

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

ÉVERTON JORGE BITTENCOURT DE VARGAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA CÁLCULO
E DIMENSIONAMENTO DO MOTOR E PACK DE BATERIAS PARA
CONVERSÃO EM VEÍCULO ELÉTRICO**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

ÉVERTON JORGE BITTENCOURT DE VARGAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA CÁLCULO
E DIMENSIONAMENTO DO MOTOR E PACK DE BATERIAS PARA
CONVERSÃO EM VEÍCULO ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Orientador:
Mauricio Edgar Stivanello, Dr.

Co-orientador:
Douglas Deni Alves, Me.

FLORIANÓPOLIS, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Vargas, Everton Jorge Bittencourt de
Desenvolvimento de um sistema web para cálculo e
dimensionamento do motor e pack de baterias para conversão
em veículo elétrico / Everton Jorge Bittencourt de
Vargas; orientação de Mauricio Edgar Stivanello;
coorientação de Douglas Deni Alves. - Florianópolis,
SC, 2022.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.
Inclui Referências.

1. Veículo elétrico. 2. Conversão. 3. Sistema web.
4. ReactJS. I. Stivanello, Mauricio Edgar. II. Alves,
Douglas Deni. III. Instituto Federal de Santa Catarina.
IV. Desenvolvimento de um sistema web para cálculo
e dimensionamento do motor e pack de baterias para
conversão em veículo elétrico.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DO MOTOR E PACK DE BATERIAS PARA CONVERSÃO EM VEÍCULO ELÉTRICO

ÉVERTON JORGE BITTENCOURT DE VARGAS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de julho, 2022.

Banca Examinadora:

Mauricio Edgar Stivanello, Dr.

Gregory Chagas da Costa Gomes, Me.

Roberto Alexandre Dias, Dr.

A todos aqueles que me apoiaram nesses
anos de luta. Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida e pelas oportunidades que tem me proporcionado.

Agradeço aos meus pais, Nedi e Rosane, pelo amor, atenção e apoio dedicados a mim.

A meu orientador, professor Dr. Eng. Mauricio Edgar Stivanello, pela paciência e dedicação nos momentos difíceis, e por todo o conhecimento repassado.

Ao meu co-orientador do estágio, professor Me. Eng. Douglas Deni Alves, pela paciência, dedicação, e conhecimento que adquiri no período de convivência.

Agradeço aos amigos conquistados durante o curso, pelos momentos de descontração, conhecimentos compartilhados e amizade dedicada.

Por fim, agradeço o trabalho dos professores, servidores, técnicos e terceirizados do Instituto Federal de Santa Catarina. Todos certamente tiveram parte nesta caminhada, me ensinando, corrigindo ou mesmo facilitando o dia a dia na instituição.

Obrigado por tudo !!!

RESUMO

O desenvolvimento das tecnologias e a discussão por meio de transportes mais sustentáveis têm propiciado o aumento no interesse pelos veículos elétricos. Nesse contexto, empresas automobilísticas conceituadas no ramo, assim como, faculdades e *startups* começaram a investir nesse setor. O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema web para cálculo e dimensionamento do motor e pack de baterias para o Projeto P&D 05697-0219/2019 - Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Públicas, através da Conversão de Veículos à Combustão para Tração Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Câmpus Florianópolis. Para o desenvolvimento deste TCC foram realizadas pesquisas de abordagem qualitativa e bibliográfica para a construção de uma plataforma com ReactJS que agiliza todo o processo de cálculos. Por fim, são apresentados os resultados de um estudo de caso para conversão de um veículo Volkswagen Gol 2008 e, posteriormente, são apresentados os resultados da conversão de uma Fiat Fiorino pelo projeto de pesquisa em mobilidade elétrica do IFSC.

Palavras-chave: Veículo elétrico. Conversão. Sistema web. ReactJS.

ABSTRACT

The development of technologies and the discussion about more sustainable means of transportation have led to an increased interest in electric vehicles. In this context, reputable automotive companies, as well as colleges and startups have begun to invest in this sector. The objective of this work is to develop a web system to calculate and size the motor and battery pack for the R&D Project 05697-0219/2019 - Insertion of Electric Vehicles in Public Fleets, through the Conversion of Combustion Vehicles to Electric Traction of the Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Câmpus Florianópolis. To develop this work, a qualitative and bibliographic research was conducted to build a platform with ReactJS that speeds up the whole calculation process. Finally, the results of a case study are presented for the conversion of a 2008 Volkswagen Gol vehicle and, later, the results of the conversion of a Fiat Fiorino by the IFSC research project in electric mobility are presented.

Keywords: Electric vehicle. Conversion. Web system. ReactJS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Veículo Elétrico	19
Figura 2 – Gráfico de Potência e Torque em motores elétricos	20
Figura 3 - Força de resistência.....	21
Figura 4 - Simulação da energia gerada pela deformação do pneu	22
Figura 5 - Teste de aerodinâmica em um automóvel	23
Figura 6 - Diagrama de Ragone	25
Figura 7 - Pack de baterias do Tesla Model S.....	25
Figura 8 - Células em série	28
Figura 9 - Células em paralelo	28
Figura 10 - Pesquisa Stack Overflow	30
Figura 11 - Typescript x Javascript.....	31
Figura 12 - Casos de Uso	35
Figura 13 - Diagrama de Sequência.....	38
Figura 14 - Estrutura do Projeto	39
Figura 15 - Fórmula implementada em código	39
Figura 16 - Interface de dimensionamento do motor	40
Figura 17 - Interface de dimensionamento da bateria	41
Figura 18 - Login	41
Figura 19 - Modelo Entidade Relacionamento	42
Figura 20 - Dimensionamento do motor elétrico.....	44
Figura 21 - Dimensionamento da bateria	45
Figura 22 - Motor Fiorino	47
Figura 23 - Instalação do Pack de baterias	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de peças retiradas	18
Quadro 2 - Lista de peças adicionadas	19
Quadro 3 - Requisitos Funcionais	34
Quadro 4 - Requisitos não funcionais	35
Quadro 5 - Dimensionamento do motor	36
Quadro 6 - Dimensionamento da Bateria	36
Quadro 7 - Cadastro de Usuário	37
Quadro 8 - Especificações Técnicas do automóvel Gol	43
Quadro 9 - Parâmetros da célula Samsung INR18650-30Q	45
Quadro 10 - Especificações Técnicas da Fiorino	46
Quadro 11 - Parâmetros da célula L221N113A.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
MCI	Motor de combustão Interna
ME	Motor elétrico
SOC	Estado de Carga
VE	Veículo elétrico

LISTA DE SÍMBOLOS

A_f	Área frontal do veículo
A_b	Capacidade máxima de corrente
C_d	Coeficiente de arrasto aerodinâmico
C_p	Capacidade de Peukert
F_a	Força de arrasto aerodinâmico
F_R	Força de Inércia
f_r	Coeficiente de resistência ao rolamento;
F_r	Força de resistência ao rolamento
F_t	Força Resultante
I_b	Corrente da bateria
m	Massa
N_s	Células em série
N_p	Células em paralelo
g	Aceleração da gravidade
P_E	Potência elétrica
ρ	Densidade do ar
P_m	Potência de tração
P_x	Força de resistência ao aclone
V	Velocidade do veículo
V_{bat}	Tensão da bateria
V_w	Velocidade do vento
$V_{m\acute{a}x}$	Tensão máxima

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Definição do Problema	15
1.3	Objetivo Geral.....	16
1.4	Objetivos Específicos	16
1.5	Estrutura do Trabalho.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	Conversão de veículos à combustão para elétrico	18
2.2	Motor elétrico	20
2.2.1	Dimensionamento do motor elétrico.....	20
2.2.1.1	<i>Força de Inércia</i>	<i>21</i>
2.2.1.2	<i>Força de Resistência devido ao aclave</i>	<i>21</i>
2.2.1.3	<i>Força de Resistência ao rolamento.....</i>	<i>22</i>
2.2.1.4	<i>Força de arrasto aerodinâmico</i>	<i>23</i>
2.2.1.5	<i>Potência necessária.....</i>	<i>24</i>
2.3	Baterias.....	24
2.3.1	Dimensionamento do pack de baterias	26
2.3.1.1	<i>Capacidade de Peukert.....</i>	<i>26</i>
2.3.1.2	<i>Estado de Carga</i>	<i>27</i>
2.3.1.3	<i>Baterias em Série.....</i>	<i>27</i>
2.3.1.4	<i>Baterias em Paralelo.....</i>	<i>28</i>
2.4	Sistema Web.....	29
2.4.1	Front-End	29
2.4.1.1	<i>HTML, CSS e SASS</i>	<i>29</i>
2.4.1.2	<i>Javascript.....</i>	<i>30</i>
2.4.1.3	<i>Typescript.....</i>	<i>31</i>
2.4.1.4	<i>React.....</i>	<i>31</i>
2.4.1.5	<i>Supabase</i>	<i>32</i>
3	METODOLOGIA	33
3.1	Levantamento dos requisitos	33
3.2	Diagrama de Casos de Uso	35
3.2.1	Dimensionamento	35
3.2.2	Cadastro.....	36
3.3	Diagrama de Sequência.....	37
3.4	Implementação do Projeto	38
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	43
4.1	Caso de uso de conversão de um automóvel Gol	43
4.1.1	Determinação do motor.....	44
4.1.2	Determinação do pack de baterias.....	44
4.2	Caso de uso de conversão de um automóvel Fiorino	46
4.2.1	Determinação do motor.....	46
4.2.2	Determinação do pack de baterias da Fiorino	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem apresentado um crescimento significativo pela compra de veículos elétricos, sendo a frota atual composta por 7% elétrico, 70,3% híbrido e 22,7% híbrido plugin (NEOCHARGE, 2022). Esse fator está diretamente ligado à preocupação ambiental na busca de reduzir o uso de combustíveis fósseis, assim como, optar pelo uso de energia limpa e sustentável (KUMAR; ALOK, 2020).

