS, “Final Documentation – eCobus,” GAIA, 2017.
- [16] bi4all, “bi4all,” [Online]. Available: [https://www.bi4all.pt/solucoes/big-data/?gclid=CjwKCAjw49qKBhAoEiwAHQVTo5qzOliNZpksH5yTiC5LsZVvJEVIx2H-8Ip9weiV6dRl\\_UZipLkV1RoCe4kQAvD\\_BwE](https://www.bi4all.pt/solucoes/big-data/?gclid=CjwKCAjw49qKBhAoEiwAHQVTo5qzOliNZpksH5yTiC5LsZVvJEVIx2H-8Ip9weiV6dRl_UZipLkV1RoCe4kQAvD_BwE). [Acedido em outubro 2021].
- [17] “SBCOACHING,” [Online]. Available: <https://www.sbcoaching.com.br/big-data/>. [Acedido em Outubro 2021].
- [18] IBM, “IBM Cloud Education,” IBM , 15 Julho 2020. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/uk-en/cloud/learn/machine-learning>. [Acedido em 2022].
- [19] B. N. Brasil, “Descoberta Automática de padrões a partir de registos de ações com fins de análise organizacional,” UALG, Algarve, 2021.
- [20] L. H. Velasquez, “OPER,” DATA SCIENCE, 13 Agosto 2020. [Online]. Available: <https://operdata.com.br/blog/uma-visao-geral-sobre-machine-learning/>. [Acedido em Abril 2022].
- [21] P. M. R. Sampaio, “Detecção de ataques em aplicações Web através de algoritmos de Machine Learning,” ESTG, PORTO, 2021.

- [22] DataRobot, “The importance of machine learning data,” DataRobot, 26 Março 2020. [Online]. Available: <https://www.datarobot.com/blog/the-importance-of-machine-learning-data/>. [Acedido em Abril 2022].
- [23] D. Silva, “Pré-processamento de Dados e Comparação entre Algoritmos de Machine Learning para a Análise Preditiva de Falhas em Linhas de Produção para o Controlo,” ISEP, PORTO, 2021.
- [24] A. S. a. 2R.Gunasundari, “A Survey on Data Preprocessing Techniques for,” Karpagam University, Coimbatore, 2017.
- [25] A. Bhande, “Grey ATOM,” Medium, 11 Março 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/greyatom/what-is-underfitting-and-overfitting-in-machine-learning-and-how-to-deal-with-it-6803a989c76>. [Acedido em Outubro 2021].
- [26] A. Al-Masri, “What Are Overfitting and Underfitting in Machine Learning?,” Towards Data Science, 21 Junho 2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/what-are-overfitting-and-underfitting-in-machine-learning-a96b30864690>. [Acedido em Abril 2022].
- [27] T. Rezende, “RMSE ou MAE? Como avaliar meu modelo de machine learning?,” 28 Novembro 2018. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/rmse-ou-mae-como-avaliar-meu-modelo-de-machine-learning-rezende/?originalSubdomain=pt>. [Acedido em abril 2022].
- [28] P. Barros, “Opensanca,” 7 Abril 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/opensanca/aprendizagem-de-maquina-supervisionada-ou-n%C3%A3o-supervisionada-7d01f78cd80a>. [Acedido em Outubro 2021].
- [29] V. Maheshwari, “Data Driven Investor,” Medium, 18 Dezembro 2018. [Online]. Available: <https://medium.datadriveninvestor.com/supervised-and-unsupervised-learning-7281050992a0>. [Acedido em Outubro 2021].

- [30] J. T. point, “Java T point,” Java T point, [Online]. Available: <https://www.javatpoint.com/regression-vs-classification-in-machine-learning>. [Acedido em maio 2022].
- [31] L. Damaceno, “medium,” medium, 10 Junho 2020. [Online]. Available: <https://medium.com/@lauradamaceno/regress%C3%A3o-linear-6a7f247c3e29>. [Acedido em outubro 2021].
- [32] E. F. S. NOGUEIRA, “Machine Learning para previsão de resultados de jogos de Ténis,” ISEP, Porto, 2019.
- [33] A. J. F. d. C. Dias, “Análise de Dados para Previsão de Micro Produção de Energia Solar e Eólica,” IPB, Bragança , 2015.
- [34] USP, “Redes Neurais Artificiais,” Hot Links, [Online]. Available: <https://sites.icmc.usp.br/andre/research/neural/>. [Acedido em 2022].
- [35] M. J. Nicola, “Adoção de random forest e regressão linear para previsão de falhas em equipamentos agrícolas,” USP, São Carlos, 2021.
- [36] N. Donges, “A Complete Guide to the Random Forest Algorithm,” built in, 22 Julho 2021. [Online]. Available: <https://builtin.com/data-science/random-forest-algorithm>. [Acedido em outubro 2021].
- [37] C. Bakshi, “gitconnected,” 8 Julho 2020. [Online]. Available: <https://levelup.gitconnected.com/random-forest-regression-209c0f354c84>. [Acedido em Outubro 2021].
- [38] L. Breiman, “Random Forest,” University of California, Berkeley, CA, 2001.
- [39] R. D. S. D. S. BÁRTOLO, “Previsão Inteligente do consumo de energia com base em modelos DeepLearning,” ISEP, PORTO, 2018.
- [40] Amansingh, 22 Abril 2021. [Online]. Available: <https://medium.com/nerd-for-tech/k-nearest-neighbors-algorithm-3484893272ee>. [Acedido em Outubro 2021].

- [41] I. M. d. S. Lima, “Identificação de Vias Moduladas por micro RNAs na diferenciação celular e Manutenção da Pluripotência em células Humanas,” U. São Paulo, Ribeirão Preto, 2017.
- [42] G. Hora, J. Menezes, G. Júnior e A. Neto, “Avaliação de Ferramentas de Mineração de Dados: Uma Abordagem Com o Modelo TAM,” CONGENTI, 2017.
- [43] T. Gomes, “Ferramentas Open Source de Data Mining,” ISEC, Coimbra, 2014.
- [44] H. Pinto, “Análise de sentimento e desempenho de participantes em MOOC da UA,” Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2019.
- [45] J. Costa e R. Basílio, “Ensinando Máquinas,” 13 Dezembro 2017. [Online]. Available: <https://ensinandomaquinasblog.wordpress.com/tag/knime/>. [Acedido em Julho 2022].
- [46] B. Batista, “Machine Learning sem código,” Ensina.AI, 10 Julho 2019. [Online]. Available: <https://medium.com/ensina-ai/machine-learning-sem-c%C3%B3digo-636d1a8f9081>. [Acedido em Julho 2022].
- [47] Orange, “Orange Datamining,” [Online]. Available: <https://orangedatamining.com/home/visual-programming/>.
- [48] P. S. Patel e D. S. Desai, “A Comparative Study on Data Mining Tools,” *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 4, nº 2, p. 3, 2015.
- [49] T. A. M. d. Silva, “Ferramentas Gratuitas para Desenvolvimento de Soluções de Business Intelligence,” ESTV, Viseu, 2015.
- [50] Eberspächer, *HVAC workorder Overview Setpoint*, Vila Nova de Gaia: CaetanoBus, 2020.
- [51] ". Helerbrock", “Equilíbrio térmico,” brasileira escola, [Online]. Available: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/equilibrio-termico.htm>.

- [52] W. Baolin, “Comparison of statistical methods for classification of ovarian cancer using mass spectrometry data,” *BIOINFORMATICS* 19(13) 1636-1643, p. 8, 3 Março 2003.
- [53] Equipa Análise e Simulação - Eng. 1 - CaetanoBus, *Seminário: Análise e Consumos - Célula de Combustível*, Vila Nova de Gaia: CaetanoBus, 2022.
- [54] A2MAC, “A2MAC1 Tesla Model 3 cooling system,” 20 Julho 2018. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WU-u-tUjsXo>. [Acedido em Dezembro 2020].
- [55] P. Maric, “CarAdvice,” 05 Setembro 2019. [Online]. Available: <https://www.caradvice.com.au/789680/porsche-taycan-a-look-at-its-motors-transmission-and-dynamic-chassis/>. [Acedido em Dezembro 2020].
- [56] Learn Engineering, “Learn Engineering,” Youtube, 30 Maio 2017. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=3SAxXUIre28>. [Acedido em Dezembro 2020].
- [57] R. Sabolcik, “power Electronic Tips,” EE World Online Resource, 14 Agosto 2018. [Online]. Available: <https://www.powerelectrontips.com/galvanic-isolation-for-electric-vehicle-systems/>. [Acedido em Janeiro 2021].
- [58] R. Hömberg, “COBUS MAINTENANCE INSTRUCTIONS €5,” COBUS INDUSTRIES, Wiesbaden, 2017.
- [59] “SÜTRAK Operating instructions for roof mounted air conditionings Airport shuttle buses,” EBERSPACHER, RENNINGEN, 2011.
- [60] Siemens, “Final Documentation – eCobus China V3,” Siemens, 2020.
- [61] THE IRISH TIMES, “THE IRISH TIMES,” THE IRISH TIMES, 29 JANEIRO 2020. [Online]. Available: <https://www.irishtimes.com/life-and-style/motors/tesla-s-next-gen-model-x-a-frustrating-95k-drive-but-everyone-else-will-love-it-1.4147930>. [Acedido em JANEIRO 2021].

- [62] J. (. Gong, “JJ Gong,” 02 Junho 2018. [Online]. Available: <https://www.gong-jj.com/ul/>. [Acedido em Outubro 2021].
- [63] D. J. R. S. Diedrik P. Kingma, “Semi-supervised Learning with”.
- [64] “Introdução a Redes Neurais,” [Online]. Available: <https://www.cin.ufpe.br/~if114/Monografias/Redes%20Neurais/Com%20Pesos/introducao.htm>. [Acedido em Outubro 2021].
- [65] P. Pedamkar, “educba,” [Online]. Available: <https://www.educba.com/decision-tree-algorithm/>. [Acedido em outubro 2021].
- [66] S. A. Gokte, “KD nuggets,” [Online]. Available: <https://www.kdnuggets.com/2020/11/most-popular-distance-metrics-knn.html>. [Acedido em Outubro 2021].
- [67] F. S.Fernandes, “Família Catano, do automóvel à aeronautica,” *Jornal de Negocios*, 2020.
- [68] A. S. R. d. S. Tobias EVANGELISTA, “Algoritmos e técnicas para a mineração de dados,” Fundação Educacional do Município de Assis, São Paulo.
- [69] R. Gandhi, “Support Vector Machine — Introdução aos algoritmos de aprendizado de máquina,” Towardsdatascience, 7 Junho 2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machine-learning-algorithms-934a444fca47>. [Acedido em Maio 2022].
- [70] COBUS, “e.Cobus,” [Online]. Available: <https://www.cobus-industries.de/produkte/e-cobus-3000/>.
- [71] TAM, “TAM-VivAir 104WL,” [Online]. Available: <https://www.aeroexpo.online/pt/prod/tam-europe-ltd/product-172529-30417.html>.
- [72] MAllaghan, “MAllaghan,” [Online]. Available: <https://mallaghangse.com/portfolio-items/arbus-50w-airport-bus/>.

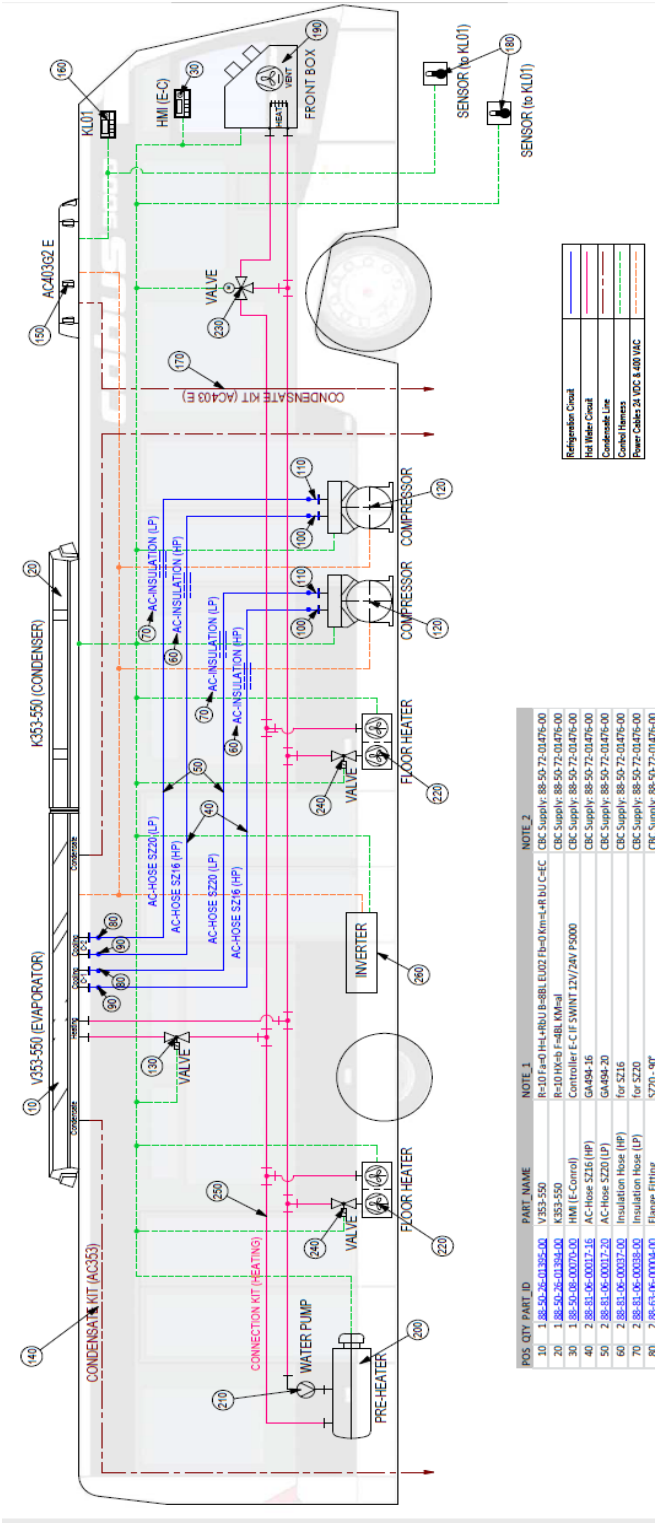
- [73] BYD, “iStock,” [Online]. Available: <https://www.istockphoto.com/br/foto/byd-k9-%C3%B4nibus-el%C3%A9trico-da-china-gm601359806-103398115>.
- [74] Xinfra Airport equipment, “Xinfra Airport Equipment Apron Bus,” Xinfra, [Online]. Available: <https://www.airportapronbus.com/sale-6485328-118kw-200l-xinfra-airport-equipment-apron-bus-with-aluminum-apron.html>. [Acedido em Abril 2022].
- [75] Yutong, “Yutong- Products-ZK6140BD,” Yutong, [Online]. Available: <https://en.yutong.com/products/ZK6140BD.shtml>. [Acedido em Abril 2022].
- [76] V. d. Oliveira, “neuroevolucao,” Victor Oliveira, 21 Maio 2018. [Online]. Available: <https://vtoliveira.github.io/projetos/neuroevolucao>. [Acedido em 17 Outubro 2022].
- [77] STCP, “STCP-galeria de imagens,” STCP, [Online]. Available: <https://www.stcp.pt/pt/galeria-de-imagens/veiculos/>. [Acedido em janeiro 2021].



