INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO AMORIM ROSA

EMULADOR DE CONEXÃO ENTRE O VEÍCULO ELÉTRICO E A ESTAÇÃO DE RECARGA, PARA TESTES DE COMUNICAÇÃO E PROTEÇÃO

FLORIANÓPOLIS, 2021.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO AMORIM ROSA

EMULADOR DE CONEXÃO ENTRE O VEÍCULO ELÉTRICO E A ESTAÇÃO DE RECARGA, PARA TESTES DE COMUNICAÇÃO E PROTEÇÃO

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 Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Adriano de Andrade Bresolin, Doutor
Coorientador:
Prof. Carlos Ernani da Veiga, Mestre

FLORIANÓPOLIS, 2021.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rosa, Eduardo
EMULADOR DE CONEXÃO ENTRE O VEÍCULO ELÉTRICO E A ESTAÇÃO DE RECARGA, PARA TESTES DE COMUNICAÇÃO E PROTEÇÃO / Eduardo Rosa; orientação de Adriano De Andrade Bresolin; coorientação de Ernani Da Veiga. - Florianópolis, SC, 2021.
43 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Eletrificação dos veículos. 2. Carregamento de veículo elétrico. 3. Tipos de conectores. 4. Mobilidade elétrica. 5. Estações de recarga. I. De Andrade Bresolin, Adriano. II. Da Veiga, Ernani. III. Instituto Federal de Santa Catarina. IV. EMULADOR DE CONEXÃO ENTRE O VEÍCULO ELÉTRICO E A ESTAÇÃO DE RECARGA, PARA TESTES

EDURDO AMORIM ROSA

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

Florianópolis, 21 de setembro, 2021.

Banca Examinadora:

Assinado de forma digital por ADRIANO DE ANDRADE BRESOLIN:66195136972
Dados: 2021.10.06 09:28:10 -03'00'

Adriano de Andrade Bresolin, Doutor

Assinado de forma digital por CARLOS ERNANI DA VEIGA:73893714987
Dados: 2021.10.07 05:02:24 -03'00'

Carlos Ernani da Veiga, Mestre

Assinado de forma digital por EDISON ANTONIO CARDOSO ARANHA NETO:00583546978
Dados: 2021.10.07 13:19:17 -03'00'

Edison Antônio Cardoso Aranha Neto, Doutor

Assinado de forma digital por RICARDO LUIZ ALVES:02268675955
Dados: 2021.10.11 15:25:19 -03'00'

Ricardo Luiz Alves, Doutor

RESUMO

Os veículos movidos a combustão são grandes emissores de gases poluentes que ocasionam o efeito estufa. Por esse motivo, a busca por novas tecnologias para redução de gases poluentes está em alta, pois a preocupação com o meio ambiente é uma realidade mundial. A eletrificação dos veículos é uma ótima medida para que o índice de emissão de gases causadores do efeito estufa diminuam. Para isso, novas tecnologias são desenvolvidas a todo momento. Desta forma, este trabalho propõe apresentar as diferentes formas de carregamento de um veículo elétrico e os diferentes tipos de conectores, bem como desenvolver um emulador de veículo elétrico para que os desenvolvedores de novas estações de recarga possam usar em bancada para realizar teste em protótipos e produto final. O emulador de veículo elétrico é uma ótima opção não só para os desenvolvedores de estações de recargas, mas também para os instaladores de eletropostos que, após as instalações consigam realizar testes de funcionalidades na estação de recarga. O trabalho é fundamentado através de pesquisas em normas, revistas, sites de notícia, livros e artigos, visando sempre os assuntos mais atuais e relevantes à tecnologia de recarga de veículos elétricos, tendo como referência de estudo as estações de recarga. Com este trabalho, espera-se como resultado o melhor entendimento sobre o processo de carregamento de veículos elétricos e ter um emulador de veículo elétrico funcional.

Palavras-chave: Eletrificação dos veículos. Carregamento de veículo elétrico. Tipos de conectores. Mobilidade elétrica. Estações de recarga.

ABSTRACT

Combustion-powered vehicles are major emitters of polluting gases that cause the greenhouse effect. For this reason, the search for new technologies to reduce polluting gases is on the rise, as the concern for the environment is a global reality. Vehicle electrification is an excellent way for reducing the emission rate of greenhouse gases. And for that, new technologies are being developed all the time. Thus, this work proposes present the different ways of charging an electric vehicle and the different types of connectors, as well as developing an electric vehicle emulator, so developers of new charging stations can use it on a bench to perform testing on prototypes and final product. The electric vehicle emulator is a great option not only for charging station developers, but also for electro-station installers who, after installation, are able to perform functional tests on the charging station. The work is based on research in standards, magazines, news sites, books and articles, always aiming at the most current and relevant issues for electric vehicle charging technology, having the charging stations as the main study reference. With this work, it is expected as a result a better understanding of the electric vehicle charging process and have a functional electric vehicle emulator.

Keywords: Vehicle electrification. Electric vehicle charging. Types of connectors. Electric mobility. Recharging stations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Veículo Híbrido.....15
Figura 2 - Veículo Híbrido Plug-in 16
Figura 3 - Veículo totalmente elétrico.....17
Figura 4 - Estação Residencial.....18
Figura 5 - Estação Semirrápida.....19
Figura 6 - Estação Rápida.....19
Figura 7 - Estação Ultrarrápida 20
Figura 8 - Conector Tipo 1 21
Figura 9 - Conector Tipo 2 21
Figura 10 - Conector CCS Tipo 2.....22
Figura 11 - Conector Tesla Charging 22
Figura 12 - Conector CHAdeMO 23
Figura 13 - Circuito de comunicação EVSE e EV.....25
Figura 14- Layout placa do emulador.....27
Figura 15- Botão Liga/ Desliga.....28
Figura 16- Chave Seletora 28
Figura 17- Botoeira Pulsante.....28
Figura 18 - Soquete Tipo 2.....29
Figura 19- Placa circuito do Emulador 30
Figura 20 - Emulador montado.....31
Figura 21 - Estação WALL G2 WEG 32
Figura 22 - Conexão conector ao emulador 32
Figura 23 - Estado A 33
Figura 24 - Chave de transição do estado A para o B.....34
Figura 25 - Estado B 34
Figura 26 - Alavanca de transição dos estados.....35
Figura 27 - Estado C 35
Figura 28 - Estado D 36
Figura 29 - Botoeira teste curto CP e PE 37
Figura 30 - Estado E 37
Figura 31 - Botoeira teste falta de PE 38
Figura 32 - Estado A 38
Figura 33 - Botoeira teste corrente residual 39

Figura 34 - Estado F.....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estados de recarga 25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BMS – *Battery Management System*

CP – *Control Pilot*

DAE – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

EVSE – Estação de recarga de veículo elétrico

IEC - *International Electrotechnical Commission*

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

NA – Normalmente Aberto

NBR – Norma Brasileira

NF – Normalmente Fechado

PE – Condutor de Proteção

PWM – Modulação por Largura de Pulso (Pulse Width Modulation)

VE – Veículo elétrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
1.1 Justificativa 10
1.2 Definição do Problema 11
1.3 Objetivos 11
1.3.1 Objetivo Geral 11
1.3.2 Objetivos Específicos 11
1.4 Estrutura do trabalho 12

2 REVISÃO DA LITERATURA 13
2.1 Eletromobilidade 13
2.2 Veículo elétrico 14
2.3 Estação de recarga 17
2.4 Tipos de Conectores 20
2.4.1 SAE J1772 Tipo 1 20
2.4.2 IEC 62196 Tipo 2 21
2.4.3 CCS Tipo 2 22
2.4.4 Tesla Charging 22
2.4.5 CHAdeMO 23
2.5 A NBR IEC 61851 23
2.5.1 NBR IEC 61851 - 1 Requisitos gerais 23
2.5.2 NBR IEC 61851-1 - *Control Pilot* 24

3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA 26
3.1 Definições das funções do emulador a ser desenvolvido. 26
3.2 Layout placa do emulador. 26

4 DESENVOLVIMENTO 30
4.1 Montagem do emulador. 30
4.2 Teste do emulador 31
4.2.1 Transição de Estados 31
4.2.2 Teste de curto-circuito entre o *control pilot* e o condutor de proteção 36
4.2.3 Teste de falta do condutor de proteção 37
4.2.4 Teste de detecção de corrente residual 39

5 CONCLUSÃO 41

REFERÊNCIAS 42

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade elétrica vem crescendo fortemente nos últimos anos, no Brasil ainda não está tão desenvolvida como nos países da América do Norte, Europa e países Asiáticos, mas vem ocorrendo evoluções. A eletrificação dos veículos é uma grande aliada da sustentabilidade, ajudando reduzir de forma massiva os gases poluentes. O Brasil, sendo uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, tem um potencial enorme para esse mercado.

Pouco conhecidas, as Estações de Recarga de Veículo Elétrico (EVSE) têm um papel fundamental para eletrificação dos veículos, e são responsáveis por recarregar as baterias dos veículos elétricos (VEs) em rodovias, meio urbanos e estacionamentos. As EVSEs são peças chave para o processo de eletrificação dos veículos e proporcionam segurança aos usuários durante a recarga. Para que seja possível o desenvolvimento de novas estações de recarga e instalações de eletropostos foi feito um estudo e desenvolvida a construção de um emulador de veículo elétrico, para validar a comunicação entre EVSE e VE.