Desse modo, a conversão de veículos à combustão para elétricos é extremamente viável para a sociedade devido a fatores econômicos e ambientais. Nesse contexto, um carro convertido terá os benefícios de um automóvel elétrico como: eficiência, zero emissões, veículo silencioso, condução agradável (PORCHERA *et al.*, 2016, p. 5), assim como, reaproveitamento da estrutura, componentes e redução do custo em comparação com a aquisição de um carro novo totalmente elétrico.

Entretanto, alguns equipamentos precisam ser adicionados aos automóveis à combustão para torná-los elétricos, como o motor elétrico, o pack de baterias e o controlador. Para realizar tal adaptação, faz-se necessária a realização de diversos cálculos para dimensioná-los, sendo que tal tarefa mostra-se repetitiva se realizada de forma manual. Assim, a disponibilização de uma ferramenta que possibilite realizar os cálculos aritméticos de forma rápida é bastante interessante (CARDI, 2002).

A proposta deste trabalho foi construir um sistema web para dimensionar o motor elétrico e o pack de baterias para o Projeto P&D 05697-0219/2019 - Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Públicas, através da Conversão de Veículos à Combustão para Tração Elétrica, coordenado pelo Prof. Adriano de Andrade Bresolin, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Câmpus Florianópolis, em parceria com as Centrais Elétricas de Santa Catarina - CELESC. O processo envolveu a implementação de um sistema com interface amigável, cujo usuário poderá inserir as variáveis solicitadas e o *software* realiza toda a série de cálculos para obter o resultado.

1.1 Justificativa

Os sistemas web permitem automatizar tarefas repetitivas, fornecem acesso remoto a informações por meio de qualquer aparelho conectado à internet, assim como, consegue analisar dados em um curto período. Além disso, agrega flexibilidade, mobilidade, acessibilidade, segurança e busca a melhoria da vida humana (SANTOS, 2008).

A importância desta pesquisa está em criar uma aplicação que permite calcular e dimensionar o motor e o pack de baterias necessários para realizar a conversão de um veículo à combustão em elétrico. Outro fator relevante dessa ferramenta, é possuir fácil acesso, agilizar todo o processo de cálculos para obter o resultado, assim como, registrar os resultados e variáveis em um banco de dados para futuros estudos. Sendo assim, proporciona redução de tempo e custos com a conversão e torna os VEs economicamente mais competitivos.

1.2 Definição do Problema

A evolução da tecnologia agrega inúmeros benefícios à sociedade, como a capacidade de cálculo numérico, dado que temos máquinas com circuitos integrados mais avançados. Nesse sentido, realizar cálculos atualmente com lápis e papel consome tempo e oferece riscos de erros nos resultados (COELHO, 2022).

Além disso, para dimensionar um motor elétrico e as baterias é necessário considerar várias fórmulas e variáveis, como forças atuantes no veículo, cálculos de potência, cálculo da energia utilizada e desperdiçada pelos componentes, massa, aceleração, tensão, corrente, capacidades máximas de operação dos equipamentos. Nesse contexto, como existe um número muito grande de fórmulas e variáveis a se considerar, a chance de erros nos resultados e o tempo de resolução aumentam consideravelmente se executados de forma manual. Sendo assim, esta pesquisa questiona: como desenvolver uma ferramenta web, de fácil acesso, que agiliza todo o processo de cálculos e dimensionamento do motor e pack de baterias para conversão de um veículo à combustão em elétrico?

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema web para cálculo e dimensionamento do motor e pack de baterias para conversão de um veículo à combustão em elétrico.

1.4 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar um estudo bibliográfico e teórico dos modelos matemáticos para dimensionamento da bateria e motores elétricos que compõem os veículos elétricos (VEs);
- b) analisar as fórmulas para detectar as variáveis necessárias e avaliar os resultados de referência;
- c) validar o sistema por meio da realização de testes do sistema e avaliação dos resultados gerados;
- d) documentar o trabalho a partir da redação da monografia e do artigo para divulgação da pesquisa.

1.5 Estrutura do Trabalho

Após a introdução, é apresentada a fundamentação teórica necessária para compreensão do trabalho. Desse modo, foi abordado o tema de conversão de um veículo à combustão para elétrico, conceitos de motores elétricos e baterias, toda a parte de fórmulas e dimensionamento, assim como, quais tecnologias são utilizadas na construção dos sistemas web para este projeto.

Posteriormente, é abordada a metodologia utilizada no trabalho, assim como, é exemplificada a construção do *software*, como os requisitos funcionais do sistema, os diagramas de casos de uso, diagrama de sequência e a implementação da plataforma web.

No quarto capítulo são apresentados os valores e resultados obtidos pelo sistema para o dimensionamento do motor elétrico e o pack de baterias, para um

estudo de caso referente à conversão de um veículo Gol 2008. Em seguida, é apresentada a validação do sistema para conversão de um veículo Fiat Fiorino convertido pelo grupo de pesquisa em mobilidade elétrica do IFSC, responsável pelo projeto.

No quinto capítulo são apresentadas as discussões finais e proposta para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo descreve os conceitos sobre conversão de veículos à combustão para elétricos, dimensionamento de motores elétricos e pack de baterias, assim como, apresenta as tecnologias empregadas no desenvolvimento de um sistema web.

2.1 Conversão de veículos à combustão para elétrico

A conversão de veículos à combustão em elétrico permite aproveitar os benefícios financeiros e ambientais dos carros elétricos, assim como, é um mercado a ser explorado, principalmente, pelos modelos antigos, que possuem motores mais poluentes que os atuais (CONGRESSO DE MOBILIDADE URBANA, 2021). Entretanto, esse tipo de processo envolve a remoção de alguns itens que não são mais necessários. O Quadro 1 apresenta a lista de peças a serem retiradas dos automóveis à combustão:

Quadro 1 – Lista de peças retiradas

Peças
Motor à combustão
Suporte do motor
Fios e cabos do motor
Escapamento
Radiador de água
Ventoinha do radiador
Tubulação
Mangueiras
Bateria 12V(opcional)
Suporte de bateria (opcional)
Transmissão (opcional)
Suporte da transmissão (opcional)

Fonte: Elaboração própria (2022).

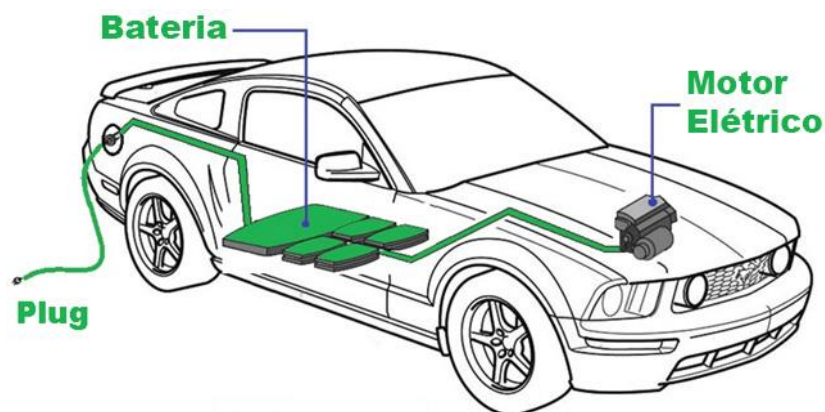
Nesse contexto, algumas peças precisam ser adicionadas para se conseguir os benefícios dos veículos com propulsão elétrica. O Quadro 2 elenca a lista de peças a serem adicionadas:

Quadro 2 - Lista de peças adicionadas

Peças
Motor elétrico
Flange de adaptação
Acoplamento do motor
Controlador
Conversor
Painel de instrumentação
Gerenciador do banco de baterias
Banco de baterias
Carregador de baterias
Fusível
Solenóide
Sistema de carregamento externo

Fonte: Elaboração própria (2022).

Dessa forma, o conjunto de itens de extrema importância no momento da conversão são: as baterias (que podem ser carregadas diretamente na rede elétrica), a fim de prover a energia necessária para movimentar o veículo; o motor elétrico, acoplado ao sistema de tração para gerar deslocamento; e o conversor, que permite gerenciar a potência e ajustar a velocidade (RODRIGUES, 2017). A Figura 1 ilustra os itens citados.

Figura 1 – Veículo Elétrico

Fonte: Adaptado de Raj (2018).

