

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**EDUARDO PRADO SOARES**

**PROPOSTA DE ESTAÇÃO DE CARGA PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS COM  
GERENCIAMENTO REMOTO**

**CAMPINAS**

**2020**

**EDUARDO PRADO SOARES**

**PROPOSTA DE ESTAÇÃO DE CARGA PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS COM  
GERENCIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Marina Lavorato

**PUC-CAMPINAS**

**2020**

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

621.462 Soares, Eduardo Prado

5676p

Proposta de estação de carga para veículos elétricos com gerenciamento remoto / Eduardo Prado Soares. - Campinas: PUC-Campinas, 2021.

59 f. : il.

Orientador: Marina Lavorato.

Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.  
Inclui bibliografia.

1. Veículos elétricos. 2. Engenharia elétrica. 3. Sensoriamento remoto. I. Lavorato, Marina. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. II. Título.

CDD - 22. ed. 621.462

**EDUARDO PRADO SOARES**

**PROPOSTA DE ESTAÇÃO DE CARGA PARA  
VEÍCULOS ELÉTRICOS COM GERENCIAMENTO  
REMOTO**

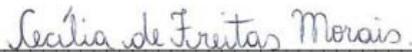
Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.  
Orientador (a): Profa. Dra. Marina Lavorato de Oliveira.

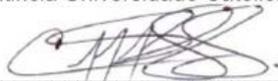
Dissertação defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2021 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Marina Lavorato de Oliveira  
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Cecília de Freitas de Moraes  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Carlos Francisco Sabillon Atunéz  
Universidad de Loyola

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da bolsa de estudos gentilmente concedida pela PUC-Campinas.

À PUC-Campinas pela a infraestrutura concedida e fornecimento dos equipamentos para realização dos ensaios.

À minha orientadora Professora Dra. Marina Lavorato pela disposição, paciência e dedicação na condução deste trabalho.

Aos meus caros amigos Gustavo Cestari e Alceu Rosa por todo o suporte e ajuda no desenvolvimento em C.

À minha esposa Suelen por suportar as muitas horas de ausência, pela paciência e carinho ao revisar este trabalho.

Aos meus pais Ronaldo e Lúcia pelo incansável esforço que me permitiu chegar até aqui.

## RESUMO

PRADO SOARES, Eduardo. PROPOSTA DE ESTAÇÃO DE CARGA PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS COM GERENCIAMENTO REMOTO - Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2020.

O crescimento da frota de veículos elétricos devido aos diversos fatores como a imposição de regulamentações ambientais sobre emissões de gases de efeito estufa, aumento do preço dos combustíveis fósseis e as constantes instabilidades político-econômicas em países produtores de petróleo nas últimas décadas, a eletrificação dos sistemas de propulsão veiculares tem ganhado importância como uma alternativa aos motores de combustão interna (ICE, *Internal Combustion Engine*). Neste trabalho é proposta uma estação de carga (EVSE, *Electric Vehicle Supply Equipment*) de baixo custo, para carros elétricos, equipada com uma interface de comunicação para gerenciamento remoto do processo de carga em acordo com conveniência do gestor da rede elétrica. A estação proposta apresenta um custo de componentes 12% maior que o hardware referencia mas inclui uma solução integrada de medição de energia permitindo o uso de processadores de menor capacidade e por ser baseada em hardware aberto permite também a adição de novos periféricos e recursos além daqueles propostos aqui.

**Palavras Chaves:** EV, EVSE, GERENCIAMENTO DE CARGA E CONSUMO.

## ABSTRACT

PRADO SOARES, Eduardo. Remote Managed Electric Vehicle charging station proposal. Masters Dissertation. Postgraduate Program in Electrical Engineer, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2020.

*The growth of the electric vehicle fleet due to several factors such as the imposition of environmental regulations on greenhouse gas emissions, the increase in the price of fossil fuels and the constant political and economic instabilities in oil-producing countries in the last decades, the electrification of Vehicle propulsion systems have gained importance as an alternative to internal combustion engines (ICE, Internal Combustion Engine). In this work, a low-cost charging station (EVSE, Electric Vehicle Supply Equipment) is proposed for electric cars, equipped with a communication interface for remote management of the charging process in accordance with the convenience of the electrical network manager. The proposed charging station has a component costs 12% higher than base hardware desing but includes an integrated energy measurement solution which allows the usage of small capacity processors and being based on open hardware, it also allows the addition of new peripherals and features in addition to those proposed here.*