Anexos

Anexo A. Circuito AVAC e.Cobus 3002

Neste anexo encontra-se representada a arquitetura do sistema de refrigeração (AVAC) aplicado no modelo e.Cobus 3002



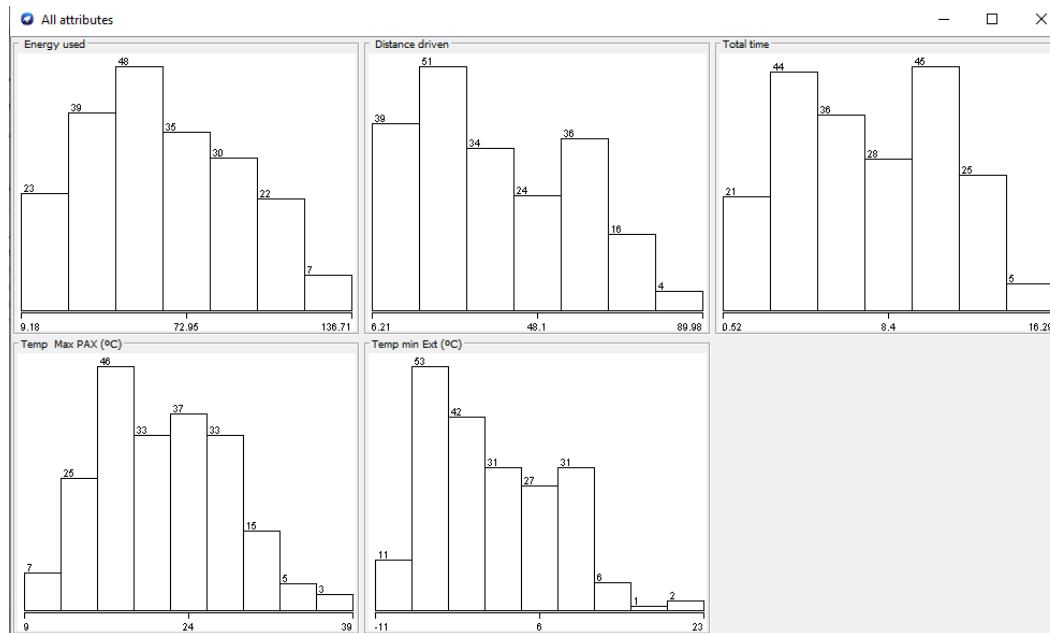


## Anexo B. Segmento de Veículos fabricado da CaetanoBus

| Segmento      | Designação                |                                                                                       |
|---------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| TURISMO       | WINNER                    |    |
|               | LEVANTE                   |    |
|               | INVICTUS                  |    |
| MINIAUTOCARRO | iTrabus- Turismo e Urbano |    |
| URBANO        | CITY MIDI                 |   |
|               | CITY GOLD                 |  |
|               | CITY GOLD- ECOCITY (CNG)  |  |
| AEROPORTO     | COBUS                     |  |
| ESPECIAL      | DOUBLE END STEERING       |  |
| ELÉTRICO      | E.CITY GOLD               |  |
|               | E.COBUS                   |  |
|               | H2.CITY GOLD              |  |

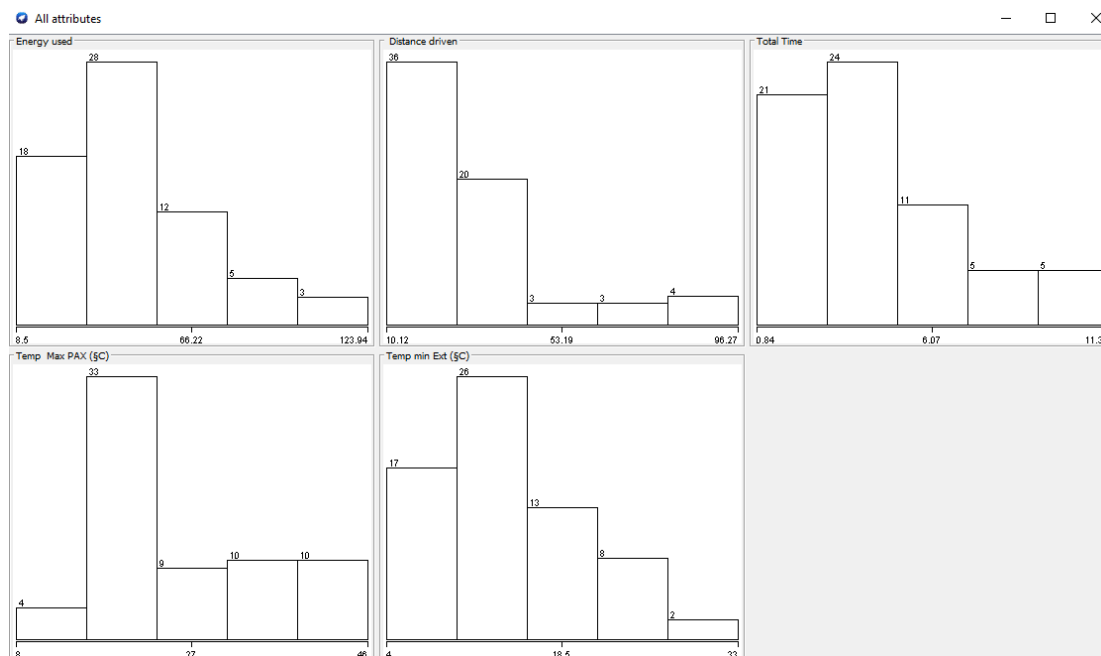
## Anexo C. Distribuição gráfica do dataset no Weka

- F193206008



A imagem anterior apresenta a distribuição dos dados das variáveis selecionadas para o estudo da unidade F193206008 no ambiente de trabalho do WEKA

- F183206006



- A imagem anterior apresenta a distribuição dos dados das variáveis selecionadas para o estudo da unidade 183206006 no ambiente de trabalho do WEKA



## Anexo D. Dataset e.Cobus 3001 Demonstration Unit- F183206006

O Anexo D apresenta o conjunto de dados coletados da plataforma de telemetria da unidade F183206006, a vermelho visualiza-se a temperatura mais elevada atingida no compartimento dos passageiros e a azul a temperara mínima medida no exterior.

| Date time  | Num of charg. | Energy driven | Energy idled | Energy used in service | Energy used not in service | Energy regen. driving | Energy used | Dist. driven | Time charging | Time driving | Time in service | Time not in service | Total Time | Eficiência consumo kWh/h | Eficiência consumo kWh/km | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) | Local                      |
|------------|---------------|---------------|--------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|---------------------|------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 03/11/2020 | 1             | 8,039         | 0,461        | 8,422                  | 0,074                      | 1,779                 | 8,501       | 16,57        | 1,028         | 0,413        | 0,828           | 0,104               | 0,931      | 9,130                    | 0,513                     | 22                | 14                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 04/11/2020 | 1             | 45,332        | 7,520        | 52,180                 | 0,645                      | 7,019                 | 52,854      | 42,46        | 2,737         | 2,123        | 3,484           | 0,257               | 3,741      | 14,128                   | 1,245                     | 22                | 14                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 05/11/2020 | 1             | 31,038        | 7,024        | 35,487                 | 2,541                      | 4,487                 | 38,066      | 28,595       | 1,962         | 1,337        | 2,197           | 0,724               | 2,921      | 13,031                   | 1,331                     | 25                | 11                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 06/11/2020 | 1             | 54,803        | 26,645       | 72,205                 | 9,195                      | 6,786                 | 81,451      | 44,615       | 4,183         | 2,033        | 3,756           | 0,956               | 4,712      | 17,285                   | 1,826                     | 22                | 8                 | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 07/11/2020 | 1             | 24,499        | 9,919        | 28,469                 | 5,914                      | 3,580                 | 34,424      | 21,79        | 1,775         | 0,950        | 1,582           | 1,761               | 3,342      | 10,299                   | 1,580                     | 28                | 11                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 08/11/2020 | 2             | 27,526        | 7,570        | 32,421                 | 2,634                      | 4,570                 | 35,097      | 27,68        | 1,799         | 1,299        | 2,553           | 0,771               | 3,324      | 10,559                   | 1,268                     | 22                | 10                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 10/11/2020 | 1             | 25,554        | 3,456        | 27,745                 | 1,250                      | 6,412                 | 29,011      | 27,525       | 1,481         | 1,355        | 2,022           | 0,457               | 2,479      | 11,701                   | 1,054                     | 16                | 8                 | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 11/11/2020 | 1             | 42,958        | 21,653       | 51,785                 | 12,761                     | 8,016                 | 64,612      | 41,42        | 3,344         | 1,945        | 3,052           | 1,024               | 4,075      | 15,854                   | 1,560                     | 16                | 8                 | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 12/11/2020 | 1             | 25,492        | 3,364        | 28,781                 | 0,063                      | 8,176                 | 28,857      | 27,74        | 1,592         | 1,258        | 3,155           | 0,523               | 3,678      | 7,846                    | 1,040                     | 21                | 8                 | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 13/11/2020 |               | 38,281        | 7,770        | 45,692                 | 0,346                      | 10,380                | 46,055      | 41,365       | 0,008         | 2,320        | 6,020           | 1,373               | 7,393      | 6,229                    | 1,113                     | 17                | 9                 | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 15/11/2020 | 1             | 39,479        | 10,840       | 49,958                 | 0,348                      | 3,999                 | 50,321      | 33,04        | 2,691         | 1,864        | 5,144           | 0,071               | 5,215      | 9,650                    | 1,523                     | 17                | 15                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 18/11/2020 | 1             | 21,632        | 4,022        | 25,599                 | 0,047                      | 4,564                 | 25,658      | 21,63        | 1,477         | 0,940        | 1,429           | 0,006               | 1,435      | 17,882                   | 1,186                     | 17                | 15                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 20/11/2020 | 1             | 43,192        | 17,198       | 60,181                 | 0,192                      | 4,178                 | 60,394      | 34,875       | 3,203         | 1,837        | 5,065           | 0,098               | 5,163      | 11,697                   | 1,732                     | 17                | 12                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 22/11/2020 | 1             | 25,154        | 17,502       | 39,633                 | 3,007                      | 2,376                 | 42,658      | 22,64        | 2,356         | 1,252        | 3,154           | 0,364               | 3,518      | 12,124                   | 1,884                     | 17                | 10                | Berlin-Schönefeld Airport  |
| 17/08/2021 |               | 13,698        | 1,086        | 14,507                 | 0,267                      | 2,381                 | 14,789      | 11,5         |               | 0,425        | 0,684           | 0,156               | 0,840      | 17,608                   | 1,286                     | 37                | 30                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 02/09/2021 |               | 15,094        | 14,216       | 23,726                 | 5,535                      | 1,250                 | 29,311      | 10,115       |               | 0,727        | 1,887           | 0,705               | 2,592      | 11,307                   | 2,898                     | 36                | 23                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 09/09/2021 |               | 14,891        | 12,392       | 22,616                 | 4,643                      | 2,158                 | 27,286      | 11,635       |               | 0,797        | 1,878           | 0,639               | 2,517      | 10,840                   | 2,345                     | 24                | 22                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 20/09/2021 | 1             | 27,762        | 26,080       | 42,315                 | 11,464                     | 3,270                 | 53,845      | 21,895       | 1,648         | 1,311        | 3,273           | 1,922               | 5,196      | 10,363                   | 2,459                     | 40                | 25                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 21/09/2021 |               | 15,594        | 12,101       | 22,869                 | 4,778                      | 0,808                 | 27,698      | 13,83        | 0,009         | 0,866        | 1,854           | 0,857               | 2,711      | 10,217                   | 2,003                     | 46                | 21                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 22/09/2021 | 1             | 26,211        | 18,259       | 37,228                 | 7,193                      | 3,575                 | 44,473      | 20,96        | 1,662         | 1,330        | 2,869           | 0,889               | 3,758      | 11,833                   | 2,122                     | 36                | 22                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 23/09/2021 | 1             | 29,752        | 21,182       | 45,734                 | 5,142                      | 2,076                 | 50,939      | 20,685       | 1,137         | 1,250        | 2,942           | 0,552               | 3,494      | 14,578                   | 2,463                     | 41                | 22                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 24/09/2021 |               | 23,524        | 19,537       | 38,433                 | 4,544                      | 1,510                 | 43,066      | 16,94        | 0,008         | 1,176        | 3,082           | 0,636               | 3,718      | 11,583                   | 2,542                     | 33                | 24                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 25/09/2021 | 1             | 25,012        | 16,897       | 37,879                 | 3,989                      | 1,862                 | 41,913      | 18,615       | 1,924         | 1,303        | 2,961           | 0,576               | 3,536      | 11,852                   | 2,252                     | 30                | 23                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 26/09/2021 |               | 25,870        | 21,868       | 40,546                 | 7,120                      | 1,723                 | 47,741      | 20,015       | 0,006         | 1,266        | 3,006           | 0,909               | 3,915      | 12,194                   | 2,385                     | 36                | 20                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 27/09/2021 | 1             | 13,998        | 13,430       | 22,119                 | 5,265                      | 0,762                 | 27,433      | 10,65        | 1,714         | 0,715        | 1,716           | 0,637               | 2,353      | 11,657                   | 2,576                     | 41                | 19                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 28/09/2021 |               | 26,141        | 17,663       | 39,120                 | 4,646                      | 2,195                 | 43,805      | 21,145       | 0,008         | 1,344        | 3,165           | 0,985               | 4,150      | 10,556                   | 2,072                     | 38                | 19                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 29/09/2021 | 1             | 27,037        | 17,463       | 39,742                 | 4,716                      | 2,252                 | 44,503      | 21,96        | 2,084         | 1,319        | 3,002           | 0,777               | 3,779      | 11,776                   | 2,027                     | 41                | 21                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 30/09/2021 |               | 43,858        | 33,007       | 67,983                 | 8,794                      | 3,783                 | 76,868      | 32,775       |               | 1,839        | 4,219           | 0,917               | 5,136      | 14,967                   | 2,345                     | 43                | 22                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 02/10/2021 | 1             | 35,761        | 34,004       | 58,406                 | 11,282                     | 2,739                 | 69,769      | 25,205       | 1,580         | 1,642        | 3,969           | 1,248               | 5,217      | 13,373                   | 2,768                     | 40                | 33                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 03/10/2021 |               | 18,762        | 12,138       | 25,608                 | 5,268                      | 1,915                 | 30,903      | 14,88        | 0,009         | 0,883        | 1,826           | 0,798               | 2,624      | 11,777                   | 2,077                     | 35                | 21                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 04/10/2021 |               | 31,362        | 22,825       | 47,732                 | 6,376                      | 2,879                 | 54,190      | 23,645       |               | 1,457        | 3,507           | 0,867               | 4,374      | 12,390                   | 2,292                     | 28                | 19                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 06/10/2021 |               | 26,578        | 21,817       | 40,303                 | 8,040                      | 3,060                 | 48,398      | 20,41        |               | 1,208        | 2,882           | 0,927               | 3,809      | 12,707                   | 2,371                     | 40                | 20                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 08/10/2021 | 1             | 38,264        | 20,684       | 54,526                 | 4,369                      | 3,732                 | 58,950      | 31,14        | 1,645         | 1,979        | 4,425           | 0,953               | 5,377      | 10,962                   | 1,893                     | 41                | 19                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 09/10/2021 |               | 40,649        | 33,019       | 63,889                 | 9,692                      | 2,487                 | 73,672      | 29,5         | 0,159         | 1,911        | 4,453           | 1,370               | 5,823      | 12,652                   | 2,497                     | 39                | 20                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 10/10/2021 | 1             | 25,788        | 21,824       | 41,095                 | 6,456                      | 1,719                 | 47,617      | 17,135       | 1,584         | 1,109        | 2,556           | 0,636               | 3,192      | 14,917                   | 2,779                     | 35                | 19                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 11/10/2021 | 2             | 35,183        | 33,969       | 54,453                 | 14,614                     | 3,192                 | 69,155      | 26,21        | 2,311         | 1,433        | 3,421           | 1,536               | 4,957      | 13,950                   | 2,639                     | 35                | 20                | Sevilha- San Pablo Airport |
| 12/10/2021 | 1             | 39,509        | 27,704       | 56,839                 | 10,289                     | 3,305                 | 67,217      | 29,32        | 1,691         | 1,841        | 3,787           | 1,424               | 5,211      | 12,899                   | 2,293                     | 35                | 20                | Sevilha- San Pablo Airport |

