

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO DIOGO BOMBARDELLI

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSUMO: VEÍCULO ELÉTRICO E A  
COMBUSTÃO

CURITIBA PR

2025

FERNANDO DIOGO BOMBARDELLI

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSUMO: VEÍCULO ELÉTRICO E A  
COMBUSTÃO

Monografia apresentada como requisito parcial à conclusão  
do curso de especialização em Engenharia Automotiva,  
Setor de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. João Américo Vilela Júnior.

CURITIBA PR

2025

## RESUMO

Este trabalho realizou uma análise do consumo energético de um veículo a combustão e de um veículo elétrico. A leitura dos parâmetros da injeção eletrônica foi realizada por meio de um adaptador OBD (*On-Board Diagnostics*) e o mapeamento da rota foi obtido com o sistema de posicionamento global (*Global Positioning System*). Desenvolveu-se uma modelagem em Python para estimar o consumo, sendo que, para o veículo a combustão, as estimativas foram baseadas no consumo de combustível. Para o veículo elétrico, as estimativas consideraram mapas de eficiência do motor e do inversor. Os resultados evidenciaram uma diferença significativa no consumo entre os dois tipos de motorização, com vantagem para o veículo elétrico. Para um mesmo percurso urbano, o consumo foi de 0,725 kwh para o veículo elétrico, contra 6,333 kwh para o veículo a combustão. No percurso rodoviário, o veículo elétrico consumiu 4,321 kwh, enquanto o veículo a combustão apresentou um consumo de 16,805 kwh

Palavras-chave: Veículos Elétricos. Eficiência. Consumo

## **ABSTRACT**

This study conducted an analysis of the energy consumption of an internal combustion vehicle and an electric vehicle. The reading of the electronic injection parameters was carried out using an OBD (On-Board Diagnostics) adapter, and the route mapping was obtained through the Global Positioning System (GPS). A Python-based model was developed to estimate consumption, with the estimates for the internal combustion vehicle based on fuel consumption. For the electric vehicle, the estimates considered efficiency maps of the motor and the inverter. The results showed a significant difference in consumption between the two types of powertrains, with an advantage for the electric vehicle. For the same urban route, energy consumption was 0.725 kWh for the electric vehicle, compared to 6.333 kWh for the combustion vehicle. On the highway route, the electric vehicle consumed 4.321 kWh, while the combustion vehicle recorded a consumption of 16.805 kWh.

Keywords: Electric Vehicles. Efficiency. consumption

## LISTA DE FIGURAS

|      |                                                                                                                                           |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1  | Estrutura básica de um Veículo Elétrico. . . . .                                                                                          | 10 |
| 3.2  | Eficiência Well to Wheel (WTW) . . . . .                                                                                                  | 11 |
| 3.3  | Eficiência energética total (WTW) em diferentes sistemas. . . . .                                                                         | 11 |
| 3.4  | Mapa de eficiência típico para um motor elétrico . . . . .                                                                                | 13 |
| 3.5  | Forças de resistência sobre um veículo em aclave . . . . .                                                                                | 14 |
| 4.1  | Adaptador ELM327 e aplicativo Torque-Pro.. . . .                                                                                          | 17 |
| 4.2  | Mapa de eficiência do motor elétrico . . . . .                                                                                            | 18 |
| 4.3  | Mapa de eficiência do inversor . . . . .                                                                                                  | 18 |
| 4.4  | Mapa de eficiência processado para escala de cinza . . . . .                                                                              | 19 |
| 4.5  | Diagrama do programa em Python . . . . .                                                                                                  | 19 |
| 5.1  | Percurso urbano realizado. . . . .                                                                                                        | 20 |
| 5.2  | Consumo energético para o veículo a combustão e veículo elétrico com base na energia calculada pelo programa em linguagem Python. . . . . | 22 |
| 5.3  | Velocidade em função do tempo - percurso urbano . . . . .                                                                                 | 23 |
| 5.4  | RPM em função do tempo - percurso urbano. . . . .                                                                                         | 23 |
| 5.5  | Torque em função do tempo - percurso urbano . . . . .                                                                                     | 23 |
| 5.6  | Potência em função do tempo - percurso urbano . . . . .                                                                                   | 24 |
| 5.7  | Percurso rodoviário realizado. . . . .                                                                                                    | 24 |
| 5.8  | Consumo energético para o veículo a combustão e veículo elétrico com base na energia calculada pelo programa em linguagem Python. . . . . | 26 |
| 5.9  | Velocidade em função do tempo - percurso rodoviário. . . . .                                                                              | 27 |
| 5.10 | Altitude em função do tempo - percurso rodoviário . . . . .                                                                               | 27 |
| 5.11 | RPM em função do tempo - percurso rodoviário . . . . .                                                                                    | 27 |
| 5.12 | Torque em função do tempo - percurso rodoviário . . . . .                                                                                 | 28 |
| 5.13 | Potência em função do tempo - percurso rodoviário . . . . .                                                                               | 28 |

## LISTA DE TABELAS

|     |                                                                               |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 | Eficiência energética total (WTW): Elétrico x Combustão . . . . .             | 12 |
| 3.2 | Coeficientes de resistência ao rolamento . . . . .                            | 15 |
| 4.1 | Especificações: Fiat Punto 2012 . . . . .                                     | 17 |
| 5.1 | Dados extraídos com a leitura do adaptador ELM327 - percurso urbano . . . . . | 20 |
| 5.2 | Energia consumida: aceleração positiva . . . . .                              | 21 |
| 5.3 | Energia consumida: aceleração negativa . . . . .                              | 21 |
| 5.4 | Energia consumida na tração e regeneração para o veículo elétrico . . . . .   | 21 |
| 5.5 | Dados obtidos por meio da leitura do adaptador ELM327 - percurso rodoviário . | 25 |
| 5.6 | Energia consumida: aceleração positiva . . . . .                              | 25 |
| 5.7 | Energia consumida: aceleração negativa . . . . .                              | 25 |
| 5.8 | Energia consumida na tração e regeneração para o veículo elétrico . . . . .   | 26 |
| 6.1 | Resumo dos resultados . . . . .                                               | 29 |

## SUMÁRIO

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>                           | <b>7</b>  |
| 1.1      | OBJETIVO GERAL . . . . .                              | 8         |
| 1.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .                       | 8         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA . . . . .</b>                | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA. . . . .</b>                 | <b>10</b> |
| 3.1      | DEFINIÇÕES. . . . .                                   | 10        |
| 3.2      | EFICIÊNCIA . . . . .                                  | 10        |
| 3.3      | MAPAS DE EFICIÊNCIA EM MOTORES E INVERSORES . . . . . | 12        |
| 3.4      | DEFINIÇÃO DAS FORÇAS . . . . .                        | 13        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA . . . . .</b>                          | <b>17</b> |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS. . . . .</b>                            | <b>20</b> |
| 5.1      | PERCURSO URBANO. . . . .                              | 20        |
| 5.1.1    | Gráficos do Percurso Urbano . . . . .                 | 22        |
| 5.2      | PERCURSO EM RODOVIA . . . . .                         | 24        |
| 5.2.1    | Gráficos do Percurso Rodoviário . . . . .             | 27        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>                            | <b>29</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>                          | <b>30</b> |
| <b>7</b> | <b>APÊNDICE . . . . .</b>                             | <b>31</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição urbana é, em grande parte, gerada pelos veículos a combustão interna (Internal Combustion Engine Vehicle - ICEVs), os quais ainda tem uma grande representatividade na frota mundial. Segundo estimativas, a quantidade de automóveis no planeta ultrapassa os 1,4 bilhões (Husain, 2021). Devido à baixa eficiência dos motores a combustão interna e à grande concentração de veículos, a população dos grandes centros urbanos encontra-se cada vez mais exposta aos efeitos nocivos das emissões. De acordo com Ehsani et al. (2010) “a combustão [...] em motores nunca é ideal. [...] os produtos da combustão contêm uma certa quantidade de óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados (HC), todos tóxicos para a saúde humana”. Com a crescente adoção dos veículos elétricos (Electric Vehicles - EVs) esta situação pode ser amenizada, levando-se em conta que a poluição emitida na geração de energia, em geral, encontra-se longe dos centros urbanos e os processos são mais controlados e monitorados. A situação pode ser ainda mais benéfica ao utilizar as energias de fontes renováveis para o abastecimento dos veículos elétricos, pois somam a alta eficiência destes veículos com a energia limpa.

O primeiro veículo elétrico foi construído por Frechman Gustave Trouvé em 1881. Este veículo chegava aos 15 Km/h apenas e não chamou a atenção do público, pois tinha praticamente a mesma velocidade de uma carroça. A situação mudou com a corrida de Paris a Rouen que apresentou veículos que chegavam a velocidade média de 23 km/h, o que representava uma velocidade superior as alcançadas por cavalos. Desde modo, as pessoas passaram a conhecer estes veículos como "sem cavalos" ou “*horseless*” e, também, pelo termo automóvel ou “*automobil*”. O primeiro veículo elétrico comercial foi utilizado como táxi na cidade de Nova York foi realizado pela companhia Morris and Salom’s. Este veículo possuía dois motores de 1,5 Hp, atingia 32 km/h e tinha uma autonomia de 40 km. (Ehsani et al., 2010).

No início do século XX, a presença dos veículos elétricos era comparável, ou até superior, à dos veículos a gasolina, graças à sua operação silenciosa e à ausência de fumaça e vibrações. Porém, o sucesso foi interrompido por questões de tempo de recarga da bateria, autonomia e peso do veículo e, também, por uma série de inovações que favoreceram os motores a combustão, como a partida elétrica e a produção em massa de veículos baratos, como o Ford Model T. Foi nos meados da década 1960 que o carro elétrico voltou a atrair interesse, principalmente devido à crescente preocupação ambiental e à instabilidade do fornecimento de petróleo, mas, ainda assim, acabou ficando somente nos protótipos. Com a virada do século, o foco se voltou aos veículos híbridos, que combinaram motores elétricos e a combustão como forma de oferecer maior eficiência energética e menor emissão de poluentes. A partir de 2008, os carros elétricos começaram a ganhar força de maneira mais consistente. Com empresas como a Tesla investindo pesadamente em tecnologia e design (Husain, 2021).

Atualmente os veículos elétricos têm ganhado cada vez mais espaço no mercado global, o que representa tanto uma diversificação da frota quanto uma preocupação no que se refere às questões ambientais, sendo esse crescimento impulsionado por fatores econômicos e tecnológicos. Entre as vantagens dos EVs, destacam-se a redução da poluição urbana, tanto das emissões de gases resultantes da queima de combustíveis fósseis quanto da poluição sonora, já que são mais silenciosos que os veículos convencionais. No cerne da questão dos EVs está a eficiência energética. Diferentemente dos veículos a combustão interna, que perdem uma parte considerável da energia na forma de calor, os EVs convertem uma porcentagem muito maior da energia armazenada. No entanto, a eletrificação dos automóveis ainda enfrenta desafios, como a autonomia limitada, dúvidas quanto à durabilidade das baterias e o tempo necessário para recarga.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a eficiência e consumo de um veículo elétrico e a combustão em ciclo urbano e rodoviário

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Modelar o comportamento de consumo energético de um veículo convencional e elétrico utilizando um algoritmo em linguagem Python. Calcular a energia demandada em cada ciclo de condução (urbano/rodoviário). Recalcular a energia considerando as eficiências do conjunto motor/inversor para o veículo elétrico. Estimar a energia consumida pelo veículo a combustão com base no consumo de combustível. Coletar os dados de um ciclo urbano e rodoviário por meio de um scanner OBD e GPS. Os dados do ciclo incluem: velocidade do motor (RPM), velocidade do veículo (km/h) e altitude do veículo (m).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Husain (2021) é um livro abrangente que apresenta os princípios fundamentais de projeto para veículos elétricos (EVs) e híbridos (HEVs). Na introdução o autor apresenta os fundamentos dos veículos elétricos e híbridos, incluindo definições, tipos de arquiteturas, componentes principais e histórico de desenvolvimento. Destaca a crescente importância dos EVs frente aos desafios ambientais, eficiência energética e redução de emissões. Apresenta as definições dos conceitos de well-to-wheel (WTW), well-to-tank (WTT) and tank-to-wheel (TTW). Depois faz uma comparação de eficiência entre um veículo elétrico (EV – Electric Vehicle) e um veículo a combustão interna (ICEV - Internal Combustion Engine Vehicle). O segundo capítulo explora os princípios físicos do movimento dos veículos, incluindo leis do movimento, forças de tração, resistência aerodinâmica e dinâmica veicular. No terceiro capítulo o autor apresenta arquiteturas e design de veículos: veículos elétricos, híbridos série e paralelo, e a combustão.