**Keywords:** EV, EVSE, LOAD DEMAND MANAGING.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Volume de Veículos Elétricos por Região Geoeconômica .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 0
<b>Figura 2-</b> Volume de Veículos Elétricos Emplacados no Brasil ..	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 1
<b>Figura 3-</b> Deslocamento de Carga dos EV's.....	12
<b>Figura 4-</b> Linha do Tempo da Propulsão Veicular.....	14
<b>Figura 5-</b> Configuração de Veículos Elétricos .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 6
<b>Figura 6-</b> Densidade Específica de Energia de Tecnologias de Bateria.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 7
<b>Figura 7-</b> Integração do EV com a Rede Elétrica.....	20
<b>Figura 8-</b> Métodos de Carregamento do EV .....	22
<b>Figura 9-</b> Classificação dos Impactos dos EV's na Rede Elétrica .....	26
<b>Figura 10-</b> V1G e V2G.....	27
<b>Figura 11-</b> Evolução da Integração com a Rede Elétrica proposta pelo Consórcio CharIn EV.	28
<b>Figura 12-</b> Estrutura da Internet da Energia.....	31
<b>Figura 13-</b> Diagrama de Blocos da Estação de Carga.....	34
<b>Figura 14-</b> Diagrama de blocos ADE7753 .....	35
<b>Figura 15-</b> Condicionamento do Sinal de Entrada ADE7753 .....	36
<b>Figura 16-</b> Cálculo e Armazenamento do Valor da Potência Ativa .....	35
<b>Figura 17-</b> Kit de desenvolvimento Arduino – ATmega 2560 .....	37
<b>Figura 18-</b> Kit de WiFi ESP8266.....	38
<b>Figura 19-</b> Diagrama Blocos Interface EV - EVSE .....	39
<b>Figura 20-</b> Negociação IEC61851 EV - EVSE .....	38
<b>Figura 21-</b> Estados do Processo de Carga estabelecidos na SAE J1772.....	40
<b>Figura 22-</b> Circuito Base de Medição – ADE 7753.....	42
<b>Figura 23-</b> Circuito de Detecção de Falha de Aterramento e Acoplamento Ótico .....	43
<b>Figura 24-</b> Sinal de saída do amplificador de isolamento .....	44
<b>Figura 25-</b> Divisor resistivo para condicionamento do sinal de tensão .....	45
<b>Figura 26-</b> Circuito de conversão do sinal PWM 0-5V para +/-12V .....	46
<b>Figura 27-</b> Sinal PWM Piloto gerado pelo conjunto Arduino e conversor DCDC .....	46
<b>Figura 28-</b> Alteração de amplitude nos estados B e C .....	47
<b>Figura 29-</b> Simulador de Estados .....	48
<b>Figura 30-</b> Face superior da placa de circuito impresso e dimensões .....	48
<b>Figura 31-</b> Face inferior da placa de circuito impresso e dimensões .....	49
<b>Figura 32-</b> Fluxograma de operação do software .....	50
<b>Figura 33-</b> Interface Web .....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Comparação entre Tipos de Baterias .....	19
<b>Tabela 2</b> – Tipos de Estações de Carga .....	22
<b>Tabela 3</b> – Níveis e Normas de Carregamento .....	23
<b>Tabela 4</b> – Impactos Negativos na Rede Elétrica.....	25
<b>Tabela 5</b> – Impactos Positivos na Rede Elétrica .....	26
<b>Tabela 6</b> – Normas de Carregamento e Interface de Carga .....	29
<b>Tabela 7</b> – Características dos circuitos integrados para medição de energia .....	32 e 33
<b>Tabela 8</b> – Estados de Carga para Níveis de Tensão no Sinal Piloto .....	38
<b>Tabela 9</b> – Tabela dos Estados Identificados pelo Sinal PWM .....	38
<b>Tabela 10</b> – Preço dos Componentes para Montagem da Placa.....	52

# SUMÁRIO

Sumário .....	8
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Objetivos .....	12
1.2 Organização do trabalho.....	12
<b>2 MOBILIDADE ELÉTRICA: e-MOBILITY.....</b>	<b>14</b>
2.1 Veículos Elétricos e Híbridos - História .....	14
2.2 Veículos Elétricos: .....	14
2.3 Baterias: .....	16
2.3.1 Estado de Carga (SOC – <i>State of Charge</i> ) .....	20
2.3.2 Ciclos de operação ( <i>Cycle Life</i> ) .....	20
2.3.3 Temperatura de Operação .....	20
2.4 Infraestrutura de Carregamento.....	20
2.5 Estações de carga e Método de carregamento .....	21
2.6 Impactos do processo de carga na rede Elétrica .....	24
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>29</b>
<b>4 MÉTODOS E MATERIAIS .....</b>	<b>34</b>
4.1 Medição de energia .....	35
4.2 Processamento .....	37
4.3 Módulos de Comunicação.....	38
4.4 Estação de carga .....	39
4.5 TESTES E ENSAIOS .....	40
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 Hardware.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 Software.....</b>	<b>50</b>
<b>6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

EV	<i>Electric Vehicle</i> – Veículo Elétrico
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i> – Veículo Elétrico com Bateria
PHEV	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i> – Veículo Híbrido <i>Plug In</i>
EVSE	<i>Electrical Vehicle Supply Equipment</i> – Estação de carga
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> – Motor de Combustão Interna
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i> – Distorção Harmônica Total
V1G	<i>Smart Charging</i> – Carregamento inteligente
V2G	<i>Vehicle to Grid</i> – Veículo para a Rede
SOC	<i>State of Charge</i> – Estado de carga
AC	<i>Alternated Current</i> – Corrente Alternada
DC	<i>Direct Current</i> – Corrente Contínua
RMS	<i>Root Mean Square</i> – Valor quadrático médio
GFI	<i>Ground Failure Indicator</i> – Indicador de Falha de Aterramento
SPI	Serial peripheral interface
UART	Universal asynchronous receiver transmitter;
LFLO	Logic function logic output
I <sup>2</sup> C	Inter-integrated circuit;

# 1 INTRODUÇÃO

Existe, atualmente e em curso, um movimento global para redução do uso de fontes de energia não renováveis, a saber, combustíveis fósseis e a redução das emissões dos gases de efeito estufa (GHG – *Green House Gases*) (Habib et al, 2018). Os impactos ambientais causados pela exploração, extração, processamento destes combustíveis e a emissão de poluentes pelo seu uso, bem como a sua limitação em quantidade (Martins et al, 2018) são os fatores que motivam tal movimento. Levando em consideração que o acordo de Paris objetiva limitar os efeitos do aquecimento global (Fachrizal et al, 2020), o setor de transportes requer uma abordagem específica, pois figura entre as maiores fontes de poluentes (Habib et al, 2018) devido ao emprego dos ICE (*Internal Combustion Engine* – motor de combustão interna). Alguns países já sinalizam o banimento dos ICE's nas próximas décadas (Transport & Environment, 2018 e IEA, 2019). Neste cenário, a eletrificação dos sistemas de propulsão veiculares é apresentada como uma alternativa para o setor de transportes no que diz respeito às emissões de poluentes (Habib et al, 2018). Em dez anos, o volume global de veículos elétricos ultrapassou 5 milhões de unidades em 2018, houve um aumento de 63% em relação ao ano anterior. Deste total, 45% é correspondente à frota chinesa, 24% à frota Norte Americana e 22% à frota europeia (IEA, 2019) como ilustrado na figura 1:

**Figura 1-** Volume de veículos elétricos por região geoeconômica



Fonte: Adaptado de IEA (2019)

No Brasil, um crescimento significativo da frota elétrica também tem sido notado na última década, embora com um volume de veículos elétricos menor em relação às regiões citadas anteriormente, como mostrado na figura 2.