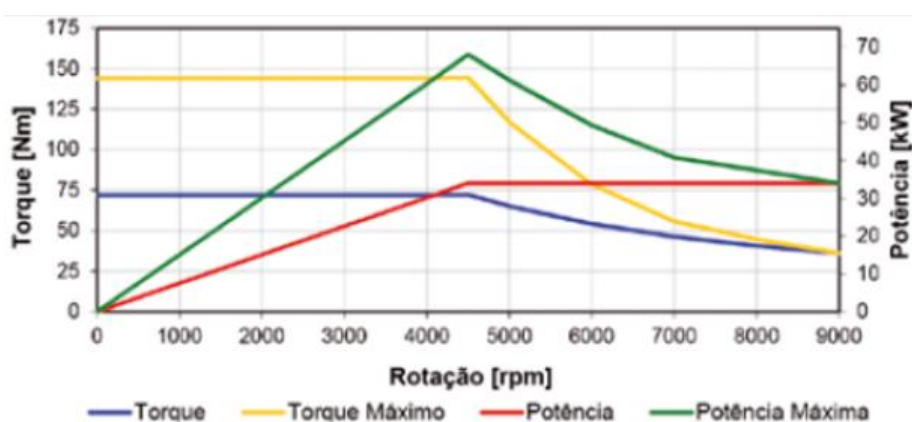
2.2 Motor elétrico

O motor dos carros à combustão transforma a energia proveniente do combustível em energia mecânica; entretanto, possuem uma eficiência energética muito baixa devido à geração de calor causada pelo atrito das partes móveis (CASTRO; FERREIRA, 2010).

Já o motor elétrico transforma a energia elétrica em energia mecânica, a qual é usada para gerar deslocamento nos VEs. Além disso, também pode converter energia mecânica em energia elétrica; dessa forma, atua como gerador e pode ser usada nas frenagens para carregar as baterias (EHSANI; GAO; EMADI, 2009).

Outro fator importante, é que os motores elétricos atingem o torque máximo de forma imediata e permanecem constantes até que a potência máxima seja atingida. Entretanto, existe o regime nominal de trabalho e o regime de pico suportado, ambos definidos pelo fabricante, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico de Potência e Torque em motores elétricos



Fonte: Saldo (2021).

2.2.1 Dimensionamento do motor elétrico

Para dimensionar o motor elétrico de um automóvel, deve-se considerar a aceleração, velocidade e forças de resistência ao deslocamento. Desse modo, para movimentar um carro, é necessário vencer as forças que se opõem ao movimento (GILLESPIE, 2012).

2.2.1.1 Força de Inércia

A força de inércia está associada à variação da velocidade em função do tempo, já que é o produto da massa pela aceleração. Esse cálculo é possível ser realizado a partir da Equação 1.

$$F_R = m \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

Onde:

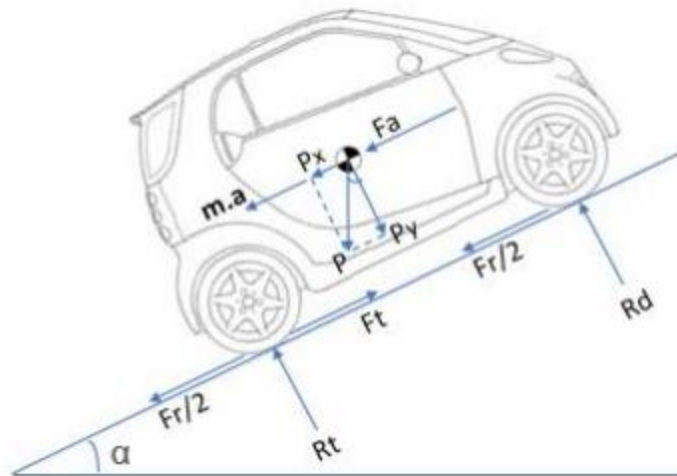
m = peso do veículo em (kg);

$\frac{dv}{dt}$ = aceleração ($\frac{m}{s^2}$).

2.2.1.2 Força de Resistência devido ao aclave

Na subida, o peso do automóvel cria uma componente P_x , que irá atuar contra o movimento, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Força de resistência



Fonte: Saldo (2021).

A partir da Figura 3, observa-se que o desempenho é afetado; além disso, o ângulo de inclinação do aclave precisa ser considerado para o cálculo da força contrária ao movimento, conforme mostra a Equação 2 (RODRIGUES, 2017).

$$P_x = mg \sin(\alpha) \quad (2)$$

Onde:

m = peso do veículo em (kg);

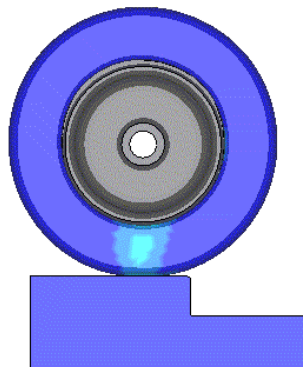
g = aceleração da gravidade;

α = ângulo de inclinação da pista.

2.2.1.3 Força de Resistência ao rolamento

Ao realizar movimento, os pneus dos veículos estão em contato direto com a superfície, e isso gera deformações; conseqüentemente, é gerada energia, que se manifesta sobre a forma de calor, provocando aumento da temperatura do pneu (LANCEMORE, 2005). Essas perdas de energia estão vinculadas à força que se opõe ao deslocamento, a qual é conhecida como resistência ao rolamento.

Figura 4 - Simulação da energia gerada pela deformação do pneu



Fonte: Lancemore (2005).

A força de resistência ao rolamento pode ser calculada com a utilização da Equação 3 (GILLESPIE, 1992).

$$F_r = f_r mg \cos(\alpha) \quad (3)$$

Onde:

m = peso do veículo em (kg);

f_r = coeficiente de resistência ao rolamento;

g = aceleração da gravidade;

α = ângulo de inclinação da pista.

2.2.1.4 Força de arrasto aerodinâmico

No deslocamento do veículo, ocorre a força de arrasto aerodinâmico, ou seja, a interação do ar com a superfície do automóvel dificulta o seu movimento. Desse modo, como o ar passa em torno do corpo, a magnitude da sua força depende da forma do objeto, assim como provoca variação da velocidade e pressão (SILVA; MARCO, 2018). Essa situação é mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Teste de aerodinâmica em um automóvel



Fonte: Mercedes-Benz (2019).

O arrasto aerodinâmico considera a velocidade do veículo, a área frontal, assim como a forma do veículo e a densidade do ar, conforme indica a Equação 4.

$$Fa = \frac{1}{2} \rho (V - Vw)^2 A_f Cd \quad (4)$$

Onde:

ρ = densidade do ar;

A_f = área frontal do veículo em (m²);

Cd = coeficiente de arrasto aerodinâmico;

V = velocidade do veículo em ($\frac{m}{s}$);

Vw = velocidade do vento em ($\frac{m}{s}$).

2.2.1.5 Potência necessária

A Física define potência como o trabalho realizado em função da variação do tempo, sendo o trabalho a medida de transformação de uma forma de energia em outra forma por meio da aplicação de uma força (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Logo, a potência pode ser calculada pela força resultante multiplicada pela velocidade, a partir da Equação 5.

$$P = F_t V \quad (5)$$

Onde:

F_t = Força Resultante (N)

V = velocidade do veículo em ($\frac{m^2}{s}$).

Desse modo, no projeto de um veículo elétrico para dimensionamento do motor é preciso realizar o cálculo da potência mecânica de tração, assim como é necessário considerar as forças resultantes que se opõem ao movimento, conforme mostra a Equação 6 (EHSANI; GAO; EMADI, 2009).

$$P_m = \left[m \frac{dv}{dt} + mg \sin(\alpha) + f_r mg \cos(\alpha) + \frac{1}{2} \rho (V - V_w)^2 A_f C_d \right] V \quad (6)$$

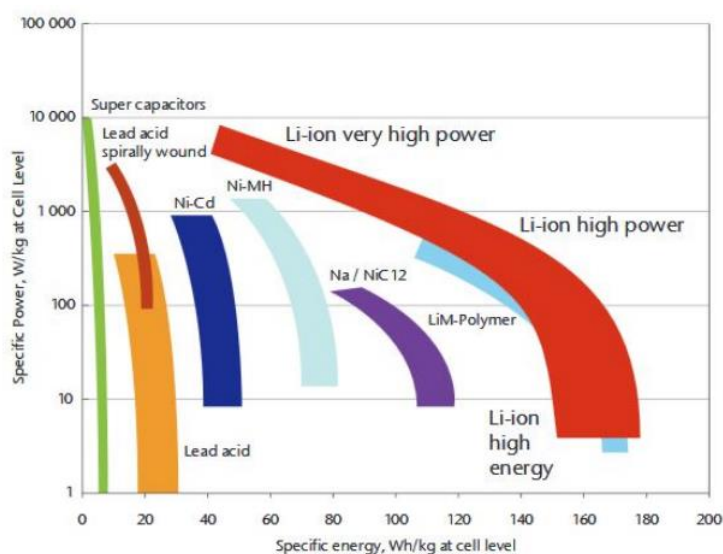
2.3 Baterias

As baterias são armazenadoras de energia na forma química, que são liberadas na forma de energia elétrica quando conectadas a uma carga. Desse modo, internamente acontece uma reação de oxidação-redução nos eletrodos, sendo que a energia liberada nesse processo permite o fluxo de elétrons. Nesse sentido, devido à capacidade de armazenar energia, fatores como desempenho, custo, segurança e confiabilidade são muito utilizadas nos veículos elétricos (TRUDES; MONTEIRO, 2018).

No mercado, existem diferentes tipos e modelos de baterias. Entre as recarregáveis existentes, pode-se destacar as de Níquel Cádmio (NiCd), Níquel-Metal Hidreto (NiMH), Chumbo-Ácido Selado (SLA), Íon de Lítio (Li-Ion) e Polímero de Lítio (Li-Po), sendo que, o que muda é a constituição química, capacidade de descarga e método de carga (PASSOLD; POSSA, 2006).