| Date time  | Num of charg. | Energy driven | Energy idled | Energy used in service | Energy used not in service | Energy regen. driving | Energy used | Dist. driven | Time charging | Time driving | Time in service | Time not in service | Total Time | Eficiência consumo kWh/h | Eficiência consumo kWh/km | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) | Local                            |
|------------|---------------|---------------|--------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|---------------------|------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| 27/10/2021 | 2             | 13,486        | 3,305        | 14,530                 | 2,246                      | 4,230                 | 16,794      | 13,745       | 0,808         | 0,693        | 1,046           | 8,953               | 10,000     | 1,679                    | 1,222                     | 19                | 11                | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 01/11/2021 |               | 25,854        | 7,092        | 28,977                 | 3,944                      | 6,867                 | 32,954      | 20,9         |               | 0,825        | 1,130           | 0,246               | 1,376      | 23,952                   | 1,577                     | 19                | 10                | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 08/11/2021 |               | 15,852        | 2,997        | 17,347                 | 1,492                      | 3,527                 | 18,852      | 14,99        |               | 0,585        | 0,941           | 0,359               | 1,300      | 14,500                   | 1,258                     | 19                | 11                | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 09/11/2021 | 2             | 28,834        | 6,610        | 31,066                 | 4,360                      | 8,083                 | 35,448      | 26,85        | 2,107         | 1,218        | 1,716           | 0,794               | 2,510      | 14,122                   | 1,320                     | 19                | 11                | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 11/11/2021 |               | 30,745        | 6,662        | 34,436                 | 2,937                      | 9,725                 | 37,411      | 27,615       | 0,009         | 1,114        | 1,998           | 0,742               | 2,740      | 13,653                   | 1,355                     | 21                | 7                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 12/11/2021 | 2             | 28,009        | 5,596        | 30,300                 | 3,286                      | 7,030                 | 33,606      | 22,3         | 1,178         | 0,807        | 1,194           | 3,477               | 4,671      | 7,195                    | 1,507                     | 21                | 7                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 13/11/2021 | 2             | 44,725        | 13,183       | 51,300                 | 6,549                      | 12,258                | 57,916      | 36,18        | 1,685         | 1,515        | 2,614           | 1,433               | 4,047      | 14,311                   | 1,601                     | 16                | 4                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 15/11/2021 | 3             | 21,430        | 14,070       | 25,336                 | 10,131                     | 3,320                 | 35,503      | 13,95        | 0,775         | 0,563        | 1,040           | 1,790               | 2,830      | 12,545                   | 2,545                     | 13                | 8                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 16/11/2021 | 4             | 88,520        | 35,408       | 103,805                | 20,011                     | 22,199                | 123,935     | 70,55        | 2,733         | 3,048        | 5,509           | 3,777               | 9,286      | 13,346                   | 1,757                     | 13                | 8                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 17/11/2021 | 1             | 48,275        | 12,677       | 53,368                 | 7,517                      | 14,375                | 60,968      | 42,585       | 1,328         | 1,909        | 3,132           | 1,922               | 5,055      | 12,062                   | 1,432                     | 19                | 7                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 18/11/2021 | 3             | 73,799        | 33,378       | 86,398                 | 20,657                     | 19,772                | 107,181     | 63,23        | 2,286         | 2,727        | 4,499           | 4,123               | 8,622      | 12,431                   | 1,695                     | 20                | 9                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 19/11/2021 | 2             | 62,005        | 30,278       | 75,742                 | 16,456                     | 13,322                | 92,287      | 50,765       | 1,347         | 2,192        | 3,778           | 2,088               | 5,866      | 15,733                   | 1,818                     | 23                | 4                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 20/11/2021 |               | 24,558        | 7,513        | 26,903                 | 5,145                      | 6,573                 | 32,078      | 25,985       |               | 1,172        | 1,699           | 1,144               | 2,843      | 11,284                   | 1,234                     | 23                | 9                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 22/11/2021 |               | 18,270        | 5,221        | 20,856                 | 2,608                      | 5,263                 | 23,494      | 16,685       | 0,009         | 0,710        | 1,360           | 0,769               | 2,129      | 11,034                   | 1,408                     | 8                 | 7                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 23/11/2021 | 1             | 40,199        | 11,905       | 42,290                 | 9,786                      | 12,241                | 52,105      | 33,125       | 0,968         | 1,178        | 1,754           | 3,083               | 4,837      | 10,772                   | 1,573                     | 13                | 5                 | Paris- Charles de Gaulle Airport |
| 11/12/2021 |               | 13,773        | 5,635        | 16,137                 | 3,249                      | 2,838                 | 19,412      | 13,96        |               | 0,689        | 1,642           | 1,430               | 3,072      | 6,319                    | 1,391                     | 19                | 14                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 12/12/2021 |               | 38,355        | 12,708       | 43,261                 | 7,761                      | 7,797                 | 51,066      | 41,095       |               | 1,987        | 3,695           | 2,841               | 6,535      | 7,814                    | 1,243                     | 22                | 14                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 13/12/2021 | 1             | 28,832        | 4,633        | 32,068                 | 1,377                      | 6,010                 | 33,468      | 34,455       | 1,551         | 1,546        | 3,034           | 0,677               | 3,712      | 9,017                    | 0,971                     | 24                | 11                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 14/12/2021 | 1             | 34,565        | 5,231        | 38,182                 | 1,579                      | 7,620                 | 39,798      | 39,335       | 1,136         | 1,800        | 3,480           | 0,908               | 4,388      | 9,070                    | 1,012                     | 21                | 11                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 15/12/2021 | 1             | 50,517        | 9,652        | 55,409                 | 4,708                      | 10,288                | 60,172      | 58,1         | 1,094         | 2,757        | 4,830           | 2,313               | 7,144      | 8,423                    | 1,036                     | 25                | 11                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 16/12/2021 | 1             | 57,451        | 10,998       | 63,765                 | 4,614                      | 11,973                | 68,453      | 64,195       | 1,337         | 3,043        | 5,901           | 2,484               | 8,385      | 8,164                    | 1,066                     | 23                | 11                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 17/12/2021 | 3             | 83,063        | 13,183       | 91,940                 | 4,220                      | 18,783                | 96,248      | 96,27        | 2,454         | 4,184        | 8,064           | 3,243               | 11,307     | 8,512                    | 1,000                     | 25                | 10                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 18/12/2021 | 1             | 82,300        | 26,339       | 93,146                 | 15,406                     | 13,527                | 108,640     | 84,51        | 2,149         | 3,837        | 6,726           | 3,029               | 9,755      | 11,137                   | 1,286                     | 24                | 10                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 19/12/2021 | 3             | 75,138        | 12,859       | 84,216                 | 3,706                      | 12,863                | 88,000      | 84,15        | 1,691         | 3,830        | 6,688           | 1,876               | 8,564      | 10,276                   | 1,046                     | 22                | 10                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 20/12/2021 | 4             | 87,429        | 12,597       | 97,201                 | 2,738                      | 14,651                | 100,028     | 93,18        | 2,241         | 4,541        | 8,379           | 2,225               | 10,604     | 9,433                    | 1,073                     | 22                | 11                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 22/12/2021 |               | 15,725        | 3,854        | 17,178                 | 2,391                      | 3,022                 | 19,581      | 17,885       |               | 0,745        | 1,432           | 0,941               | 2,373      | 8,251                    | 1,095                     | 19                | 14                | Lisboa- Humberto Delgado Airport |
| 05/04/2022 | 2             | 14,797        | 3,278        | 17,353                 | 0,721                      | 2,208                 | 18,076      | 14,19        | 0,951         | 0,836        | 1,678           | 0,212               | 1,890      | 9,562                    | 1,274                     | 17                | 13                | Leipzig-Halle Airport            |
| 06/04/2022 | 1             | 23,366        | 2,005        | 24,446                 | 0,920                      | 8,413                 | 25,373      | 25,625       | 1,314         | 0,872        | 1,526           | 0,304               | 1,830      | 13,864                   | 0,990                     | 17                | 9                 | Leipzig-Halle Airport            |
| 07/04/2022 |               | 11,364        | 4,806        | 15,795                 | 0,372                      | 2,030                 | 16,172      | 10,78        | 0,009         | 0,723        | 2,301           | 0,054               | 2,355      | 6,866                    | 1,500                     | 21                | 13                | Leipzig-Halle Airport            |

Anexo E. - Dataset e.Cobus 3001 (*Düsseldorf Airport*)- F193206008

O Anexo E apresenta o conjunto de dados coletados da plataforma de telemetria da unidade F193206008