Ehsani et al. (2010) assim como o livro anterior apresenta um histórico dos veículos elétricos, impactos ambientais e dinâmica veicular. O primeiro capítulo enfatiza preocupações ambientais relacionados com óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, entre outras substâncias. Depois apresenta um histórico para os veículos elétricos, híbridos e a célula combustível. O segundo capítulo discorre sobre os fundamentos da propulsão e frenagem veicular, no entanto a análise realizada é unidimensional. O autor realiza uma descrição geral do movimento veicular simplificada representados pela aceleração, resistência ao rolamento e força de arrasto.

Pomilio (2015) propõe uma metodologia para dimensionar o sistema de suprimento de energia composto por célula a combustível, bateria e supercapacitor. O mais importante neste artigo foram as fórmulas de estimativa da demanda de potência para a tração elétrica do veículo.

Nicolazzi et al. (2012) é uma apostila de publicação interna do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC (GRANTE). utilizou-se como mais uma referência para a questão da dinâmica veicular. Ela trata da questão dos Pneus, Forças e acelerações em um veículo em operação, Transmissão de força pneu pista: Modelo quase estático, Mecânica da frenagem e freios, Balanço de potências, Diagramas de desempenho, Princípios de carrocerias aerodinâmicas, Estabilidade direcional, Sistema de direção, Suspensões planas, Modelos dinâmicos, Aplicações em dinâmica torcional.

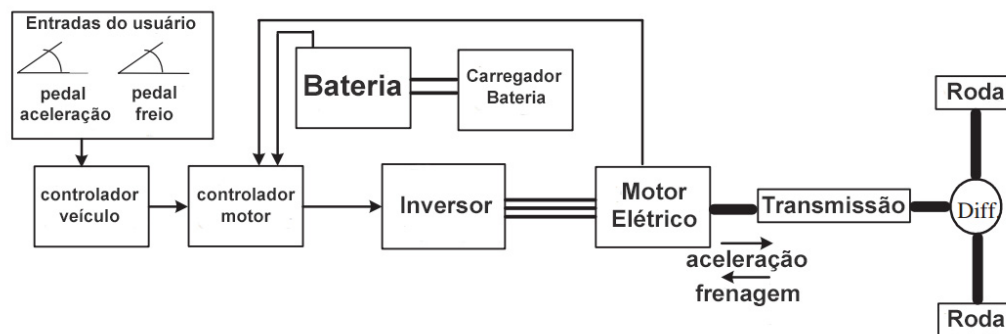
Aarniovuori et al. (2023) é um artigo que faz um estudo sobre a eficiência de diversos componentes de um veículo elétrico. A faixa de eficiência de cada estágio de um sistema de veículo elétrico (VE) é apresentada e os fatores que a influenciam são discutidos.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 DEFINIÇÕES

Um veículo elétrico é simplifiadamente composto por um conjunto de baterias, inversor e motor elétrico, como retratado na figura 3.1. A definição de um veículo elétrico é caracterizada por dois elementos: a utilização de uma fonte de energia portátil de natureza eletroquímica, e que toda a força que move o veículo seja gerada exclusivamente por um motor elétrico (Husain, 2021). Uma máquina elétrica pode trabalhar como motor ou gerador. Quando ela trabalha como motor, a energia fornecida é transferida para o eixo do veículo na forma de potência e torque, gerando a propulsão necessária. Da outra forma, trabalhando como gerador, ocorre a conversão da energia mecânica em energia elétrica. De acordo com Schaltz (2011) existem várias possibilidades de configuração para os veículos elétricos. Podem existir configurações com um motor apenas, dois, três ou quatro. Podem apresentar baixa ou alta voltagem de bateria.

Figura 3.1: Estrutura básica de um Veículo Elétrico.

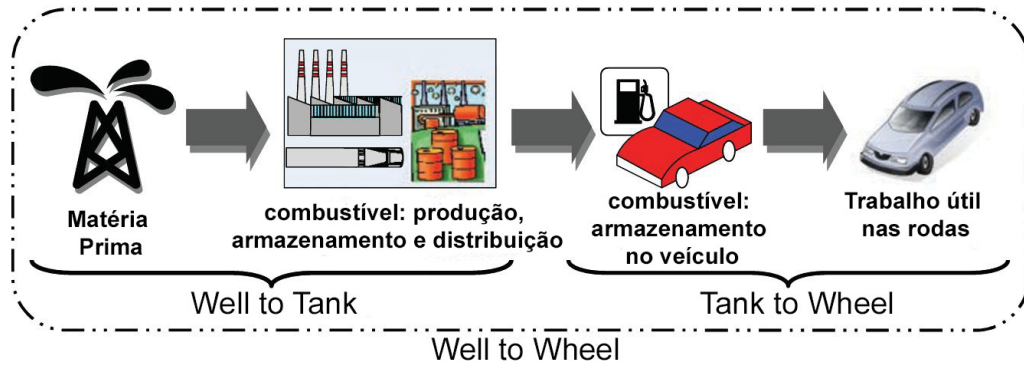


Fonte: Husain (2021), adaptado pelo autor.

#### 3.2 EFICIÊNCIA

A figura 3.2 apresenta o trajeto de eficiência *Well-to-Wheel*. Segundo Husain (2021), a medida de eficiência *Well-to-Wheel* (WTW) considera o trajeto completo da energia desde a sua produção até o seu consumo nas rodas do veículo. A medida *Well-to-Wheel* (WTW) é subdividida em *Well-to-Tank* (WTT) e *Tank-to-Wheel* (TTW).

Figura 3.2: Eficiência Well to Wheel (WTW)

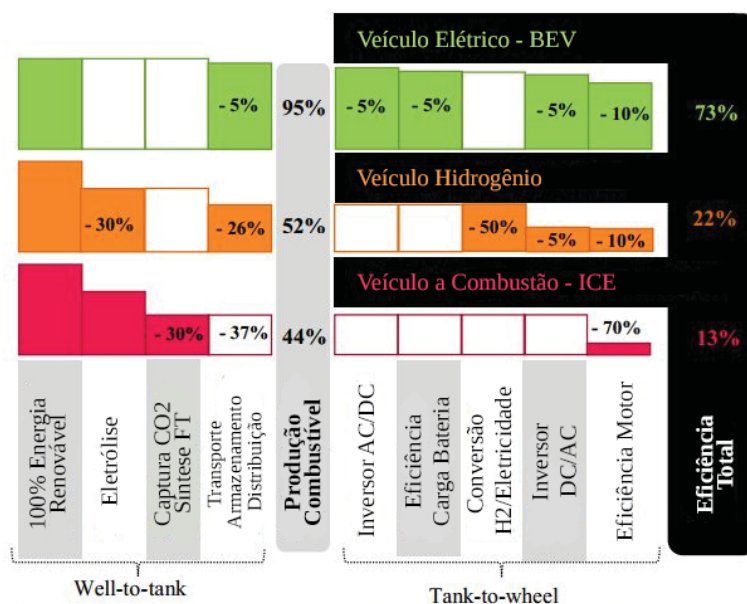


Fonte: Husain (2021), adaptado pelo autor.

A primeira refere-se ao estágio desde a produção até a bateria ou tanque de combustível, a segunda compreende a eficiência dentro do sistema do veículo, ou seja, da baterias/tanque até as rodas. A título ilustrativo, por exemplo, de acordo com (Aarniovuori et al., 2023), “As perdas na distribuição na Finlândia são de aproximadamente 2,5 a 3%, resultando em uma eficiência do sistema de distribuição em torno de 97%. Como resultado, o carregador de bateria de veículos elétricos (VEs) pode atingir até 95% de eficiência”. Segundo estatísticas da OECD/IEA, de 2018 a eficiência da rede elétrica na Alemanha é de 96%, Reino Unido 92%, sendo que a média global é de 92%.

A figura 3.3 mostra a eficiência total para veículo elétrico, veículo com célula de hidrogênio e veículo a combustão. Com eficiências de 73%, 22% e 13%, respectivamente.

Figura 3.3: Eficiência energética total (WTW) em diferentes sistemas



Fonte: Aarniovuori et al. (2023), adaptado pelo autor.

Observa-se que a eficiência de um veículo puramente elétrico é significativamente superior aos outros tipos de sistemas. A grande vantagem dos veículos elétricos, em termos de eficiência, advém da utilização de fontes renováveis para o abastecimento. Nesta condição, a alta eficiência do *powertrain* elétrico é aproveitada. Do contrário, quando o veículo elétrico utiliza fontes convencionais como fonte de energia, o balanço total de eficiência (WTW), ou seja, considerando todo o ciclo energético, torna-se bastante aproximado da eficiência de um veículo a combustão. Como evidenciado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Eficiência energética total (WTW): Elétrico x Combustão

|                            | <b>Veículo Elétrico %</b> | <b>Veículo a combustão %</b> |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Refinaria                  | 97                        | 85                           |
| Distribuição para o tanque | -                         | 95                           |
| Motor (combustão)          | -                         | 20                           |
| Geração da energia         | 40                        | -                            |
| Carregamento da bateria    | 90                        | -                            |
| Bateria                    | 75                        | -                            |
| Motor                      | 85                        | -                            |
| Transmissão                | 98                        | 95                           |
| <b>Total</b>               | <b>20</b>                 | <b>15</b>                    |

Fonte: Husain (2021), adaptado pelo autor.

As perdas internas em um veículo elétrico são referentes principalmente à bateria, inversor, motor, transmissão, e por fim os pneus. Um diferencial dos veículos elétricos em relação aos a combustão é a capacidade de regeneração da energia durante a frenagem. Isto é extremamente benéfico na condução urbana, pois envolve frequentes partidas e paradas. Além disso, os motores utilizados em veículos elétricos são muito eficientes. De acordo com Aarniovuori et al. (2023) os motores, em média, possuem eficiência de 93%, mas podem chegar até 97%. Os motores são construídos levando-se em conta o custo e a maior eficiência que ele pode proporcionar. Os inversores, também, apresentam elevada eficiência, podendo chegar a 99%.