Ademais, o desempenho das baterias depende da densidade de energia (ou energia específica), que é a quantidade de energia armazenada por massa ou volume, assim como, da potência específica que está relacionada com a rapidez com que uma bateria pode ser carregada ou descarregada. O diagrama de Ragone compara essas duas propriedades (Figura 6).

Figura 6 - Diagrama de Ragone



Fonte: Trudes; Monteiro (2018).

É importante destacar, também, que em um veículo elétrico as células individuais são combinadas para formar um módulo - e vários módulos formam um pack. Na Figura 7 é apresentado o pack de baterias implementado no Tesla Model S, com capacidade de 85kWh, tensão máxima de 400V e consiste em 96 células em série e 74 em paralelo (YIRIK *et al.*, 2016).

Figura 7 - Pack de baterias do Tesla Model S



Fonte: Yirik *et al.* (2016).

2.3.1 Dimensionamento do pack de baterias

A Física define que todo circuito elétrico contém uma fonte e um receptor. A primeira é responsável por converter qualquer tipo de energia em energia elétrica; como exemplo, pode-se citar as baterias. O segundo transforma a energia elétrica recebida em outro tipo de energia; é o que ocorre com os motores elétricos (GUSSOW, 1985).

Como a fonte realiza trabalho sobre as cargas, a potência extraída da fonte em função do tempo pode ser calculada pela Equação 7 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

$$\frac{d\omega}{dt} = \Delta V \frac{dq}{dt} \quad (7)$$

Onde:

$$\frac{d\omega}{dt} = \text{Potência (W)};$$

$$\frac{dq}{dt} = \text{Corrente (A)};$$

ΔV = diferença de potencial (V).

Nesse sentido, a potência elétrica necessária para o veículo trafegar com uma determinada massa e velocidade é resultado da potência total com o somatório das perdas de energia (YAMACHITA, 2013), conforme mostra a Equação 8:

$$P_E = P_t + \Sigma_{\text{perdas}} \quad (8)$$

Desse modo, a capacidade máxima de corrente (A_b) do pack de baterias considera a energia total que precisa chegar ao motor (P_E), dividido pela tensão máxima que o sistema requer ($V_{\text{máx}}$), de acordo com a Equação 9:

$$A_b = \frac{P_E}{V_{\text{máx}}} \quad (9)$$

2.3.1.1 Capacidade de Peukert

Nos VEs, conforme a corrente solicitada pelo banco de baterias é extraída, deve ser implementado um controle que permita prever o tempo (t) e a quantidade de descarga. Dessa forma, para realizar essa estimativa, utilizou-se a Capacidade de

Peukert. Por meio da capacidade de referência (C), é possível determinar o tempo real de descarga de uma bateria, de acordo com a corrente solicitada, conforme apresentado na Equação 10 (CORREA *et al.*, 2013).

$$Cp = (I_b)^k \cdot t \quad (10)$$

Onde:

I_b = é a corrente solicitada;

K = é uma constante denominada coeficiente de Peukert.

Conhecendo a Capacidade de Peukert (Cp), pode-se determinar o tempo de descarga de acordo com a corrente solicitada pelos componentes.

2.3.1.2 Estado de Carga

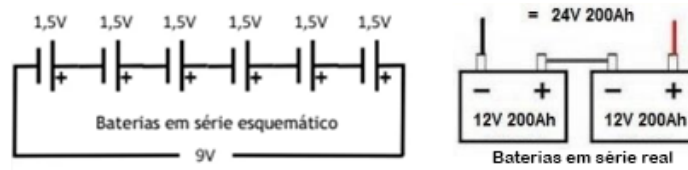
Para encontrar o SOC (*State of Charge*), que indica a quantidade de carga disponível nas células, pode-se utilizar a Equação a 11. Desse modo, integrando a corrente elétrica no tempo, obtém-se a quantidade de energia fornecida pela bateria que, em razão da energia máxima da bateria, gera a porcentagem de descarga da célula. Portanto, a diferença entre a carga máxima da bateria e a quantidade de descarga é denominado de estado de carga (CORREA *et al.*, 2013).

$$SOC = 1 - \frac{1}{3600} \int_{t1}^{t2} \frac{I_b^k}{C_p} dt = 1 - \frac{1}{3600} \int_{t1}^{t2} \frac{I_b^k}{C} dt C \quad (11)$$

2.3.1.3 Baterias em Série

As células dispostas em série (Figura 8) possuem a mesma corrente; porém, a diferença de potencial é a soma das diferenças de potencial em cada resistência, sendo o objetivo desse tipo de ligação gerar uma tensão e uma potência mais alta (VILLATE, 2014).

Figura 8 - Células em série



Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

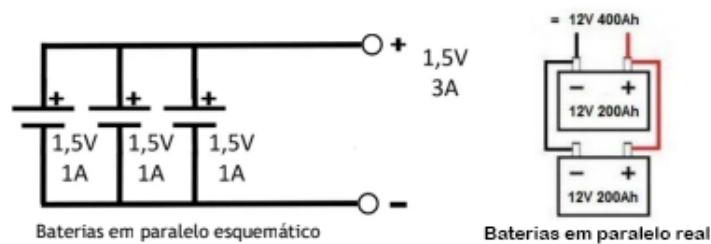
Logo, utilizam-se as ligações em série para obter a tensão elétrica necessária para o projeto do veículo elétrico. Assim, para calcular o número de células em série (N_s) que o veículo necessita, precisa-se da tensão máxima que o sistema requer ($V_{m\acute{a}x}$), dividido pela tensão máxima de cada célula (V_{bat}), como mostra a Equação 12:

$$N_s = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_{bat}} \quad (12)$$

2.3.1.4 Baterias em Paralelo

A disposição das células em paralelo considera a mesma diferença de potencial em ambas as resistências e uma corrente total resultante (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Desse modo, o objetivo desse tipo de ligação é obter a corrente necessária para o projeto, como ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Células em paralelo



Fonte: Adaptado de Oliveira (2021).

O número de células em paralelos (N_p) necessários para o projeto depende da capacidade máxima de corrente (A_b) do banco de baterias, em função da capacidade de corrente de cada célula, conforme indica a Equação 13.

$$N_p = \frac{A_b}{c_{c\acute{e}lula}} \quad (13)$$

2.4 Sistema Web

A web surgiu em 1989, no CERN (Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear), localizado na Suíça. O seu criador foi Tim Berners-Lee, um cientista britânico, que encontrou um problema no compartilhamento de informações de documentos no laboratório no qual trabalhava, ou seja, diferentes informações estavam em diferentes computadores (ANJOS, 2017). Nesse contexto, a intenção da criação da *World Wide Web* era centralizar a divulgação das pesquisas e experimentos realizados pelos cientistas.

Atualmente, Berners-Lee é conhecido como o “pai” da web, por ter desenvolvido o HTML, as URI (*Uniform Resource Identifier*), que especificam os endereços na internet e o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) (CECHINEL, 2017). A seguir, apresentam-se as principais tecnologias que englobam o ecossistema de desenvolvimento de aplicações na internet.

2.4.1 Front-End

O termo *front-end* está relacionado com a interface gráfica do usuário, desenvolvida por meio de código, na qual ocorre a interação das pessoas com um site. Nessa circunstância, por meio de uso de tecnologias como: HTML, CSS e Javascript, é construída a identidade visual das páginas, que estão em um navegador web. Além disso, também é a parte responsável pelo SEO (*Search Engine Optimization*) de uma página, isto é, faz com que seja mais bem indexada nos resultados de busca, como o Google (ANJOS, 2017).

2.4.1.1 HTML, CSS e SASS

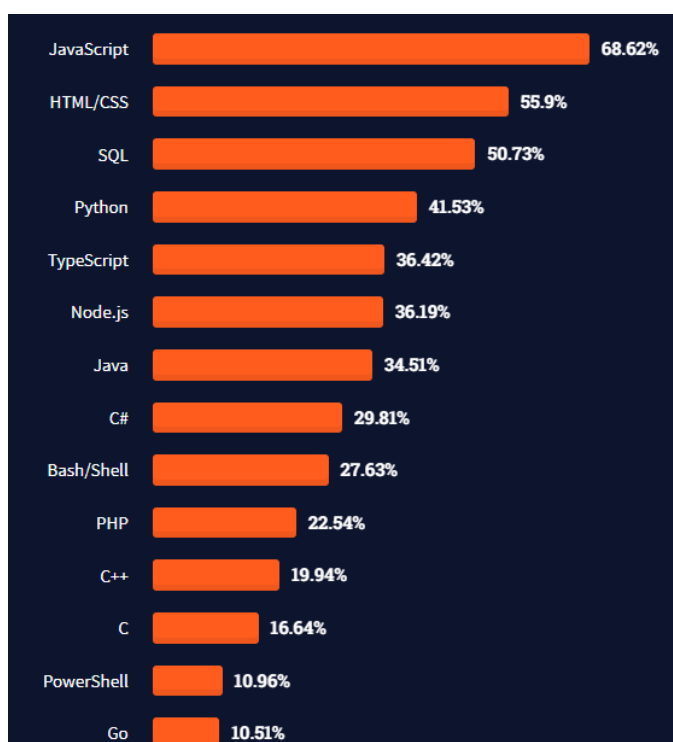
O HTML (Linguagem de Marcação de Hipertextos) surgiu em meados de 1990, sendo responsável pela estrutura dos conteúdos da web. Possui uma sintaxe composta de “tags”, ou seja, o nome do elemento está entre “<” e “>”. (MOZILLA FOUNDATION, 2021). Já o CSS (*Cascading Style Sheets*) surgiu em 1994 e é uma linguagem utilizado para estilizar os elementos HTML.