| Data       | Num<br>of<br>charg. | Energy<br>driven | Energy<br>idled | Energy<br>used in<br>service | Energy<br>used not<br>in<br>service | Energy<br>used | Distance<br>driven | Time<br>in<br>service | Time<br>not in<br>service | Total<br>time | Eficiência<br>consumo<br>kWh/h | Eficiência<br>consumo<br>kWh/km | Temp<br>Max<br>PAX<br>(°C) | Temp<br>min<br>Ext<br>(°C) |
|------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 25/09/2020 | 1                   | 16,062           | 2,946           | 16,905                       | 2,092                               | 19,011         | 23,655             | 1,244                 | 1,558                     | 2,802         | 6,786                          | 0,804                           | 23                         | 5                          |
| 09/10/2020 | 1                   | 8,693            | 1,506           | 9,793                        | 0,404                               | 10,202         | 9,205              | 0,451                 | 0,065                     | 0,516         | 19,770                         | 1,108                           | 18                         | 5                          |
| 11/10/2020 | 1                   | 40,373           | 28,949          | 60,982                       | 8,271                               | 69,330         | 34,705             | 3,483                 | 3,921                     | 7,404         | 9,364                          | 1,998                           | 23                         | -1                         |
| 12/10/2020 | 2                   | 32,592           | 35,426          | 51,229                       | 16,740                              | 68,021         | 31,32              | 2,958                 | 4,260                     | 7,218         | 9,424                          | 2,172                           | 23                         | 1                          |
| 13/10/2020 | 2                   | 17,522           | 36,142          | 20,674                       | 32,972                              | 53,666         | 19,215             | 1,831                 | 13,386                    | 15,217        | 3,527                          | 2,793                           | 28                         | -1                         |
| 14/10/2020 | 3                   | 31,842           | 22,371          | 43,197                       | 10,976                              | 54,221         | 32,88              | 3,564                 | 1,785                     | 5,349         | 10,137                         | 1,649                           | 18                         | -1                         |
| 15/10/2020 |                     | 13,415           | 4,635           | 16,784                       | 1,245                               | 18,053         | 14,775             | 1,609                 | 6,894                     | 8,503         | 2,123                          | 1,222                           | 14                         | -1                         |
| 16/10/2020 | 3                   | 30,796           | 22,454          | 42,760                       | 10,452                              | 53,254         | 28,485             | 2,828                 | 1,223                     | 4,050         | 13,148                         | 1,870                           | 18                         | -1                         |
| 18/10/2020 | 2                   | 26,896           | 64,374          | 62,964                       | 28,221                              | 91,278         | 17,075             | 3,573                 | 2,558                     | 6,131         | 14,887                         | 5,346                           | 26                         | -1                         |
| 03/11/2020 | 1                   | 27,085           | 16,112          | 33,666                       | 9,527                               | 43,198         | 25,705             | 1,744                 | 3,882                     | 5,626         | 7,678                          | 1,681                           | 23                         | 1                          |
| 11/11/2020 |                     | 13,944           | 3,803           | 14,315                       | 3,421                               | 17,755         | 15,61              | 0,732                 | 0,318                     | 1,049         | 16,920                         | 1,137                           | 17                         | 1                          |
| 12/11/2020 | 1                   | 10,536           | 9,499           | 19,666                       | 0,351                               | 20,038         | 9,105              | 1,662                 | 0,709                     | 2,370         | 8,453                          | 2,201                           | 26                         | 1                          |
| 15/11/2020 | 1                   | 23,453           | 25,560          | 48,285                       | 0,704                               | 49,015         | 20,05              | 2,775                 | 1,073                     | 3,849         | 12,736                         | 2,445                           | 22                         | 1                          |
| 20/11/2020 | 1                   | 24,502           | 15,826          | 38,731                       | 1,586                               | 40,336         | 21,395             | 2,294                 | 1,088                     | 3,382         | 11,928                         | 1,885                           | 13                         | -5                         |
| 21/11/2020 | 1                   | 11,875           | 18,570          | 29,361                       | 1,075                               | 30,452         | 8,98               | 1,857                 | 0,096                     | 1,953         | 15,593                         | 3,391                           | 15                         | -5                         |
| 23/11/2020 |                     | 6,598            | 2,576           | 7,317                        | 1,851                               | 9,176          | 6,21               | 0,496                 | 0,106                     | 0,602         | 15,251                         | 1,478                           | 10                         | -4                         |
| 25/11/2020 | 1                   | 16,521           | 36,332          | 39,428                       | 13,408                              | 52,860         | 14,81              | 2,826                 | 1,124                     | 3,950         | 13,383                         | 3,569                           | 17                         | -1                         |
| 04/12/2020 | 2                   | 19,891           | 17,052          | 34,500                       | 2,406                               | 36,947         | 17,8               | 3,039                 | 1,340                     | 4,379         | 8,437                          | 2,076                           | 13                         | -4                         |
| 05/12/2020 | 1                   | 18,129           | 11,563          | 29,103                       | 0,569                               | 29,696         | 16,35              | 2,114                 | 0,087                     | 2,201         | 13,492                         | 1,816                           | 12                         | -5                         |
| 14/12/2020 | 1                   | 10,360           | 5,161           | 11,842                       | 3,675                               | 15,522         | 12,495             | 2,094                 | 1,979                     | 4,073         | 3,811                          | 1,242                           | 12                         | 0                          |
| 12/01/2021 | 1                   | 14,676           | 2,703           | 15,199                       | 2,163                               | 17,386         | 12,55              | 0,524                 | 0,139                     | 0,663         | 26,208                         | 1,385                           | 9                          | -5                         |
| 13/01/2021 | 2                   | 23,682           | 33,310          | 40,026                       | 16,935                              | 57,000         | 16,45              | 1,489                 | 0,866                     | 2,355         | 24,201                         | 3,465                           | 18                         | -9                         |
| 03/02/2021 | 2                   | 38,909           | 11,351          | 47,862                       | 2,385                               | 50,264         | 39,93              | 4,211                 | 0,640                     | 4,851         | 10,363                         | 1,259                           | 14                         | -1                         |
| 05/02/2021 | 1                   | 18,761           | 20,465          | 31,489                       | 7,706                               | 39,228         | 16,175             | 1,268                 | 1,668                     | 2,936         | 13,361                         | 2,425                           | 19                         | -1                         |
| 06/02/2021 | 2                   | 27,423           | 27,582          | 40,695                       | 14,271                              | 55,013         | 18,77              | 1,464                 | 2,038                     | 3,502         | 15,711                         | 2,931                           | 17                         | -6                         |
| 19/02/2021 | 2                   | 18,835           | 15,509          | 28,511                       | 5,823                               | 34,349         | 20,835             | 2,027                 | 1,677                     | 3,705         | 9,271                          | 1,649                           | 21                         | -1                         |
| 20/02/2021 |                     | 14,042           | 6,130           | 16,275                       | 3,888                               | 20,174         | 16,37              | 1,646                 | 4,195                     | 5,841         | 3,454                          | 1,232                           | 21                         | 7                          |
| 21/02/2021 | 1                   | 13,658           | 5,120           | 17,042                       | 1,723                               | 18,779         | 17,87              | 2,319                 | 2,527                     | 4,846         | 3,875                          | 1,051                           | 25                         | 5                          |
| 24/02/2021 | 1                   | 11,028           | 2,905           | 13,150                       | 0,766                               | 13,936         | 13,99              | 1,413                 | 0,218                     | 1,632         | 8,541                          | 0,996                           | 21                         | 1                          |
| 25/02/2021 | 1                   | 9,832            | 2,454           | 11,360                       | 0,918                               | 12,288         | 12,855             | 1,481                 | 0,634                     | 2,115         | 5,810                          | 0,956                           | 21                         | 5                          |
| 26/02/2021 | 1                   | 15,594           | 5,495           | 19,103                       | 1,973                               | 21,092         | 20                 | 1,581                 | 0,636                     | 2,217         | 9,513                          | 1,055                           | 17                         | -1                         |
| 28/02/2021 | 1                   | 9,872            | 3,767           | 11,297                       | 2,329                               | 13,640         | 11,84              | 1,233                 | 1,568                     | 2,800         | 4,871                          | 1,152                           | 17                         | -5                         |
| 01/03/2021 | 1                   | 63,628           | 32,865          | 72,938                       | 23,529                              | 96,501         | 67,965             | 3,768                 | 2,792                     | 6,560         | 14,710                         | 1,420                           | 23                         | -5                         |
| 02/03/2021 | 2                   | 8,366            | 7,129           | 11,718                       | 3,766                               | 15,502         | 7,49               | 0,771                 | 2,940                     | 3,711         | 4,177                          | 2,070                           | 21                         | -2                         |
| 03/03/2021 | 1                   | 17,958           | 24,856          | 22,995                       | 19,801                              | 42,816         | 19,47              | 2,029                 | 4,444                     | 6,473         | 6,614                          | 2,199                           | 21                         | -1                         |
| 07/03/2021 | 2                   | 21,149           | 13,614          | 25,434                       | 9,310                               | 34,771         | 19,12              | 1,355                 | 0,714                     | 2,069         | 16,805                         | 1,819                           | 15                         | -11                        |
| 08/03/2021 | 1                   | 15,692           | 30,543          | 21,554                       | 24,648                              | 46,242         | 13,005             | 1,158                 | 6,805                     | 7,963         | 5,807                          | 3,556                           | 15                         | -6                         |
| 09/03/2021 | 2                   | 16,532           | 54,502          | 23,066                       | 47,946                              | 71,041         | 12,13              | 1,146                 | 6,429                     | 7,574         | 9,379                          | 5,857                           | 23                         | -6                         |
| 10/03/2021 | 2                   | 15,691           | 14,716          | 17,426                       | 12,969                              | 30,407         | 16,855             | 1,529                 | 1,434                     | 2,963         | 10,263                         | 1,804                           | 15                         | -5                         |
| 11/03/2021 | 1                   | 8,928            | 8,462           | 11,018                       | 6,363                               | 17,393         | 10,995             | 0,784                 | 3,114                     | 3,898         | 4,463                          | 1,582                           | 17                         | -1                         |
| 12/03/2021 | 3                   | 46,960           | 22,454          | 60,466                       | 8,896                               | 69,422         | 40,21              | 3,509                 | 1,132                     | 4,642         | 14,956                         | 1,726                           | 18                         | -4                         |
| 13/03/2021 | 1                   | 39,628           | 24,714          | 46,634                       | 17,681                              | 64,349         | 33,145             | 1,536                 | 1,049                     | 2,585         | 24,898                         | 1,941                           | 22                         | -5                         |
| 14/03/2021 | 1                   | 20,905           | 18,665          | 24,151                       | 15,404                              | 39,573         | 20,555             | 1,076                 | 1,434                     | 2,509         | 15,771                         | 1,925                           | 20                         | -4                         |
| 15/03/2021 | 1                   | 14,504           | 12,716          | 20,306                       | 6,904                               | 27,221         | 11,935             | 1,076                 | 1,611                     | 2,687         | 10,131                         | 2,281                           | 18                         | -5                         |
| 17/03/2021 | 3                   | 31,795           | 31,777          | 51,762                       | 11,758                              | 63,580         | 24,91              | 2,806                 | 1,884                     | 4,689         | 13,558                         | 2,552                           | 15                         | -6                         |
| 18/03/2021 | 2                   | 16,131           | 47,923          | 19,131                       | 44,901                              | 64,060         | 12,8               | 1,223                 | 5,625                     | 6,847         | 9,356                          | 5,005                           | 22                         | -9                         |
| 19/03/2021 | 1                   | 37,468           | 29,767          | 57,114                       | 10,069                              | 67,241         | 28,315             | 3,284                 | 5,702                     | 8,986         | 7,483                          | 2,375                           | 18                         | -8                         |
| 19/05/2021 | 2                   | 13,256           | 23,361          | 18,852                       | 17,741                              | 36,619         | 16,73              | 1,801                 | 7,071                     | 8,872         | 4,128                          | 2,189                           | 23                         | 0                          |
| 20/05/2021 | 1                   | 17,532           | 14,405          | 24,530                       | 7,386                               | 31,939         | 21,715             | 2,328                 | 3,848                     | 6,176         | 5,171                          | 1,471                           | 24                         | 0                          |
| 21/05/2021 | 2                   | 42,647           | 10,759          | 47,218                       | 6,164                               | 53,407         | 62,2               | 5,160                 | 2,054                     | 7,214         | 7,403                          | 0,859                           | 23                         | 4                          |
| 22/05/2021 | 2                   | 59,836           | 18,946          | 73,993                       | 4,735                               | 78,784         | 66,135             | 6,042                 | 3,458                     | 9,500         | 8,293                          | 1,191                           | 18                         | 1                          |
| 24/05/2021 | 2                   | 37,552           | 14,268          | 47,937                       | 3,853                               | 51,823         | 49,195             | 5,703                 | 2,438                     | 8,141         | 6,365                          | 1,053                           | 22                         | 3                          |
| 25/05/2021 | 1                   | 16,382           | 23,562          | 22,254                       | 17,654                              | 39,945         | 19,455             | 2,224                 | 2,377                     | 4,600         | 8,683                          | 2,053                           | 19                         | 0                          |
| 11/06/2021 | 1                   | 19,822           | 7,943           | 25,271                       | 2,471                               | 27,768         | 22,87              | 1,980                 | 1,384                     | 3,364         | 8,255                          | 1,214                           | 33                         | 19                         |
| 13/06/2021 | 1                   | 32,721           | 16,752          | 43,141                       | 6,301                               | 49,478         | 35,22              | 2,877                 | 1,925                     | 4,802         | 10,303                         | 1,405                           | 30                         | 13                         |
| 14/06/2021 | 2                   | 35,093           | 25,898          | 49,637                       | 11,306                              | 60,992         | 35,42              | 3,148                 | 1,705                     | 4,853         | 12,567                         | 1,722                           | 37                         | 11                         |
| 15/06/2021 | 2                   | 11,237           | 21,476          | 14,676                       | 18,025                              | 32,715         | 11,79              | 0,913                 | 2,660                     | 3,573         | 9,157                          | 2,775                           | 32                         | 10                         |
| 18/06/2021 | 3                   | 16,142           | 18,416          | 27,298                       | 7,219                               | 34,562         | 14,495             | 1,718                 | 0,727                     | 2,445         | 14,133                         | 2,384                           | 38                         | 23                         |
| 19/06/2021 | 2                   | 20,544           | 42,818          | 37,080                       | 26,243                              | 63,366         | 19,88              | 2,648                 | 2,925                     | 5,572         | 11,372                         | 3,187                           | 33                         | 21                         |
| 20/06/2021 | 3                   | 53,047           | 24,264          | 68,646                       | 8,602                               | 77,314         | 59,265             | 5,197                 | 4,718                     | 9,915         | 7,797                          | 1,305                           | 33                         | 12                         |
| 21/06/2021 | 1                   | 15,861           | 4,070           | 18,305                       | 1,615                               | 19,932         | 21,855             | 2,161                 | 0,639                     | 2,800         | 7,118                          | 0,912                           | 22                         | 8                          |
| 25/06/2021 | 1                   | 17,448           | 10,335          | 21,570                       | 6,182                               | 27,784         | 22,775             | 2,812                 | 7,726                     | 10,538        | 2,637                          | 1,220                           | 30                         | 7                          |