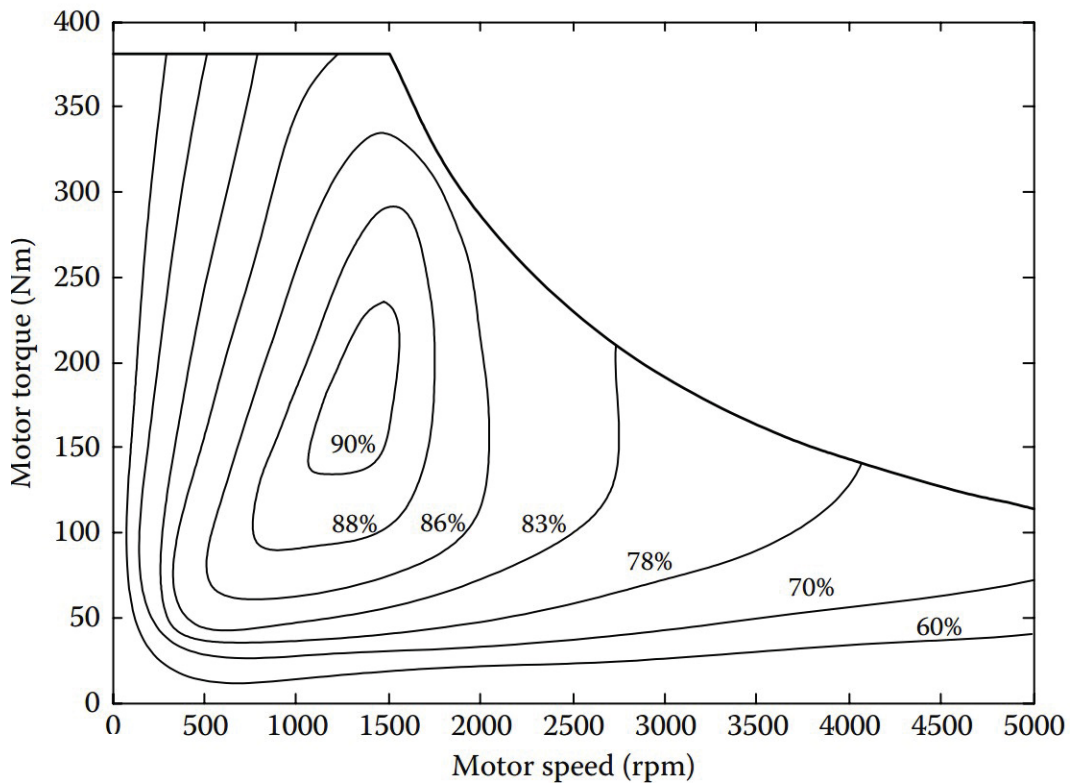
### 3.3 MAPAS DE EFICIÊNCIA EM MOTORES E INVERSORES

No cálculo de eficiência dos motores elétricos, são gerados gráficos ou mapas de eficiência, efficiency Maps (EffMs). Estes mapas apresentam o máximo de eficiência de um determinado motor (EM) em relação ao torque pela velocidade ou potência pela velocidade. Segundo Roshandel et al. (2023) “A eficiência do motor elétrico ( $\eta$ ) para um determinado torque ( $\tau$ ) e velocidade ( $\omega$ ) é obtida por meio da equação , em que as perdas totais ( $P_{Loss}(\eta, \omega)$ ) do motor elétrico é em função do torque e da velocidade.”

$$\eta = \frac{\tau \omega}{\tau \omega + P_{Loss}(\tau, \omega)} \quad (3.1)$$

De acordo com Roshandel (2023, et al.) “Mapas de eficiência (EffMs) são amplamente utilizados para comparar o desempenho de motores elétricos (EMs) e a capacidade de torque (ou potência) em função da velocidade (envelope) do sistema de tração em aplicações veiculares”. Ainda segundo Roshandel et al. (2023), existem diversos métodos que são utilizados para a obtenção de um mapa de eficiência que pode ser de forma experimental, com análise de elementos finitos (FEA) ou com a utilização de circuitos equivalentes. Os dois primeiros representam uma forma direta de estimar, o último, uma forma indireta. Em geral, primeiro são determinadas as variáveis a serem consideradas, depois são criadas matrizes de torque e velocidade, que partem de um mínimo até um máximo a ser considerado. Finalmente, o cálculo é realizado para cada par de torque e velocidade. A figura 3.4 mostra um mapa de eficiência típico para um motor elétrico.

Figura 3.4: Mapa de eficiência típico para um motor elétrico



Fonte: Husain (2021), adaptado pelo autor.

### 3.4 DEFINIÇÃO DAS FORÇAS

Primeiramente, considerando a segunda lei de Newton onde  $(\sum F)$  é o conjunto de forças,  $(m)$  é a massa e  $(a)$  é a aceleração como na equação 3.2:

$$\sum_i F_i = ma \quad (3.2)$$

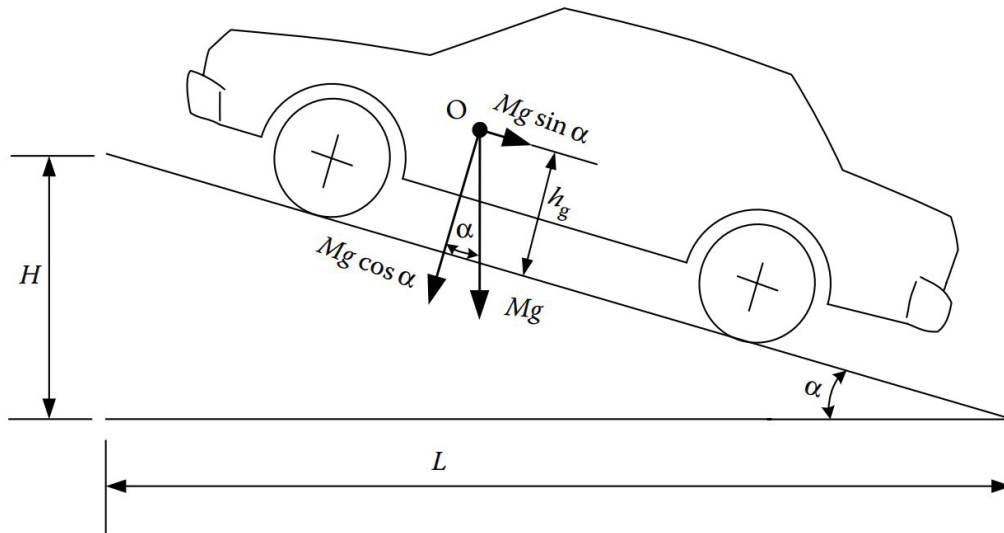
Para que o veículo tenha movimento a força de tração do veículo ( $F_T$ ) deve superar as forças contrárias ao movimento ( $F_p$ ), que são forças advindas do ambiente, estrada ou pista, e são representadas pela: força de resistência ao aclave ( $F_{aativ}$ ), força de resistência ao rolamento ( $F_{rol}$ ), e força de arrasto aerodinâmica ( $F_a$ ) (Pomilio, 2015) Temos a equação abaixo 3.3 :

$$F_p = F_{aativ} + F_{rol} + F_a \quad (3.3)$$

A força de resistência ao aclave ( $F_{aativ}$ ) advém da própria força da gravidade, que dificulta o movimento do veículo em subidas e facilita quando o mesmo está em descida. Esta diferença de comportamento está relacionada com o ângulo ( $\alpha$ ), ou seja: "A força gravitacional depende da inclinação ( $\alpha$ ) da via. A força é positiva ao subir uma ladeira e negativa ao descer uma via em declive"(Ehsani et al., 2010). Como explicitado na fórmula 3.4 e na figura 3.5:

$$F_{aativ} = mgsen(\alpha) \quad (3.4)$$

Figura 3.5: Forças de resistência sobre um veículo em aclave



Fonte: Ehsani et al. (2010), adaptado pelo autor.

Considerando  $y = f(x)$ , a inclinação da via ( $\alpha$ ) pode ser descrita como na equação 3.5.

$$\alpha(x) = \tan^{-1} \left[ \frac{df(x)}{dx} \right] \quad (3.5)$$

A resistência ao rolamento é ocasionada principalmente por dois fatores distintos: o próprio pneu e o solo onde o veículo trafega. Em um solo idealmente rígido, as perdas ocorrem totalmente nos pneus, e com um pneu idealmente rígido as perdas ocorrem totalmente pela deformação do solo. No pneu, as perdas acontecem pela deformação da banda de rodagem e por apresentar um amortecimento que não é totalmente elástico, ou seja, parte da energia é perdida. Considerando as perdas, a força de resistência ao rolamento é proporcional à carga normal que atua sobre as rodas. sendo ( $f_r$ ) o coeficiente de resistência ao rolamento e ( $G$ ) a força normal da roda sobre o solo. Equação 3.6. O coeficiente de resistência ao rolamento é estimado empiricamente e varia conforme a velocidade, também em mais outros fatores, mas que podem ser desprezados (Nicolazzi et al., 2012). A tabela 3.2 apresenta alguns coeficientes de resistência ao rolamento para diferentes tipos de terreno.

$$F_{rol} = f_r \cdot G \quad (3.6)$$

Tabela 3.2: Coeficientes de resistência ao rolamento

| Tipo de pista  | coeficiente ( $f_r$ ) |
|----------------|-----------------------|
| asfalto liso   | 0.010                 |
| asfalto rugoso | 0.011                 |
| cimento rugoso | 0.014                 |
| paralelepípedo | 0.020                 |
| pedra britada  | 0.045                 |
| terra batida   | 0.060                 |
| barro          | 0.100                 |

Fonte: Nicolazzi et al. (2012)

A resistência aerodinâmica nos automóveis tem três diferentes formas. A primeira é a resistência de forma, que ocorre devido ao formato geométrico da carroceria. Dependendo do formato, pode existir mais ou menos turbulência devido ao descolamento da camada limite. Quanto maior a área transversal, maior é a resistência aerodinâmica. Em segundo, outro fator é o atrito do ar na superfície do veículo. Estas perdas são relativamente pequenas atualmente. Em terceiro, estão as perdas por correntes de ar, por exemplo, quando o ar entra no compartimento do radiador para o resfriamento; ao entrar, ele perde parte da velocidade, que ao sair consome energia. Perdas por circulação de ar no motor e no habitáculo do veículo contribuem com 1% a 10% por cento de toda a resistência aerodinâmica (Nicolazzi et al., 2012). A equação 3.7 da força de arrasto aerodinâmica ( $F_a$ ) é formada pela densidade do ar ( $\rho$ ), área frontal do veículo ( $A_f$ ), coeficiente aerodinâmico ( $C_d$ ), além da velocidade do veículo ( $V(t)$ ) e velocidade do vento ( $V_v$ ).