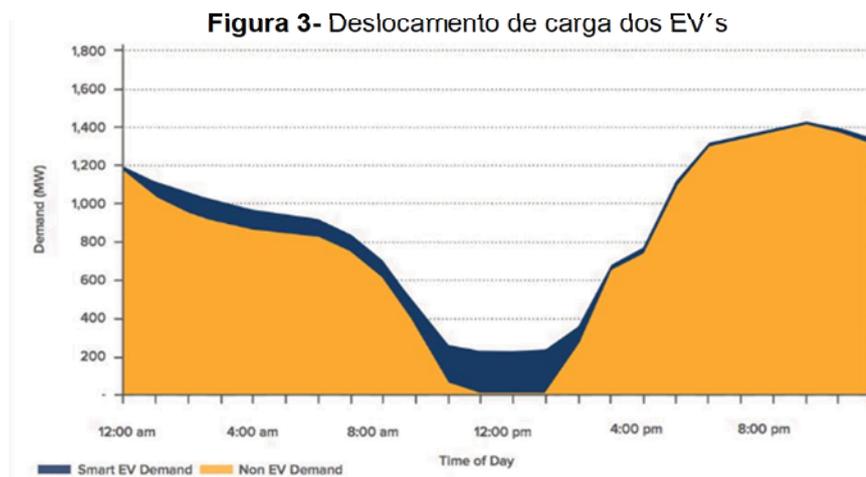
É importante levar em consideração a disponibilidade do etanol produzido através da cana de açúcar, identificado como uma fonte de energia renovável, este fato pode levar a uma adoção mais lenta dos EV's (FGV, 2017), pois o etanol é utilizado em veículos equipados com a tecnologia atual de ICE.

**Figura 2-** Volume de veículos elétricos emplacados no Brasil



Fonte: ANFAVEA (2020)

Diante dos dados acima, deve-se lembrar que um sistema de propulsão elétrico demanda como fonte primária de energia uma bateria. O processo de carga desta bateria representa adição de demanda extra para a rede de distribuição elétrica. Sendo assim, a adoção maciça de EV's implica em uma maior disponibilidade de energia que exige da infraestrutura de distribuição elétrica um aumento de capacidade para processar tal consumo. Também é preciso gerenciar a carga em horário de pico para evitar o desgaste dos elementos da rede, bem como minimizar o excesso de perdas (Simon, 2013; Guo et al, 2020). O controle de consumo é feito através de técnicas de gerenciamento da carga, tais como: deslocamento do horário de carregamento dos EV's para fora horário de ponta (indicado na figura 3), alteração da tarifação e geração de energia adicional de fontes fotovoltaicas, eólicas.



Fonte: Farrell e Weinmann 2017

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma estação de carga para veículos elétricos em uma plataforma de *hardware* aberto com capacidade de comunicação de dados para o gerenciamento do consumo de energia elétrica, durante o processo de carga, possibilitando o *Smart charging* (quando o consumo de potência do processo de carga é ajustado conforme a demanda de energia).

## 1.2 Organização do trabalho

A introdução dessa dissertação apresenta uma visão geral das motivações desse trabalho. Destaca o avanço do emprego de carros elétricos no mercado global e mostra a necessidade da presença de dispositivos de carga gerenciáveis para proteção das redes de distribuição de energia elétrica.

Em seguida, o capítulo 2 apresenta de maneira resumida os elementos principais do veículo elétrico, os seus componentes relacionados com o armazenamento de energia e a infraestrutura de carregamento.

A revisão da literatura é explanada no capítulo 3, com análise de estudos sobre coordenação de carga, sobre o conceito de carregamento unidirecional inteligente (*Smart charging* ou V1G) e sobre sistemas de carga bidirecionais ou V2G (*Vehicle to Grid*) para uso eficiente e seguro da rede elétrica.

No capítulo 4, este trabalho é direcionado para análise de materiais e métodos dos detalhes técnicos tanto de *hardware* como *software*, utilizados para o desenvolvimento da estação de carga e de suas interfaces.

Finalmente, os capítulos 5 e 6 trazem os resultados e conclusões do trabalho seguidos pelas referências bibliográficas.

## 2 MOBILIDADE ELÉTRICA: *E-MOBILITY*

A mobilidade elétrica pode ser definida como a eletrificação do setor de transportes e a sua integração com setor de geração e fornecimento de energia (Diaz, 2019 e Gartner, 2020). A eletrificação do setor de transporte tem sido estudada e aplicada nos diversos modais de transporte (terrestre, marítimo e aéreo). Com destaque ao setor automotivo por ter impacto de diversas ordens (ambiental, sonoro e na infraestrutura elétrica) das cidades.

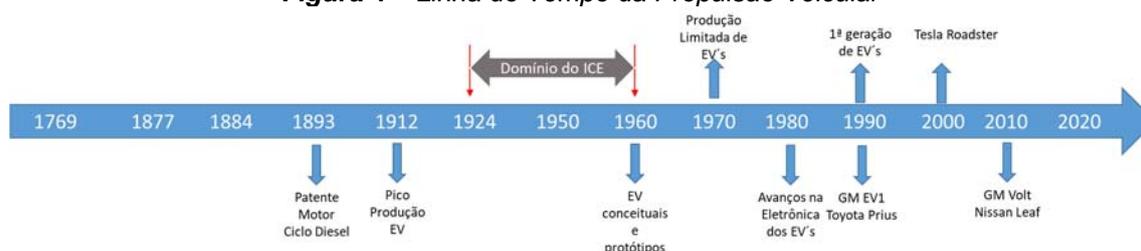
A adoção de regulamentações ambientais mais exigentes e restritivas implicam no desenvolvimento de veículos híbridos ou puramente elétricos (Martinenas, 2017).

### 2.1 Veículos Elétricos e Híbridos - História

O registro dos primeiros veículos elétricos data do século XIX. O auge da sua comercialização é atingido na primeira década do século XX (Diaz, 2019).

Devido às características dos EV's como tempo de carga, autonomia e massa, estes foram substituídos por veículos ICE's, pois os mesmos apresentavam vantagens nos quesitos mencionados (Mehrhad et al, 2018 e Yong et al, 2015). A figura 4 mostra a linha do tempo da evolução dos meios de propulsão veicular.