| Data       | Num<br>of<br>charg. | Energy<br>driven | Energy<br>idled | Energy<br>used in<br>service | Energy<br>used not<br>in<br>service | Energy<br>used | Distance<br>driven | Time<br>in<br>service | Time<br>not in<br>service | Total<br>time | Eficiência<br>consumo<br>kWh/h | Eficiência<br>consumo<br>kWh/km | Temp<br>Max<br>PAX<br>(°C) | Temp<br>min<br>Ext<br>(°C) |
|------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 26/06/2021 | 1                   | 10,894           | 6,316           | 14,726                       | 2,464                               | 17,212         | 11,85              | 1,596                 | 6,940                     | 8,535         | 2,017                          | 1,452                           | 32                         | 7                          |
| 07/07/2021 |                     | 22,096           | 16,318          | 32,151                       | 6,223                               | 38,417         | 20,775             | 2,547                 | 2,761                     | 5,308         | 7,238                          | 1,849                           | 29                         | 15                         |
| 11/07/2021 | 3                   | 38,892           | 35,878          | 61,397                       | 13,301                              | 74,771         | 45,32              | 6,570                 | 4,995                     | 11,565        | 6,465                          | 1,650                           | 30                         | 8                          |
| 12/07/2021 | 3                   | 34,288           | 11,644          | 42,152                       | 3,733                               | 45,932         | 46,345             | 5,121                 | 2,583                     | 7,704         | 5,963                          | 0,991                           | 32                         | 10                         |
| 13/07/2021 | 2                   | 35,728           | 14,195          | 45,124                       | 4,736                               | 49,926         | 46,81              | 4,832                 | 4,967                     | 9,799         | 5,095                          | 1,067                           | 25                         | 11                         |
| 14/07/2021 | 2                   | 42,820           | 20,672          | 53,824                       | 9,598                               | 63,493         | 53,685             | 6,113                 | 3,859                     | 9,972         | 6,367                          | 1,183                           | 23                         | 9                          |
| 15/07/2021 | 2                   | 51,090           | 31,402          | 69,838                       | 12,578                              | 82,494         | 60,365             | 6,526                 | 3,969                     | 10,496        | 7,860                          | 1,367                           | 29                         | 9                          |
| 16/07/2021 | 2                   | 42,907           | 14,223          | 51,512                       | 5,557                               | 57,132         | 62,575             | 8,062                 | 3,733                     | 11,795        | 4,844                          | 0,913                           | 27                         | 9                          |
| 17/07/2021 | 2                   | 44,865           | 19,014          | 55,975                       | 7,860                               | 63,881         | 63,31              | 8,061                 | 5,702                     | 13,762        | 4,642                          | 1,009                           | 34                         | 10                         |
| 18/07/2021 | 2                   | 28,242           | 38,751          | 47,082                       | 19,852                              | 66,996         | 30,185             | 4,429                 | 7,158                     | 11,588        | 5,782                          | 2,220                           | 39                         | 9                          |
| 06/08/2021 | 3                   | 32,514           | 22,170          | 45,467                       | 9,149                               | 54,685         | 36,135             | 4,707                 | 2,695                     | 7,402         | 7,388                          | 1,513                           | 26                         | 10                         |
| 07/08/2021 | 2                   | 30,303           | 12,114          | 39,286                       | 3,091                               | 42,419         | 40,295             | 4,539                 | 3,575                     | 8,115         | 5,227                          | 1,053                           | 29                         | 12                         |
| 08/08/2021 | 3                   | 51,189           | 39,627          | 68,822                       | 21,916                              | 90,822         | 63,7               | 8,776                 | 7,509                     | 16,286        | 5,577                          | 1,426                           | 27                         | 8                          |
| 10/08/2021 | 1                   | 21,543           | 13,718          | 28,407                       | 6,838                               | 35,264         | 26,395             | 3,159                 | 1,316                     | 4,475         | 7,881                          | 1,336                           | 24                         | 9                          |
| 11/08/2021 | 5                   | 62,427           | 40,103          | 87,794                       | 14,661                              | 102,532        | 70,08              | 7,792                 | 7,124                     | 14,916        | 6,874                          | 1,463                           | 28                         | 8                          |
| 12/08/2021 | 1                   | 17,827           | 6,765           | 22,753                       | 1,820                               | 24,595         | 24,765             | 2,773                 | 1,359                     | 4,132         | 5,952                          | 0,993                           | 30                         | 9                          |
| 13/08/2021 | 5                   | 51,232           | 33,692          | 72,889                       | 11,979                              | 84,926         | 61,565             | 7,352                 | 2,269                     | 9,621         | 8,827                          | 1,379                           | 30                         | 11                         |
| 14/08/2021 | 4                   | 59,665           | 30,044          | 83,401                       | 6,241                               | 89,711         | 69,875             | 8,149                 | 2,658                     | 10,808        | 8,301                          | 1,284                           | 32                         | 9                          |
| 15/08/2021 | 3                   | 35,468           | 16,097          | 47,539                       | 3,985                               | 51,568         | 41,235             | 5,043                 | 1,503                     | 6,546         | 7,877                          | 1,251                           | 32                         | 9                          |
| 16/08/2021 | 3                   | 60,731           | 40,935          | 86,595                       | 15,004                              | 101,667        | 63,8               | 9,003                 | 4,904                     | 13,907        | 7,310                          | 1,594                           | 26                         | 6                          |
| 17/08/2021 | 4                   | 55,390           | 37,010          | 79,269                       | 13,044                              | 92,403         | 56,465             | 6,516                 | 3,273                     | 9,789         | 9,440                          | 1,636                           | 25                         | 4                          |
| 18/08/2021 | 1                   | 22,396           | 15,904          | 30,459                       | 7,812                               | 38,305         | 22,16              | 2,762                 | 1,383                     | 4,145         | 9,241                          | 1,729                           | 25                         | 6                          |
| 19/08/2021 | 2                   | 40,651           | 11,129          | 49,068                       | 2,670                               | 51,783         | 54,705             | 6,817                 | 3,113                     | 9,930         | 5,215                          | 0,947                           | 26                         | 9                          |
| 20/08/2021 | 2                   | 48,424           | 27,474          | 67,585                       | 8,239                               | 75,901         | 55,805             | 6,697                 | 4,657                     | 11,354        | 6,685                          | 1,360                           | 27                         | 7                          |
| 21/08/2021 | 3                   | 57,570           | 30,033          | 75,595                       | 11,931                              | 87,604         | 69,175             | 6,403                 | 4,678                     | 11,081        | 7,906                          | 1,266                           | 32                         | 7                          |
| 22/08/2021 | 5                   | 60,738           | 33,644          | 82,126                       | 12,177                              | 94,386         | 69,81              | 7,319                 | 3,677                     | 10,996        | 8,584                          | 1,352                           | 28                         | 10                         |
| 23/08/2021 | 2                   | 44,905           | 22,052          | 60,932                       | 5,973                               | 66,958         | 55,5               | 6,805                 | 4,237                     | 11,042        | 6,064                          | 1,206                           | 26                         | 10                         |
| 24/08/2021 | 3                   | 24,048           | 11,340          | 30,299                       | 5,061                               | 35,392         | 28,115             | 2,774                 | 1,104                     | 3,879         | 9,125                          | 1,259                           | 30                         | 10                         |
| 25/08/2021 | 3                   | 26,295           | 28,389          | 40,614                       | 14,024                              | 54,687         | 26,675             | 3,710                 | 6,417                     | 10,128        | 5,400                          | 2,050                           | 33                         | 5                          |
| 26/08/2021 | 3                   | 29,704           | 19,498          | 39,065                       | 10,098                              | 49,207         | 36,69              | 4,261                 | 6,109                     | 10,371        | 4,745                          | 1,341                           | 25                         | 7                          |
| 27/08/2021 | 2                   | 57,889           | 36,658          | 82,173                       | 12,282                              | 94,555         | 61,785             | 8,209                 | 3,072                     | 11,281        | 8,382                          | 1,530                           | 23                         | 5                          |
| 28/08/2021 | 1                   | 29,341           | 23,105          | 40,653                       | 11,763                              | 52,447         | 35,295             | 4,085                 | 3,140                     | 7,224         | 7,260                          | 1,486                           | 23                         | 6                          |
| 29/08/2021 | 4                   | 45,776           | 20,708          | 59,297                       | 7,125                               | 66,486         | 60,09              | 7,257                 | 3,170                     | 10,427        | 6,376                          | 1,106                           | 23                         | 6                          |
| 30/08/2021 | 3                   | 36,476           | 12,007          | 44,220                       | 4,221                               | 48,484         | 49,48              | 5,933                 | 1,939                     | 7,873         | 6,159                          | 0,980                           | 23                         | 7                          |
| 31/08/2021 | 3                   | 53,230           | 23,761          | 67,211                       | 9,718                               | 76,992         | 63,765             | 6,680                 | 5,470                     | 12,150        | 6,337                          | 1,207                           | 28                         | 5                          |
| 01/09/2021 | 1                   | 17,691           | 4,316           | 21,126                       | 0,862                               | 22,008         | 22,535             | 2,635                 | 1,134                     | 3,769         | 5,839                          | 0,977                           | 28                         | 5                          |
| 02/09/2021 | 3                   | 58,111           | 19,382          | 72,945                       | 4,472                               | 77,494         | 74,855             | 7,245                 | 4,620                     | 11,865        | 6,531                          | 1,035                           | 32                         | 3                          |
| 07/09/2021 | 2                   | 32,150           | 21,982          | 45,595                       | 8,476                               | 54,135         | 34,365             | 3,999                 | 2,092                     | 6,091         | 8,888                          | 1,575                           | 29                         | 14                         |
| 08/09/2021 | 3                   | 59,614           | 46,630          | 86,463                       | 19,692                              | 106,247        | 66,69              | 7,925                 | 5,993                     | 13,918        | 7,634                          | 1,593                           | 31                         | 9                          |
| 09/09/2021 | 1                   | 18,143           | 10,443          | 22,856                       | 5,710                               | 28,587         | 21,66              | 2,128                 | 1,154                     | 3,282         | 8,711                          | 1,320                           | 28                         | 11                         |
| 11/09/2021 | 1                   | 36,651           | 22,254          | 50,754                       | 8,113                               | 58,906         | 45,135             | 5,364                 | 3,427                     | 8,792         | 6,700                          | 1,305                           | 25                         | 11                         |
| 12/09/2021 | 3                   | 55,604           | 32,399          | 78,210                       | 9,722                               | 88,005         | 67,65              | 7,786                 | 4,760                     | 12,546        | 7,015                          | 1,301                           | 26                         | 9                          |
| 13/09/2021 | 2                   | 19,191           | 9,490           | 25,272                       | 3,390                               | 28,687         | 24,385             | 2,929                 | 1,418                     | 4,346         | 6,601                          | 1,176                           | 27                         | 10                         |
| 14/09/2021 | 2                   | 44,372           | 20,088          | 58,810                       | 5,596                               | 64,462         | 52,42              | 5,539                 | 2,806                     | 8,345         | 7,725                          | 1,230                           | 30                         | 6                          |
| 15/09/2021 | 4                   | 41,111           | 17,033          | 53,591                       | 4,491                               | 58,147         | 50,98              | 5,911                 | 1,588                     | 7,499         | 7,754                          | 1,141                           | 26                         | 11                         |
| 16/09/2021 | 1                   | 54,596           | 29,060          | 75,628                       | 7,962                               | 83,658         | 59,525             | 6,315                 | 6,632                     | 12,948        | 6,461                          | 1,405                           | 26                         | 5                          |
| 17/09/2021 | 4                   | 32,194           | 11,256          | 41,737                       | 1,650                               | 43,454         | 40,855             | 4,356                 | 0,542                     | 4,897         | 8,873                          | 1,064                           | 27                         | 12                         |
| 18/09/2021 | 3                   | 49,852           | 37,954          | 72,082                       | 15,637                              | 87,806         | 56,465             | 7,023                 | 3,896                     | 10,919        | 8,042                          | 1,555                           | 27                         | 6                          |
| 19/09/2021 | 3                   | 50,710           | 32,191          | 68,434                       | 14,408                              | 82,902         | 60,505             | 6,849                 | 4,436                     | 11,284        | 7,347                          | 1,370                           | 24                         | 5                          |
| 20/09/2021 | 2                   | 29,838           | 14,996          | 39,267                       | 5,516                               | 44,847         | 37,585             | 4,646                 | 1,693                     | 6,340         | 7,074                          | 1,193                           | 24                         | 3                          |
| 21/09/2021 | 5                   | 19,679           | 52,080          | 31,250                       | 40,435                              | 71,766         | 23,565             | 2,622                 | 2,806                     | 5,428         | 13,221                         | 3,045                           | 23                         | 4                          |
| 22/09/2021 | 1                   | 26,062           | 31,298          | 37,229                       | 20,080                              | 57,366         | 29,835             | 4,027                 | 6,501                     | 10,528        | 5,449                          | 1,923                           | 26                         | 3                          |
| 25/09/2021 | 2                   | 24,813           | 12,178          | 33,447                       | 3,509                               | 36,998         | 30,125             | 3,759                 | 2,981                     | 6,740         | 5,490                          | 1,228                           | 24                         | 6                          |
| 26/09/2021 | 3                   | 48,742           | 20,976          | 63,874                       | 5,774                               | 69,725         | 62,745             | 7,261                 | 2,201                     | 9,462         | 7,369                          | 1,111                           | 26                         | 9                          |
| 27/09/2021 | 2                   | 38,905           | 32,168          | 59,973                       | 11,049                              | 71,075         | 41,065             | 4,964                 | 3,216                     | 8,181         | 8,688                          | 1,731                           | 25                         | 6                          |
| 28/09/2021 | 1                   | 50,566           | 44,086          | 72,706                       | 21,872                              | 94,654         | 56,16              | 6,268                 | 4,492                     | 10,760        | 8,797                          | 1,685                           | 24                         | 3                          |
| 29/09/2021 | 2                   | 58,853           | 31,269          | 80,356                       | 9,705                               | 90,123         | 60,005             | 5,912                 | 3,397                     | 9,308         | 9,682                          | 1,502                           | 20                         | 3                          |
| 02/10/2021 | 1                   | 33,227           | 13,348          | 39,989                       | 6,553                               | 46,579         | 42,325             | 4,552                 | 5,335                     | 9,887         | 4,711                          | 1,101                           | 22                         | 8                          |
| 03/10/2021 | 2                   | 64,493           | 20,960          | 80,404                       | 4,971                               | 85,454         | 80,22              | 9,410                 | 3,644                     | 13,054        | 6,546                          | 1,065                           | 23                         | 5                          |
| 04/10/2021 | 3                   | 50,955           | 23,968          | 69,873                       | 5,005                               | 74,925         | 63,555             | 7,482                 | 2,181                     | 9,663         | 7,754                          | 1,179                           | 26                         | 3                          |
| 05/10/2021 | 1                   | 20,381           | 16,109          | 28,337                       | 8,132                               | 36,492         | 23,39              | 2,230                 | 1,459                     | 3,689         | 9,892                          | 1,560                           | 21                         | 3                          |
| 07/10/2021 | 3                   | 51,553           | 43,120          | 71,120                       | 23,487                              | 94,674         | 62,02              | 6,975                 | 9,247                     | 16,222        | 5,836                          | 1,527                           | 25                         | 3                          |
| 08/10/2021 | 1                   | 27,777           | 23,088          | 38,224                       | 12,598                              | 50,873         | 29,815             | 3,279                 | 2,954                     | 6,232         | 8,163                          | 1,706                           | 28                         | 0                          |
| 09/10/2021 | 1                   | 30,707           | 27,853          | 45,640                       | 12,870                              | 58,561         | 32,665             | 3,984                 | 2,878                     | 6,862         | 8,534                          | 1,793                           | 29                         | 1                          |
| 10/10/2021 | 4                   | 59,490           | 51,671          | 85,880                       | 25,204                              | 111,163        | 65,41              | 8,521                 | 5,065                     | 13,586        | 8,182                          | 1,699                           | 27                         | 0                          |
| 11/10/2021 | 3                   | 36,971           | 22,241          | 50,208                       | 8,958                               | 59,214         | 36,135             | 3,708                 | 2,049                     | 5,757         | 10,286                         | 1,639                           | 23                         | 3                          |