1.1 Justificativa

Umas das questões ambientais mais importantes da atualidade é o aumento da emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa, que gera diversos problemas ambientais, como: aumento da temperatura mundial, aumento do nível do mar, ondas de calor mais fortes, aumento da ocorrência de ciclones, além da extinção de espécies de plantas e animais (G1, 2019). As novas tecnologias são desenvolvidas para solucionar problemas, logo a preocupação com meio ambiente é um fator de grande importância para formulação de novos estudos para desenvolver métodos de diminuição de emissão de gases poluentes.

A mobilidade elétrica já é realidade em países mais desenvolvidos, principalmente pela busca de novas tecnologias sustentáveis, visando a eficiência e a preservação dos recursos naturais. A substituição dos veículos movidos a combustão por veículos elétricos deve ocorrer de forma gradual, mas impactará diretamente à

diminuição de emissão de gases poluentes, isto se a energia for proveniente de fontes renováveis.

1.2 Definição do Problema

O desenvolvimento de novas tecnologias em recarga de veículos elétricos como novas estações de recarga, é muito importante para consolidação da mobilidade elétrica. Para que um produto esteja de fato pronto para ser comercializado precisa passar por diversos testes, e no caso de uma estação de recarga a bancada de testes é o próprio VE, porém em laboratórios de desenvolvimento fica inviável cada desenvolvedor ter em sua mesa um VE para testar a estação em desenvolvimento.

Também um dos grandes desafios das instalações de eletropostos em diversos locais se dá pela falta de um veículo elétrico para poder testa-los, as empresas instaladoras nem sempre dispõem em sua frota um veículo elétrico, e o motivo mais relevante é que ainda há pouca opção de eletropostos espalhados pelas rodovias, tornando as viagens de longas distâncias a lugares distintos incertas na questão de autonomia de um VE.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe desenvolver um protótipo de um emulador de veículo elétrico, para atender a demanda de instaladores e desenvolvedores de novas tecnologias.

1.3.2 Objetivos Específicos

Ao longo dessa pesquisa serão abordados os seguintes objetivos específicos:

a) apresentar um panorama sobre mobilidade elétrica, um breve histórico de como começou e como está se desenvolvendo nos dias de hoje;

b) mostrar as formas de carregamento em corrente alternada e corrente contínua, diferenciando seus conectores;

c) apresentar e analisar os testes funcionais requeridos pela IEC 61851 para construção de uma estação de recarga;

d) montar o esquemático do circuito de comunicação do carregamento condutivo Tipo 2 implementando os testes funcionais no layout;

e) montar a PCB com o circuito de comunicação do carregamento condutivo Tipo 2, com as conexões necessárias para os testes funcionais;

f) fazer testes com o protótipo juntamente com uma estação de recarga.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está composto por cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho e a motivação da pesquisa, bem como seus objetivos. O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica que está dividida em cinco partes, eletromobilidade, veículo elétrico, estação de recarga, tipos de conectores e a norma NBR/IEC. O terceiro capítulo descreve a metodologia de pesquisa. No capítulo 4 é apresentado o desenvolvimento do TCC, com a montagem do circuito do emulador, montagem do emulador e testes junto à estação de recarga. O quinto capítulo é apresentado a conclusão do trabalho.

2 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

Este capítulo tem como objetivo expor ao leitor os principais tópicos no que tange os veículos elétricos. Sendo assim foi particionado em 5 partes: eletromobilidade, veículo elétrico, panorama geral de uma estação de recarga, tipos de conectores, NBR IEC 61851.

2.1 Eletromobilidade

O aquecimento global, um dos assuntos mais comentados nos últimos anos, tem como uma das causas a emissão de gases poluentes provenientes de automóveis a combustão. Somente na cidade de São Paulo, onde foi realizado um estudo da companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) os carros representam 72,6% da emissão de gases do efeito estufa (ESTADÃO, 2020). É notório que o avanço da eletromobilidade é um passo muito importante para a redução dos gases poluentes, vistos que, os VEs puros são livres de emissões, tanto sonora quanto gasosa.

No Brasil, existem hoje cerca de 20 mil veículos elétricos, segundo a associação brasileira do veículo elétrico (ABVE, 2021). Se comparado com o quantitativo de veículos movidos a combustão seria um número irrelevante, porém, ao se analisar com os números dos anos anteriores é notável o aumento expressivo de veículos elétricos emplacados no Brasil, somente do ano de 2019 para 2020 o crescimento foi de 66,5%.

O projeto de Lei 3174/20, em tramitação na câmara dos deputados Federais, quer zerar o imposto sobre produtos industrializados (IPI) para os veículos elétricos, medida que se aprovada alavancará o número de VEs circulando pelo Brasil. O texto também prevê a mudança da frota do governo federal por veículos movidos a eletricidade (AUTOPAPO, 2020).

O planejamento da Europa é eletrificar seus automóveis até 2035, isso significa que, no ano de 2035 os automóveis a serem comercializados têm que ser elétricos, visando principalmente a redução da emissão de gases poluentes provenientes dos veículos a combustão, como o CO^2 (RIBEIRO, 2020). Seguindo essa vertente as montadoras começam a lançar metas para eletrificação de seus

automóveis, tendo em vista que o mundo deve seguir esse padrão, alguns países com a ascensão mais rápidas e outros com passos mais curtos. Com um investimento forte nesse setor, a Ford se lançou como pioneira em traçar uma meta ousada, parar de produzir veículo a combustão na Europa a partir de 2030 (Campbell, 2021).

A eletromobilidade nos EUA está muito mais avançada em comparação com o Brasil, com a frota de VEs superior a um milhão e seiscentos mil (KANE, 2020). Recentemente o presidente dos EUA anunciou que quer substituir toda a frota do governo por VEs, a frota possui cerca de 645.000 veículos (MOLOUGHNEY, 2021). Seguindo ainda nessa linha, os EUA pretendem instalar até o ano de 2030 500.000 estações de recargas visando a venda de 25 milhões de VE, reafirmando a preocupação com o meio ambiente do novo governo Norte Americano (GRANGEIRA; SANTOS; CASTRO, 2021).

2.2 Veículo elétrico

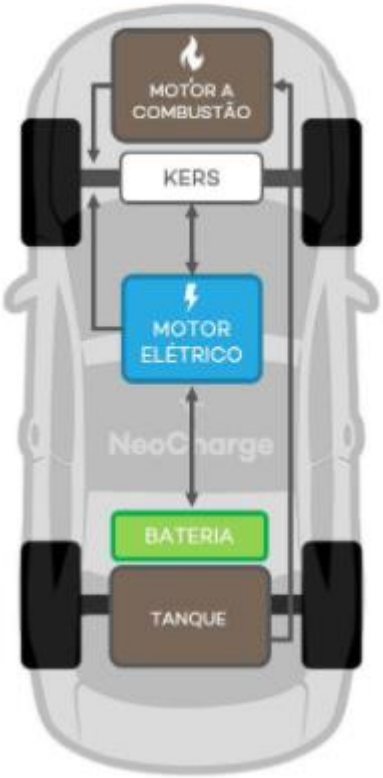
Uma realidade mundial é a inserção de VEs, sendo que que cada país tem um cenário diferente, China, Japão, EUA e os países da Europa estão mais à frente com as frotas dos VEs. O Brasil, mesmo que ainda tenha um número pequeno de VEs rodando pelas suas estradas, vem mostrando que está a cada ano aumentando de forma expressiva em relação aos anos anteriores.

O VE que vimos hoje é composto por tecnologias de última geração, mas nem sempre foi assim. Por volta dos anos de 1828, Anyos István Jedlik, que era um físico, criou o primeiro modelo de carro movido a eletricidade. Mas só em 1880 quando o Americano William Morrison com a ajuda de Thomas Edison, criou modelos que competiam com os veículos movidos a combustão, é que houve uma aplicação para o VE. Em 1990 nos Estados Unidos os VE chegaram a um terço de todos os carros no país, apesar de todas suas vantagens foi perdendo espaço até cair no esquecimento por causa da sua pouca autonomia (SALES, 2021).

Ao contrário dos veículos elétricos de antigamente, os de hoje são dotados de tecnologias de ponta. Os princípios ainda se mantêm, veículo movido por um motor elétrico alimentado por um banco de baterias. Há basicamente três tipos de veículos movidos a eletricidade: veículos híbridos, híbridos *plug-in* e totalmente elétricos.

O veículo híbrido possui dois motores, um elétrico e outro a combustão, um banco de baterias e um tanque de combustível. Nesse veículo o motor elétrico funciona para movimentar o carro em velocidades pequenas, para manter o carro ligado quando estiver parado e em alguns modelos atua junto ao motor de combustão para acelerações mais bruscas. Os freios regenerativos são grandes aliados à economia de energia e preservação do meio ambiente, então quando os freios são acionados em vez de desperdiçar energia, com essa tecnologia é possível resgatar uma parte da energia gasta e retorná-la ao banco de baterias (NEOCHARGE, 2021). O diagrama básico de um veículo híbrido é apresentado na Figura 1.

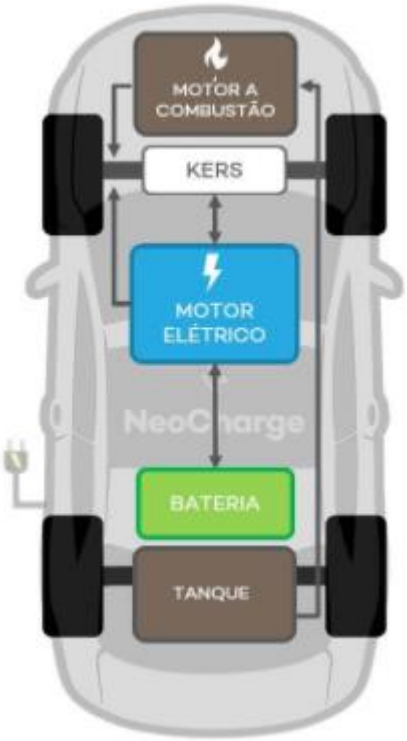
Figura 1- Veículo Híbrido



Fonte: Adaptado de Neocharge (2021).