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_f \cdot C_d (V(t) + V_v)^2 \quad (3.7)$$

Portanto, a força resultante será a força de tração gerada pelo veículo ( $F_T$ ) menos a força de resistência ao aclone ( $F_{aclone}$ ), força de resistência ao rolamento ( $F_{rol}$ ) e a força de resistência aerodinâmica ( $F_a$ ). O que resulta na equação 3.8:

$$F_R = F_T - F_{aclone} - F_{rol} - F_a \quad (3.8)$$

Como:

$$F_R = m \cdot \frac{dV(t)}{dt} \quad (3.9)$$

Temos:

$$F_T - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - m \cdot g \cdot f_r \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_t \cdot C_D (V(t) + V_v)^2 = m \cdot \frac{dV(t)}{dt} \quad (3.10)$$

Considerando que a potência requisitada pelo mecanismo de tração ( $P_m$ ) é dada pelo produto da força despendida e velocidade do veículo ( $P_m = F \cdot V$ ), então:

$$P_m(t) = \left[ m \cdot \frac{dV(t)}{dt} + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + m \cdot g \cdot f_r \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_t \cdot C_D (V(t) + V_v)^2 \right] \cdot V(t) \quad (3.11)$$

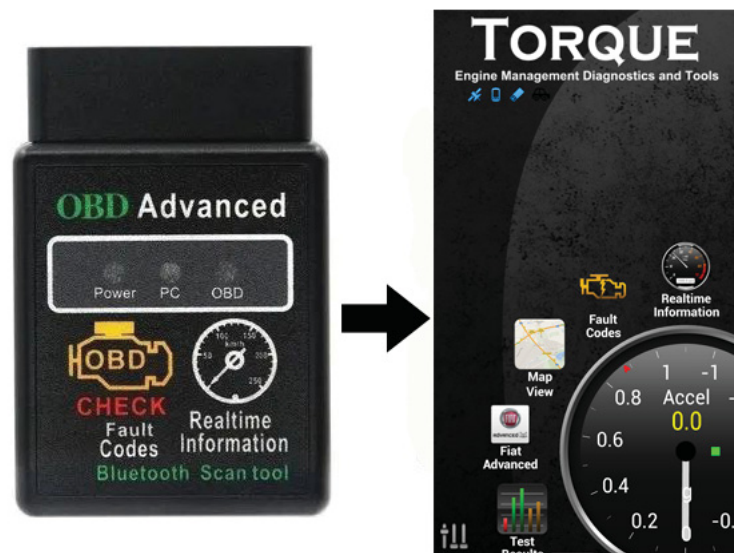
O cálculo da energia para o veículo elétrico, incluindo a frenagem regenerativa, segue a equação 3.12. A energia consumida é a integração da potência nos terminais da bateria.  $\int P_{out} dt$  refere-se à energia consumida da bateria e  $\int P_{in} dt$  é a parcela de energia que retorna para bateria através do sistema de frenagem regenerativa.

$$E_{out} = \int_{tracao} P_{out} dt + \int_{frenagem} P_{in} dt \quad (3.12)$$

#### 4 METODOLOGIA

Utilizou-se um adaptador automotivo OBD, versão ELM327, figura 4.1. Este adaptador permite a leitura dos diversos sensores disponíveis, cujos dados são enviados pela unidade de controle eletrônico (ECU) do veículo. O adaptador envia os dados via bluetooth para o aplicativo Torque-Pro. Os principais parâmetros capturados foram: velocidade do motor em rotações por minuto (RPM), velocidade do veículo em quilômetros por hora (km/h), consumo de combustível em litros, distância percorrida (km) e potência em (kw). O Aplicativo, por sua vez, gera um arquivo com extensão .csv (*comma separated values*), valores separados por vírgula, com todos os dados coletados, em tempo real, durante o ciclo de rodagem.

Figura 4.1: Adaptador ELM327 e aplicativo Torque-Pro.



Fonte: o autor.

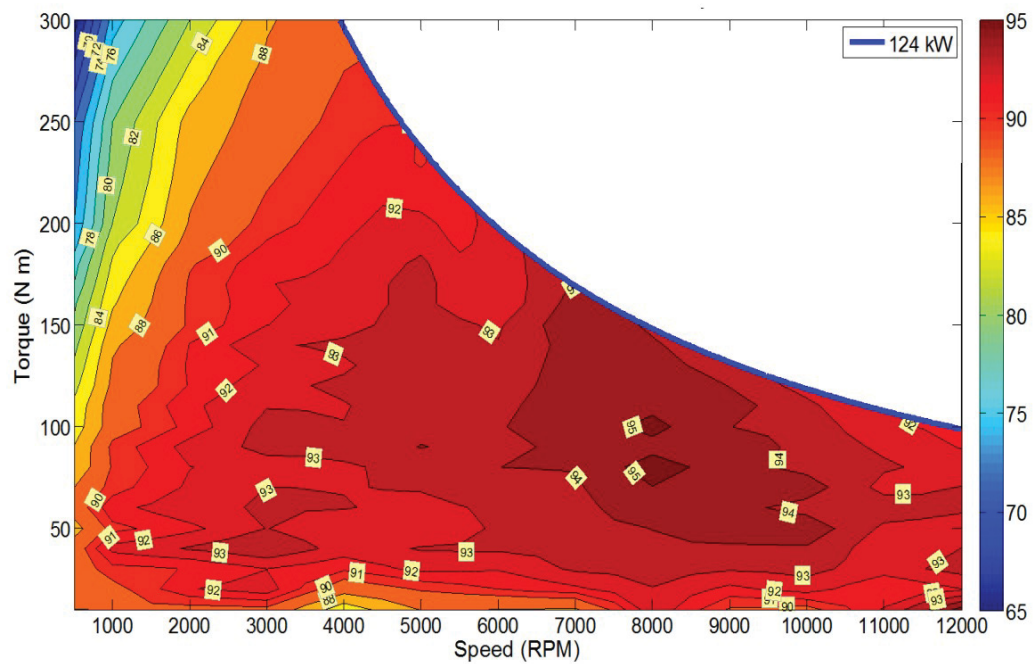
O veículo utilizado foi um Fiat Punto com motor Fire 1.4 e 8 válvulas, cujas as especificações relevantes e utilizadas estão apresentadas na tabela 4.1

Tabela 4.1: Especificações: Fiat Punto 2012

|                        | Valor | Unidade |
|------------------------|-------|---------|
| Massa                  | 1090  | Kg      |
| Potência               | 85    | cv      |
| Torque Máximo          | 121.5 | Nm      |
| Coeficiente de arrasto | 0.34  | -       |

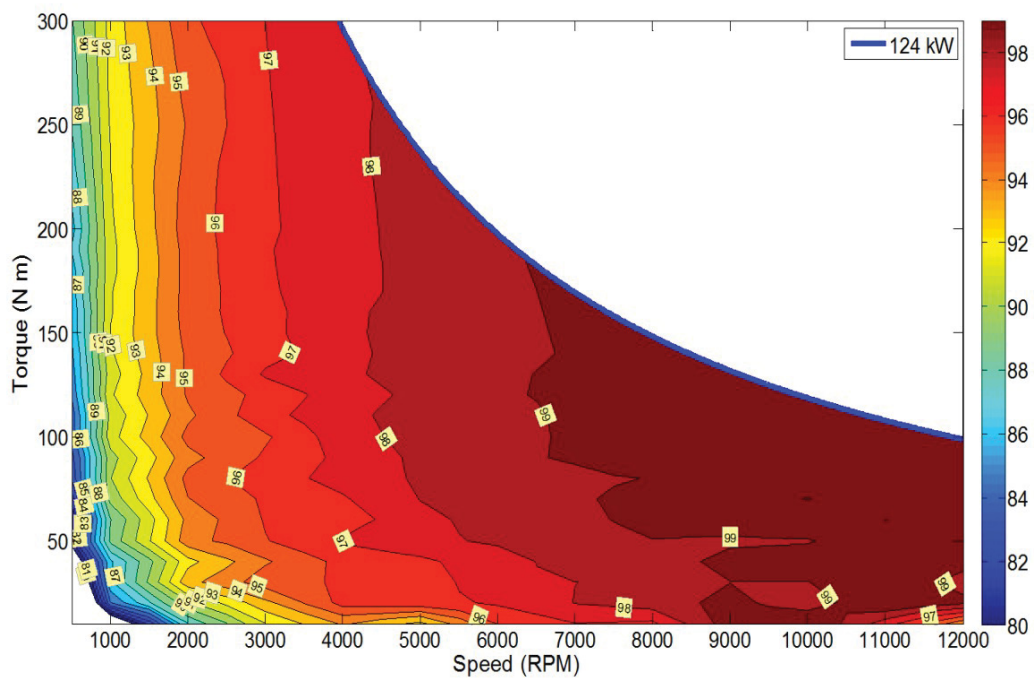
Fonte: Manual Fiat, adaptado pelo autor.

Figura 4.2: Mapa de eficiência do motor elétrico



(Burruss, 2016)

Figura 4.3: Mapa de eficiência do inversor



(Burruss, 2016)

Com os mapas de eficiência do motor e inversor das figuras 4.2 e 4.3 modelou-se uma nova figura em escala de cinza (4.4), para o motor e outra para o inversor, que pode ser lida pelo

programa no diagrama da figura 4.5. O subterfúgio utilizado foi o de colocar cores em cinza que têm o mesmo valor da respectiva eficiência. Por exemplo, quando na figura se apresenta uma eficiência de 95% utiliza-se a cor com valor 95 no esquema RGB, e assim por diante.

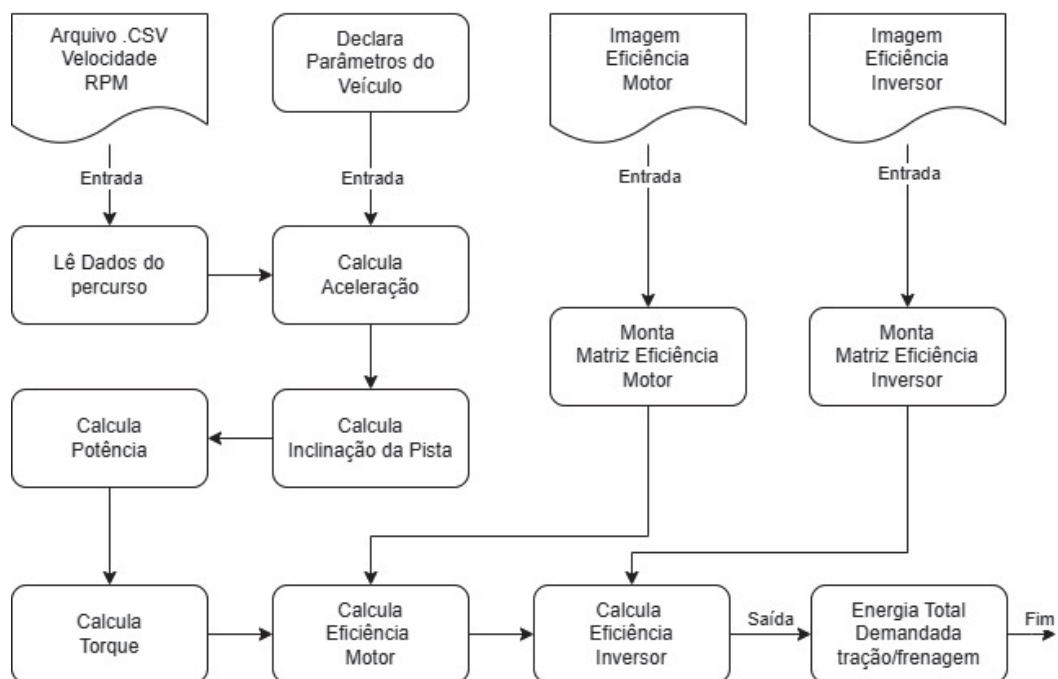
Figura 4.4: Mapa de eficiência processado para escala de cinza



Fonte: o autor

O diagrama da Figura 4.5 ilustra o funcionamento do programa. Primeiramente, é realizada a leitura de duas imagens referentes aos mapas de eficiência do motor e do inversor. Em seguida, o programa faz a leitura do arquivo CSV com os dados do respectivo percurso. Após isso, são executados os cálculos necessários: aceleração do veículo, inclinação da pista, torque e potência, conforme a Equação 3.11 apresentada na fundamentação. O programa, então, realiza uma varredura nas matrizes de eficiência para cada valor de potência e torque calculados a cada segundo do percurso. Dessa forma, a saída consiste na potência ajustada, considerando-se as eficiências do sistema, bem como a energia total despendida na tração do veículo e na frenagem.