Com a evolução da tecnologia, surgiram os pré-processadores para CSS, como o SASS (*Syntactically Awesome Style Sheets*), que possibilitam a criação de variáveis, estruturas condicionais, laços de repetição, importação de arquivos e funções (SASS, [entre 2006 e 2022]). Desse modo, agrega ao desenvolvedor produtividade, organização e rapidez na manutenção, assim como, todo código gerado é convertido no final em CSS.

2.4.1.2 Javascript

O *Javascript* é uma linguagem de alto nível, interpretada, que possui tipagem dinâmica, suporta programação orientada a objetos, é imperativa, funcional e os navegadores têm suporte para *scripts* implementados nativamente (CUNHA, 2017). Além disso, devido a sua curva de aprendizado, performance e dinamismo é a tecnologia mais utilizada no mundo por desenvolvedores, segundo a pesquisa do *Stack Overflow: 2021 Developer Survey*, um site americano de perguntas e respostas na área de programação, como se pode verificar na Figura 10.

Figura 10 - Pesquisa Stack Overflow



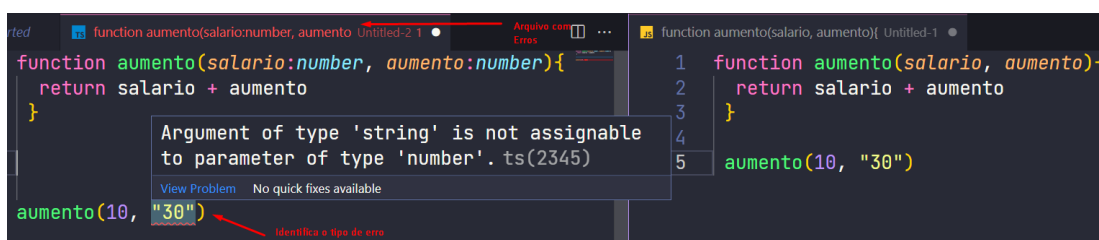
Fonte: Stack Overflow (2021).

2.4.1.3 Typescript

Typescript é uma linguagem de programação fortemente tipada que adiciona sintaxe ao *Javascript* com objetivo de detectar e evitar erros, bem como, oferecer suporte ao editor de código. Foi criado pela Microsoft e liberado como *open-source*, ou seja, código aberto e licenciamento livre (ESTEFANI, 2019).

Na Figura 11 é possível comparar uma função que deveria receber dois números e retornar a soma deles. Entretanto, quando o desenvolvedor passa um valor numérico e uma *string* (texto) o *Typescript* acusa erro no arquivo, identifica e exemplifica o tipo de erro, enquanto o *Javascript* aceita a sintaxe.

Figura 11 - Typescript x Javascript



Fonte: Autoria Própria (2022).

2.4.1.4 React

O *React* é uma biblioteca *Javascript* criada pelo *Facebook* e de código aberto, com foco em desenvolvimento de interfaces do usuário. Além disso, essa tecnologia é baseada em componentes, fornece performance, simplicidade e escalabilidade (LINS, 2019). Foi a ferramenta utilizada no desenvolvimento do projeto.

Entre as características mais notáveis, destacam-se componentes reutilizáveis, que podem receber propriedades e possuir estados; JSX, que é a capacidade de unificar lógica *Javascript* com HTML no mesmo arquivo, e VDOM (Virtual DOM), o qual copia uma representação do DOM (*Document Object Model*); dessa forma, processa apenas os elementos alterados no momento de desenvolvimento (REACT, 2022).

2.4.1.5 Supabase

Supabase é um SaaS (*Software as a service*), isto é, um *software* com diversos recursos e soluções de tecnologia oferecidos por meio da internet. É *open source* e oferece acesso ao banco de dados PostgreSQL, autenticação, com todos os processos de segurança já incluídos, e facilita o cadastro, atualização e registro de dados (SUPABASE, 2022).

Esse recurso foi utilizado no projeto para fazer a implementação de login, assim como para salvar os resultados e variáveis dos cálculos de dimensionamento do motor e do pack de baterias.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será detalhada a metodologia empregada para o desenvolvimento de um sistema web para dimensionamento do motor e o pack de baterias para conversão de um veículo à combustão em elétrico.

Para isso, foi realizada uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e bibliográfica. A pesquisa aplicada, produzida a partir de aplicação prática, foi realizada no Laboratório do Coworking do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Florianópolis.

Quanto à abordagem do problema, a pesquisa caracteriza-se como qualitativa. Segundo Prodanov e Freitas (2013, p. 70), “a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados” são elementos essenciais para esse processo. Neste tipo de abordagem, o pesquisador tem relação direta com o ambiente. Assim, a pesquisa foi realizada por meio do projeto, voltado para o grupo de pesquisa em mobilidade elétrica do IFSC, denominado Projeto P&D 05697-0219/2019 - Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Públicas, através da Conversão de Veículos à Combustão para Tração Elétrica, o qual conta com 30 pessoas entre professores e alunos, e tem como objetivo a conversão de veículos à combustão, da frota pública, para elétrico. O propósito é o acesso a carros com eficiência, zero emissões, silenciosos, condução agradável, carregamento em qualquer tomada convencional de 20 ampères, que reaproveitam a estrutura e componentes dos veículos à combustão.

Por fim, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em sites indexados, abordando conceitos sobre conversão de veículos à combustão para elétricos, dimensionamento de motores elétricos e pack de baterias, bem como a literatura referente às tecnologias utilizadas no desenvolvimento de um sistema web.

3.1 Levantamento dos requisitos

A etapa de levantamento de requisitos permite construir modelos para descrever o comportamento do sistema, o fluxo de dados, os cenários de usuário, as atividades e as condições que o sistema deve atender (PRESSMAN, 2006). Nesse sentido, os requisitos foram levantados em conjunto com a equipe de mobilidade elétrica do IFSC e, a partir deles, foi possível definir planos de ação.

O Quadro 3 apresenta os requisitos funcionais deste projeto.

Quadro 3 - Requisitos Funcionais

RF	Descrição
RF-01	O sistema deve calcular a força de inércia
RF-02	O sistema deve calcular a força de resistência ao aclave
RF-03	O sistema deve calcular a força de resistência ao rolamento
RF-04	O sistema deve calcular a força de arrasto aerodinâmico
RF-05	O sistema deve calcular a potência mecânica de tração
RF-06	O sistema deve informar o resultado da potência máxima
RF-07	O sistema deve calcular a energia que deve chegar no Motor
RF-08	O sistema deve calcular as perdas de energia
RF-09	O sistema deve calcular a capacidade de corrente do banco de baterias
RF-10	O sistema deve calcular o número de baterias em série
RF-11	O sistema deve calcular o número de baterias em paralelo
RF-12	O sistema deve calcular o total de células
RF-13	O sistema deve calcular o peso do pack de baterias.
RF-14	O sistema deve informar os resultados
RF-15	O sistema deve permitir login
RF-16	O sistema deve registrar os campos preenchidos pelo usuário
RF-17	O sistema deve registrar os resultados dos cálculos

Fonte: autoria própria (2022).

Os requisitos não funcionais do projeto estão descritos no Quadro 4:

Quadro 4 - Requisitos não funcionais

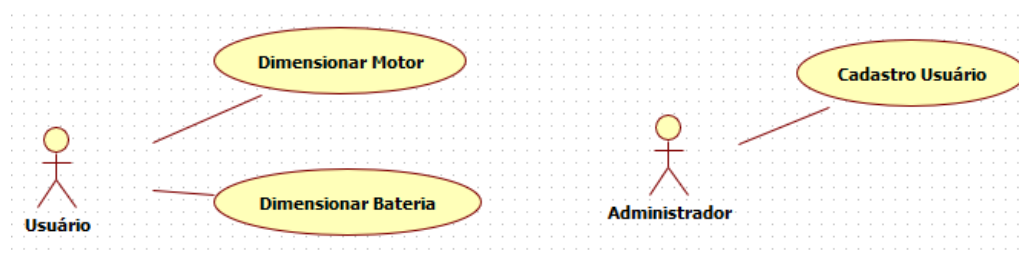
RNF	Descrição
RNF-01	O sistema deve permitir o acesso de diferentes dispositivos conectados à internet como computadores, celulares e tablets.
RNF-02	O sistema deve gerar os resultados em até 5 segundos

Fonte: autoria própria (2022).

3.2 Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de casos de uso é utilizado para mostrar os atores, associações e casos de uso do sistema (AMBLER, 2004). No desenvolvimento da plataforma para dimensionamento, foram identificados dois atores: o usuário autenticado e o administrador.

Na Figura 12 são apresentados os casos de uso e atores.

Figura 12 - Casos de Uso

Fonte: autoria própria (2022).

3.2.1 Dimensionamento

Os Quadros 5 e 6 apresentam os casos de usos referentes ao dimensionamento do motor elétrico e o pack de baterias.

Quadro 5 - Dimensionamento do motor

Identificador UC: UC-1 Diagrama ID: D-1	Nome: Dimensionamento do motor Prioridade: Alta
Objetivo	Realizar os cálculos necessários para o dimensionamento do motor
Atores	Usuário
Pré-condições	Usuário autenticado
Cenário Principal	1. Abre-se o sistema <i>web</i>. 2. Escolhe-se dimensionamento do motor. 3. Preenchem-se os dados. 4. Clica-se em calcular.
Pós-condições	Resultado da potência máxima requerida pelo motor.