**Figura 4 – Linha do Tempo da Propulsão Veicular**



Fonte: Adaptado de Diaz (2019)

### 2.2 Veículos Elétricos

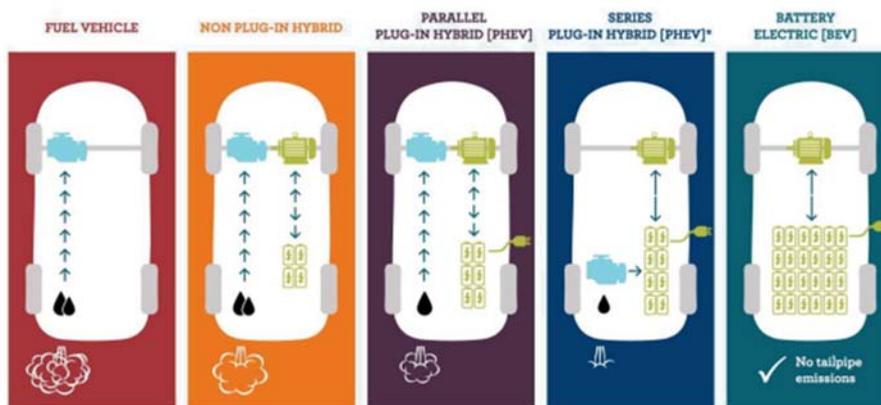
Os veículos elétricos podem ser divididos em quatro grupos como apresentado a seguir:

- Veículo Híbrido não *Plug-in* – é construído com o ICE e com o motor elétrico, ligados em paralelo de forma que o motor elétrico auxilia o ICE produzindo torque adicional quando necessário para a aceleração do veículo, reduzindo assim o consumo de combustível e consequentemente as emissões de poluentes. Nesta configuração não há conexão com a rede elétrica.
- Veículo Híbrido Elétrico Paralelo *Plug-in* – Semelhante ao modelo anterior, mas com uma bateria de maior capacidade e conexão com a rede elétrica para o carregamento da mesma. Esta configuração tem a vantagem de aumentar o tempo de utilização do motor elétrico, de reduzir a demanda de potência do ICE, minimizando as emissões em comparação ao Veículo Híbrido não *Plug-in* (Simon, 2013; Honghu, 2016).
- Veículo Híbrido Elétrico Série *Plug-in* – É construído com o ICE e com o motor elétrico ligados em série de forma que a propulsão é efetuada somente pelo motor elétrico e o ICE é acionado para a geração de eletricidade e carregamento da bateria durante o seu uso. Também existe conexão com a rede elétrica para o carregamento da bateria quando o veículo encontra-se em estado estacionário.  
Como o ICE, nesta configuração, não é empregado na propulsão do veículo, ele pode ser usado em uma versão de baixa potência, reduzindo ainda mais a emissão de poluentes, se comparado à versão paralela (Simon, 2013; Honghu, 2016).
- Veículo Elétrico *Plug-in* Bateria (BEV) – Tem como única fonte de energia uma bateria que pode ser do tipo Chumbo-Ácido, Ni-MH/NiCd, Lítio e variantes, podendo ser também um supercapacitor (Honghu, 2016). É construído com o motor elétrico para a propulsão e uma bateria como fonte de energia. Como não há queima de combustível, não há emissão de poluentes nestes modelos. Nesta configuração é obrigatória a conexão com a rede elétrica para o carregamento da bateria (Simon, 2013; Honghu, 2016). Os BEV's apresentam uma eficiência de 59% a

63% na conversão de energia, contra 17% a 21% de eficiência em veículos com ICE's (Diaz, 2019).

Os grupos citados anteriormente estão resumidos na figura 5, que mostra de forma comparativa a quantidade de emissão de poluentes.

**Figura 5 – Configuração de Veículos Elétricos**



Fonte: Adaptado de Diaz (2019)

### 2.3 Baterias:

Nos EV's, a bateria é a fonte de energia primária, pois esta cumpre a função de elemento armazenador de fornecimento de energia para os diversos sistemas embarcados no veículo, mas, principalmente o sistema de propulsão veicular.

Em Honghu 2016, o autor define quais são os principais parâmetros para avaliação de desempenho das baterias, tais como:

- Capacidade:

Quantidade de energia fornecida pela bateria, variando do estado de carga plena até o limite de tensão de operação (*CutOff Voltage*).

Em descarga à corrente constante, a capacidade da bateria é dada pela equação (1):

$$C = It \quad (1)$$

Em processo de descarga a uma taxa constante, a capacidade é dada pela equação (2):

$$C = \int_0^t Idt = \frac{1}{R} \int_0^t Udt \approx \frac{1}{R} U_{av} t \quad (2)$$

Para as equações acima,  $C$  é a capacidade da bateria,  $I$  é a corrente elétrica,  $t$  é o tempo de descarga,  $U$  a tensão da bateria durante o processo de descarga,  $U_{av}$  é o valor médio de tensão da bateria durante a descarga,  $R$  é resistência de descarga.