Figura 4.5: Diagrama do programa em Python



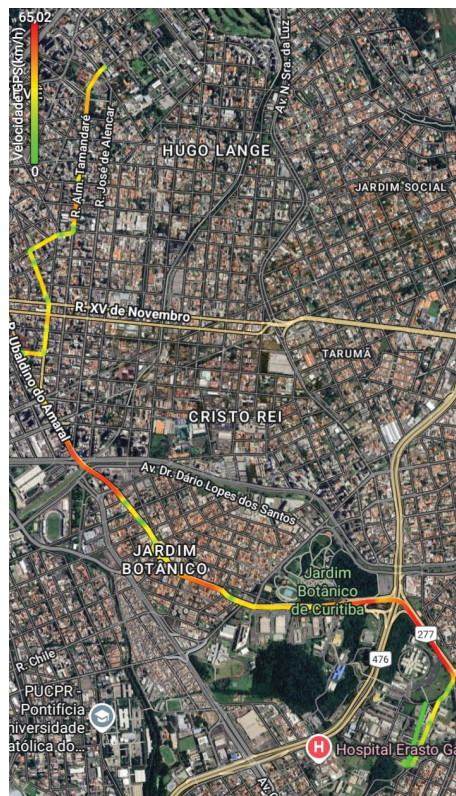
Fonte: o autor.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 PERCURSO URBANO

A figura 5.1 mostra o percurso em ambiente urbano. A linha do trajeto é fornecida pelo aplicativo Torque-Pro com base nas coordenadas do GPS. O percurso começa na altura do departamento de comunicação da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e termina no Centro Politécnico.

Figura 5.1: Percurso urbano realizado



Fonte: o autor.

A tabela 5.1 possui dados extraídos com a leitura do adaptador ELM327. A distância do ciclo urbano foi de 6,94 km, a gasolina consumida foi de 0,75 litros. Com esses dois dados é possível calcular a quilometragem/litro dividindo a distância percorrida pela gasolina consumida, o que dá o valor de 9,25 km/l.

Tabela 5.1

| Leitura OBD           | Valor | Unidade |
|-----------------------|-------|---------|
| Distância percorrida  | 6,94  | km      |
| Gasolina consumida    | 0,75  | l       |
| Quilômetros por Litro | 9,25  | km/l    |

A tabela 5.2 apresenta a energia consumida quando a aceleração é positiva. As parcelas são a de tração com 463.39 watts-hora, arrasto aerodinâmico: 76.07 wh, resistência ao rolamento: 182.18 wh, resistência ao aclave com ângulo ( $\alpha$ ) positivo: 4.62 wh e resistência ao aclave com ângulo ( $\alpha$ ) negativo: -6.44 wh. Tendo a resistência ao rolamento um valor significativo dentre as demais. O total resulta em 719.83 wh.

Tabela 5.2

| <b>Energia</b>                 | <b>Valor (wh)</b> |
|--------------------------------|-------------------|
| Tração                         | 463,39            |
| Arrasto aerodinâmico           | 76,07             |
| Resistência ao rolamento       | 182,18            |
| Resistência ao aclave positivo | 4,62              |
| Resistência ao aclave negativo | -6,44             |
| Total                          | 719,83            |

A tabela 5.3 apresenta a energia consumida quando a aceleração é negativa. As parcelas são a de frenagem com -393,40 watts-hora, arrasto aerodinâmico: 24,63 wh, resistência ao rolamento: 76,35 wh, resistência ao aclave com ângulo ( $\alpha$ ) positivo: 2,25 wh e resistência ao aclave com ângulo ( $\alpha$ ) negativo: -1,83 wh. O total resulta em -291,98 wh.

Tabela 5.3

| <b>Energia</b>                 | <b>Valor (wh)</b> |
|--------------------------------|-------------------|
| Frenagem                       | -393,40           |
| Arrasto aerodinâmico           | 24,63             |
| Resistência ao rolamento       | 76,35             |
| Resistência ao aclave positivo | 2,25              |
| Resistência ao aclave negativo | -1,83             |
| Total                          | -291,98           |

A tabela 5.4 mostra a demanda energética para o percurso urbano referente à totalização da energia consumida na tração e regeneração para o veículo elétrico. Estes valores foram obtidos aplicando as eficiências do motor, inversor e transmissão aos valores totais obtidos na tabela 5.2 e na tabela 5.3.

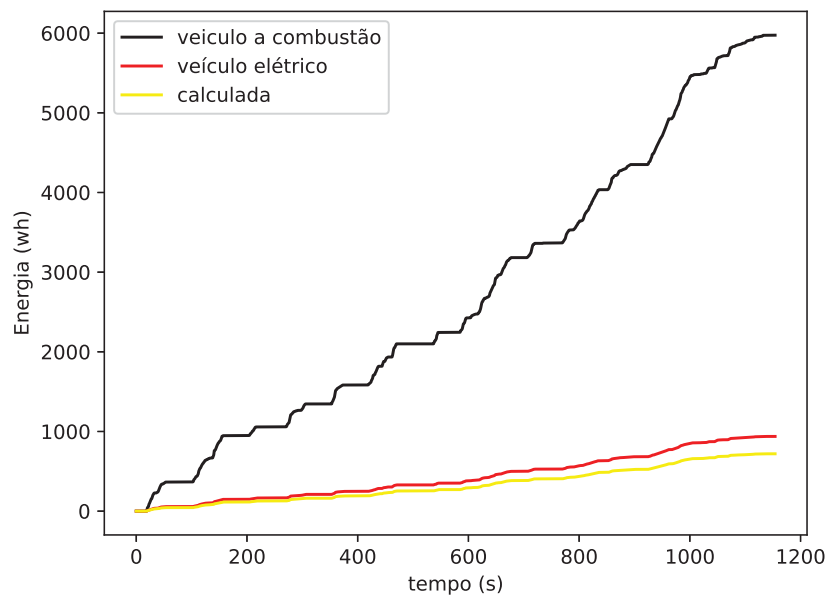
Tabela 5.4

| <b>Energia</b> | <b>Valor (wh)</b> |
|----------------|-------------------|
| Tração         | 937,96            |
| Regeneração    | -213,30           |
| Total          | 724,66            |

O gráfico na figura 5.2 apresenta o consumo energético ao longo do tempo para o veículo a combustão e veículo elétrico com base na energia calculada. No caso do veículo a combustão considerou-se uma densidade energética da gasolina automotiva de 33,526 kJ/litro (BTS, 2025). O que resulta em 9,312 kwh/litro. Como a gasolina brasileira segundo a Petrobras (2024) tem

27% de álcool anidro. Computou-se também a densidade do álcool, que é de 6,100 kwh/litro (Lisensky, 2014). Deste modo colocou-se a proporção de 27% de álcool e o restante 73% de gasolina para cada litro. Desde modo resulta em  $0,73 \times 9,312$ , que é igual a 6,798 kwh/litro. Para o álcool:  $0,27 \times 6,100$ , resulta em 1,647 kwh/litro. Somando as duas parcelas de 6,798 e 1,647 tem-se 8,445 kwh/litro.

Figura 5.2



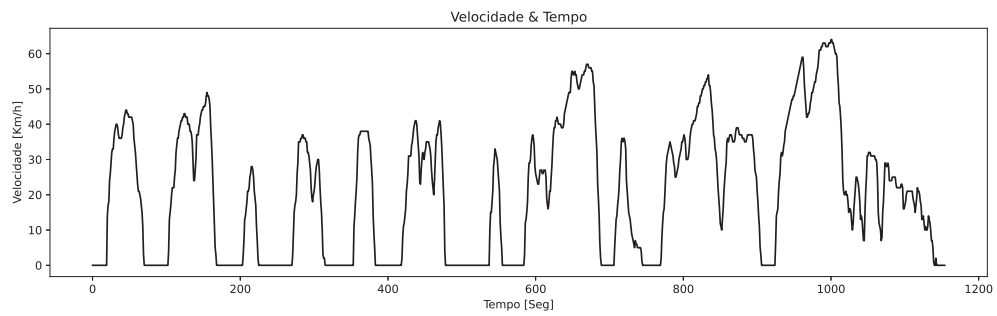
Fonte: o autor.

Considerando a densidade energética de 8,445 kwh por litro e que, no percurso urbano, foram consumidos 0,75 litros de combustível, ao multiplicar os 0,75 litros pelo valor energético de 8,445 kwh, obtém-se um gasto de 6,333 kwh de energia, como pode ser observado na figura 5.2. O gasto total calculado pelo algoritmo em Python para o percurso foi de 0,719 kWh (tabela 5.2). Assim, a eficiência do veículo a combustão ( $0,719\text{kwh}/6,333\text{kwh}$ ) resulta em 11,35%. Considerando as perdas, o veículo elétrico consumiu 0,938 kWh (tabela 5.4). Dessa forma, foi 6,75 vezes mais eficiente do que o veículo a combustão. Com a frenagem regenerativa o veículo elétrico foi 8,74 vezes mais eficiente. Considerando o preço do kwh em R\$ 0,82, o custo do trajeto urbano foi de R\$ 0,59, em comparação com o custo de R\$ 5,21 para o carro a combustão, com o preço do combustível a R\$ 6,95 por litro. Dividindo 0.719 kwh por 0.938 kwh tem-se que a eficiência do veículo elétrico foi de 77% sem considerar a frenagem regenerativa.

#### 5.1.1 Gráficos do Percurso Urbano

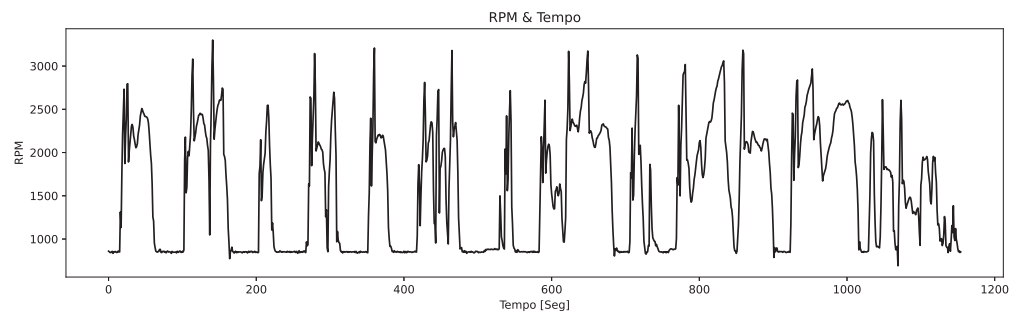
A figura 5.3 mostra a variação da velocidade em função do tempo. O comportamento é típico de uma condução urbana com frequentes paradas e acelerações.

Figura 5.3



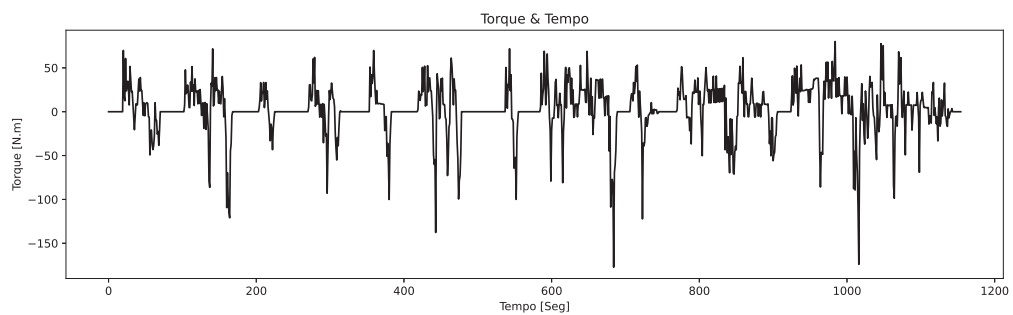
A figura 5.4 mostra as rotações por minuto (RPM) do motor em função do tempo.