Diferentemente do veículo híbrido sem conexão direta com a eletricidade para carregá-lo, o veículo híbrido *plug-in* possui entrada para o conector de recarga. Com um banco de baterias de maior capacidade o veículo híbrido *plug-in* proporciona maior autonomia e pode rodar apenas com o motor elétrico, sendo assim muito mais sustentável e econômico. Como pode ser visto na Figura 2, o veículo híbrido *plug-in* apresenta em geral um banco de baterias maior e a entrada para a conexão do conector de carregamento.

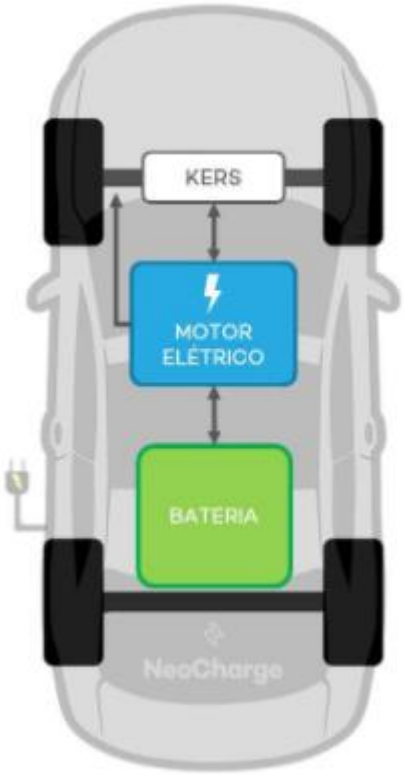
Figura 2 - Veículo Híbrido Plug-in



Fonte: Adaptado de Neocharge (2021).

A tendência do mercado é que no futuro sejam fabricados apenas os veículos totalmente elétricos. Esses, comparados aos híbridos apresentam uma autonomia muito maior, alguns modelos podendo chegar a 450 km (Figura 3). Outra vantagem aos demais é sua manutenção, já que, por ser um veículo com menos peças tende a estragar menos, e ter menos reposições de peças danificadas. Um ponto muito importante e talvez a maior razão por essa tecnologia estar tão em alta é a capacidade de zerar a emissão de gases poluentes, e também com zero emissão de ruídos. Isso torna o VE um grande aliado ao meio ambiente, principalmente em países como o Brasil, que possuí grande maioria de sua matriz energética de fontes sustentáveis.

Figura 3 - Veículo totalmente elétrico



Fonte: Adaptado de Neocharge (2021).

Para que o usuário possa monitorar a autonomia do VE e acompanhar os parâmetros do banco de baterias, é acoplado a cada célula um BMS *(Battery Management System*), as principais funções são: monitoramento constante das condições vitais para o funcionamento da bateria, como tensão, corrente e temperatura; balanceamento de carga entre as células da bateria (GOULART, 2016).

2.3 Estação de recarga

Um dos maiores pilares da eletromobilidade é a infraestrutura de recarga. Sem um bom planejamento, o VE ficará à mercê da recarga residencial, que por si só, não seria suficiente para que o usuário pudesse fazer viagens de longas distâncias. Então, para que seja possível a inserção de VEs, é preciso ter estruturas de recargas espalhadas por rodovias, estacionamentos públicos e privados, além dos pontos de recarga residências. Para cada local é indicado um tipo de recarga. Hoje, basicamente há quatro tipos de recargas mais comuns, carga lenta, semirrápida, rápida e ultrarrápida.

A recarga residencial geralmente é feita com carregadores de até 7,4 kVA o que representa uma carga completa em 4 a 8 horas, podendo variar de acordo com o banco de baterias do VE. Esses carregadores podem ser instalados em residências, tanto carregadores monofásicos quanto trifásicos, isso vai depender da infraestrutura da rede e do investimento que o usuário estará disposto a fazer. A recarga residencial também é comumente utilizada nos estacionamentos de empresas, onde o usuário pode deixar o VE carregando enquanto está no horário de serviço (ELECTRICMOBILITY, 2021). A seguir, na Figura 4, é apresentado um exemplo de estação residencial WEMOB WALL da WEG, com potência máxima de 7,4 KW (WEG, 2020).

Figura 4 - Estação Residencial

Fonte: Adaptado de WEG (2020).

Quando se fala em carregadores semirrápidos, esses em sua maioria são destinados aos estacionamentos de supermercados, shoppings, hotéis. Com potência em torno de 22 kVA proporcionam a recarga completa em aproximadamente uma hora e meia, considerando um VE com bateria de 30 kW (ELECTRICMOBILITY, 2021). A Figura 5 mostra um exemplo de uma estação semirrápida WEMOB PARKING da WEG, com potência máxima de 22 kW (WEG, 2020).

Figura 5 - Estação Semirrápida

Fonte: Adaptado de WEG (2020).

Já para os usuários que desejam viajar longas distâncias, a recarga rápida é a mais usada, geralmente instaladas em rodovias juntos aos postos de combustíveis proporciona maior agilidade e menor tempo de recarga. Em corrente alternada pode chegar a uma potência de 43 kVA e em corrente contínua cerca de 50 kW, sendo que o tempo de recarga fica em torno de trinta minutos a uma hora dependendo muito da limitação de corrente do próprio VE (ELECTRICMOBILITY, 2021). A Figura 6 apresenta a estação rápida da WEG, a STATION, que tem como potência máxima DC 150 kW e potência máxima AC 22 kW (WEG, 2020).

Figura 6 - Estação Rápida

Fonte: Adaptado de WEG (2020).

Ainda entrando no mercado, a recarga ultrarrápida promete revolucionar o carregamento dos VE principalmente aqueles com maior capacidade de bateria, como

os ônibus e caminhões. A carga pode chegar a 350 kW em corrente contínua (ELECTRICMOBILITY, 2021). A Figura 7 mostra um exemplo de uma estação ultrarrápida da Efacec, com potência máxima em corrente contínua de 350 kW, tensão máxima de 920 V DC e corrente máxima de 500 A DC (EFACEC, 2021).

Figura 7 - Estação Ultrarrápida

Fonte: Adaptado de Efacec (2021).

Ainda neste trabalho serão detalhados os diferentes tipos de carregadores AC e DC disponíveis no mercado, suas variações de conectores e suas comunicações.

2.4 Tipos de Conectores

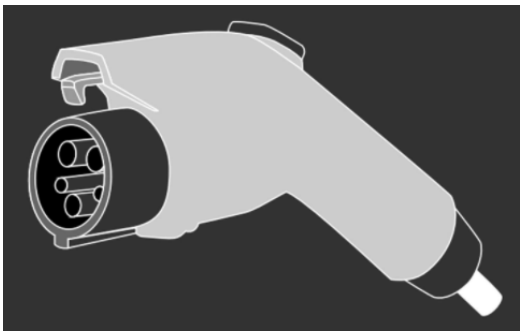
Atualmente são cinco conectores mais utilizados para carregamento de veículos elétricos: SAE J1772 Tipo 1, IEC 62196 Tipo 2, CCS Tipo 2, Tesla *Charging* e CHAdeMO, que se diferem pela comunicação, padrão de entrada, limite de potência e tipo de corrente alternada ou contínua. No Brasil tem sido uma tendência os VEs virem com o padrão CCS 2, que contempla duas formas de carregamento em corrente alternada e corrente contínua.

2.4.1 SAE J1772 Tipo 1

O conector Tipo 1 também conhecido como padrão Americano, é monofásico e tem capacidade máxima de corrente de 80 A. A comunicação do VE

com o EVSE é através do pino de *control pilot* onde passa um *pulse width modulation* (PWM) (de 1 kHz e a tensão podendo variar de -12 V a +12 V (TAVARES, 2019).

Figura 8 - Conector Tipo 1

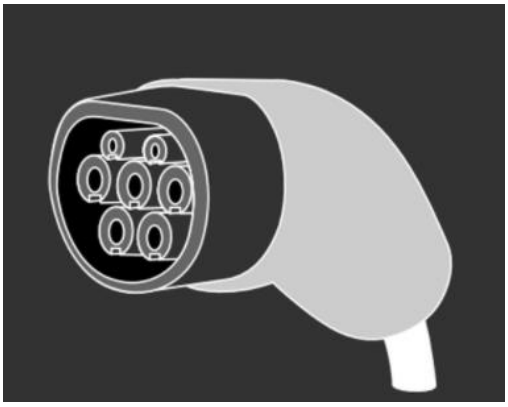


Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

2.4.2 IEC 62196 Tipo 2

Conector Tipo 2, padrão Europeu utiliza a mesma comunicação do SAE J1772 Tipo 1, tendo como diferença a potência que pode entregar, devido ao seu formato que suporta uma conexão trifásica, chegando a potência máxima de 43 kW e corrente máxima de 63 A (TAVARES, 2019).

Figura 9 - Conector Tipo 2

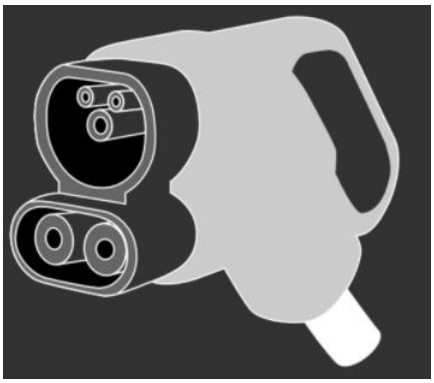


Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

2.4.3 CCS Tipo 2

Conector de corrente contínua, uma evolução do conector Tipo 2 que opera somente em corrente alternada, pode entregar até 200 A e 850 V proporcionando uma recarga mais rápida injetando corrente direto no banco de baterias do VE (TAVARES, 2019).