| Data       | Num<br>of<br>charg. | Energy<br>driven | Energy<br>idled | Energy<br>used in<br>service | Energy<br>used not<br>in<br>service | Energy<br>used | Distance<br>driven | Time<br>in<br>service | Time<br>not in<br>service | Total<br>time | Eficiência<br>consumo<br>kWh/h | Eficiência<br>consumo<br>kWh/km | Temp<br>Max<br>PAX<br>(°C) | Temp<br>min<br>Ext<br>(°C) |
|------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 12/10/2021 | 3                   | 68,110           | 49,267          | 99,703                       | 17,570                              | 117,383        | 66,78              | 8,049                 | 4,224                     | 12,274        | 9,564                          | 1,758                           | 22                         | 1                          |
| 13/10/2021 | 2                   | 30,239           | 20,179          | 41,335                       | 9,036                               | 50,426         | 30,245             | 3,272                 | 1,480                     | 4,752         | 10,613                         | 1,667                           | 19                         | -2                         |
| 14/10/2021 | 3                   | 51,455           | 28,338          | 68,283                       | 11,450                              | 79,800         | 56,88              | 5,840                 | 2,046                     | 7,886         | 10,120                         | 1,403                           | 22                         | 1                          |
| 15/10/2021 | 3                   | 31,526           | 17,334          | 42,999                       | 5,821                               | 48,867         | 35,185             | 3,818                 | 1,221                     | 5,039         | 9,697                          | 1,389                           | 22                         | 1                          |
| 16/10/2021 | 2                   | 24,771           | 14,670          | 33,694                       | 5,700                               | 39,444         | 28,945             | 2,944                 | 1,897                     | 4,842         | 8,146                          | 1,363                           | 18                         | 0                          |
| 17/10/2021 | 3                   | 34,924           | 10,167          | 41,554                       | 3,512                               | 45,092         | 49,33              | 5,032                 | 1,749                     | 6,781         | 6,650                          | 0,914                           | 20                         | -4                         |
| 18/10/2021 | 2                   | 52,483           | 43,289          | 73,233                       | 22,480                              | 95,773         | 62,48              | 7,844                 | 4,501                     | 12,345        | 7,758                          | 1,533                           | 24                         | 0                          |
| 19/10/2021 | 1                   | 22,683           | 30,614          | 36,490                       | 16,764                              | 53,298         | 26,06              | 3,800                 | 3,514                     | 7,314         | 7,287                          | 2,045                           | 20                         | 1                          |
| 20/10/2021 | 2                   | 19,605           | 4,073           | 20,427                       | 3,242                               | 23,680         | 32,39              | 2,313                 | 0,787                     | 3,100         | 7,638                          | 0,731                           | 19                         | 5                          |
| 22/10/2021 | 2                   | 32,631           | 28,483          | 48,251                       | 12,820                              | 61,120         | 31,35              | 3,545                 | 2,183                     | 5,729         | 10,669                         | 1,950                           | 19                         | -5                         |
| 23/10/2021 | 3                   | 79,646           | 48,375          | 118,634                      | 9,276                               | 128,029        | 87,74              | 11,041                | 2,654                     | 13,695        | 9,348                          | 1,459                           | 21                         | -1                         |
| 24/10/2021 | 5                   | 87,542           | 49,165          | 124,664                      | 11,943                              | 136,714        | 89,985             | 9,423                 | 2,999                     | 12,422        | 11,006                         | 1,519                           | 26                         | -4                         |
| 25/10/2021 | 3                   | 52,147           | 31,269          | 71,529                       | 11,829                              | 83,416         | 56,9               | 5,674                 | 1,772                     | 7,446         | 11,203                         | 1,466                           | 20                         | -4                         |
| 26/10/2021 | 5                   | 50,754           | 19,205          | 61,979                       | 7,919                               | 69,962         | 68,855             | 7,340                 | 2,358                     | 9,697         | 7,215                          | 1,016                           | 22                         | 1                          |
| 27/10/2021 | 5                   | 60,495           | 34,958          | 81,740                       | 13,656                              | 95,454         | 76,105             | 8,042                 | 2,513                     | 10,555        | 9,044                          | 1,254                           | 25                         | 4                          |
| 28/10/2021 | 2                   | 40,623           | 43,274          | 56,731                       | 27,096                              | 83,903         | 47,71              | 6,020                 | 7,665                     | 13,686        | 6,131                          | 1,759                           | 23                         | 0                          |
| 29/10/2021 | 4                   | 61,992           | 38,544          | 80,604                       | 19,874                              | 100,537        | 81,815             | 8,422                 | 4,480                     | 12,902        | 7,792                          | 1,229                           | 23                         | 0                          |
| 30/10/2021 | 2                   | 58,747           | 48,920          | 85,310                       | 22,254                              | 107,668        | 61,22              | 7,935                 | 7,387                     | 15,322        | 7,027                          | 1,759                           | 21                         | 3                          |
| 31/10/2021 | 3                   | 61,238           | 43,370          | 82,117                       | 22,421                              | 104,611        | 73,25              | 8,281                 | 3,721                     | 12,002        | 8,716                          | 1,428                           | 23                         | 1                          |
| 01/11/2021 | 2                   | 45,858           | 34,883          | 65,554                       | 15,147                              | 80,742         | 56,6               | 7,341                 | 4,563                     | 11,904        | 6,783                          | 1,427                           | 21                         | 0                          |
| 02/11/2021 | 4                   | 59,188           | 45,016          | 82,226                       | 21,881                              | 104,205        | 61,59              | 7,002                 | 4,771                     | 11,773        | 8,851                          | 1,692                           | 17                         | -2                         |
| 03/11/2021 | 3                   | 51,817           | 60,102          | 80,713                       | 31,146                              | 111,920        | 47,23              | 5,836                 | 5,276                     | 11,113        | 10,071                         | 2,370                           | 19                         | -4                         |
| 04/11/2021 | 4                   | 69,650           | 40,888          | 91,413                       | 19,022                              | 110,540        | 70,81              | 6,538                 | 3,430                     | 9,968         | 11,090                         | 1,561                           | 18                         | -4                         |
| 05/11/2021 | 3                   | 61,160           | 36,930          | 82,219                       | 15,783                              | 98,091         | 66,98              | 7,296                 | 2,701                     | 9,996         | 9,813                          | 1,464                           | 19                         | -2                         |
| 06/11/2021 | 4                   | 42,655           | 38,863          | 60,207                       | 21,258                              | 81,525         | 39,785             | 4,589                 | 4,469                     | 9,059         | 9,000                          | 2,049                           | 18                         | -5                         |
| 07/11/2021 | 4                   | 58,759           | 36,138          | 80,757                       | 14,057                              | 94,903         | 60,38              | 7,118                 | 2,929                     | 10,047        | 9,445                          | 1,572                           | 21                         | -1                         |
| 08/11/2021 | 2                   | 32,536           | 32,304          | 43,809                       | 20,980                              | 64,841         | 36,105             | 4,507                 | 3,469                     | 7,976         | 8,129                          | 1,796                           | 19                         | 0                          |
| 09/11/2021 | 3                   | 51,831           | 57,316          | 78,230                       | 30,868                              | 109,148        | 50,38              | 5,487                 | 4,906                     | 10,393        | 10,502                         | 2,167                           | 23                         | -4                         |
| 18/11/2021 | 3                   | 60,775           | 60,207          | 83,798                       | 37,076                              | 120,987        | 63,295             | 7,188                 | 4,322                     | 11,510        | 10,512                         | 1,911                           | 21                         | -5                         |
| 19/11/2021 | 3                   | 53,769           | 52,894          | 81,256                       | 25,327                              | 106,664        | 55,32              | 7,501                 | 4,804                     | 12,305        | 8,669                          | 1,928                           | 20                         | 0                          |
| 20/11/2021 | 3                   | 42,263           | 53,064          | 69,677                       | 25,602                              | 95,329         | 47,265             | 6,638                 | 4,505                     | 11,143        | 8,555                          | 2,017                           | 21                         | 0                          |
| 21/11/2021 | 3                   | 48,076           | 58,365          | 68,336                       | 37,998                              | 106,444        | 44,59              | 5,227                 | 7,728                     | 12,955        | 8,217                          | 2,387                           | 19                         | -2                         |
| 22/11/2021 | 1                   | 13,087           | 16,977          | 18,593                       | 11,453                              | 30,070         | 12,98              | 1,339                 | 1,327                     | 2,665         | 11,282                         | 2,317                           | 23                         | 1                          |
| 26/11/2021 |                     | 13,508           | 8,218           | 19,041                       | 2,662                               | 21,727         | 11,95              | 1,343                 | 0,296                     | 1,639         | 13,258                         | 1,818                           | 12                         | -5                         |
| 08/01/2022 | 3                   | 49,289           | 61,074          | 76,372                       | 33,884                              | 110,370        | 40,3               | 4,881                 | 4,098                     | 8,979         | 12,293                         | 2,739                           | 14                         | -7                         |
| 09/01/2022 | 4                   | 72,230           | 57,603          | 96,109                       | 33,624                              | 129,839        | 63,89              | 6,381                 | 5,301                     | 11,682        | 11,114                         | 2,032                           | 14                         | -5                         |
| 10/01/2022 | 2                   | 16,855           | 31,434          | 29,709                       | 18,539                              | 48,292         | 11,445             | 1,630                 | 3,097                     | 4,726         | 10,218                         | 4,220                           | 14                         | -8                         |
| 12/01/2022 | 3                   | 36,489           | 92,839          | 50,638                       | 78,641                              | 129,334        | 32,63              | 2,958                 | 7,097                     | 10,055        | 12,863                         | 3,964                           | 28                         | -8                         |
| 13/01/2022 | 3                   | 32,276           | 83,955          | 50,333                       | 65,859                              | 116,237        | 25,585             | 2,779                 | 6,945                     | 9,723         | 11,954                         | 4,543                           | 14                         | -7                         |
| 14/01/2022 | 2                   | 21,086           | 46,291          | 32,746                       | 34,599                              | 67,378         | 19,53              | 2,279                 | 3,991                     | 6,270         | 10,746                         | 3,450                           | 18                         | -7                         |
| 15/01/2022 | 1                   | 17,581           | 23,683          | 25,683                       | 15,565                              | 41,269         | 12,61              | 1,349                 | 1,275                     | 2,624         | 15,725                         | 3,273                           | 14                         | -7                         |
| 18/01/2022 | 4                   | 19,388           | 24,160          | 26,712                       | 16,810                              | 43,556         | 18,485             | 2,307                 | 1,678                     | 3,985         | 10,929                         | 2,356                           | 17                         | -4                         |
| 19/01/2022 | 4                   | 25,969           | 36,529          | 38,858                       | 23,589                              | 62,499         | 22,48              | 2,412                 | 3,477                     | 5,889         | 10,613                         | 2,780                           | 11                         | -6                         |
| 20/01/2022 | 3                   | 31,431           | 57,191          | 45,252                       | 43,313                              | 88,623         | 24,755             | 2,279                 | 4,821                     | 7,100         | 12,483                         | 3,580                           | 17                         | -9                         |
| 21/01/2022 | 2                   | 19,650           | 52,889          | 30,709                       | 41,800                              | 72,539         | 17,67              | 1,825                 | 3,923                     | 5,748         | 12,620                         | 4,105                           | 19                         | -9                         |
| 22/01/2022 | 3                   | 32,215           | 73,288          | 45,331                       | 60,130                              | 105,510        | 29,93              | 3,074                 | 7,923                     | 10,997        | 9,595                          | 3,525                           | 19                         | -6                         |
| 23/01/2022 | 1                   | 24,762           | 19,858          | 33,202                       | 11,391                              | 44,626         | 23,04              | 2,337                 | 1,974                     | 4,311         | 10,352                         | 1,937                           | 14                         | -5                         |
| 24/01/2022 | 4                   | 31,993           | 26,169          | 42,561                       | 15,561                              | 58,171         | 24,28              | 2,264                 | 2,454                     | 4,719         | 12,328                         | 2,396                           | 14                         | -5                         |
| 25/01/2022 | 1                   | 15,158           | 15,659          | 20,049                       | 10,761                              | 30,818         | 11,62              | 0,833                 | 1,112                     | 1,945         | 15,847                         | 2,652                           | 14                         | -5                         |
| 26/01/2022 | 3                   | 18,934           | 63,743          | 30,481                       | 52,157                              | 82,685         | 14,25              | 1,442                 | 4,832                     | 6,274         | 13,179                         | 5,802                           | 20                         | -7                         |
| 01/02/2022 | 2                   | 22,963           | 50,744          | 37,401                       | 36,259                              | 73,715         | 17,205             | 1,977                 | 3,744                     | 5,721         | 12,886                         | 4,285                           | 18                         | -7                         |
| 02/02/2022 | 3                   | 29,611           | 56,819          | 40,101                       | 46,297                              | 86,431         | 30,07              | 3,178                 | 10,641                    | 13,819        | 6,255                          | 2,874                           | 21                         | -2                         |
| 03/02/2022 | 3                   | 18,987           | 60,266          | 31,017                       | 48,199                              | 79,260         | 19,65              | 2,544                 | 7,425                     | 9,968         | 7,951                          | 4,034                           | 19                         | -2                         |
| 04/02/2022 | 4                   | 31,279           | 19,168          | 40,502                       | 9,904                               | 50,454         | 27,475             | 2,388                 | 0,836                     | 3,224         | 15,649                         | 1,836                           | 15                         | -2                         |
| 05/02/2022 | 4                   | 41,092           | 75,491          | 65,260                       | 51,259                              | 116,589        | 33,46              | 3,465                 | 6,126                     | 9,590         | 12,157                         | 3,484                           | 20                         | -7                         |
| 06/02/2022 | 3                   | 46,500           | 38,277          | 62,675                       | 22,012                              | 84,777         | 42,785             | 3,528                 | 3,727                     | 7,255         | 11,686                         | 1,981                           | 15                         | -5                         |
| 07/02/2022 | 3                   | 35,715           | 36,160          | 52,714                       | 19,106                              | 71,882         | 31,055             | 3,366                 | 2,504                     | 5,869         | 12,247                         | 2,315                           | 14                         | -7                         |
| 08/02/2022 | 2                   | 26,442           | 23,572          | 39,326                       | 10,646                              | 50,016         | 26,64              | 2,670                 | 1,612                     | 4,281         | 11,682                         | 1,877                           | 14                         | -4                         |
| 09/02/2022 | 2                   | 33,085           | 18,477          | 41,589                       | 9,949                               | 51,565         | 39,945             | 3,518                 | 3,678                     | 7,196         | 7,166                          | 1,291                           | 17                         | -1                         |
| 10/02/2022 | 3                   | 45,750           | 39,843          | 61,677                       | 23,862                              | 85,598         | 46,69              | 4,339                 | 5,817                     | 10,155        | 8,429                          | 1,833                           | 14                         | -4                         |
| 11/02/2022 | 3                   | 52,842           | 63,551          | 76,641                       | 39,696                              | 116,399        | 51,4               | 5,149                 | 5,561                     | 10,710        | 10,868                         | 2,265                           | 17                         | -7                         |
| 12/02/2022 | 3                   | 39,954           | 23,073          | 54,328                       | 8,651                               | 63,033         | 35,13              | 3,751                 | 0,882                     | 4,632         | 13,607                         | 1,794                           | 13                         | -9                         |
| 13/02/2022 | 3                   | 51,530           | 70,043          | 72,062                       | 49,433                              | 121,576        | 53,155             | 6,423                 | 7,551                     | 13,973        | 8,701                          | 2,287                           | 19                         | -8                         |
| 14/02/2022 | 2                   | 41,371           | 27,448          | 50,915                       | 17,840                              | 68,824         | 46,385             | 4,316                 | 8,384                     | 12,701        | 5,419                          | 1,484                           | -18                        | -1                         |
| 15/02/2022 | 2                   | 35,561           | 20,425          | 48,036                       | 7,883                               | 55,992         | 33,145             | 3,573                 | 5,820                     | 9,393         | 5,961                          | 1,689                           | 14                         | -4                         |
| 17/02/2022 | 1                   | 19,315           | 15,527          | 28,169                       | 6,637                               | 34,844         | 18,285             | 2,038                 | 1,447                     | 3,485         | 9,999                          | 1,906                           | 18                         | -2                         |

| Data       | Num<br>of<br>charg. | Energy<br>driven | Energy<br>idled | Energy<br>used in<br>service | Energy<br>used not<br>in<br>service | Energy<br>used | Distance<br>driven | Time<br>in<br>service | Time<br>not in<br>service | Total<br>time | Eficiência<br>consumo<br>kWh/h | Eficiência<br>consumo<br>kWh/km | Temp<br>Max<br>PAX<br>(°C) | Temp<br>min<br>Ext<br>(°C) |
|------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 18/02/2022 | 1                   | 24,184           | 23,056          | 38,920                       | 8,269                               | 47,243         | 20,63              | 3,102                 | 3,799                     | 6,901         | 6,845                          | 2,290                           | 18                         | -2                         |
| 19/02/2022 | 3                   | 64,783           | 41,059          | 88,667                       | 17,083                              | 105,848        | 63,91              | 6,399                 | 3,351                     | 9,749         | 10,857                         | 1,656                           | 17                         | -5                         |
| 20/02/2022 | 3                   | 46,341           | 31,017          | 67,831                       | 9,480                               | 77,360         | 48,695             | 4,974                 | 2,099                     | 7,073         | 10,937                         | 1,589                           | 17                         | -5                         |
| 21/02/2022 | 1                   | 20,929           | 12,049          | 28,185                       | 4,772                               | 32,984         | 17,91              | 1,446                 | 0,487                     | 1,933         | 17,063                         | 1,842                           | 10                         | -5                         |
| 22/02/2022 | 2                   | 33,372           | 43,705          | 47,291                       | 29,742                              | 77,080         | 32,96              | 3,698                 | 6,005                     | 9,703         | 7,944                          | 2,339                           | 15                         | -5                         |
| 23/02/2022 | 2                   | 23,307           | 17,975          | 31,612                       | 9,651                               | 41,283         | 26,98              | 2,646                 | 2,928                     | 5,574         | 7,406                          | 1,530                           | 17                         | 1                          |
| 24/02/2022 | 5                   | 54,344           | 49,175          | 78,974                       | 24,473                              | 103,520        | 50,995             | 5,181                 | 3,559                     | 8,740         | 11,844                         | 2,030                           | 18                         | -5                         |
| 25/02/2022 | 3                   | 57,002           | 70,664          | 87,465                       | 40,089                              | 127,675        | 54,12              | 6,142                 | 6,586                     | 12,728        | 10,031                         | 2,359                           | 18                         | -7                         |
| 26/02/2022 | 2                   | 68,277           | 47,093          | 94,528                       | 20,761                              | 115,375        | 68,22              | 6,608                 | 5,538                     | 12,145        | 9,500                          | 1,691                           | 18                         | -8                         |
| 27/02/2022 | 1                   | 41,352           | 16,340          | 52,206                       | 5,449                               | 57,693         | 51,44              | 5,034                 | 3,684                     | 8,718         | 6,618                          | 1,122                           | 20                         | -2                         |