Figura 5.4



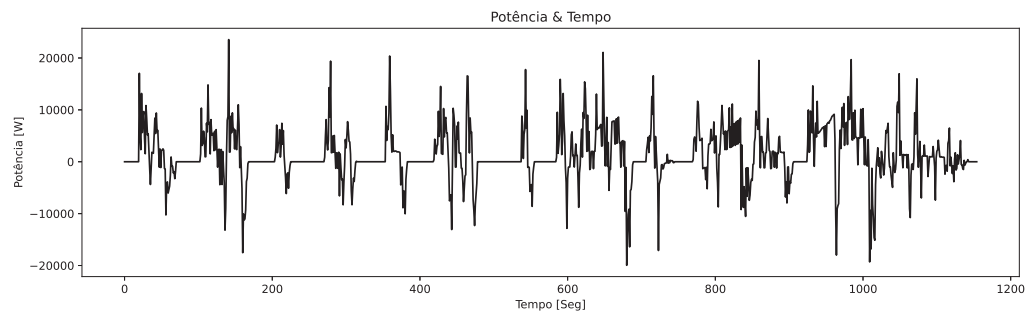
A figura 5.5 mostra o torque em função do tempo.

Figura 5.5



A figura 5.6 mostra o potência em função do tempo.

Figura 5.6



## 5.2 PERCURSO EM RODOVIA

A figura 5.7 mostra o percurso em rodovia. A linha do trajeto é fornecida pelo aplicativo Torque-Pro com base nas coordenadas do GPS. O percurso começa na altura do parque Barigui e termina na cidade de Campo Largo.

Figura 5.7: Percurso rodoviário realizado



Fonte: o autor.

A tabela 5.5 apresenta dados obtidos por meio da leitura do adaptador ELM327. A distância do percurso foi de 28,58 km e o consumo de gasolina foi de 1,99 litros. Com esses dois dados, é possível calcular a quilometragem por litro, dividindo-se a distância percorrida pelo volume de combustível consumido, resultando em 14,35 km/l.

Tabela 5.5

| <b>Leitura OBD</b>    | <b>Valor</b> | <b>Unidade</b> |
|-----------------------|--------------|----------------|
| Distância percorrida  | 28,58        | km             |
| Gasolina consumida    | 1,99         | l              |
| Quilômetros por Litro | 14,35        | km/l           |

A tabela 5.6 apresenta a energia consumida quando a aceleração é positiva. As parcelas são a de tração com 1235.10 watts-hora, arrasto aerodinâmico: 1496.07 wh, resistência ao rolamento: 849.01 wh, resistência ao aclave com angulo ( $\alpha$ ) positivo: 15.5 wh e resistência ao aclave com angulo ( $\alpha$ ) negativo: -17.01 wh. O arrasto aerodinâmico teve uma parcela relevante no percurso rodoviário, pois apresentou um valor significativo dentre as demais. O total resultou em 3578,70 wh.

Tabela 5.6

| <b>Energia</b>                 | <b>Valor (wh)</b> |
|--------------------------------|-------------------|
| Tração                         | 1235.10           |
| Arrasto aerodinâmico           | 1496.07           |
| Resistência ao rolamento       | 849.01            |
| Resistência ao aclave positivo | 15.5              |
| Resistência ao aclave negativo | -17.01            |
| Total                          | 3578,70           |

A tabela 5.7 apresenta a energia consumida quando a aceleração é negativa. As parcelas são a de frenagem com -1189.47 watts-hora, arrasto aerodinâmico: 443.70 wh, resistência ao rolamento: 228.89 wh, resistência ao aclave com angulo ( $\alpha$ ) positivo: 15.52 wh e resistência ao aclave com angulo ( $\alpha$ ) negativo: -4.79 wh. O total resultou em -506.15 wh.

Tabela 5.7

| <b>Energia</b>                 | <b>Valor (wh)</b> |
|--------------------------------|-------------------|
| Frenagem                       | -1189.47          |
| Arrasto aerodinâmico           | 443.70            |
| Resistência ao rolamento       | 228.89            |
| Resistência ao aclave positivo | 15.52             |
| Resistência ao aclave negativo | -4.79             |
| Total                          | -506.15           |

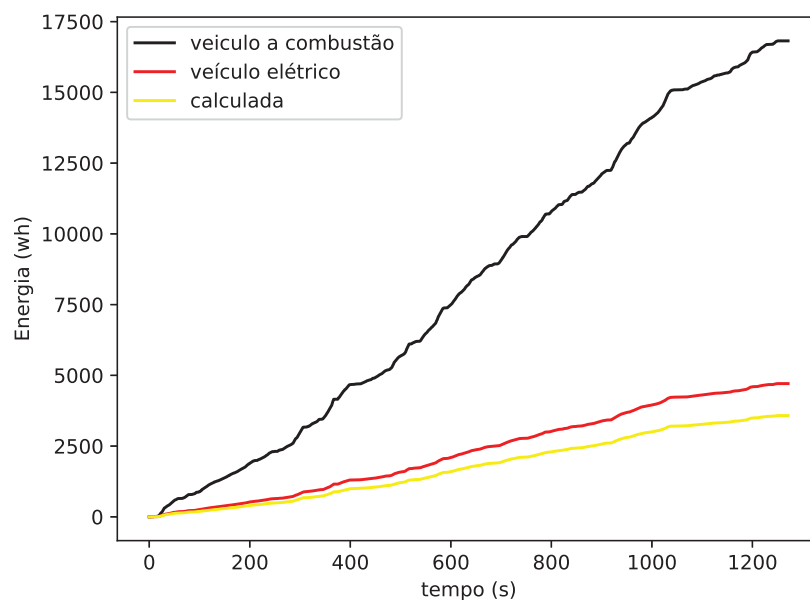
A tabela 5.8 mostra a demanda energética para o percurso rodoviário referente à totalização da energia consumida na tração e regeneração para o veículo elétrico. Estes valores foram obtidos aplicando as eficiências do motor, inversor e transmissão aos valores totais obtidos na tabela 5.6 e na tabela 5.7.

Tabela 5.8

| Energia     | Valor (wh) |
|-------------|------------|
| Tração      | 4708,36    |
| Regeneração | -386.92    |
| Total       | 4321,44    |

A figura 5.8 apresenta o consumo energético ao longo do tempo para o veículo a combustão e veículo elétrico com base na energia calculada pelo programa em Python. Como já explicado no percurso anterior, utilizou-se uma densidade energética de 8,445 kwh/litro de combustível.

Figura 5.8



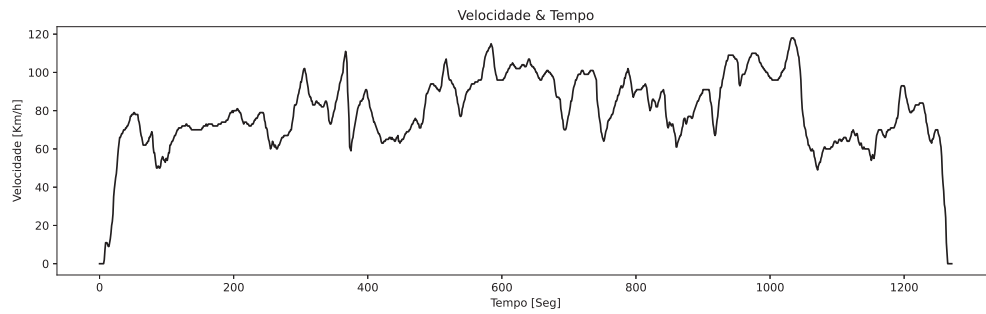
Fonte: o autor.

Considerando a densidade energética de 8,445 kWh por litro e que, no percurso rodoviário, foram consumidos 1,99 litros de combustível, ao multiplicar os 1,99 litros pelo valor energético de 8,445 kWh, obtém-se um gasto de 16,805 kWh de energia. O gasto total calculado no programa Python para o percurso foi de 3,578 kWh (tabela 5.6). Assim, a eficiência do veículo a combustão resulta em 21,29%. Considerando as perdas, o veículo elétrico consumiu 4,708 kWh (tabela 5.8). Dessa forma, foi 3,57 vezes mais eficiente do que o veículo a combustão. Como a frenagem regenerativa recuperou 0,387 kWh, o veículo elétrico foi 4 vezes mais eficiente. Considerando o preço do kWh em R\$ 0,82, o custo do trajeto urbano foi de R\$ 3,54, em contraposição com o custo de R\$ 13,83 para o carro a combustão, com o preço do combustível a R\$ 6,95 por litro. Dividindo 3,578 kWh por 4,708 kWh tem-se que a eficiência do veículo elétrico foi de 76% sem considerar a frenagem regenerativa.

### 5.2.1 Gráficos do Percurso Rodoviário

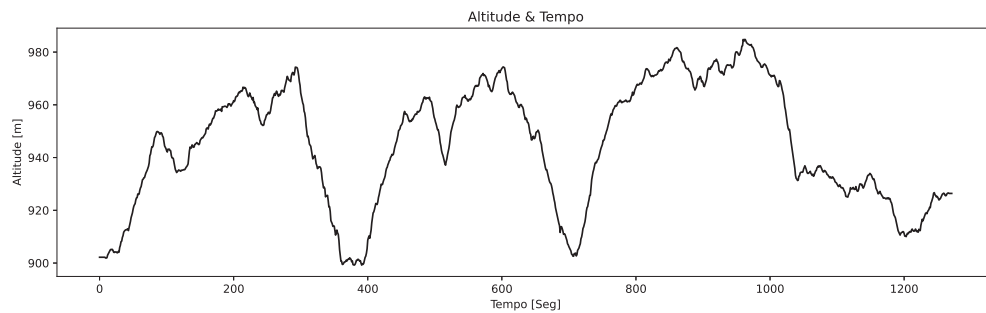
A figura 5.9 mostra a variação da velocidade em função do tempo. O comportamento é típico de uma condução em rodovia.

Figura 5.9



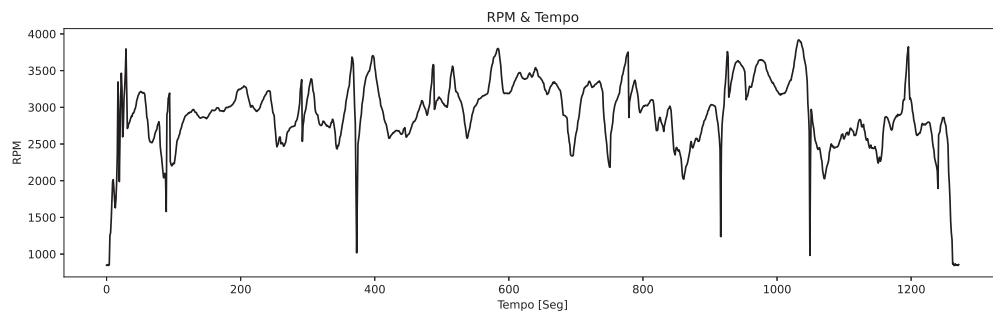
A figura 5.10 mostra a altitude em função do tempo.

Figura 5.10



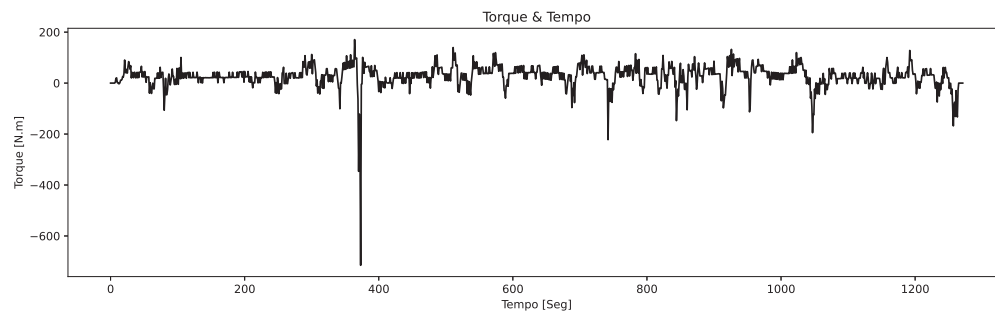
A figura 5.11 mostra as rotações por minuto do motor (RPM) em função do tempo.