Figura 10 - Conector CCS Tipo 2

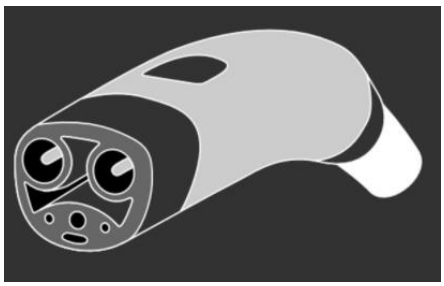


Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

2.4.4 Tesla Charging

Este conector é de uso exclusivo dos VEs da Tesla e suporta tanto carregamento em corrente contínua quanto em corrente alternada podendo chegar até 250 kW de potência (TAVARES, 2019).

Figura 11 - Conector Tesla Charging

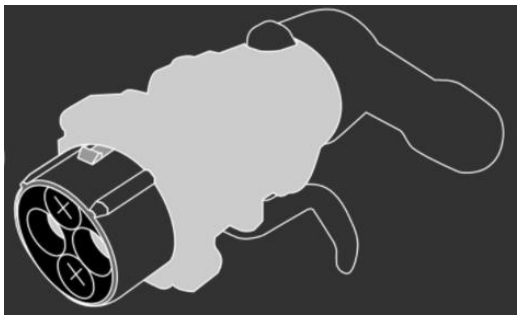


Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

2.4.5 CHAdeMO

Padrão Japonês, é um dos pioneiros em recarga de corrente contínua, podendo chegar a 500 V e 200 A com a potência máxima de 60 kW. Proporciona uma recarga rápida, dependendo do VE pode chegar a 80% da bateria em 40 minutos (TAVARES, 2019).

Figura 12 - Conector CHAdeMO



Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

2.5 A NBR IEC 61851

A norma NBR IEC 61851 teve sua primeira edição no ano de 2013, tendo como objetivo trazer requisitos para os sistemas de carregamento condutivo de veículos elétricos, onde o VE é conectado à rede de energia elétrica para realizar a recarga.

2.5.1 NBR IEC 61851 - 1 Requisitos gerais

A primeira edição da IEC 61851-1 traz os requisitos gerais para um sistema de carregamento e definições de padrões a serem seguidos. O item 6.3 da norma separa em três tipos de conexões do VE com à rede elétrica. O tipo de conexão A é quando um VE é conectado diretamente à uma tomada padrão, por meio de um cabo fixado ao veículo. Já no tipo B, o VE é conectado à uma estação de recarga ou à uma tomada padrão por meio de um cabo móvel, sem fixação de ambos os lados. A conexão tipo C é caracterizada por ter o cabo de carregamento fixo à estação de recarga (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, P. 18).

A norma define alguns requisitos de segurança que serão abordados na funcionalidade do protótipo sugerido pelo projeto, como os destacados no item 6.4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, P. 20):

- A estação de recarga tem que assegurar que o VE está corretamente conectado a ela;
- Verificação permanente do condutor de aterramento do cabo de conexão VE e EVSE;
- A energização com o fechamento do contator deve ser somente realizada depois que a comunicação entre VE e EVSE via *control pilot* estiver estabelecida;
- A estação pode fornecer um contato de fechamento de circuito para a ligação de uma ventilação externa forçada, caso o VE necessite;

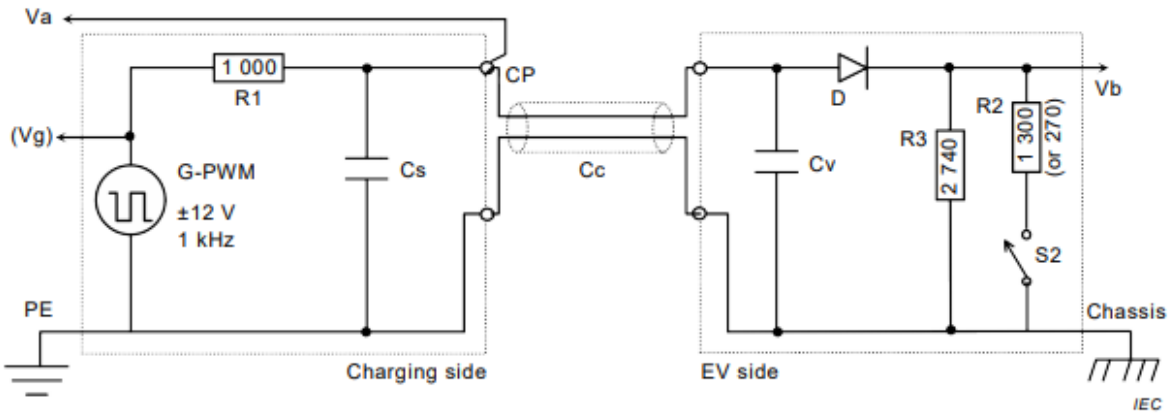
Outros requisitos de segurança que já são conhecidos pela NBR 5410 também são aplicados a construções e instalações de EVSE. A NBR IEC 61851-1 traz um capítulo exclusivo a prevenções a choques elétricos, definindo que não sejam expostas partes vivas da instalação, separação adequada dos condutores, isolação em perfeitas condições, aterramento, seccionamento do fornecimento de energia caso haja uma fuga à terra, logo a inserção de um DDR é de uso obrigatório com sensibilidade mínima de 30 mA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, P. 27).

2.5.2 NBR IEC 61851-1 - *Control Pilot*

No carregamento em modo condutivo em corrente alternada, especialmente nos carregadores com os conectores Tipo1 e Tipo2, a comunicação do EV e EVSE é feita através do *control pilot,* que dispõe de diversas funções como mostrado no Anexo A da NBR IEC 61851. Funções tais como: garantir a conexão correta entre EVSE e VE, transições de estados de recarga, limitação de corrente, início e término de recarga.

A norma traz o circuito que garante essas funcionalidades, como mostra a Figura 13, no lado da estação de recarga há um gerador de onda quadrada de 1 kHz e tensão de -12 V a +12 V, do lado do veículo um conjunto de resistores mais um diodo para realizar as transições de estado, transições essas que são abordadas na Tabela 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, P. 37).

Figura 13 - Circuito de comunicação EVSE e EV



Fonte: Adaptado de ABNT (2021).

Tabela 1 - Estados de recarga

Estado		Tensão em VA	Resistência Ω
A	VE não conectado	12 V	-
B	VE detectado e conectado	9 V	2740 Ω
C	VE carregando	6 V	2740 Ω // 1300 Ω
D	VE carregando requerendo ventilação externa	3 V	2740 Ω // 270 Ω
E	Estado de erro, curto CP com PE	0 V	-
F	Estação em falha	-12 V	-

Fonte: Adaptado de ABNT (2021).

3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um emulador de VE para testes de estações de recarga, usando pesquisa aplicada, visto que o circuito a ser desenvolvido está exposto em normativa. Também propõe fazer uma série de levantamentos através de pesquisas para gerar conhecimento em estações de recarga de veículos elétricos.

Serão usadas como fonte de pesquisa normas internacionais e nacionais, catálogos de fabricantes, sites relevantes de notícias na área de mobilidade elétrica, artigos e publicações em revistas. Sendo selecionados os assuntos mais relevantes para área técnica e para o usuário comum.

3.1 Definições das funções do emulador a ser desenvolvido

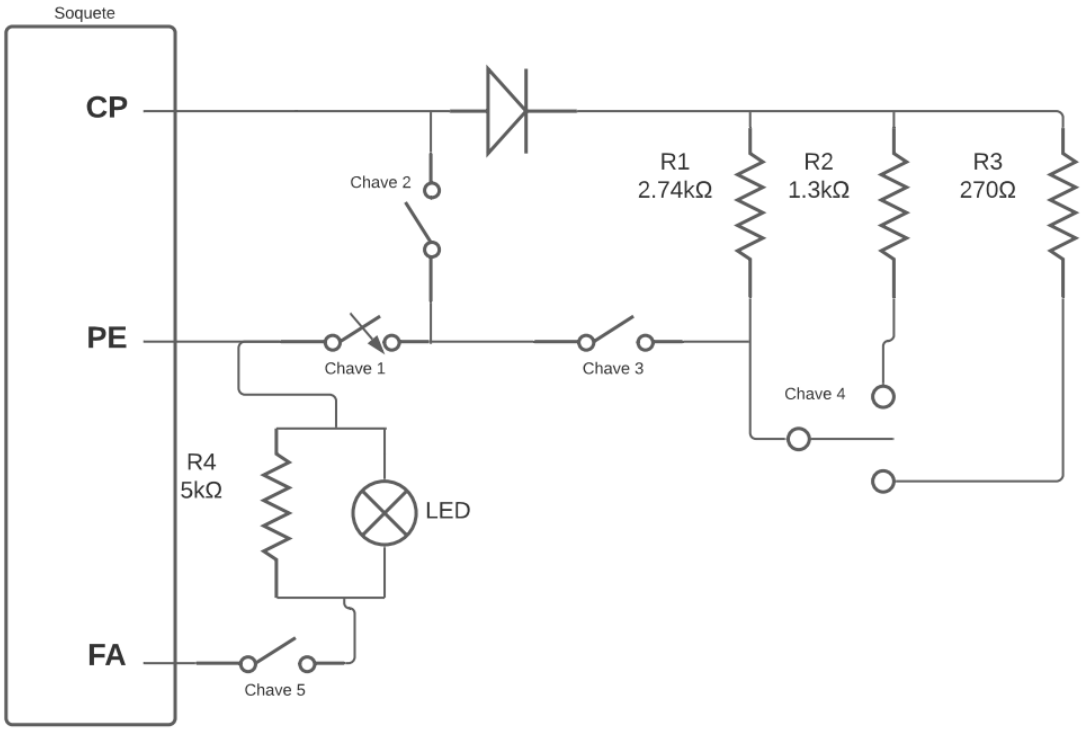
O propósito do emulador é validar as exigências descritas na norma NBRIEC 61851-1 e citadas na secção 2.5.1, logo o emulador irá validar os seguintes testes:

a) Testes de transições de estados: A para B, B para C e B para D;
b) Teste de curto-circuito entre o *control pilot* e o condutor de proteção;
c) Teste de falta do condutor de proteção;
d) Teste de detecção de corrente residual.