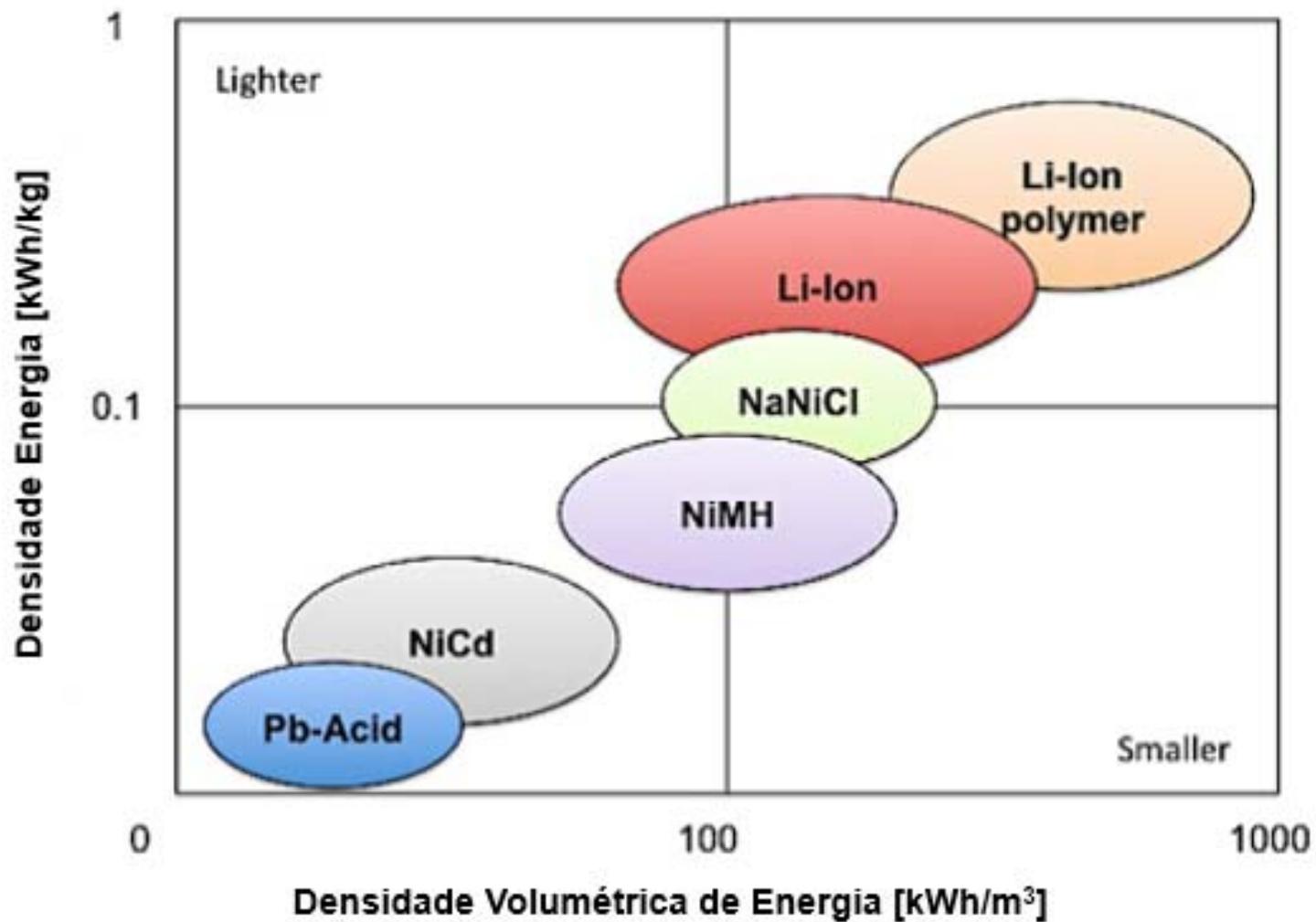
- Energia e Potência

A energia da bateria é entregue a uma carga sob uma condição de descarga, podendo ser expressa pelo produto da tensão e da capacidade específica da bateria: Watt\*hora (Wh). A potência é a quantidade de energia entregue à carga pela unidade de tempo sendo expressa em Watt (W).

Para comparações e análises mais simples entre baterias, a energia pode ser expressa em função da massa (kg) e volume ( $m^3$ ) da bateria. A densidade de energia (mássica) é dada em Wh/kg e densidade volumétrica de energia é dada em Wh/ $m^3$ . Da mesma forma W/kg e W/ $m^3$ , respectivamente informam a densidade de potência e a densidade volumétrica de potência.

Os materiais empregados na construção das baterias têm influência direta sobre as densidades de energia e de potência disponíveis para cada modelo. A figura 6 apresenta um comparativo das dimensões e massa entre os tipos de baterias e de suas respectivas densidades de potência e energia, características críticas para veículos, quanto mais se desloca em direção ao canto superior direito tem-se uma bateria menor, mais leve e com maior capacidade de armazenamento de energia. A Tabela 1 mostra informações mais detalhadas das características das baterias disponíveis comercialmente e algumas tecnologias experimentais como Zn-ar, Li-Ar e Li-S, onde informações de densidade de energia, temperatura de trabalho, tensão por célula e custo de produção são elencados.

Figura 6 – Densidade Específica de Energia de Tecnologias de Bateria



Fonte: Manzetti,(2015)

**Tabela 1 – Comparativo entre Tipos de Baterias**

<b>Tipo de Bateria</b>	<b>Tensão Nominal por célula (V)</b>	<b>Densidade de energia kWh/kg</b>	<b>Densidade Volumétrica de energia kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>Potência específica (kW/kg)</b>	<b>Ciclos de operação</b>	<b>Perda de carga (% por mês)</b>	<b>Temperatura de operação °C</b>	<b>Custo de produção (\$/kWh)</b>
<b>Pb-Acid</b>	2.0	0.035	100	0.18	1000	<5	-15 a +50	60
<b>NiCd</b>	1.2	0.05 – 0.08	240	0.2	2000	10	-20 a +50	250-300
<b>Ni-MH</b>	1.2	0.07 – 0.095	180-220	0.2-0.3	<3000	20	-20 a +60	200-250
<b>Na-NiCl<sub>2</sub></b>	2.6	0.09 -0.12	160	0.155	>1200	<5	+245 a +350	230-345
<b>Li-ion</b>	3.6	0.118 – 0.25	200-400	0.2-0.43	2000	<5	-20 a +60	150
<b>Lipo</b>	3.7	0.130 – 0.225	200-250	0.26-0.45	>1200	<5	-20 a +60	150
<b>LiFePO<sub>4</sub></b>	3.2	0.12	220	2.0-4.5	>2000	<5	-45 a +70	350
<b>Zn-air</b>	1.65	0.46	1400	0.08-0.14	200	<5	-10 a +55	90-120
<b>Li-S</b>	<b>2.5</b>	0.35-0.65	350	N/A	300	8-15	-60 a +60	100-150
<b>Li-Air</b>	<b>2.9</b>	1.2 – 2.0	1520-2000	N/A	100	<5	-10 a +70	N/A

*Fonte: Adaptado de Yong et al. (2015)*

### **2.3.1 Estado de Carga (SOC – *State of Charge*)**

Estado de Carga (SOC - *State of Charge*) é definido como a razão entre quantidade de energia armazenada e a quantidade de energia nominal da bateria. O SOC mostra o estado atual da bateria permitindo tanto carga e descarga seguras para manter a vida útil da mesma (Kularatna, 2015). A informação do SOC é chave para o gerenciamento da bateria, por determinar a quantidade energia disponível na bateria. (Ogura e Kolhe, 2015)

Geralmente, o SOC é expresso em porcentagem, sendo SOC=0% bateria totalmente descarregada e SOC=100% ou 1 bateria totalmente carregada.