Figura 5.11



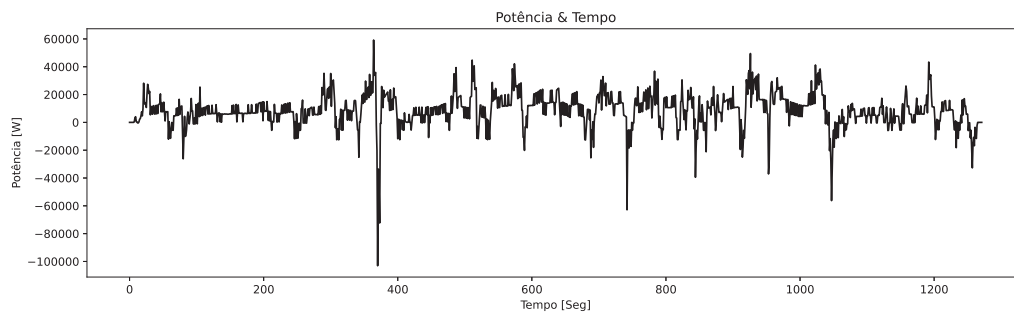
A figura 5.12 mostra o torque em função do tempo.

Figura 5.12



A figura 5.13 mostra a potência em função do tempo.

Figura 5.13



## 6 CONCLUSÃO

O comportamento nos percursos urbano e rodoviário seguiu o padrão esperado. O veículo convencional apresentou menor eficiência no ambiente urbano, com 11,35%, e maior consumo de combustível, registrando 9,25 km/L. Em contrapartida, no percurso rodoviário, a eficiência aumentou para 21,29%, com um consumo reduzido para 14,35 km/L. O veículo elétrico, por sua vez, demonstrou eficiências semelhantes em ambos os percursos. A principal diferença observada foi relacionada à regeneração de energia: no trajeto urbano, aproximadamente 22% da energia consumida foi regenerada, enquanto no percurso rodoviário esse valor foi de 10%.

Uma limitação deste estudo reside no fato de que, usualmente, os motores de veículos elétricos operam em faixas de rotação (RPM) mais elevadas do que os motores a combustão interna. Considerando que os dados de condução utilizados foram obtidos a partir de um veículo a combustão e, conseqüentemente, aplicados ao modelo do veículo elétrico, é possível que os resultados apresentem uma tendência a uma menor eficiência para este último. Isso decorre do fato de que o motor elétrico foi simulado operando em regiões do mapa de eficiência que não correspondem às condições usuais de funcionamento. No entanto, esse fator não compromete a análise realizada, que evidencia a superioridade da eficiência do veículo elétrico em relação ao de combustão interna, principalmente nas regiões ou países que possuem uma matriz energética predominantemente oriunda de fontes renováveis, como é o caso do Brasil, já que é justamente nessas condições que a alta eficiência dos veículos elétricos é plenamente aproveitada. A Tabela 6.1 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 6.1

|                             | Percurso Urbano |           | Percurso Rodoviário |              |
|-----------------------------|-----------------|-----------|---------------------|--------------|
|                             | Combustão       | Elétrico  | Combustão           | Elétrico     |
| Consumo (kwh)               | 6,333           | 0,938     | 16,805              | 4,708        |
| Energia Regenerada (kwh)    | 0               | 0,213     | 0                   | 0,387        |
| Distância Percorrida km     | 6,94            | 6,94      | 28,38               | 28,38        |
| Resistência Predominante    | Rolamento       | Rolamento | Aerodinâmica        | Aerodinâmica |
| (km/kwh)                    | 1,09            | 7,39      | 1,70                | 6,07         |
| Eficiência                  | 11,35%          | 77%       | 21,29%              | 76%          |
| Custo (R\$)                 | 5,21            | 0,76      | 13,83               | 3,86         |
| Ganho com Regeneração (R\$) | 0               | 0,17      | 0                   | 0,32         |
| Total (R\$)                 | 5,21            | 0,59      | 13,83               | 3,54         |

## REFERÊNCIAS

- Aarniovuori, L., Pyrhönen, J., Liu, D., Kauranen, P., Korhonen, J. e Tikka, V. (2023). Energy efficiency analysis of electric vehicle system components. páginas 1–6.
- BTS (2025). Consumo de energia por meio de transporte: notas. <https://www.bts.gov/content/energy-consumption-mode-transportation-0>. Acessado em 20/06/2025.
- Burress, T. (2016). Benchmarking ev and hev technologies. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/edt006\\_burress\\_2016\\_o\\_web.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/edt006_burress_2016_o_web.pdf). Acessado em 20/06/2025.
- Ehsani, M., Gao, Y. e Emadi, A. (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. CRC Press, 3.ed edition.
- Husain, I. (2021). *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. CRC Press.
- Lisensky, G. (2014). Energy density. <https://chemistry.beloit.edu/edetc/SlideShow/slides/energy/density.html>. Acessado em 20/06/2025.
- Nicolazzi, L., Leal, L. e Rosa, E. (2012). Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis. [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC078/Bibliografia/2012\\_Uma\\_introducao\\_a\\_modelagem\\_quase\\_estatica\\_de\\_automoveis\\_NICOLAZZI\\_APOSTILA.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC078/Bibliografia/2012_Uma_introducao_a_modelagem_quase_estatica_de_automoveis_NICOLAZZI_APOSTILA.pdf). Acessado em 20/06/2025.
- Petrobras (2024). Especificação da gasolina. <https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/nossas-atividades/especificacoes-da-gasolina>. Acessado em 20/06/2025.
- Pomilio, A. Silva, E. (2015). Metodologia para dimensionar múltiplas fontes de suprimento de energia de veículos elétricos. *Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – UNICAMP*.
- Roshandel, E., Mahmoudi, A., Kahourzade, S. e Soong, W. L. (2023). Efficiency maps of electrical machines: A tutorial review. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(2):1263–1272.
- Schaltz, E. (2011). Electrical vehicle design and modeling. Em Soylu, S., editor, *Electric Vehicles*, capítulo: 1. IntechOpen, Rijeka.

## 7 APÊNDICE

```

1  #Codigo em Python
2  import csv
3  import math
4  from cmath import pi
5  import matplotlib.pyplot as plt
6  import numpy as np
7  from PIL import Image
8
9
10 #PROCESSAMENTO IMAGEM - EFICIENCIA DO MOTOR
11 image_motor = Image.open("eficienciaMotor_processada.tif")
12 image_motor_flip = image_motor.transpose(Image.FLIP_TOP_BOTTOM)
13 #image_motor_flip.show()
14 matrix_motor = np.array(image_motor_flip)
15
16 #somente o canal R do RGB
17 R_motor = matrix_motor[:, :, 0]
18 #print(R_motor)
19
20 #PROCESSAMENTO IMAGEM - EFICIENCIA DO INVERSOR
21 image_inversor = Image.open("eficienciaInversor_processada.tif")
22 image_inversor_flip = image_inversor.transpose(Image.FLIP_TOP_BOTTOM)
23 #image_inversor_flip.show()
24 matrix_inversor = np.array(image_inversor_flip)
25
26 #somente o canal R do RGB
27 R_inversor = matrix_inversor[:, :, 0]
28 #print(R_motor)
29
30
31 # Caminho para o arquivo CSV
32 path_csv = 'ciclo_urbano_ufpr.csv'
33
34 # Lista para armazenar os dados
35 rpm_obd = []
36 v_km_obd = []
37 alt_m_obd = []
38 dist_km_obd = []
39 P_kw_obd = []
40 fuel_l_obd = []
41 tim_s_obd = []
42

```

```

43 # LEITURA DO ARQUIVO CSV
44 with open(path_csv, newline='', encoding='utf-8') as csvfile:
45     reader = csv.DictReader(csvfile)
46
47     for line in reader:
48         try:
49             value = float(line['Engine RPM(rpm)'])
50             rpm_obd.append(value)
51             value = float(line['Speed (OBD) (km/h)'])
52             v_km_obd.append(value)
53             value = float(line['Trip Distance(km)'])
54             dist_km_obd.append(value)
55             value = float(line[' Altitude'])
56             alt_m_obd.append(value)
57             value = float(line['Fuel used (trip) (l)'])
58             fuel_l_obd.append(value)
59             value = float(line['Engine kW (At the wheels) (kW)'])
60             P_kw_obd.append(value)
61             value = (line[' Device Time'])
62             tim_s_obd.append(value)
63         except ValueError:
64             print(f'error')
65
66 # DADOS DO VEÍCULO
67 m = 1090          # [kg]          massa do veículo
68 Vw = 0            # [km/h]       velocidade do vento
69 g = 9.8           # [m/s]        aceleração da gravidade
70 fr = 0.013        #               coeficiente de arrasto
71 p = 1.2           # [kg/m]       densidade do ar
72 Af = 2.16         # [m]          área frontal do veículo
73 Cd = 0.34         #               coeficiente de arrasto
74 E_gas = 8445      # [wh/l]       energia por litro de gasolina
75
76 #DECLARAÇÃO DOS VETORES
77 a = np.zeros(len(tim_s_obd))
78 P = np.zeros(len(tim_s_obd))
79 alfa = np.zeros(len(tim_s_obd))
80 co = np.zeros(len(tim_s_obd))
81 ca = np.zeros(len(tim_s_obd))
82 dist_m = np.zeros(len(tim_s_obd))
83 v_m = np.zeros(len(tim_s_obd))
84 T_Nm = np.zeros(len(tim_s_obd))
85
86 F_traction_N = np.zeros(len(tim_s_obd))
87 Fg_up_ap_N = np.zeros(len(tim_s_obd))
88 Fg_down_ap_N = np.zeros(len(tim_s_obd))
89 F_roll_up_ap_N = np.zeros(len(tim_s_obd))