3.2 Layout placa do emulador

Tendo como referência o circuito de comunicação do lado do VE como visto na Figura 13, foi desenhado um *layout* para o emulador apresentado na Figura 14, esse circuito contempla os testes descritos na secção 3.1.

Figura 14- Diagrama esquemático do emulador



Fonte: Elaboração própria (2021).

No qual:

- CP: *Control Pilot;*
- PE: Condutor de Proteção;
- Led: Sinalização do teste de corrente residual;
- Chave 1: Botoeira pulsante NF, promove a desconexão do condutor de proteção para teste;
- Chave 2: Botoeira pulsante NA, promove o teste de curto-circuito entre o CP e PE;

- Chave 3: A Figura 15 mostra a botoeira liga/desliga, que comuta do estado A para o estado B;

Figura 15- Botão Liga/ Desliga

Fonte: Adaptado de filipeflop (2021).

- Chave 4: Chave seletora três posições mostrada na Figura 16, comuta do estado B para o estado C e do estado B para o estado D;

Figura 16- Chave Seletora

Fonte: Adaptado de loja da elétrica (2021).

- Chave 5: Botoeira pulsante NA mostrada na Figura 17, realiza o teste de corrente residual;

Figura 17- Botoeira Pulsante

Fonte: Adaptado de filipeflop (2021).

- Soquete: Padrão de entrada do carregador no VE, soquete Tipo 2 mostrado na Figura 18.

Figura 18 - Soquete Tipo 2

Fonte: Adaptado de aliexpress (2021).

O circuito desenhado visto na Figura 14 se difere do circuito da norma NBR IEC 61851 mostrado na Figura 13 pelas chaves, possuindo um resistor de 5 kΩ a mais e um LED. Resistor esse que foi calculado para obter entre fase e terra uma corrente superior a 30 mA, corrente máxima de fuga à terra que pode ser submetida a estação de recarga conforme visto na seção 2.5.1. Conforme mostrado na Equação 1 a corrente de fuga à terra ficou superior a 30 mA.

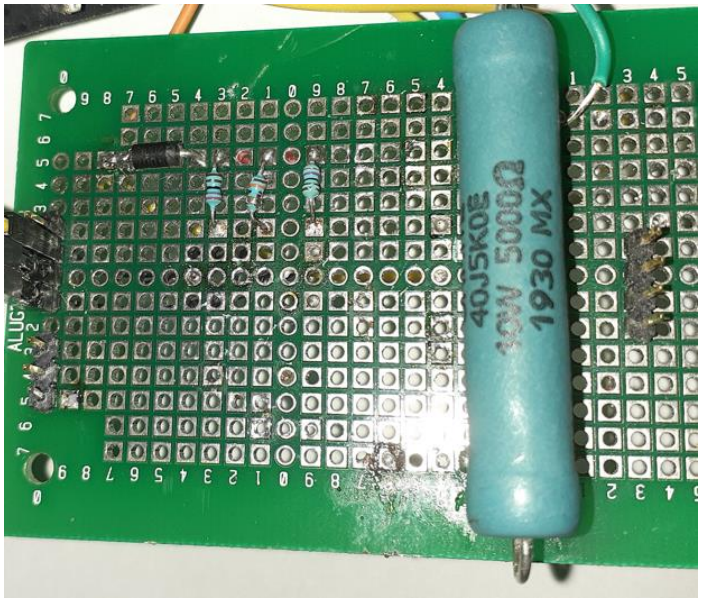
$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{V}}{R} = \frac{220}{5000} = 44\ mA \qquad (1)$$

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Montagem do emulador

Primeiro momento foi montado a placa do emulador, soldando e conectando os componentes eletrônicos conforme o circuito mostrado no item 3.2, a placa montada pode ser vista na Figura 19.

Figura 19- Placa circuito do Emulador



Fonte: Elaboração própria (2021).

Posteriormente foi soldado junto à placa as botoeiras, chave seletora e soquete. Já com o circuito todo montado a caixa plástica que acondicionará os componentes foi preparada, feito as devidas furações o emulador foi completamente montado conforme a Figura 20.

Figura 20 - Emulador montado

Fonte: Elaboração própria (2021).

4.2 Teste do emulador

4.2.1 Transição de Estados

Tem como objetivo verificar as transições de estados de recarga, conforme especificado na NBR IEC 61851-1 Anexo A. No teste foi usado um osciloscópio para analisar o sinal de PWM, colocando a ponteira no *control pilot* e referenciado à terra. A estação utilizada para testar o emulador foi da fabricante WEG, modelo WEMOB WALL G2 conforme Figura 21.

Figura 21 - Estação WALL G2 WEG

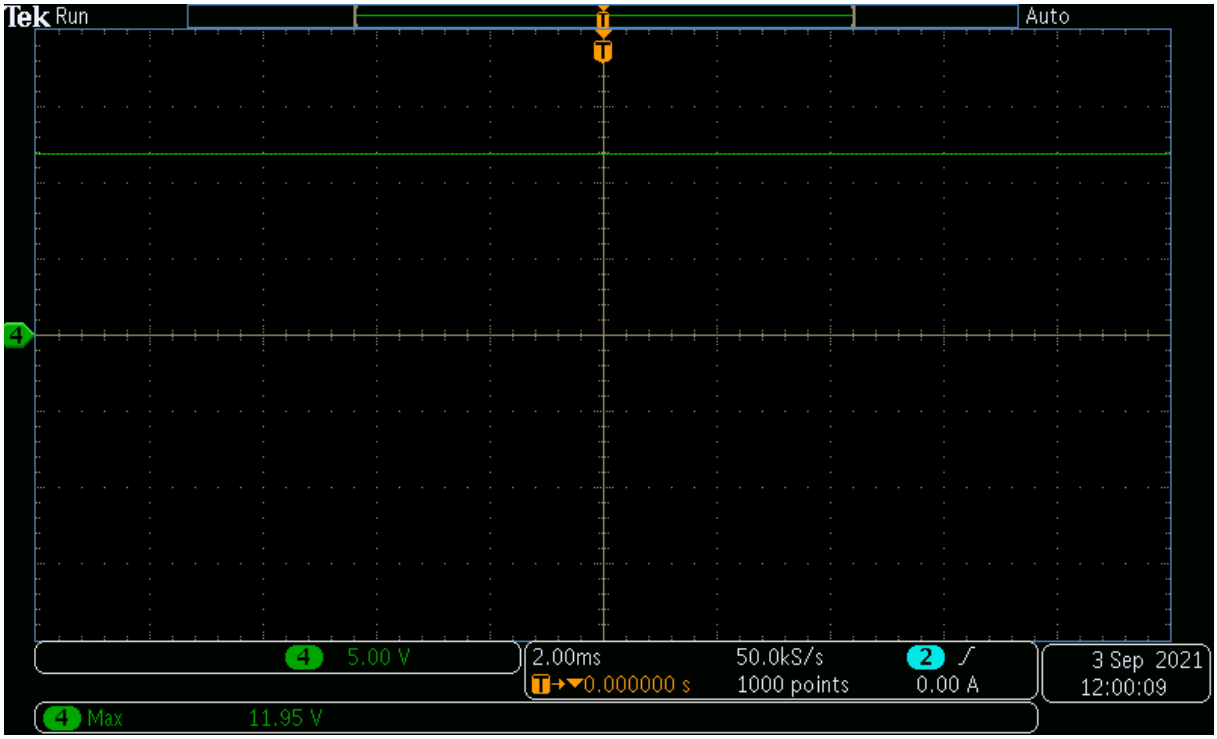
Fonte: Adaptado de WEG (2021).

Primeiramente, foi conectado o conector Tipo 2 da estação no soquete do emulador como visto na Figura 22. Nesse momento, ainda não houve transição de estado, mantendo-se no estado A, pois todo o circuito do emulador está desconectado, como se o conector não estivesse plugado no soquete. Conforme a Tabela 1, o resultado esperado para o estado A é que a tensão do sinal esteja em +12 V, como validado pela Figura 23.