### **2.3.2 Ciclos de operação (*Cycle Life*)**

É definido como o número de ciclos de carga e descarga. Após esta quantidade de ciclos, a bateria apresenta perda de capacidade nominal devido às características químicas dos elementos constituintes das células da bateria (Honghu, 2016).

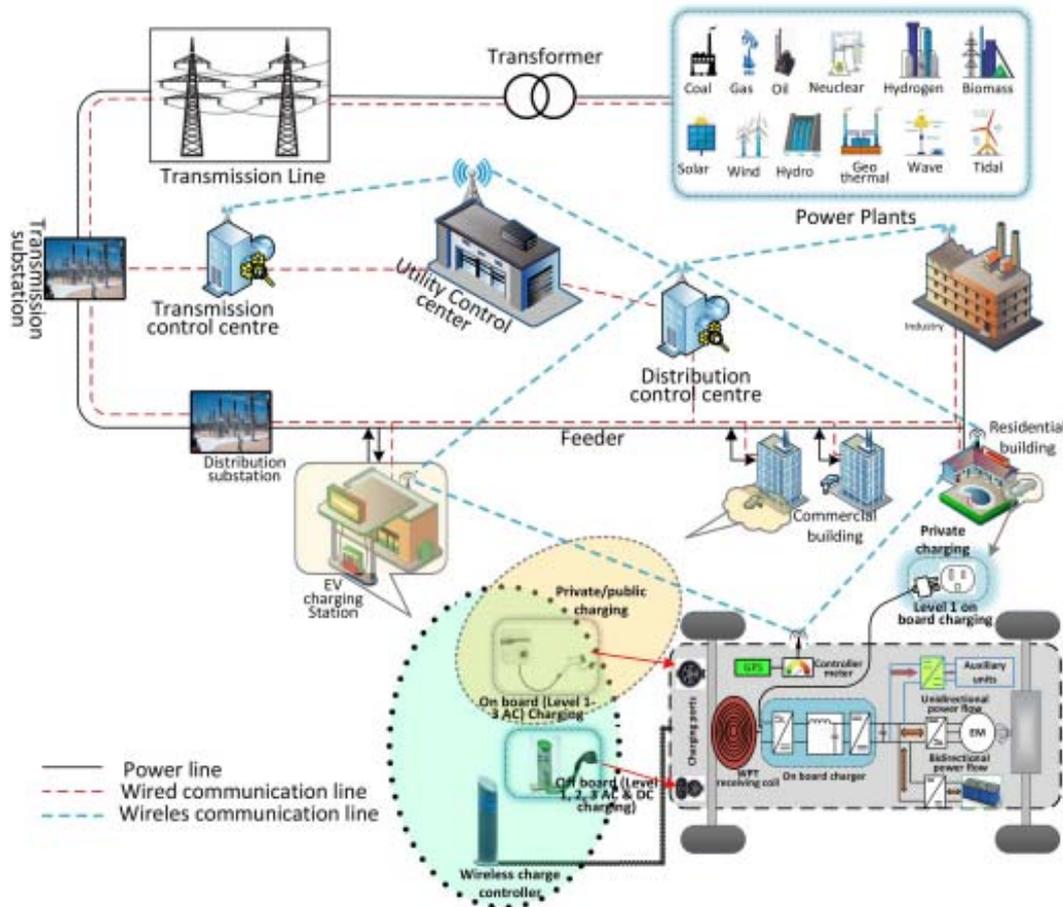
### **2.3.3 Temperatura de Operação**

Para o desempenho desejado, a temperatura de operação da bateria deve ser respeitada. Altas temperaturas reduzem a vida útil da bateria enquanto baixas temperaturas reduzem sua capacidade (Honghu, 2016).

## **2.4 Infraestrutura de Carregamento**

A infraestrutura geral de carregamento de veículos elétricos é composta pela combinação da rede de distribuição de energia elétrica e da rede de comunicação. Observando a figura 7, vê-se um elemento central de controle (*Utility Control Center*); onde dados da transmissão, distribuição e demanda são concentrados para tarifação e controle da demanda. Os elementos ilustrados na parte superior representam as estruturas relacionadas à geração, transmissão e distribuição de energia (usinas geradoras, linhas de transmissão e distribuição). Os elementos ilustrados na parte inferior representam a demanda de energia (indústria, residências, comércio) e a comunicação (com ou sem fio) de dados entre eles (linhas pontilhadas azuis). As estações de carga criam o elo entre a rede elétrica e o EV, podendo ser públicas e/ou privadas (Das, et al., 2019).

**Figura 7 – Integração do EV com a Rede Elétrica**



Fonte: Das et al (2019)