Fonte: autoria própria (2022).

Quadro 6 - Dimensionamento da Bateria

Identificador UC: UC-1 Diagrama ID: D-1	Nome: Dimensionamento da bateria Prioridade: Alta
Objetivo	Realizar os cálculos necessários para o dimensionamento da bateria
Atores	Usuário
Pré-condições	Usuário autenticado
Cenário Principal	1. Abre-se o sistema <i>web</i>. 2. Escolhe-se dimensionamento da bateria. 3. Preenchem-se os dados. 4. Clica-se em calcular.
Pós-condições	Resultado do total de células, baterias em séries e paralelo necessárias, peso do pack, capacidade de corrente da bateria.

Fonte: autoria própria (2022).

3.2.2 Cadastro

No Quadro 7 é possível visualizar o caso de uso de cadastro de usuário.

Quadro 7 - Cadastro de Usuário

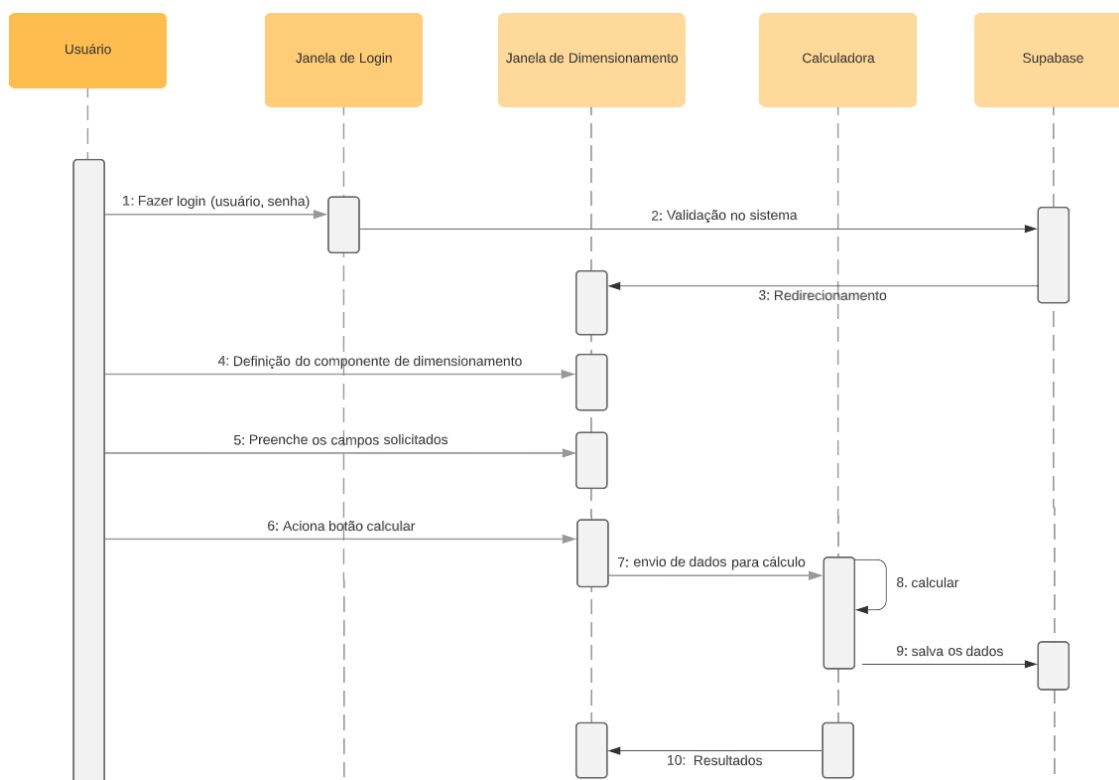
Identificador UC: UC-1 Diagrama ID: D-1	Nome: Cadastro de Usuário Prioridade: Média
Objetivo	Cadastrar usuários que precisam do serviço.
Atores	Usuário
Pré-condições	Deve-se obter os dados necessários do usuário.
Cenário Principal	1. Abre-se o <i>software</i>. 2. Abre-se janela de cadastro de usuário. 3. Preenchem-se os dados. 4. Salva-se .
Pós-condições	Usuário salvo no banco de dados.

Fonte: autoria própria (2022).

3.3 Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência demonstra a estrutura do *software* e como o sistema funciona. Ele mostra a ordem em que as iterações acontecem (BEZERRA, 2007). A sequência de eventos do sistema web de dimensionamento pode ser vista na Figura 13 - considera-se que o usuário já está previamente cadastrado pelo administrador.

Figura 13 - Diagrama de Sequência



Fonte: autoria própria (2022).

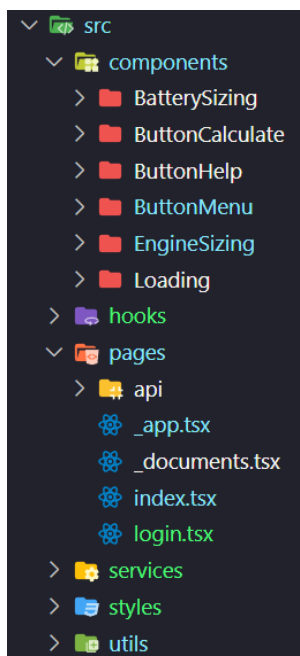
A rotina apresentada na Figura 13 demonstra que o usuário deve efetuar login com o e-mail e senha cadastrados pelo administrador. Em seguida, o sistema verifica as credenciais inseridas e se a autenticação tiver sucesso; então, ocorre o redirecionamento para a janela de dimensionamento. Nesse momento, o usuário deve selecionar o componente que deseja dimensionar, motor ou bateria, e preencher os campos solicitados. Posteriormente, ao clicar no botão calcular, os dados são enviados e ocorre uma série de cálculos, sendo que o sistema salva no banco de dados os campos preenchidos pelo usuário e todos os resultados das fórmulas realizadas. Finalmente, são renderizados os resultados na interface.

3.4 Implementação do Projeto

O sistema foi construído com *React*, *Typescript* e *Sass*, sendo realizada a integração com o *Supabase*. A escolha dessas tecnologias se deve ao conhecimento prévio do pesquisador. No total, o projeto tem 32 arquivos, 6475 linhas de código e

está organizado na estrutura recomendada pela própria comunidade do *React* (Figura 14).

Figura 14 - Estrutura do Projeto



Fonte: autoria própria (2022).

Primeiramente, após todo o levantamento das fórmulas necessárias para a conversão do motor elétrico e do pack de baterias, foi realizada a implementação das equações por meio de linhas de código, conforme a Figura 15, que apresenta a equação da força de resistência devido ao aclone.

Figura 15 - Fórmula implementada em código

```
const Px = (weight: number, angle: number) => {
  return weight * 9.81 * calcSen(angle);
}
```

Fonte: autoria própria (2022).

Em seguida, após a finalização de todo o equacionamento, por meio de código, foram realizados testes para validar e avaliar os resultados de referência. Posteriormente, iniciou-se a criação de interfaces do usuário, como a de dimensionamento do motor elétrico, conforme apresentado na Figura 16, a qual tem como variáveis solicitadas o peso do veículo, o tempo necessário para o automóvel atingir 100km/h, a área frontal, a velocidade que se deseja atingir com o respectivo

motor e o coeficiente de arrasto. Nesse contexto, ressalta-se que as unidades de medidas dos campos solicitados são exibidas antes da inserção dos dados pelo usuário.

Figura 16 - Interface de dimensionamento do motor

Dimensionar o motor

Peso* 1390	0-100km/h* 20
Área Frontal* m ²	Velocidade* 60
Coef. Arrasto* 0,336	Inclinação* 5

Calcular

Fonte: autoria própria (2022).

O próximo passo foi a construção da interface de dimensionamento do pack de baterias, conforme Figura 17. Portanto, as variáveis solicitadas nessa etapa são o peso do veículo, a autonomia desejada, a tensão máxima e a potência máxima do motor e os dados das células escolhidas pelo indivíduo, como corrente da célula, tensão máxima, corrente de descarga e peso. Nesse sentido, em relação ao peso destaca -se que o software inicialmente calcula o peso do pack de baterias para em seguida incrementar com o peso do veículo e realizar a série de cálculos.

É importante ressaltar que as baterias são responsáveis por fornecer energia aos componentes do carro, como o motor. Desse modo, é necessário ter o motor elétrico já dimensionado para se calcular o pack de baterias, pois é o componente com a maior demanda de cargas, uma vez que está interligado ao sistema de tração que gera movimento.

Figura 17 - Interface de dimensionamento da bateria

Dimensionar a Bateria

Peso* kg	Autonomia* 60
Tensão máx. motor* 240	Potência máx. motor* 60
Corrente Bateria* 3	Tensão máx. bateria* 4,2
Corrente Descarga* 15	Peso célula* 0.0459

Fonte: autoria própria (2022).

Como a plataforma é de uso exclusivo do projeto trabalhado, foi criado um sistema de login para que somente os usuários previamente cadastrados pelo administrador tenham acesso à plataforma de dimensionamento. Outro ponto importante é que o sistema possui integração com banco de dados e faz os registros das variáveis inseridas nos campos solicitados e seus resultados. Na Figura 18, é apresentada a interface de login criada para a plataforma.