Figura 22 - Conexão conector ao emulador

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 23 - Estado A



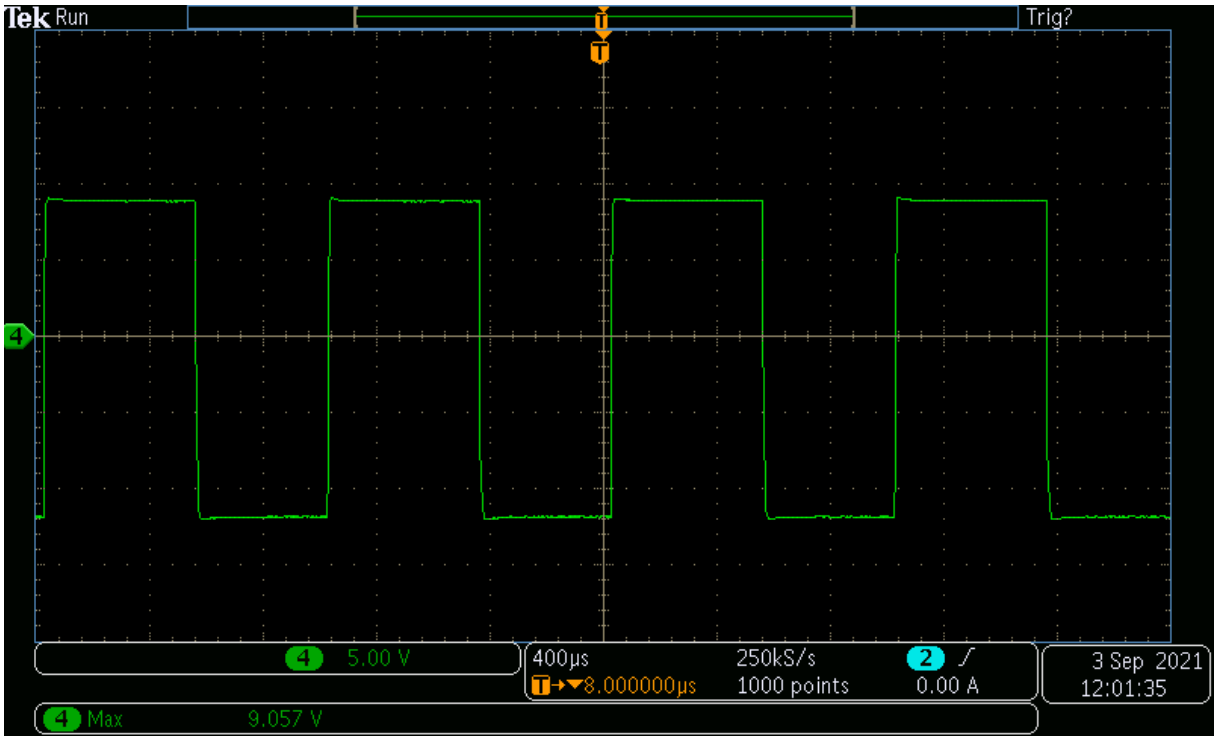
Fonte: Elaboração própria (2021).

Para realizar a transição do estado A para o estado B, estado em que o VE está conectado à estação, mas ainda sem autorização para iniciar a recarga, tem que comutar a chave liga/ desliga mostrada na Figura 24 para posição *on,* sendo que após a comutação a estação identifica a conexão do emulador. Como especificado na Tabela 1, o estado B tem como tensão de pico positiva esperada de 9 V, e como mostra a Figura 25 o resultado está dentro do esperado, o emulador fez a transição do estado A para o estado B.

Figura 24 - Chave de transição do estado A para o B

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 25 - Estado B



Fonte: Elaboração própria (2021).

No estado B o VE está conectado à estação de recarga, mas sem recarga, ou seja, o contator que fica situado dentro da estação ainda está aberto. Na transição do estado B para o estado C o sinal de PWM esperado passa de 9 V para 6 V conforme a Tabela 1. O estado C é onde o VE encontra-se conectado ao EVSE e com recarga em andamento, é nessa transição que a estação de recarga envia um sinal à bobina do contator e fecha seus contatos para iniciar a recarga. Para alterar o estado de

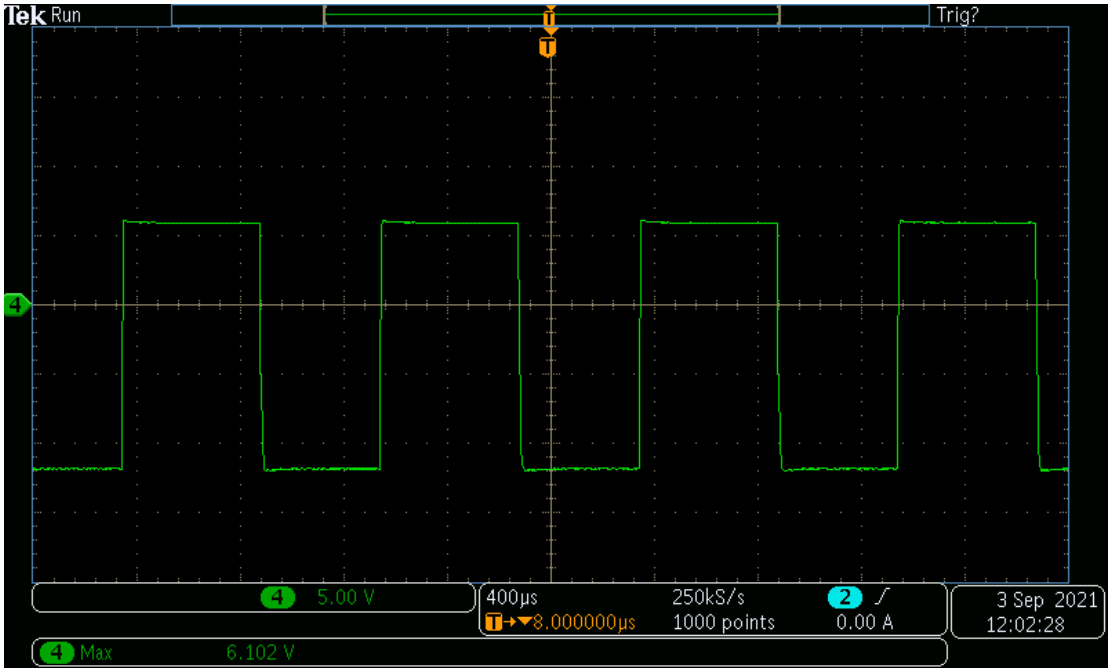
recarga para o C basta mover a alavanca de transição de estados para cima conforme a Figura 26.

Figura 26 - Alavanca de transição dos estados

Fonte: Elaboração própria (2021).

Após a alteração de estado o sinal de tensão PWM visto no osciloscópio alterou para 6.1 V como mostrado na Figura 27, tensão essa que está dentro do esperado. Logo o emulador se comportou de forma adequada.

Figura 27 - Estado C

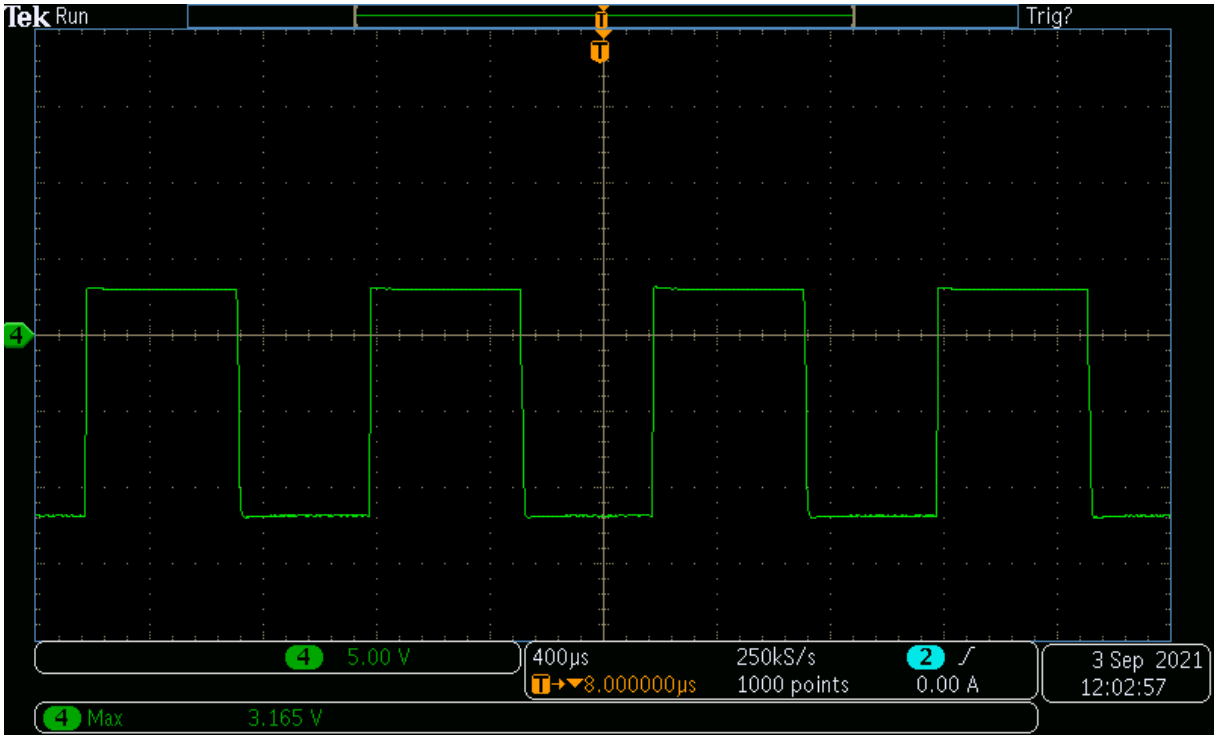


Fonte: Elaboração própria (2021).

Além do estado C a norma NBR IEC 61851 também traz outro estado em que há recarga, o estado D, essa transição se dá, pois, o VE está pedindo que a estação autorize uma ventilação externa forçada acionada por um relé interno.