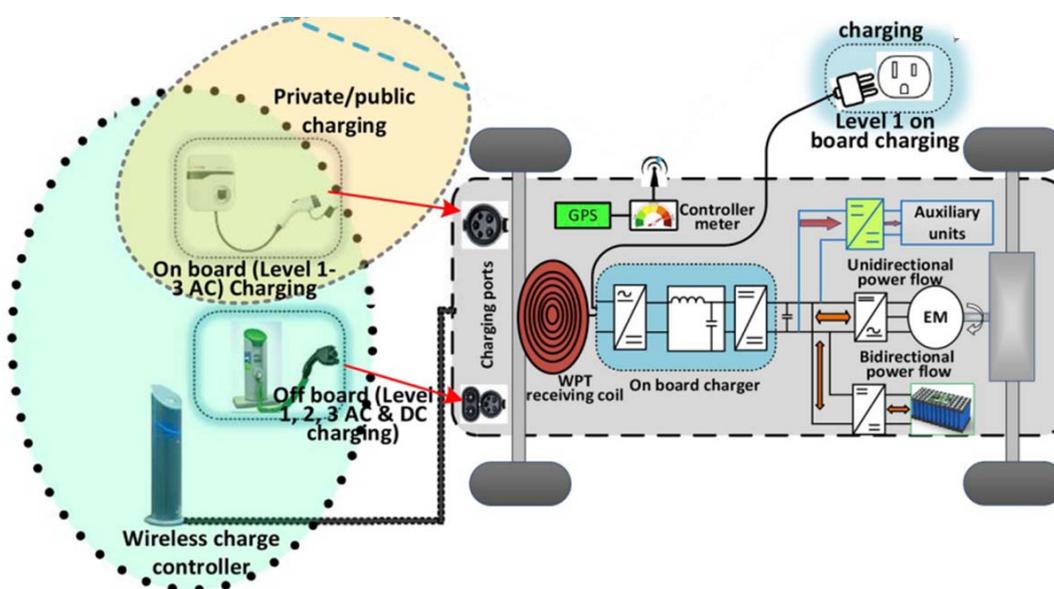
## 2.5 Estações de carga e Método de carregamento

Os equipamentos de carga são classificados quanto ao tipo de conexão elétrica, fluxo de potência e modo de condicionamento da energia elétrica entregue. A Tabela 2 apresenta as características citadas das estações, já a figura 8 ilustra as conexões possíveis entre o EV e estações de carga condutivas AC, DC e Indutiva (WPT – *Wireless Power Transmission*).

**Tabela 2 – Tipos de Estações de Carga**

CONEXÃO	CONDUTIVO		SEM FIO
CORRENTE ELÉTRICA	ALTERNADA	CONTINUA	SISTEMA DE INDUÇÃO MAGNÉTICA
POSIÇÃO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO	EMBARCADO	EXTERNO	EMBARCADO
FLUXO DE POTÊNCIA	UNIDIRECIONAL	UNIDIRECIONAL	UNIDIRECIONAL

Fonte: adaptado de Das, et al., (2019)

**Figura 8– Métodos de Carregamento do EV**

Fonte: Das et al (2019)

## Carregamento em Corrente Alternada

As estações de carga AC fazem a interface entre a rede elétrica e o carregador (conversor AC/DC) embarcado no veículo. O valor máximo de corrente elétrica é limitado pelo conversor AC/DC.

Este tipo de estação tem como característica ser composta por um circuito de controle relativamente simples, permitindo o controle de consumo nos horários de ponta e o custo por quilowatt/h (Honghu, 2016). É importante realçar que o monitoramento e controle da bateria durante o processo de carga é realizado pelo conversor AC/DC embarcado no veículo.

Os níveis de corrente e tensão do processo de carga são estabelecidos pela Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*) e pela Sociedade de Engenharia Automotiva (*Society of Automotive Engineers*), definidas pelas normas IEC 61851, IEC62196 e SAE-J1772, respectivamente. Seu detalhamento é descrito na Tabela 3. Um EV equipado com uma bateria de 60kWh ligado a uma estação nível 1 (1.92kW, 120V monofásico, 16A de corrente máxima) leva aproximadamente 30 horas para uma carga completa (60kWh/1.92kW).

**Tabela 3 – Níveis e Normas de Carregamento**

Norma	Tipo de fonte	Modo/Nível	Tensão(V)	Corrente Max.(A)	Fases
IEC 62196	AC	Modo 1	120	16	1
	AC	Modo 2	240	32	1/3
	AC	Modo 3	250	32-250	1/3
	DC	Modo 4	600	400	N/A
IEC 61851	AC	Modo 1	120	16	1
	AC	Modo 2	240	80	1/3
	DC	Modo 4	200 - 450	80	N/A
SAEJ1772	AC	Nível 1	120	16	1
	AC	Nível 2	240	32-80	1
	DC	Nível 1	200 - 450	80	N/A
	DC	Nível 2	200 - 450	200	N/A
CHAdemo	DC	N/A	500V	100 – 125	N/A

Fonte: Adaptado de Das et al (2019), Habib et al. (2018) e Yong e al (2015)

### Carregamento em Corrente Contínua

Estações de carga em corrente contínua têm o elemento de conversão AC/DC integrado na estação, não ficando dependente do conversor embarcado no veículo (Honghu, 2016). Por operarem em níveis de tensão e corrente elevados, como mostrado na Tabela 3, possuem sistemas e componentes de controle e proteção complexos tais como: controle de retificadores, filtros de harmônicos ativos e etc. Estes sistemas devem ser capazes de gerenciar os efeitos causados pelo processo de retificação (limitar a geração de harmônicos, redução do fator de potência) (Honghu, 2016).

Os modos de operação estão descritos nas normas IEC 61851, SAE J1772 e CHAdemo, também são mostrados na Tabela 3.

É importante ressaltar que o modo de carga DC é utilizado como modo de carga rápida (*fast charging*) e tem como objetivo o carregamento de emergência. Devido ao estresse da bateria causado pelo aquecimento de seus elementos quando submetidos às correntes elevadas, este modo de carga atinge no máximo de 80% carga como forma de proteção da mesma, evitando a redução de sua vida.

Os tempos de carga em modo DC variam entre 10 a 30 minutos (dependendo da capacidade da bateria) para estados de carga de 50% a 80% (Honghu, 2016).

## **2.6 Impactos do processo de carga na rede Elétrica**

A adição de EV's como carga nas redes elétricas, mesmo em um ritmo relativamente lento, traz um aumento de demanda significativo para a rede elétrica (Crisostomi et al,2017; Un-Noor et al 2017, Das et al 2019). Desta forma, uma introdução maciça de EV's elevaria os riscos de aumento do desvio de tensão, frequência, sobrecarga de transformadores e linhas, caso esses entrem em processo de carga de forma simultânea.

Em alguns cenários de estudo de impactos causados pela introdução de frota EV, um processo de carga não controlado é responsável por aumentos expressivos no pico de demanda, de perdas na rede de distribuição (Habib et al 2018 e Das et al 2019).