```

```

90 F_roll_down_ap_N      = np.zeros(len(tim_s_obd))
91 F_aero_ap_N           = np.zeros(len(tim_s_obd))
92 FR_traction_N         = 0.0
93
94 F_brake_N             = np.zeros(len(tim_s_obd))
95 Fg_up_an_N           = np.zeros(len(tim_s_obd))
96 Fg_down_an_N          = np.zeros(len(tim_s_obd))
97 F_roll_up_an_N        = np.zeros(len(tim_s_obd))
98 F_roll_down_an_N      = np.zeros(len(tim_s_obd))
99 F_aero_an_N           = np.zeros(len(tim_s_obd))
100 FR_break_N            = 0.0
101
102 P_F_traction_W         = np.zeros(len(tim_s_obd))
103 P_Fg_up_ap_W           = np.zeros(len(tim_s_obd))
104 P_Fg_down_ap_W         = np.zeros(len(tim_s_obd))
105 P_F_roll_up_ap_W       = np.zeros(len(tim_s_obd))
106 P_F_roll_down_ap_W     = np.zeros(len(tim_s_obd))
107 P_F_aero_ap_W          = np.zeros(len(tim_s_obd))
108 ER_PR_FR_traction_Ws   = 0.0
109
110 P_F_break_W            = np.zeros(len(tim_s_obd))
111 P_Fg_up_an_W           = np.zeros(len(tim_s_obd))
112 P_Fg_down_an_W         = np.zeros(len(tim_s_obd))
113 P_F_roll_up_an_W       = np.zeros(len(tim_s_obd))
114 P_F_roll_down_an_W     = np.zeros(len(tim_s_obd))
115 P_F_aero_an_W          = np.zeros(len(tim_s_obd))
116 ER_PR_FR_break_Ws     = 0.0
117
118 Pb_trc_W              = np.zeros(len(tim_s_obd))
119 Pb_brk_W              = np.zeros(len(tim_s_obd))
120
121 ef_motor               = np.zeros(len(tim_s_obd))
122 ef_inversor            = np.zeros(len(tim_s_obd))
123
124 E_P_F_traction_Wh      = np.zeros(len(tim_s_obd))
125 E_P_Fg_up_ap_Wh       = np.zeros(len(tim_s_obd))
126 E_P_Fg_down_ap_Wh     = np.zeros(len(tim_s_obd))
127 E_P_F_roll_up_ap_Wh   = np.zeros(len(tim_s_obd))
128 E_P_F_roll_down_ap_Wh = np.zeros(len(tim_s_obd))
129 E_P_F_aero_ap_Wh      = np.zeros(len(tim_s_obd))
130 ER_PR_FR_traction_Wh   = 0.0
131
132 E_P_F_break_Wh         = np.zeros(len(tim_s_obd))
133 E_P_Fg_up_an_Wh       = np.zeros(len(tim_s_obd))
134 E_P_Fg_down_an_Wh     = np.zeros(len(tim_s_obd))
135 E_P_F_roll_up_an_Wh   = np.zeros(len(tim_s_obd))
136 E_P_F_roll_down_an_Wh = np.zeros(len(tim_s_obd))

```

```

137 E_P_F_aero_an_Wh      = np.zeros(len(tim_s_obd))
138 ER_PR_FR_break_Wh     = 0.0
139
140 E                      = 0
141 ER_trc_Wh             = np.zeros(len(tim_s_obd))
142 ER_brk_Wh             = np.zeros(len(tim_s_obd))
143 ER_trc_Wh_EV          = np.zeros(len(tim_s_obd))
144 ER_brk_Wh_EV          = np.zeros(len(tim_s_obd))
145
146 sum_P_w               = 0.0
147 sum_P_reg_w           = 0.0
148
149 sum_ER_trc             = np.zeros(len(tim_s_obd))
150 sum_ER_trc_ICE         = np.zeros(len(tim_s_obd))
151 sum_ER_trc_EV          = np.zeros(len(tim_s_obd))
152 sum_ER_brk_EV          = np.zeros(len(tim_s_obd))
153 sum_ER_trc_EV_reg      = np.zeros(len(tim_s_obd))
154
155 E_aux = 0
156 E_aux_ice = 0
157 E_aux_ev = 0
158 E_aux_ev_n = 0
159
160 #conversão de unidades
161 for i in range(0,len(tim_s_obd)):
162     dist_m[i] = dist_km_obd[i] * 1000
163
164 for i in range(0,len(tim_s_obd)):
165     v_m[i] = v_km_obd[i] / 3.6
166
167 #calcular aceleração
168 for i in range(1,len(tim_s_obd)):
169     a[i] = (v_m[i] - v_m[i-1])
170
171 #calcular angulo de inclinação do veículo
172 for i in range(1,len(tim_s_obd)):
173     co = (alt_m_obd[i]-alt_m_obd[i-1])
174     ca = (dist_m[i]-dist_m[i-1])
175
176     if ca == 0:
177         alfa[i] = 0
178     else:
179         alfa[i] = math.atan((co/ca))
180
181 #CALCULO DAS FORÇAS
182 for i in range(0,len(tim_s_obd)): # [N]
183     if a[i] >= 0:

```

```

184     F_traction_N[i] = (m * a[i])
185     F_aero_ap_N[i] = ((1 / 2) * p * Af * Cd * (v_m[i] + Vw)**2)
186
187     if alfa[i] >= 0 :
188         Fg_up_ap_N[i] = (m * g * math.sin(math.radians(alfa[i])))
189         F_roll_up_ap_N[i] = m * g * fr * math.cos(math.radians(alfa[i]))
190
191     else:
192         Fg_down_ap_N[i] = (m * g * math.sin(math.radians(alfa[i])))
193         F_roll_down_ap_N[i] = m * g * fr * math.cos(math.radians(alfa[i]
194     )))
195
196     else:
197         F_brake_N[i] = (m * a[i])
198         F_aero_an_N[i] = ((1 / 2) * p * Af * Cd * (v_m[i] + Vw)**2)
199
200     if alfa[i] >= 0 :
201         Fg_up_an_N[i] = (m * g * math.sin(math.radians(alfa[i])))
202         F_roll_up_an_N[i] = m * g * fr * math.cos(math.radians(alfa[i]))
203
204     else:
205         Fg_down_an_N[i] = (m * g * math.sin(math.radians(alfa[i])))
206         F_roll_down_an_N[i] = m * g * fr * math.cos(math.radians(alfa[i]
207     )))
208
209 #CALCULO DA POTÊNCIA
210 for i in range(0, len(TIM_S_OBD)):
211
212     P[i] = (m * a[i] + m * g * math.sin(math.radians(alfa[i])) +
213             m * g * fr * math.cos(math.radians(alfa[i])) +
214             (1 / 2) * p * Af * Cd * (v_m[i] + Vw)**2) * v_m[i]
215
216 #CALCULO DA POTÊNCIA (separado)
217 for i in range(0, len(TIM_S_OBD)):
218
219     P_F_traction_W[i] = F_traction_N[i] * v_m[i]
220     P_F_aero_ap_W[i] = F_aero_ap_N[i] * v_m[i]
221     P_Fg_up_ap_W[i] = Fg_up_ap_N[i] * v_m[i]
222     P_Fg_down_ap_W[i] = Fg_down_ap_N[i] * v_m[i]
223     P_F_roll_up_ap_W[i] = F_roll_up_ap_N[i] * v_m[i]
224     P_F_roll_down_ap_W[i] = F_roll_down_ap_N[i] * v_m[i]
225
226     P_F_brake_W[i] = F_brake_N[i] * v_m[i]
227     P_F_aero_an_W[i] = F_aero_an_N[i] * v_m[i]
228     P_Fg_up_an_W[i] = Fg_up_an_N[i] * v_m[i]
229     P_Fg_down_an_W[i] = Fg_down_an_N[i] * v_m[i]
230     P_F_roll_up_an_W[i] = F_roll_up_an_N[i] * v_m[i]

```

```

227     P_F_roll_down_an_W[i]          = F_roll_down_an_N[i]      * v_m[i]
228
229 #CALCULO DA ENERGIA (separado)
230 for i in range(0,len(TIM_S_OBD)):
231
232     E_P_F_traction_Wh[i]            = P_F_traction_W[i]        * (1/3600)
233     E_P_F_aero_ap_Wh[i]             = P_F_aero_ap_W[i]         * (1/3600)
234     E_P_Fg_up_ap_Wh[i]              = P_Fg_up_ap_W[i]          * (1/3600)
235     E_P_Fg_down_ap_Wh[i]            = P_Fg_down_ap_W[i]        * (1/3600)
236     E_P_F_roll_up_ap_Wh[i]          = P_F_roll_up_ap_W[i]      * (1/3600)
237     E_P_F_roll_down_ap_Wh[i]        = P_F_roll_down_ap_W[i]    * (1/3600)
238
239     E_P_F_break_Wh[i]               = P_F_break_W[i]           * (1/3600)
240     E_P_F_aero_an_Wh[i]             = P_F_aero_an_W[i]         * (1/3600)
241     E_P_Fg_up_an_Wh[i]              = P_Fg_up_an_W[i]          * (1/3600)
242     E_P_Fg_down_an_Wh[i]            = P_Fg_down_an_W[i]        * (1/3600)
243     E_P_F_roll_up_an_Wh[i]          = P_F_roll_up_an_W[i]      * (1/3600)
244     E_P_F_roll_down_an_Wh[i]        = P_F_roll_down_an_W[i]    * (1/3600)
245
246
247 FR_traction_N = sum(F_traction_N + F_aero_ap_N + F_roll_up_ap_N +
248     F_roll_down_ap_N + Fg_up_ap_N + Fg_down_ap_N)
249 FR_break_N = sum(F_brake_N + F_aero_an_N + F_roll_up_an_N +
250     F_roll_down_an_N + Fg_up_an_N + Fg_down_an_N)
251 ER_PR_FR_traction_Ws = sum(P_F_traction_W + P_F_aero_ap_W +
252     P_F_roll_up_ap_W + P_F_roll_down_ap_W + P_Fg_up_ap_W + P_Fg_down_ap_W)
253 ER_PR_FR_break_Ws = sum(P_F_break_W + P_F_aero_an_W + P_F_roll_up_an_W +
254     P_F_roll_down_an_W + P_Fg_up_an_W + P_Fg_down_an_W)
255 ER_PR_FR_traction_Wh = sum(E_P_F_traction_Wh + E_P_F_aero_ap_Wh +
256     E_P_F_roll_up_ap_Wh + E_P_F_roll_down_ap_Wh + E_P_Fg_up_ap_Wh +
257     E_P_Fg_down_ap_Wh)
258 ER_PR_FR_break_Wh = sum(E_P_F_break_Wh + E_P_F_aero_an_Wh +
259     E_P_F_roll_up_an_Wh + E_P_F_roll_down_an_Wh + E_P_Fg_up_an_Wh +
260     E_P_Fg_down_an_Wh)
261
262
263 #EFICIENCIA DO MOTOR A PARTIR DO MAPA
264 for i in range(0,len(TIM_S_OBD)):
265     ef_motor[i] = (R_motor[int(T_Nm[i])], int(rpm_obd[i]/10))
266     #print(ef_inversor[i])
267
268 #EFICIENCIA DO INVERSOR A PARTIR DO MAPA
269 for i in range(0,len(TIM_S_OBD)):
270     ef_inversor[i] = (R_inversor[int(T_Nm[i])], int(rpm_obd[i]/10))
271     #print(ef_inversor[i])
272
273 #calcular torque e potencia na bateria

```

```

266 for i in range(0,len(tim_s_obd)):
267     if v_m[i] == 0:
268         T_Nm[i] = 0
269     else:
270         T_Nm[i] = (P[i] / 0.95) / ((rpm_obd[i]) * (2 * pi / 60))      #
271         Torque no motor
272         if P[i] >= 0:
273             Pb_trc_W[i] = P[i] / ((ef_motor[i]/100) * (ef_inversor[i]/100)
274             * 0.95)          # Potência na bateria
275         else:
276             Pb_brk_W[i] = P[i] * ((ef_motor[i]/100) * (ef_inversor[i]/100) *
277             0.95)
278
279 for i in range(0,len(tim_s_obd)):
280     if P[i] > 0:
281         sum_P_w += P[i]
282     else:
283         sum_P_reg_w += P[i]
284
285 #ENERGIA VEÍCULO COMBUSTÃO
286 for i in range(0,len(tim_s_obd)):
287     if P[i] > 0:
288         ER_trc_Wh[i] = (P[i] * (1/3600))
289     else:
290         ER_brk_Wh[i] = (P[i] * (1/3600))
291
292 #ENERGIA VEÍCULO ELÉTRICO
293 for i in range(0,len(tim_s_obd)):
294     ER_trc_Wh_EV[i] = (Pb_trc_W[i] * (1/3600))
295     ER_brk_Wh_EV[i] = (Pb_brk_W[i] * (1/3600))

```