## Anexo F. Dataset simplificado da unidade e.Cobus 3002 (*Dallas Airport*)-F213215001

O Anexo F apresenta o conjunto de dados coletados da plataforma de telemetria da unidade F213215001

| DateTime   | Energy used | Distance driven | Total Time | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) | Eficiência consumo kWh/h | Eficiência consumo kWh/km |
|------------|-------------|-----------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| 26/10/2021 | 33,158      | 12,29           | 22,703     | 29                | 25                | 1,460                    | 2,698                     |
| 01/11/2021 | 32,624      | 8,84            | 22,488     | 29                | 16                | 1,451                    | 3,691                     |
| 02/11/2021 | 32,036      | 15,23           | 20,821     | 28                | 14                | 1,539                    | 2,103                     |
| 03/11/2021 | 29,498      | 9,42            | 3,769      | 18                | 11                | 7,827                    | 3,131                     |
| 05/11/2021 | 33,700      | 15,79           | 6,804      | 28                | 13                | 4,953                    | 2,134                     |
| 06/11/2021 | 37,273      | 8,72            | 22,951     | 29                | 14                | 1,624                    | 4,272                     |
| 08/11/2021 | 45,605      | 14,82           | 23,239     | 30                | 21                | 1,962                    | 3,078                     |
| 09/11/2021 | 48,840      | 20,03           | 23,313     | 30                | 18                | 2,095                    | 2,438                     |
| 11/11/2021 | 43,429      | 9,85            | 23,025     | 26                | 19                | 1,886                    | 4,408                     |
| 14/11/2021 | 29,307      | 11,86           | 4,457      | 30                | 12                | 6,575                    | 2,471                     |
| 15/11/2021 | 25,278      | 11,41           | 3,910      | 28                | 22                | 6,465                    | 2,215                     |
| 17/11/2021 | 48,064      | 16,03           | 21,016     | 31                | 22                | 2,287                    | 2,997                     |
| 19/11/2021 | 47,982      | 18,65           | 22,036     | 26                | 11                | 2,177                    | 2,573                     |
| 22/11/2021 | 38,863      | 10,87           | 23,067     | 23                | 13                | 1,685                    | 3,576                     |
| 23/11/2021 | 56,017      | 16,26           | 23,335     | 29                | 12                | 2,401                    | 3,444                     |
| 24/11/2021 | 38,045      | 12,45           | 23,638     | 28                | 15                | 1,610                    | 3,055                     |
| 25/11/2021 | 26,490      | 8,38            | 23,477     | 27                | 25                | 1,128                    | 3,160                     |
| 26/11/2021 | 37,230      | 15,81           | 23,521     | 20                | 15                | 1,583                    | 2,354                     |
| 28/11/2021 | 43,331      | 15,60           | 22,499     | 27                | 14                | 1,926                    | 2,777                     |
| 30/11/2021 | 50,480      | 17,53           | 23,353     | 31                | 16                | 2,162                    | 2,879                     |
| 01/12/2021 | 36,392      | 15,10           | 18,378     | 29                | 15                | 1,980                    | 2,410                     |
| 05/12/2021 | 35,077      | 9,38            | 23,718     | 29                | 24                | 1,479                    | 3,739                     |
| 06/12/2021 | 44,765      | 13,14           | 23,388     | 29                | 14                | 1,914                    | 3,406                     |
| 07/12/2021 | 51,307      | 19,22           | 23,121     | 28                | 10                | 2,219                    | 2,669                     |
| 09/12/2021 | 45,331      | 10,22           | 23,760     | 30                | 26                | 1,908                    | 4,438                     |
| 17/12/2021 | 27,706      | 8,42            | 23,151     | 28                | 22                | 1,197                    | 3,292                     |
| 29/12/2021 | 35,702      | 11,46           | 23,279     | 29                | 22                | 1,534                    | 3,114                     |
| 30/12/2021 | 66,939      | 26,92           | 22,382     | 29                | 16                | 2,991                    | 2,486                     |
| 02/01/2022 | 85,452      | 10,92           | 21,612     | 19                | -5                | 3,954                    | 7,826                     |
| 04/01/2022 | 81,526      | 12,68           | 22,807     | 23                | 12                | 3,575                    | 6,429                     |
| 05/01/2022 | 78,292      | 14,51           | 23,365     | 24                | 15                | 3,351                    | 5,396                     |
| 06/01/2022 | 102,629     | 19,59           | 21,071     | 24                | 3                 | 4,871                    | 5,240                     |
| 08/01/2022 | 60,246      | 14,19           | 18,099     | 20                | 11                | 3,329                    | 4,246                     |
| 10/01/2022 | 48,694      | 10,77           | 23,096     | 23                | 11                | 2,108                    | 4,521                     |
| 11/01/2022 | 62,058      | 12,32           | 22,804     | 24                | 11                | 2,721                    | 5,037                     |
| 13/01/2022 | 30,478      | 8,83            | 20,639     | 26                | 18                | 1,477                    | 3,453                     |
| 15/01/2022 | 28,446      | 10,07           | 23,077     | 26                | 21                | 1,233                    | 2,824                     |

| DateTime   | Energy used | Distance driven | Total Time | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) | Eficiência consumo kWh/h | Eficiência consumo kWh/km |
|------------|-------------|-----------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| 18/01/2022 | 17,449      | 11,72           | 3,071      | 26                | 15                | 5,683                    | 1,489                     |
| 22/01/2022 | 21,718      | 9,66            | 4,127      | 23                | 13                | 5,263                    | 2,248                     |
| 25/01/2022 | 42,930      | 11,71           | 21,892     | 24                | 10                | 1,961                    | 3,668                     |
| 27/01/2022 | 86,015      | 25,16           | 21,497     | 22                | 7                 | 4,001                    | 3,419                     |
| 29/01/2022 | 47,911      | 15,32           | 21,412     | 28                | 6                 | 2,238                    | 3,128                     |
| 30/01/2022 | 32,916      | 8,09            | 22,015     | 27                | 10                | 1,495                    | 4,068                     |
| 31/01/2022 | 45,063      | 17,36           | 22,182     | 28                | 15                | 2,031                    | 2,597                     |
| 01/02/2022 | 37,692      | 16,13           | 18,021     | 26                | 15                | 2,092                    | 2,336                     |
| 06/02/2022 | 58,695      | 17,77           | 9,778      | 26                | 1                 | 6,003                    | 3,302                     |
| 07/02/2022 | 30,550      | 11,44           | 6,129      | 25                | 8                 | 4,985                    | 2,670                     |
| 13/02/2022 | 45,804      | 14,08           | 23,012     | 27                | 9                 | 1,990                    | 3,253                     |
| 14/02/2022 | 44,955      | 15,21           | 22,938     | 29                | 13                | 1,960                    | 2,955                     |
| 16/02/2022 | 45,992      | 15,90           | 23,266     | 26                | 21                | 1,977                    | 2,893                     |
| 17/02/2022 | 70,853      | 14,33           | 18,319     | 27                | 5                 | 3,868                    | 4,946                     |
| 20/02/2022 | 42,206      | 13,55           | 22,603     | 26                | 18                | 1,867                    | 3,116                     |
| 21/02/2022 | 42,692      | 8,84            | 22,314     | 32                | 21                | 1,913                    | 4,831                     |
| 22/02/2022 | 52,466      | 18,29           | 22,470     | 30                | 9                 | 2,335                    | 2,869                     |
| 26/02/2022 | 75,066      | 12,76           | 20,804     | 19                | 5                 | 3,608                    | 5,881                     |
| 28/02/2022 | 47,756      | 24,60           | 23,563     | 25                | 14                | 2,027                    | 1,941                     |
| 01/03/2022 | 56,904      | 19,81           | 22,904     | 31                | 18                | 2,484                    | 2,872                     |
| 02/03/2022 | 50,331      | 11,28           | 22,079     | 32                | 19                | 2,280                    | 4,462                     |
| 03/03/2022 | 45,170      | 8,68            | 23,052     | 32                | 24                | 1,959                    | 5,201                     |
| 04/03/2022 | 55,640      | 18,27           | 23,057     | 29                | 16                | 2,413                    | 3,046                     |
| 05/03/2022 | 36,634      | 11,43           | 23,138     | 28                | 21                | 1,583                    | 3,205                     |
| 06/03/2022 | 48,271      | 14,43           | 23,505     | 27                | 21                | 2,054                    | 3,345                     |
| 07/03/2022 | 79,636      | 27,86           | 21,170     | 25                | 5                 | 3,762                    | 2,859                     |
| 09/03/2022 | 53,590      | 16,06           | 22,158     | 30                | 11                | 2,419                    | 3,338                     |
| 11/03/2022 | 68,687      | 10,84           | 22,719     | 23                | 4                 | 3,023                    | 6,335                     |
| 12/03/2022 | 55,619      | 12,20           | 22,438     | 25                | 9                 | 2,479                    | 4,559                     |
| 13/03/2022 | 36,645      | 12,40           | 23,242     | 25                | 18                | 1,577                    | 2,956                     |
| 14/03/2022 | 42,759      | 17,68           | 22,877     | 25                | 15                | 1,869                    | 2,418                     |
| 16/03/2022 | 66,513      | 15,49           | 22,625     | 33                | 22                | 2,940                    | 4,294                     |
| 18/03/2022 | 39,252      | 8,75            | 21,638     | 20                | 12                | 1,814                    | 4,486                     |
| 20/03/2022 | 52,809      | 16,97           | 15,524     | 28                | 15                | 3,402                    | 3,112                     |
| 23/03/2022 | 38,185      | 8,45            | 23,646     | 26                | 18                | 1,615                    | 4,517                     |
| 25/03/2022 | 60,372      | 21,71           | 20,326     | 32                | 15                | 2,970                    | 2,780                     |
| 28/03/2022 | 61,340      | 16,29           | 22,559     | 36                | 25                | 2,719                    | 3,766                     |
| 29/03/2022 | 27,856      | 9,37            | 22,068     | 28                | 24                | 1,262                    | 2,973                     |
| 03/04/2022 | 53,460      | 9,61            | 23,753     | 32                | 27                | 2,251                    | 5,564                     |

## Anexo G. Dataset simplificado da unidade e.Cobus 3002 (*Dallas Airport*)-F213215002

O Anexo G apresenta o conjunto de dados coletados da plataforma de telemetria da unidade F213215002

| DateTime   | Energy used | Distance driven | Time in service | Time not in service | Total Time | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------|-------------------|-------------------|
| 27/09/2021 | 41,458      | 10,3            | 1,794           | 20,724              | 22,518     | 33                | 24                |
| 28/09/2021 | 47,399      | 14,8            | 1,058           | 22,128              | 23,186     | 33                | 29                |
| 30/09/2021 | 30,765      | 11,8            | 1,809           | 21,260              | 23,069     | 30                | 26                |
| 02/10/2021 | 39,028      | 11,3            | 1,829           | 19,957              | 21,786     | 30                | 27                |
| 04/10/2021 | 65,317      | 16,5            | 2,973           | 19,608              | 22,581     | 32                | 29                |
| 05/10/2021 | 66,023      | 13,7            | 2,103           | 20,353              | 22,456     | 32                | 29                |
| 06/10/2021 | 48,483      | 10,4            | 1,402           | 21,748              | 23,150     | 30                | 28                |
| 08/10/2021 | 85,444      | 18,7            | 3,294           | 19,843              | 23,138     | 33                | 25                |
| 11/10/2021 | 50,569      | 17,5            | 2,773           | 20,089              | 22,862     | 30                | 19                |
| 12/10/2021 | 31,018      | 12,7            | 0,932           | 16,191              | 17,123     | 28                | 25                |
| 23/10/2021 | 53,402      | 12,2            | 2,298           | 20,763              | 23,061     | 32                | 29                |
| 26/10/2021 | 53,924      | 20,3            | 3,753           | 15,676              | 19,429     | 30                | 25                |
| 02/11/2021 | 47,042      | 16,8            | 3,746           | 17,834              | 21,580     | 28                | 15                |
| 03/11/2021 | 61,417      | 13,4            | 2,425           | 14,105              | 16,530     | 19                | 11                |
| 04/11/2021 | 46,174      | 13,5            | 2,788           | 15,928              | 18,716     | 26                | 11                |
| 08/11/2021 | 50,236      | 16,0            | 4,082           | 19,269              | 23,351     | 30                | 21                |
| 09/11/2021 | 57,148      | 15,1            | 3,313           | 19,880              | 23,194     | 30                | 18                |
| 16/11/2021 | 27,450      | 13,3            | 2,251           | 10,086              | 12,337     | 29                | 23                |
| 17/11/2021 | 32,291      | 11,6            | 1,792           | 21,291              | 23,083     | 31                | 21                |
| 18/11/2021 | 41,593      | 16,4            | 3,461           | 19,740              | 23,201     | 24                | 13                |
| 22/11/2021 | 48,793      | 16,1            | 2,714           | 19,507              | 22,221     | 29                | 13                |
| 23/11/2021 | 49,571      | 17,8            | 4,252           | 19,233              | 23,485     | 29                | 12                |
| 24/11/2021 | 48,475      | 17,1            | 4,388           | 18,723              | 23,111     | 28                | 15                |
| 28/11/2021 | 39,434      | 11,1            | 2,397           | 20,792              | 23,189     | 27                | 15                |
| 29/11/2021 | 39,539      | 9,1             | 2,143           | 20,659              | 22,802     | 27                | 19                |
| 01/12/2021 | 42,536      | 13,0            | 2,459           | 20,824              | 23,283     | 29                | 15                |
| 06/12/2021 | 38,951      | 10,4            | 2,191           | 21,333              | 23,525     | 29                | 14                |
| 08/12/2021 | 43,711      | 8,2             | 1,885           | 20,700              | 22,585     | 24                | 10                |
| 09/12/2021 | 41,070      | 9,1             | 1,730           | 21,849              | 23,580     | 31                | 25                |
| 10/12/2021 | 22,646      | 3,8             | 0,525           | 22,740              | 23,265     | 30                | 27                |
| 11/12/2021 | 51,801      | 15,2            | 2,507           | 20,709              | 23,216     | 29                | 10                |
| 12/12/2021 | 51,092      | 12,4            | 3,033           | 20,256              | 23,289     | 26                | 15                |
| 14/12/2021 | 55,454      | 21,8            | 3,863           | 19,320              | 23,183     | 29                | 18                |
| 15/12/2021 | 30,698      | 10,1            | 1,437           | 21,162              | 22,599     | 30                | 24                |
| 16/12/2021 | 33,435      | 15,4            | 2,186           | 19,346              | 21,532     | 29                | 23                |
| 17/12/2021 | 29,056      | 12,4            | 1,159           | 21,973              | 23,133     | 28                | 25                |
| 19/12/2021 | 72,153      | 13,6            | 3,120           | 18,915              | 22,035     | 21                | 5                 |
| 21/12/2021 | 50,382      | 11,5            | 2,141           | 19,847              | 21,989     | 27                | 12                |
| 22/12/2021 | 54,381      | 16,7            | 3,808           | 19,259              | 23,067     | 28                | 12                |