Conforme visto na Tabela 1 o estado D tem como sinal de tensão esperado de 3 V, para realizar essa transição de estado a alavanca tem de ser posicionada para baixo, na posição estado D como mostrado na Figura 26. Sendo que após a comutação da alavanca o sinal de PWM foi para 3.165 V de tensão de pico como visto na Figura 28, a transição ocorreu de forma correta estando a tensão dentro do esperado.

Figura 28 - Estado D



Fonte: Elaboração própria (2021).

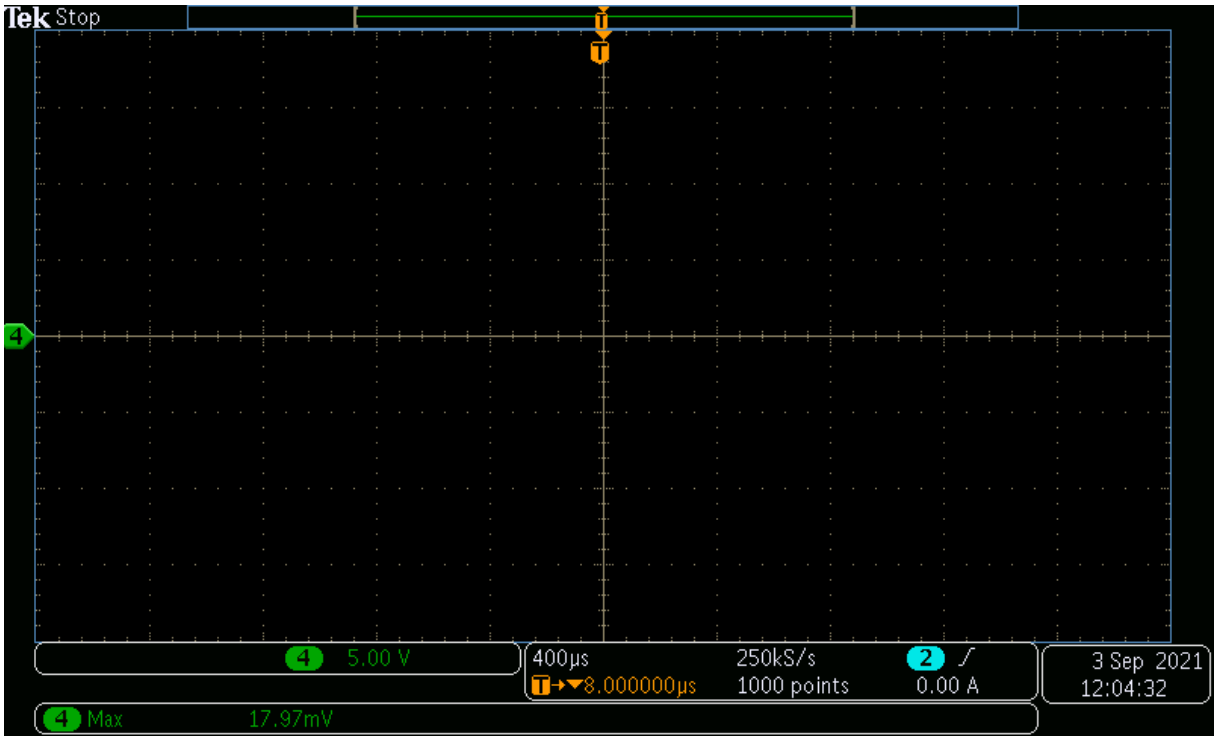
4.2.2 Teste de curto-circuito entre o *control pilot* e o condutor de proteção

O intuito desde teste é validar se a estação de recarga está agindo de forma correta ao ser submetida a uma situação de erro, sendo que o resultado esperado é que o sinal de tensão caia a 0 V, levando a estação para o estado E, estado de erro conforme a Tabela 1. Para realizar esse teste, foi acionada a botoeira pulsante Figura 29 conectado em NA, conforme o circuito mostrado na Figura 14, ao acionar a botoeira o sinal de tensão tendeu a 0 V como pode ser visto na Figura 30, logo o emulador levou a estação a operar corretamente, fazendo a tensão tender a 0 V, entrando em erro de recarga.

Figura 29 - Botoeira teste curto CP e PE

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 30 - Estado E



Fonte: Elaboração própria (2021).

4.2.3 Teste de falta do condutor de proteção

Como abordado na seção 2.5.1 a estação de recarga deve garantir a continuidade do condutor de proteção entre ela e o VE, para garantir a segurança da instalação e do usuário. A fim de proporcionar o teste dessa funcionalidade foi posto

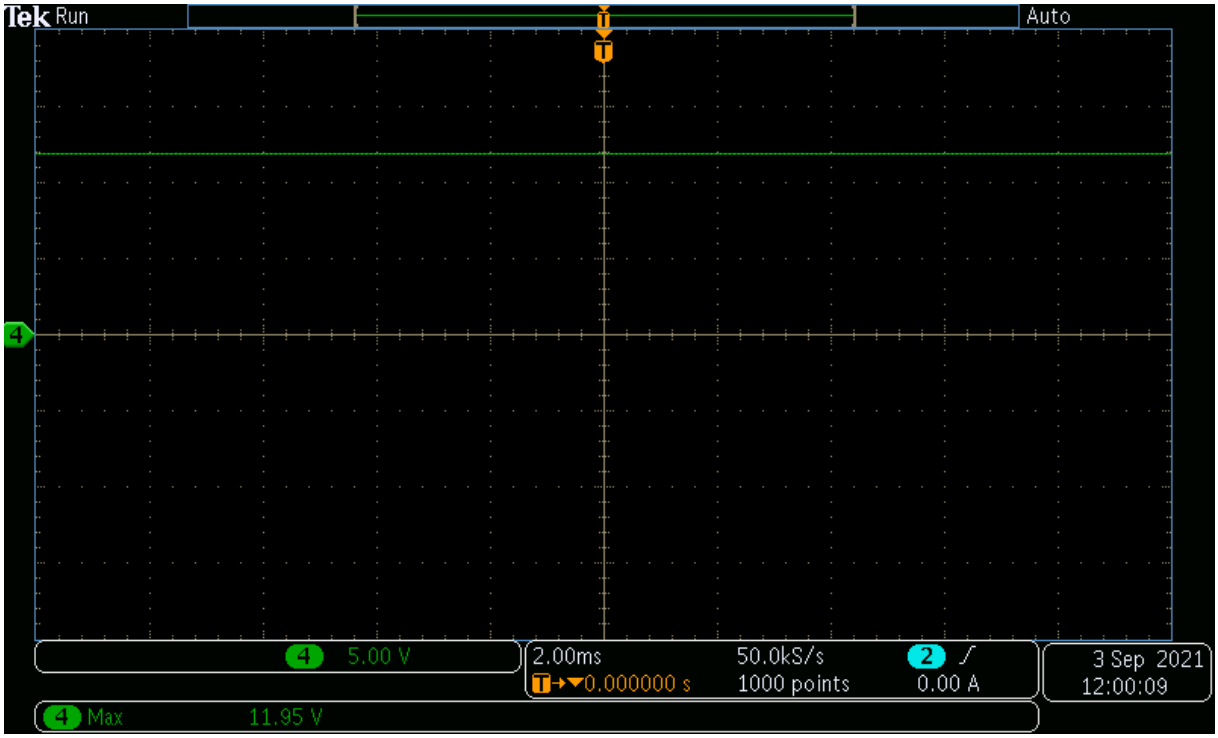
no circuito da placa do emulador uma botoeira pulsante NF (Figura 31), denominada chave 1 na Figura 14.

Figura 31 - Botoeira teste falta de PE

Fonte: Elaboração própria (2021).

Ao acionar a botoeira que desconecta o condutor de proteção, a estação entende que houve uma retirada de conector por perder a referência e volta ao estado A, como mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Estado A



Fonte: Elaboração própria (2021).

Ao voltar para o estado A a estação realiza a abertura do contator fazendo que a recarga seja interrompida, logo esse comportamento fica de acordo com a norma pois a conexão do condutor de proteção é requisito obrigatório para realização da recarga.