Figura 18 - Login

Login

Nome de usuário

Digite seu nome de usuário

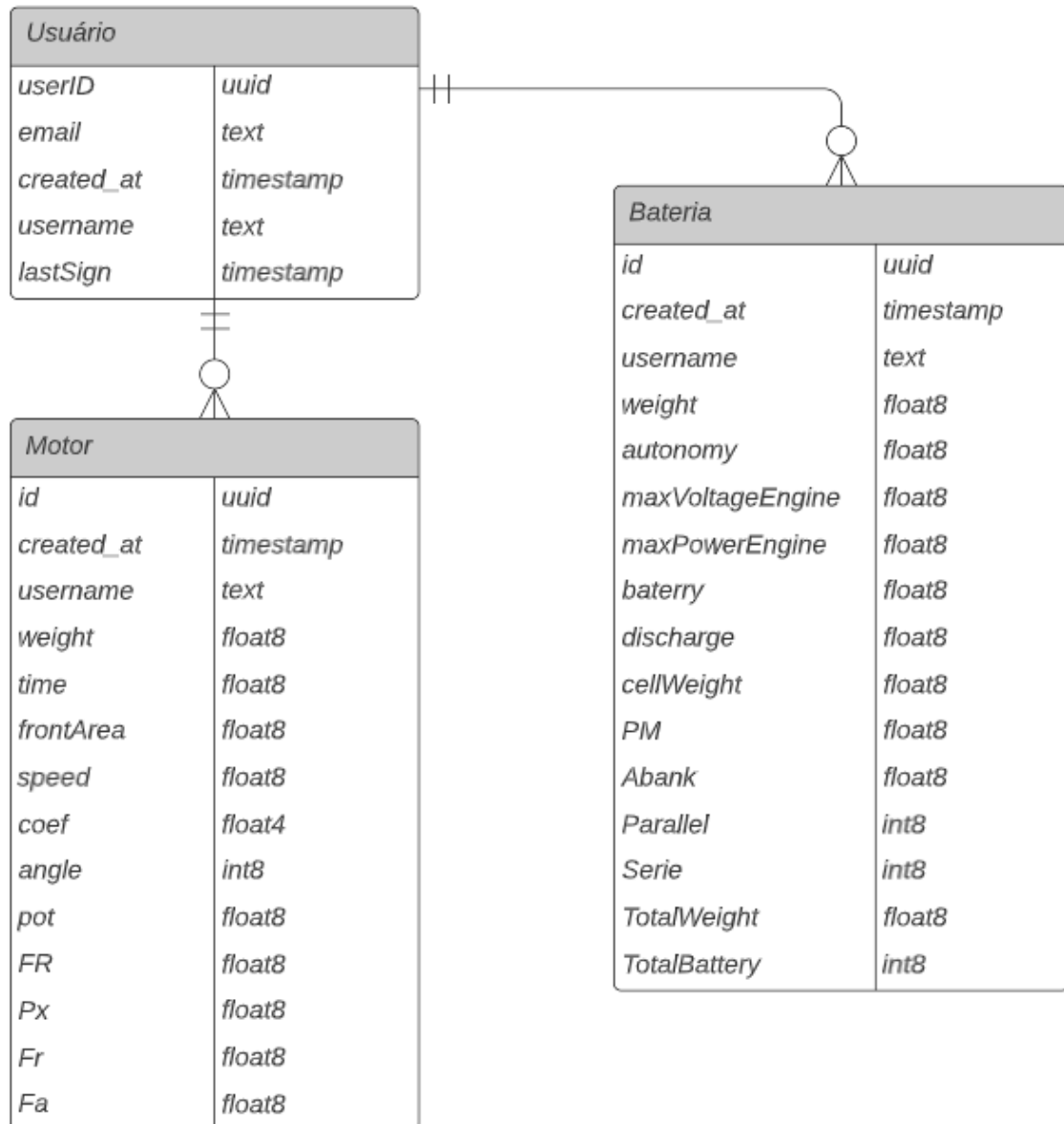
Senha

Digite sua senha

Fonte: autoria própria (2022).

Para representar de forma abstrata a estrutura do motor e do pack de baterias que o banco de dados possui foi construído o Modelo Entidade Relacionamento, conforme figura 19. Esse modelo conceitual exemplifica as entidades envolvidas no domínio de negócio, com suas características e relacionamentos.

Figura 19 - Modelo Entidade Relacionamento



Fonte: autoria própria (2022).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos do sistema de dimensionamento, atendendo às especificações técnicas e dados do projeto, conforme capítulos 2 e 3. Primeiramente, é descrito um estudo de caso para conversão de um veículo Volkswagen Gol 2008 e, posteriormente, são apresentados os resultados da conversão de uma Fiat Fiorino pelo grupo de pesquisa em mobilidade elétrica do IFSC.

4.1 Caso de uso de conversão de um automóvel Gol

As especificações para dimensionamento do automóvel Gol foram definidas conforme apresentado no Quadro 8, onde estão exemplificados a massa do veículo, a autonomia desejada, capacidade de carga e a velocidade máxima para o percurso, sendo esses parâmetros definidos pelo projeto. Além disso, também existem os parâmetros técnicos como área frontal, coeficiente aerodinâmico, rendimentos do motor e do sistema de potência, aceleração da gravidade e densidade do ar.

Quadro 8 - Especificações Técnicas do automóvel Gol

Dados	Valor	Unidade
Velocidade	60	Km/h
Inclinação de subida	5°	Adimensional
Massa (Tara)	1090	Kg
Coeficiente Aerodinâmico	0,336	Adimensional
Área frontal	1,886	m ²
Densidade do ar	1,25	Kg/m ³
Carga	300	Kg
Autonomia	60	Km

Fonte: autoria própria (2022).

4.1.1 Determinação do motor

No sistema web foram inseridos os parâmetros de projeto, bem como, os dados técnicos. Desse modo, as equações apresentadas no Capítulo 2 são utilizadas no *software* para se obter o resultado do motor elétrico do veículo Gol igual a 56,74kW, o que equivale a aproximadamente 77,14cv. Com base nos resultados, um motor de 60kW atende aos requisitos do projeto, conforme mostra a Figura 20.

Figura 20 - Dimensionamento do motor elétrico

Dimensionar o motor

Peso* 1390	0-100km/h* 20
Área Frontal* 1,886	Velocidade* 60
Coef. Arrasto* 0,336	Inclinação* 5

Resultado

Potência requerida pelo motor:


56.74kW

Fonte: autoria própria (2022).

4.1.2 Determinação do pack de baterias

Em relação à bateria, consideram-se os dados técnicos apresentados no Quadro 9, do modelo Samsung INR18650-30Q, que possui química NMC:

Quadro 9 - Parâmetros da célula Samsung INR18650-30Q

Dados	Valor	Unidade
Tensão Nominal	3,6	V
Tensão Máxima	4,2	V
Corrente	3	Ah
Peso	0,048	Kg

Fonte: autoria própria (2022).

Para determinar o pack de bateria, deve-se inserir os parâmetros da célula que o usuário desejar simular, as definições de projeto do motor elétrico, assim como, do automóvel. Dessa forma, o sistema web retorna como resultado um pack de baterias que contém 986 unidades, conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 - Dimensionamento da bateria

Dimensionar a Bateria

Peso* 1390	Autonomia* 60
Tensão máx. motor* 240	Potência máx. motor* 60
Corrente Bateria* 3	Tensão máx. bateria* 4,2
Corrente Descarga* 15	Peso célula* 0,048

Resultado 

Células em paralelo: **17 unidades**
 Células em série: **58 unidades**
 Total de células: **986 unidades**
 Peso do pack: **56.79 kg**
 Capacidade da bateria : **41.35 Ah**

Fonte: autoria própria (2022).

Portanto, para conversão de um veículo Gol 2008 à combustão, em elétrico é necessária a aquisição de um motor elétrico com potência de 60kw e um pack de

baterias com 986 unidades do modelo INR18650-30Q para suprir as demandas energéticas.

4.2 Caso de uso de conversão de um automóvel Fiorino

Para definir o motor elétrico que satisfaça as condições dos parâmetros técnicos, é preciso determinar a potência requerida. As definições de projeto especificadas pelo grupo de pesquisa em mobilidade elétrica do IFSC são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Especificações Técnicas da Fiorino

Dados	Valor	Unidade
Velocidade	100	Km/h
Inclinação de subida	5°	Adimensional
Massa (Tara)	955	Kg
Coeficiente Aerodinâmico	0,34	Adimensional
Área frontal	2,65	m ²
Carga	300	Kg
Autonomia	300	Km

Fonte: autoria própria (2022).

4.2.1 Determinação do motor

Ao inserir os referidos valores no *software*, obteve-se como resultado a potência requerida pelo motor de 116,82kW. Dessa forma, o grupo optou pela compra de um motor elétrico com 120kW de potência de pico e 63kW de potência nominal, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Motor Fiorino



PMSM MOTOR			
Type	TZ204XSB12	Rated voltage	336 VDC
Rated power	63 kW	Peak power	120 kW
Rated speed	4000 rpm	Peak speed	12000 rpm
Rated torque	150 N.m	Peak torque	250 N.m
Insulation class	H	Duty	S9
Cooling method	Liquid cooling	IP degree	IP67
No.	201803070019	Weight	45 kg

Fonte: autoria própria (2022).

4.2.2 Determinação do pack de baterias da Fiorino

Com base nos valores definidos no projeto e na escolha do motor, foi possível determinar o conjunto de baterias necessárias para atender aos requisitos especificados. Para definição das células de bateria, realizou-se um estudo buscando comparar as principais características, bem como a disponibilidade no mercado e custo. Posteriormente, definiu-se, por meio do *software*, que a célula com os melhores parâmetros para a Fiorino era o modelo L221N113A, conforme mostra o Quadro 11. No total o grupo utilizou 96 células em série.