| DateTime   | Energy used | Distance driven | Time in service | Time not in service | Total Time | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------|-------------------|-------------------|
| 23/12/2021 | 46,147      | 14,3            | 2,296           | 19,058              | 21,355     | 29                | 18                |
| 29/12/2021 | 40,014      | 12,6            | 2,365           | 20,423              | 22,788     | 28                | 21                |
| 30/12/2021 | 38,314      | 16,1            | 3,317           | 19,308              | 22,625     | 27                | 16                |
| 31/12/2021 | 35,938      | 19,7            | 2,271           | 20,919              | 23,190     | 26                | 19                |
| 02/01/2022 | 64,888      | 11,2            | 1,922           | 20,404              | 22,326     | 18                | 4                 |
| 03/01/2022 | 47,742      | 11,4            | 2,271           | 21,243              | 23,514     | 24                | 13                |
| 04/01/2022 | 57,558      | 12,0            | 3,000           | 20,005              | 23,006     | 24                | 13                |
| 05/01/2022 | 45,314      | 12,5            | 3,038           | 20,217              | 23,255     | 25                | 16                |
| 07/01/2022 | 73,708      | 12,7            | 2,542           | 19,273              | 21,815     | 19                | 0                 |
| 09/01/2022 | 50,058      | 20,6            | 3,103           | 15,464              | 18,566     | 20                | 12                |
| 10/01/2022 | 51,005      | 17,1            | 2,782           | 17,153              | 19,935     | 25                | 6                 |
| 11/01/2022 | 69,162      | 23,6            | 4,242           | 13,868              | 18,110     | 23                | 5                 |
| 13/01/2022 | 41,463      | 11,3            | 2,287           | 19,614              | 21,901     | 27                | 16                |
| 14/01/2022 | 34,983      | 12,6            | 2,586           | 20,702              | 23,288     | 27                | 16                |
| 15/01/2022 | 99,373      | 22,4            | 4,150           | 13,757              | 17,907     | 27                | 5                 |
| 17/01/2022 | 57,353      | 14,8            | 3,667           | 19,628              | 23,295     | 28                | 12                |
| 19/01/2022 | 41,531      | 9,3             | 2,025           | 18,376              | 20,401     | 20                | 14                |
| 20/01/2022 | 119,366     | 23,9            | 3,531           | 16,751              | 20,281     | 20                | -1                |
| 22/01/2022 | 35,966      | 10,8            | 1,645           | 17,268              | 18,913     | 18                | 5                 |
| 28/01/2022 | 24,228      | 12,3            | 1,754           | 4,070               | 5,824      | 23                | 12                |
| 29/01/2022 | 39,420      | 12,7            | 2,748           | 20,171              | 22,919     | 25                | 15                |
| 30/01/2022 | 31,458      | 10,4            | 1,499           | 15,872              | 17,371     | 23                | 9                 |
| 01/02/2022 | 39,828      | 12,5            | 2,051           | 18,622              | 20,673     | 26                | 15                |
| 06/02/2022 | 68,644      | 15,7            | 3,508           | 17,770              | 21,278     | 27                | 1                 |
| 07/02/2022 | 43,809      | 15,3            | 2,600           | 17,679              | 20,279     | 26                | 12                |
| 08/02/2022 | 57,466      | 17,2            | 2,454           | 20,125              | 22,579     | 23                | 7                 |
| 09/02/2022 | 52,068      | 14,5            | 2,599           | 20,359              | 22,958     | 28                | 9                 |
| 10/02/2022 | 52,306      | 10,5            | 2,113           | 21,069              | 23,181     | 28                | 11                |
| 13/02/2022 | 61,835      | 13,4            | 2,993           | 11,232              | 14,225     | 27                | 4                 |
| 14/02/2022 | 28,324      | 8,7             | 2,239           | 20,745              | 22,984     | 27                | 19                |
| 16/02/2022 | 31,893      | 13,5            | 2,434           | 20,148              | 22,582     | 24                | 21                |
| 17/02/2022 | 55,473      | 13,1            | 2,753           | 19,911              | 22,664     | 24                | 9                 |
| 18/02/2022 | 41,541      | 10,6            | 1,979           | 20,997              | 22,976     | 23                | 6                 |
| 19/02/2022 | 47,166      | 11,7            | 2,772           | 19,918              | 22,690     | 27                | 15                |
| 20/02/2022 | 37,960      | 14,3            | 2,925           | 18,458              | 21,383     | 25                | 15                |
| 28/02/2022 | 48,573      | 15,9            | 2,459           | 20,533              | 22,992     | 21                | 15                |
| 01/03/2022 | 48,987      | 12,6            | 2,434           | 17,063              | 19,497     | 31                | 10                |
| 03/03/2022 | 34,775      | 9,5             | 2,194           | 20,587              | 22,781     | 30                | 15                |
| 10/03/2022 | 62,634      | 22,0            | 5,186           | 17,229              | 22,415     | 30                | 12                |
| 11/03/2022 | 41,850      | 7,3             | 1,467           | 21,427              | 22,893     | 30                | 5                 |
| 12/03/2022 | 76,457      | 24,2            | 4,227           | 18,091              | 22,319     | 27                | 7                 |
| 13/03/2022 | 61,793      | 20,1            | 4,005           | 16,940              | 20,945     | 27                | 8                 |
| 14/03/2022 | 55,809      | 20,3            | 3,332           | 18,053              | 21,386     | 29                | 15                |
| 17/03/2022 | 54,797      | 16,2            | 3,295           | 14,690              | 17,986     | 30                | 16                |

| DateTime   | Energy used | Distance driven | Time in service | Time not in service | Total Time | Temp Max PAX (°C) | Temp min Ext (°C) |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------|-------------------|-------------------|
| 18/03/2022 | 61,717      | 14,4            | 3,102           | 19,490              | 22,592     | 26                | 15                |
| 19/03/2022 | 52,063      | 17,9            | 3,779           | 17,797              | 21,577     | 31                | 19                |
| 20/03/2022 | 56,414      | 24,3            | 3,758           | 17,690              | 21,448     | 31                | 19                |
| 22/03/2022 | 43,706      | 11,4            | 8,350           | 14,641              | 22,991     | 23                | 12                |
| 25/03/2022 | 67,815      | 16,4            | 21,342          | 0,241               | 21,583     | 31                | 15                |
| 26/03/2022 | 71,570      | 19,5            | 22,603          | 0,044               | 22,647     | 31                | 22                |
| 27/03/2022 | 72,925      | 22,0            | 20,984          | 0,013               | 20,997     | 33                | 18                |
| 28/03/2022 | 69,477      | 15,5            | 22,176          | 0,070               | 22,246     | 32                | 22                |
| 30/03/2022 | 20,275      | 9,6             | 16,747          | 0,058               | 16,805     | 23                | 19                |
| 02/04/2022 | 44,914      | 13,3            | 19,473          | 0,052               | 19,524     | 29                | 19                |
| 10/04/2022 | 53,170      | 15,9            | 22,361          | 0,092               | 22,452     | 31                | 22                |
| 15/04/2022 | 50,601      | 11,4            | 4,277           | 18,233              | 22,510     | 33                | 24                |
| 16/04/2022 | 47,785      | 11,9            | 20,762          | 1,954               | 22,716     | 33                | 24                |
| 17/04/2022 | 56,847      | 22,1            | 21,993          | 0,376               | 22,369     | 30                | 18                |
| 18/04/2022 | 69,411      | 20,9            | 22,987          | 0,029               | 23,017     | 30                | 16                |
| 19/04/2022 | 38,973      | 11,9            | 22,299          | 0,658               | 22,957     | 26                | 21                |
| 20/04/2022 | 45,991      | 10,5            | 16,884          | 0,188               | 17,072     | 33                | 22                |
| 21/04/2022 | 43,862      | 15,3            | 18,109          | 0,778               | 18,887     | 31                | 26                |
| 22/04/2022 | 71,456      | 18,9            | 7,423           | 0,049               | 7,472      | 31                | 25                |
| 24/04/2022 | 59,098      | 18,9            | 23,313          |                     | 23,313     | 26                | 24                |
| 28/04/2022 | 31,904      | 9,7             | 4,612           | 0,058               | 4,670      | 30                | 22                |
| 29/04/2022 | 61,916      | 12,8            | 20,633          | 2,410               | 23,043     | 30                | 26                |
| 30/04/2022 | 61,213      | 20,4            | 22,206          | 0,008               | 22,214     | 30                | 27                |
| 01/05/2022 | 64,184      | 13,5            | 21,972          | 1,117               | 23,089     | 30                | 26                |
| 06/05/2022 | 65,808      | 18,4            | 12,492          | 10,530              | 23,021     | 32                | 26                |



## Anexo H. . Dataset simplificado da unidade e.Cobus 3002 (*Test Unit*)- F213215004

O Anexo H apresenta o conjunto de dados coletados da plataforma de telemetria da unidade F213215004

|            | Energy used | Distance driven | total time | Temp int | Temp ext |
|------------|-------------|-----------------|------------|----------|----------|
| 15/06/2022 | 71,194      | 73,015          | 5,270      | 37,11    | 39,43    |
| 16/06/2022 | 163,535     | 152,965         | 10,306     | 24,08    | 40,60    |
| 17/06/2022 | 124,287     | 110,910         | 6,557      | 24,39    | 41,31    |
| 18/06/2022 | 58,191      | 59,355          | 4,003      | 23,30    | 46,89    |
| 19/06/2022 | 126,025     | 103,870         | 8,645      | 25,16    | 40,16    |
| 20/06/2022 | 134,778     | 77,015          | 7,364      | 24,21    | 43,76    |
| 21/06/2022 | 212,462     | 140,468         | 13,640     | 22,68    | 43,69    |
| 22/06/2022 | 215,025     | 168,135         | 15,464     | 23,52    | 40,61    |
| 23/06/2022 | 218,753     | 128,659         | 14,425     | 23,16    | 43,20    |
| 24/06/2022 | 231,060     | 144,765         | 15,271     | 22,94    | 42,20    |
| 25/06/2022 | 20,150      | 17,693          | 1,763      | 23,03    | 40,22    |
| 26/07/2022 | 78,376      | 37,185          | 4,752      | 20,2     | 42,9     |
| 27/07/2022 | 59,001      | 35,870          | 3,731      | 20,41    | 38,64    |
| 28/07/2022 | 5,710       | 2,525           | 1,328      | 29,66    | 32,55    |
| 29/07/2022 | 61,208      | 32,430          | 3,463      | 20,28    | 42,90    |
| 30/07/2022 | 104,346     | 68,620          | 5,823      | 18,89    | 41,97    |
| 31/07/2022 | 112,277     | 68,560          | 5,684      | 19,15    | 44,49    |
| 01/08/2022 | 111,050     | 67,935          | 5,710      | 19,73    | 45,36    |
| 02/08/2022 | 110,754     | 67,250          | 5,530      | 19,64    | 45,18    |
| 03/08/2022 | 100,287     | 55,760          | 4,837      | 20,56    | 46,52    |
| 04/08/2022 | 70,699      | 34,475          | 3,082      | 20,31    | 45,07    |
| 05/08/2022 | 70,659      | 34,900          | 3,730      | 18,95    | 44,82    |
| 06/08/2022 | 93,294      | 55,010          | 4,471      | 20,09    | 42,68    |
| 07/08/2022 | 97,983      | 54,965          | 4,623      | 19,71    | 45,73    |
| 08/08/2022 | 102,312     | 55,295          | 4,732      | 20,97    | 45,92    |
| 09/08/2022 | 110,281     | 56,090          | 5,031      | 19,78    | 45,94    |
| 10/08/2022 | 93,227      | 55,490          | 4,391      | 21,21    | 44,40    |
| 11/08/2022 | 98,005      | 55,075          | 4,643      | 20,51    | 46,38    |
| 13/08/2022 | 94,923      | 55,555          | 4,502      | 19,88    | 46,42    |
| 14/08/2022 | 92,005      | 57,845          | 4,529      | 19,75    | 44,60    |
| 15/08/2022 | 88,727      | 56,660          | 4,459      | 19,66    | 44,25    |
| 16/08/2022 | 92,126      | 55,495          | 4,488      | 21,02    | 42,71    |
| 17/08/2022 | 94,729      | 54,995          | 4,488      | 20,83    | 41,75    |
| 22/08/2022 | 99,066      | 55,360          | 4,564      | 20,47    | 46,52    |
| 23/08/2022 | 70,038      | 38,995          | 3,850      | 20,68    | 44,35    |
| 24/08/2022 | 66,681      | 40,355          | 3,562      | 21,64    | 47,30    |
| 25/08/2022 | 96,010      | 54,820          | 4,707      | 20,32    | 46,91    |
| 26/08/2022 | 69,055      | 47,120          | 3,613      | 19,17    | 44,84    |
| 29/08/2022 | 62,306      | 39,910          | 4,233      | 20,55    | 41,63    |

## Anexo I. Modelo - *Multilayer Perceptron* e.Cobus - F183206006

O Anexo I apresenta a função de ativação do algoritmo *Multilayer Perceptron* para a unidade F183206006

```
Linear Node 0
  Inputs      Weights
  Threshold   -0.043572640205591345
  Node 1      -0.018862150285288082
  Node 2      -0.02965962312446957

Sigmoid Node 1
  Inputs      Weights
  Threshold   -0.01408346524393883
  Attrib Distance driven    0.016684934603420368
  Attrib Total Time        0.03159375688250311
  Attrib Temp Max PAX ($C)  0.043236809926550074
  Attrib Temp min Ext ($C)  0.003384419698389027

Sigmoid Node 2
  Inputs      Weights
  Threshold   -0.022575293474665893
  Attrib Distance driven    0.018950398785502046
  Attrib Total Time        0.010645802109474758
  Attrib Temp Max PAX ($C)  0.024445912041881485
  Attrib Temp min Ext ($C)  -0.045505569608527446

Class
  Input
  Node 0
```

## Anexo J. Modelo - *Multilayer Perceptron*-e.Cobus- F193206008

O Anexo J apresenta a função de ativação do algoritmo *Multilayer Perceptron* para a unidade F193206008

```
Linear Node 0
  Inputs      Weights
  Threshold    0.2754203965258404
  Node 1       1.0047428213498104
  Node 2      -1.2355468864074277

Sigmoid Node 1
  Inputs      Weights
  Threshold   -3.7542464133017166
  Attrib Distance driven    0.4161821812121401
  Attrib Total time        2.2059915168206965
  Attrib Temp Max PAX (°C)  -0.5350005172876245
  Attrib Temp min Ext (°C)  -4.433703789482952

Sigmoid Node 2
  Inputs      Weights
  Threshold   -0.8059863012250141
  Attrib Distance driven    -1.916899047980941
  Attrib Total time        -0.5407266962171703
  Attrib Temp Max PAX (°C)  -0.8857930590234733
  Attrib Temp min Ext (°C)  1.0711457641327082

Class
  Input
  Node 0
```

## Anexo K. Modelo - *Multilayer Perceptron*-e.Cobus- F213215001

O Anexo K apresenta a função de ativação do algoritmo *Multilayer Perceptron* para a unidade F213215001

```
Linear Node 0
  Inputs    Weights
  Threshold  0.03159375688250311
  Node 1     0.044818473924230676
  Node 2     0.018993883149676594
Sigmoid Node 1
  Inputs    Weights
  Threshold  0.010645802109474758
  Attrib DFW-1A700768 - Distance driven  0.024445912041881485
  Attrib Total Time      -0.045505569608527446
  Attrib Temp Max PAX (-C)  -0.02965962312446957
  Attrib Temp min Ext (-C)  -0.008522454362671072
Sigmoid Node 2
  Inputs    Weights
  Threshold  0.043236809926550074
  Attrib DFW-1A700768 - Distance driven  0.003384419698389027
  Attrib Total Time      -0.018862150285288082
  Attrib Temp Max PAX (-C)  -0.04172136335123555
  Attrib Temp min Ext (-C)  -0.024824454231093897
Class
  Input
  Node 0
```

## Anexo L. Modelo - *Multilayer Perceptron*-e.Cobus- F213215002

O Anexo L apresenta a função de ativação do algoritmo *Multilayer Perceptron* para a unidade F213215002

```
Linear Node 0
  Inputs    Weights
  Threshold  0.011850776365702677
  Node 1     -0.017943250444400316
  Node 2     -0.04038638643499096
Sigmoid Node 1
  Inputs    Weights
  Threshold  0.011165074786232076
  Attrib Distance driven  0.0429940506718635
  Attrib Total Time      -0.00211881373779247
  Attrib Temp Max PAX ($C)  -0.030938315802372954
  Attrib Temp min Ext ($C)  -0.021284810000068835
Sigmoid Node 2
  Inputs    Weights
  Threshold  -0.04753959806853169
  Attrib Distance driven  -0.018370069737576836
  Attrib Total Time      -0.035625493582980464
  Attrib Temp Max PAX ($C)  0.040431974347463484
  Attrib Temp min Ext ($C)  0.01567513412449774
Class
  Input
  Node 0
```

## Anexo M. Modelo - *Multilayer Perceptron*-e.Cobus- F213215004

O Anexo M apresenta a função de ativação do algoritmo *Multilayer Perceptron* para a unidade F213215004

```

Linear Node 0
  Inputs    Weights
  Threshold -1.1750078562252282
  Node 1    1.3599580331057939
  Node 2    1.4019260533497488
Sigmoid Node 1
  Inputs    Weights
  Threshold 1.0795134282470173
  Attrib Distance driven 1.4417898973947498
  Attrib total time 1.4644040149014137
  Attrib Valores m,dios int -0.5384647741668446
  Attrib Valores m,dios ext 0.050337875329757385
Sigmoid Node 2
  Inputs    Weights
  Threshold -1.2729998319598632
  Attrib Distance driven -0.3517913870933891
  Attrib total time 1.754084101997356
  Attrib Valores m,dios int 0.30327645564684025
  Attrib Valores m,dios ext 0.8109136998755898
Class
  Input
  Node 0

```