4.2.4 Teste de detecção de corrente residual

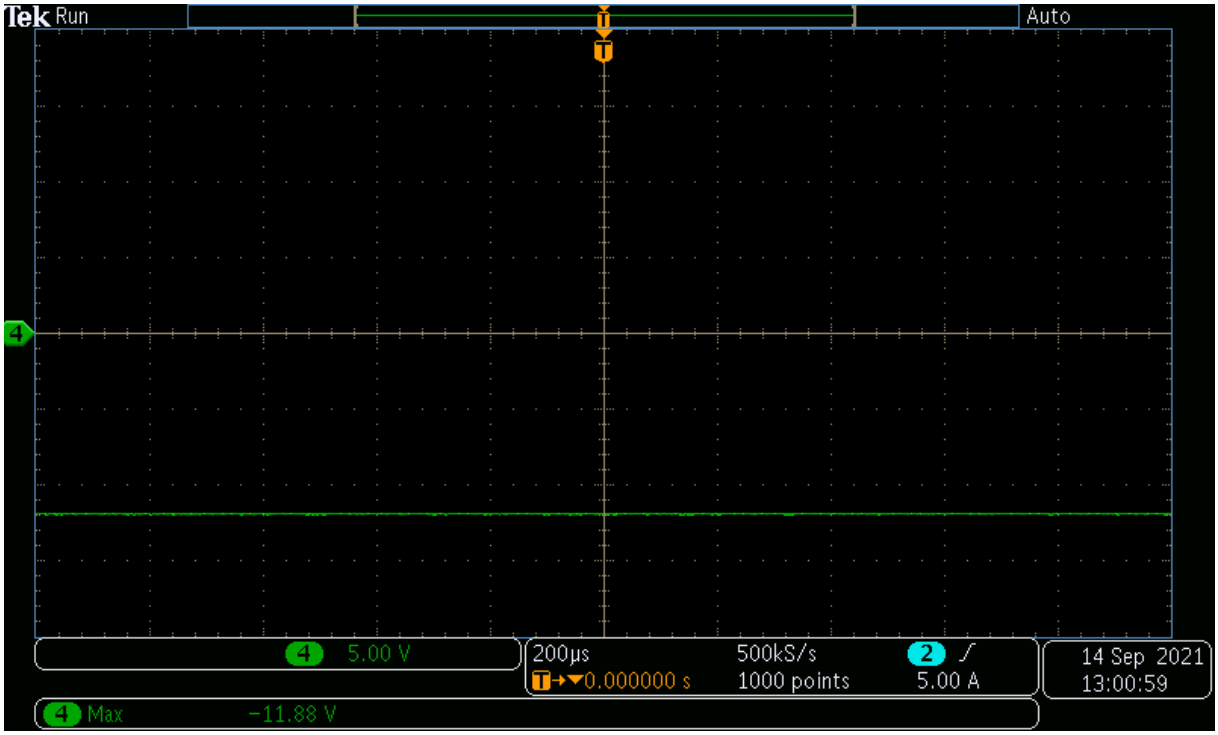
A estação de recarga dispõe por norma como mostrado na seção 2.5.1 um equipamento que faz o monitoramento de corrente residual com sensibilidade mínima de 30 mA. Para que essa exigência pudesse ser testada foi inserida uma resistência de 5 KΩ conforme o circuito da Figura 14, entre a fase 1 e o condutor de proteção, com acionamento por uma botoeira pulsante NA. Ao acionar essa botoeira irá circular uma corrente entre a fase 1 e o PE de aproximadamente de 44 mA, o suficiente para que possa ser detectado essa corrente residual.

Ao acionar a botoeira mostrada na Figura 33 a estação detecta a corrente residual e encerra a recarga imediatamente, entrando em estado de falha deixando o sinal de tensão em – 11,88 V. Como pode se ver na Figura 34, essa tensão está dentro do esperado conforme especificado na Tabela 1.

Figura 33 - Botoeira teste corrente residual

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 34 - Estado F



Fonte: Elaboração própria (2021).

5 CONCLUSÃO

Este estudo trouxe uma visão mais detalhada de como o Brasil está inserido nessa nova realidade da mobilidade elétrica e dos principais fatores que compõem esse cenário. Em especial, buscou elucidar quais as principais diferenças de um veículo elétrico puro para um veículo híbrido, assim como, buscou explicar sobre as diferentes estações de recarga e seus diversos conectores, a fim de consolidar em um só estudo, pontos relevantes para a eletromobilidade no Brasil.

O objetivo principal foi concluído com êxito, pois o desenvolvimento do emulador se mostrou totalmente funcional para os testes propostos, podendo auxiliar os desenvolvedores de novas estações de recarga, para que possam fazer uma série de testes estressando ao máximo o produto desenvolvido, e também aos instaladores de eletropostos que atualmente não dispõem de VEs integrados a sua frota ou para aqueles que viajam para fazer instalações em cidades distantes e sem infraestrutura de recarga no caminho.

Ao carregar um VE a corrente elétrica pode chegar a níveis elevados, que se exposta à seres humanos podem ser fatais. Então os testes funcionais propostos neste trabalho permitem a segurança dos equipamentos e usuários, pois ao utilizar o emulador para testar estação em bancada ou instalada em campo pode-se testar toda a parte de comunicação antes de conectar uma carga ao EVSE, sendo assim, como não há carga no sistema não há corrente elétrica.

Recomenda-se para trabalhos futuros a inserção de baterias juntamente com um conversor de corrente alternada para corrente continua, para realizar testes de transferência de potência no carregamento condutivo Tipo 2. Também pode ser feito um estudo para desenvolver um emulador de VE com padrão de recarga CHAdeMO, no qual o protocolo de comunicação é o CAN.

REFERÊNCIAS

ABVE. **2020: o melhor ano da eletromobilidade no Brasil**, 2021. Disponivel em: http://www.abve.org.br/2020-o-melhor-ano-da-eletromobilidade-no-brasil/#:~:text=O%20mercado%20pulou%20de%2011.858,ABVE)%2C%20iniciada%20em%202012.. Acesso em: 26 mar. 2021.

ALI EXPRESS. **Produtos.** Disponível em: https://pt.aliexpress.com/i/1005002788553322.html. Acesso em: 12 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 61851-1: **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos: Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, p 18;20;20;37. 2021.

AUTOPAPO. **Carros elétricos podem ser vendidos sem impostos no Brasil**, 2020. Disponivel em: https://autopapo.uol.com.br/curta/carros-eletricos-impostos/#:~:text=O%20Projeto%20de%20Lei%203174,de%20carros%20el%C3%A9tricos%20no%20Brasil.. Acesso em: 19 mar. 2021.

CAMPBELL, P. **Ford venderá apenas carro elétrico de 2030 em diante na Europa**, 2021. Disponivel em: https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/02/18/ford-vendera-apenas-carro-eletrico-de-2030-em-diante-na-europa.ghtml. Acesso em: 15 mar. 2021.

EFACEC. **high-power-ultra-fast-charging-station.** Disponivel em: https://electricmobility.efacec.com/high-power-ultra-fast-charging-station-350-KW/. Acesso em: 19 mar. 2021.

ELECTRICMOBILITY. **Tipos de rcargas.** Disponivel em: http://electricmobilitybrasil.com/tipo-de-carga-2/. Acesso em: 19 mar. 2021.

ESTADÃO. **SUMMIT MOBILIDADE URBANA**, 2020. Disponivel em: https://summitmobilidade.estadao.com.br/ir-e-vir-no-mundo/automoveis-sao-a-principal-fonte-de-emissao-de-gases-poluentes/#:~:text=Segundo%20o%20documento%2C%20os%20carros,de%20apenas%2030%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o.. Acesso em: 19 mar. 2021.

FELIPEFLOP. **Produtos.** Disponível em: https://www.filipeflop.com/produto/chave-gangorra-redonda-on-off-spst/. Acesso em: 12 set. 2021.

G1. **Entenda os impactos do aquecimento global se a temperatura subir até 1,5°C ou mais de 2°C**, 2019**.** Disponível em: https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/11/26/entenda-os-impactos-do-aquecimento-global-se-a-temperatura-subir-ate-15c-ou-mais-de-2c.ghtml. Acesso em: 25 set. 2021.

GOULART, V. V. **Battery Management System (BMS)**, 2016. Disponivel em: http://www.peteel.ufsc.br/portfolio/bms-ampera/#:~:text=Monitoramento%20constante%20das%20condi%C3%A7%C3%B5es%20vitais,como%20tens%C3%A3o%2C%20corrente%20e%20temperatura.&text=O%20BMS%20possui%20um%20sistema,bateria%20estiverem%20fora%20do%20esperado. Acesso em: 18 mar. 2021.

GRANGEIRA, C.; SANTOS, L.; CASTRO, B. **Mobilidade elétrica nos Estados Unidos no contexto da COVID-19 e do novo Plano de Energia do Governo Biden1**. UFRJ. Rio de Janeiro, p. 4. 2021.

KANE, M. **EUA já possui mais de 1,6 milhão de carros elétricos e híbridos em circulação**, 2020. Disponivel em: https://insideevs.uol.com.br/news/446833/eua-carros-eletricos-e-hibridos-em-circulacao/. Acesso em: 19 mar. 2021.

LOJA ELÉTRICA. **Produtos.** Disponível em: http://www.lojaeletrica.com.br/chave-ligadesligaliga-15a-6p-3-posicoes-metaltex,product,2160406190236,dept,0.aspx. Acesso em: 12 set. 2021.

MOLOUGHNEY, T. **EUA quer substituir toda a frota do governo federal por veículos elétricos**. Disponivel em: https://insideevs.uol.com.br/news/482145/eua-biden-anuncio-frota-governo-carros-eletricos/. Acesso em: 19 mar. 2021.

NEOCHARGE. **CONHEÇA OS TIPOS DE CARROS ELÉTRICOS.** Disponivel em: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos. Acesso em: 18 mar. 2021.

RIBEIRO, F. **Canaltech**, 2020. Disponivel em: https://canaltech.com.br/carros/conselho-europeu-sugere-fim-dos-carros-a-combustao-em-2035-176276/#:~:text=%E2%80%9CEm%202035%2C%20daqui%20a%2015,dos%20mais%20entusiastas%20dessa%20mudan%C3%A7a.. Acesso em: 15 mar. 2021.

SALES, A. **Carro elétrico – História e características dos veículos movidos a energia**. Disponivel em: https://segredosdomundo.r7.com/carro-eletrico-historia/. Acesso em: 18 mar. 2021.

TAVARES, N. **Conectores de recarga: quais são os tipos que existem**, 2019**.** Disponível em: https://insideevs.uol.com.br/features/379522/conector-tomada-recarga-tipos/. Acesso em: 12 set. 2021.

WEG. **Catalago estações de recarga**, 2020. Disponivel em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Critical-Power/Infraestrutura-para-Mobilidade-El%C3%A9trica/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/p/MKT_WDC_BRAZIL_RE_ELECTRIC_VE. Acesso em: 19 mar. 2021.