Quadro 11 - Parâmetros da célula L221N113A

Dados	Valor	Unidade
Tensão Nominal	3,76	V
Tensão Máxima	4,35	V
Corrente	113,5	Ah
Peso	1,8	Kg

Fonte: autoria própria (2022).

Após a seleção e dimensionamento do pack de baterias, foi realizada a compra do material, bem como alterações na Fiorino em relação à carcaça de proteção, contatos e fixações, sendo, em seguida, feita a instalação do pack de baterias, conforme Figura 23.

Figura 23 - Instalação do Pack de baterias



Fonte: Grupo ND (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a fatores relacionados à poluição e à preocupação ambiental com o uso de combustíveis fósseis, a ideia dos veículos elétricos está em ascensão. Assim, o estudo de técnicas e desenvolvimento de ferramentas, em especial *softwares*, para dimensionamento de componentes para VEs é promissor.

Portanto, os resultados desta pesquisa possuem aplicação na academia e na indústria, dado que a plataforma abrange todo o processo de cálculos numéricos para conversão de automóveis à combustão em elétricos. Além disso, é detalhada toda a criação de um *software* e tecnologias utilizadas.

Os resultados foram validados na prática, por meio da conversão de um veículo Fiat Fiorino. Nesse contexto, o grupo de pesquisa em mobilidade do IFSC tem acesso a um sistema funcional e prático com autenticação e registro de dados para consulta, que automatiza todo o processo de cálculos de dimensionamento. Desse modo, propõe-se a trabalhos futuros a adição de dimensionamento de outros equipamentos, como o inversor de frequência.

Por fim, ressalta-se que um dos maiores desafios deste trabalho foi o levantamento das fórmulas em termos matemáticos e físicos, viáveis no contexto da proposta do projeto. Importante mencionar, também, que a seleção de referências bibliográficas com dados e resultados que eram viáveis ao tema proposto exigiram significativos tempo e pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMBLER, Scott W., **Modelagem ágil: práticas eficazes para a programação extrema e o processo unificado**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 351 p.
- AMRAL AUTOMOTIVE (Pasadena, Estados Unidos). **Engine Repair and Replacement**. Disponível em: <https://www.amralautorepair.com/engine-repair-replacement.htm>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ANJOS, Luiz F. R. **Evolução do Javascript em Aplicações Multiplataforma: Como projetos podem se beneficiar dos frameworks e bibliotecas disponíveis**. 2017. 86 f. Dissertação (Tecnólogo em Gestão da Tecnologia da Informação) - Instituto Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- BEZERRA, Eduardo. **Princípios de Análise e Projetos de Sistemas com UML**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CARDI, MARILZA DE LOURDES. **Evolução da computação no Brasil e sua relação com fatos internacionais**. 2002. 273 f. Dissertação (Pós-Graduação em ciência da computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2002
- CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; FERREIRA, Tiago Toledo. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, n. 32, set. 2010, p. 267-310, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2010.
- CECHINEL, Alexandre. **Avaliação do framework Angular e das bibliotecas React e Knockout para o desenvolvimento do Frontend de aplicações Web**. 2017. 77 f. Dissertação (Bacharel em Sistemas da Informação) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- COELHO, Tatiana Testoni. Calculadora em sala de aula: vilã ou coadjuvante? Disponível em <https://www.pedagogia.com.br/artigos/calculadora/>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- CONGRESSO DE MOBILIDADE URBANA (SP). **Quanto custa converter seu carro a combustão em elétrico?** Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br>. Acesso em: 05 fev. 2022.
- CORREA, Fernanda Cristina et al. **Desenvolvimento e análise de estratégias de gerenciamento de potência em veículo elétrico híbrido de configuração paralela**. Campinas, SP, 2013.
- CUNHA, Ana Paula da Silva. **Protótipo de uma Single Page Application para Autoatendimento Bibliotecário usando Reactjs**. 2017. 76 f. Dissertação (Bacharel em Ciência da Computação) – Instituto Federal de Minas Gerais, Formiga, 2017.
- EHSANI, Mehrdad; GAO, Yimin; EMADI, Ali. **Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design**. CRC press, 2009.

ESTEFANI, Jonathan S. M. **Desenvolvimento de um Protótipo de um Sistema Web para Gestão de Trabalhos Acadêmicos**. 2019. 144 f. Dissertação (Bacharel em Tecnologia da Informação e Comunicação – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019).

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of vehicle dynamics**. 1992.

GRUPO ND (Florianópolis, SC). **O futuro começou: projeto em Santa Catarina transforma carro a combustão em 100% elétricos**. 26 maio 2022. Disponível em: <https://ndmais.com.br/tecnologia/de-olho-no-futuro-projeto-do-ifsc-transforma-carros-a-combustao-em-100-eletricos-em-sc/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 566 p

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3;

KUMAR, R. R.; ALOK, K. **Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability**. Journal of Cleaner Production, Elsevier, v. 253, p. 119, 2020.

LANCEMORE (Kamata,Tokyo ,Japan). **LS-DYNA tire step-up analysis**. 2005. Disponível em: https://www.lancemore.jp/ls-dyna/example_025.html. Acesso em: 18 mar. 2022.

LINS, Gabriel de Souza. **Utilizando Reactjs para o desenvolvimento de um sistema de alocação e reserva de salas no campus da UFC em Quixadá**. 2019. 36 f. Dissertação (Bacharel em Sistemas de informação) – Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2019.

MERCEDES-BENZ (Stuttgart, Alemanha). **In conversation: Olympic champion Jan Frodeno and Head of Aerodynamics Dr Teddy Woll. Aerodynamics: the most efficient route to efficiency**. 2019. Disponível em: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/ko/In-conversation-Olympic-champion-Jan-Frodeno-and-Head-of-Aerodynamics-Dr-Teddy-Woll-Aerodynamics-the-most-efficient-route-to-efficiency.xhtml>. Acesso em: 12 jun. 2022.

MOZILLA FOUNDATION (São Francisco, Califórnia, EUA). **HTML: Linguagem de Marcação de Hipertexto**. 2021. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML>. Acesso em: 13 mar. 2022.

NEOCHARGE. **Número de carros elétricos no Brasil**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>. Acesso em: 21 fev. 2022.

OLIVEIRA, Sergio. **Dimensionamento do banco de baterias**. 2021. 66 slides.

PASSOLD, F., POSSA, Paulo Ricardo. **Recarregador inteligente de Baterias**. In: INDUSCON 2006 (Conferência Internacional de Aplicações Industriais), 2006, Recife, PE. Proceedings. Recife: UFPE, 2006.

PORCHERA, Gustavo S. O. et al. **Vantagens e barreiras à utilização de veículos elétricos**. In. XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, p. 5-8, 2016. Associação Educacional Dom Bosco, 2016, Resende - RJ.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software**. 6.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 720 p.

PRODANOV, Cleber C.; FREITAS, Ernani C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAJ, Aswinth. **All you want to know about Electric Vehicle Batteries**. 27 nov. 2018. Fotografia. Disponível em: <https://circuitdigest.com/article/all-you-want-to-know-about-electric-vehicle-batteries>. Acesso em: 17 fev. 2022.

REACT. **Uma biblioteca do Javascript para criar interfaces do usuário**. 2022. Disponível em: <https://pt-br.reactjs.org/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

RODRIGUES, Julio C. B. **Dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos – tração dianteira in-wheel**. 2017. 104 f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2017.

SALDO, Roberto. **Potência e Torque em motores elétricos**. 2021. 92 slides.

SANTOS, Natália Maria Leal. **Automação de biblioteca universitária: análise comparativa do software livre Gnuteca com o software proprietário Pergamum**. Formiga, 2008. Disponível em: <https://bibliotecadigital.uniformg.edu.br>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SASS. **Documentation**. 2022. Disponível em: <https://sass-lang.com/documentation>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SILVA, Marcus P. V; MARCO, Felipe. **Desenvolvimento aerodinâmico de um carro de fórmula SAE elétrico**, 2018, 67 f. Dissertação (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2018.

SUPABASE. **Build in a weekend. Scale to millions**. 2022. Disponível em: <https://supabase.com/>. Acesso em: 21 maio 2022.

STACK OVERFLOW. **2021 Developer Survey**. 2021. Disponível em: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2021>. Acesso em: 27 maio 2022.

TREMBLAY, Olivier. **Experimental validation of a battery dynamic model for ev applications**. *World Electric Vehicle Journal*, v. 3, 05 2009.

TRUDES, Gustavo P; MONTEIRO, Paulo P. T, **Dimensionamento e projeto de banco de baterias para um protótipo fórmula SAE elétrico**. 2019. 70 f. Dissertação (Bacharelado em engenharia eletrônica e engenharia elétrica) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Paraná, 2018.

VILLATE, Jaime E. **Eletricidade, Magnetismo e Circuitos**. 2014. 243 p.

YAMACHITA, Roberto A. **Determinação de perdas e rendimento em motores elétricos empregando termografia infravermelha**. 2013. 158 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal De Itajubá, Minas Gerais, 2013.

YİRKİ, Emrah et al. **Design Considerations of High Voltage Battery Packs for Electric Buses**. In. International Conference On Advances In Automotive Technologies, p.2, 2016. Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, 2016.