A geração de harmônicos, inerentes aos processos de conversão AC/DC e DC/DC presentes nos conversores embarcados e externos, produzem efeitos danosos aos equipamentos da rede elétrica, como acionamento de dispositivos de proteção e aquecimento de transformadores devido, a adição de componentes de alta frequência dos harmônicos (Ramalingam e Indulkar, 2015).

A Tabela 4 resume os impactos negativos para rede elétrica (Das et al 2019).

**Tabela 4 – Impactos Negativos na Rede Elétrica**

<b>Impactos</b>	<b>Descrição</b>
<b>Aumento da não controlado da demanda</b>	Potencial de aumentar em 1000 TWh, 25% de aumento nos níveis atuais.
	Carregamento não gerenciado tem potencial de agravar os horários de pico gerando transtornos para as redes de distribuição.
<b>Sobrecarga em componentes</b>	A carga extra gerada pela adição dos EV's, ao ser distribuída eleva o nível de stress nos componentes de rede e reduz a vida útil de transformadores.
<b>Desbalanço de Fase e Tensão</b>	Carregadores monofásicos, se alimentados em uma mesma fase podem gerar desbalanços devido ao consumo de corrente na mesma. Causando, também, aumento na queda de tensão nos pontos de carga.
<b>Injeção de Harmônicos</b>	Os carregadores são elementos não lineares, fazendo uso de retificadores e outras chaves eletrônicas que geram harmônicos durante a sua operação. Alguns estudos mostram o THD abaixo de 1%, o que é diretamente influenciado pelo número de EV's em carga.
<b>Perdas</b>	A carga extra adicionada pela adição maciça de EV's pode atingir um aumento de 40% nas perdas de energia fora do horário de ponta isto considerando 60% de penetração de EV's. Isto pode ser contornado pela coordenação de cargas e otimização dos locais de carga.
<b>Estabilidade</b>	O sistema de distribuição de energia como um todo se torna mais vulnerável a distúrbios e sua normalização leva mais tempo considerando uma grande presença de EV's ligados à rede elétrica. A gerenciamento e coordenação do processo de carga é uma forma de se contornar estes efeitos.

Fonte: Adaptado de Das et al 2019 e Habib et al. (2018)

Com o devido controle, o processo de carga pode ser usado a fim de produzir efeitos benéficos para rede elétrica tais como: deslocamento do horário de carga para uso ótimo da rede fora de horários de pico (*Load Shift*), servir como carga reativa de acordo com a demanda, atuar como regulador de tensão e frequência, redução de flutuação de tensão, servir como elemento armazenador de energia para fontes renováveis e redução das incertezas presentes neste tipo de geração

(Das et al 2019), sendo este o conceito de Resposta da Demanda (*Demand Response- DR*) (Ramalingam e Indulkar, 2015).

A Tabela 5 resume os impactos positivos na rede elétrica

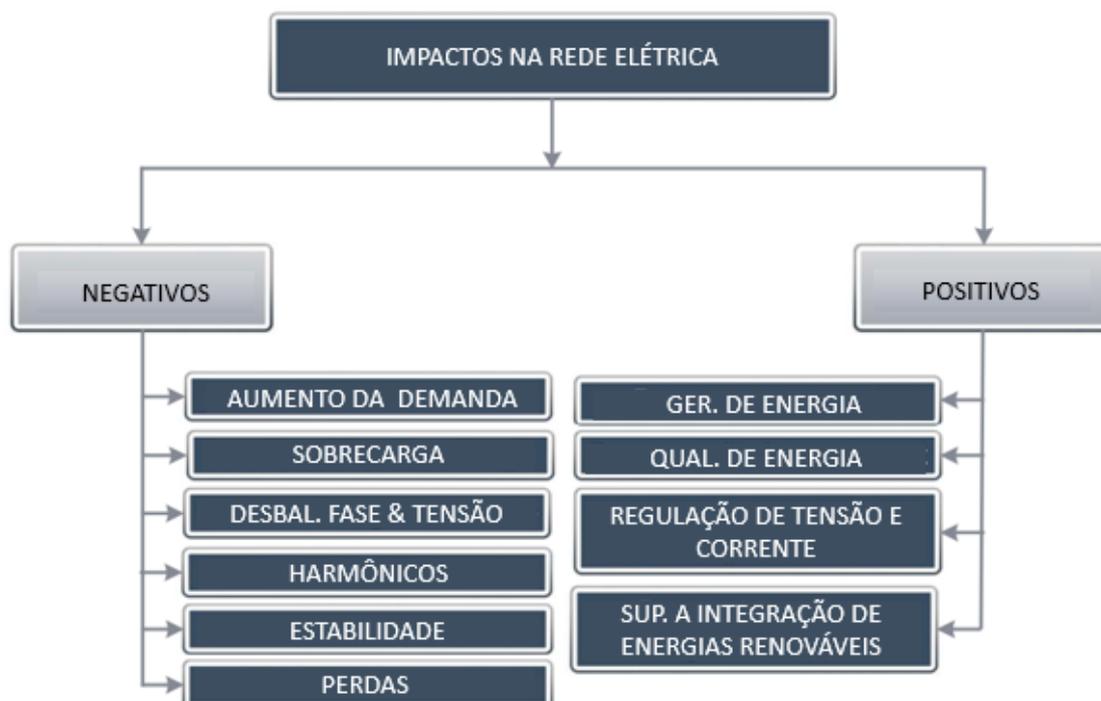
**Tabela 5 – Impactos Positivos na Rede Elétrica**

Impactos	Descrição
<b>Gerenciamento da Demanda</b>	Agendamento do horário de carregamento. Deslocamento de horário de carga, evitando os horários de pico.
<b>Qualidade de Energia</b>	Supressão de surtos; Redução de flutuação de tensão; Redução de variação de frequência; Redução de Harmônicos com o acionamento de carregadores por compensação reativa; Desbalanço de fases pelo equilíbrio do fluxo de potência.
<b>Regulação</b>	Regulação de tensão por fornecimento/ absorção potência reativa; Regulação de frequência.
<b>Suporte a fontes renováveis</b>	Atuação como elemento de armazenamento de energia, reduzindo as incertezas inerentes a geração eólica/fotovoltaica.

Fonte: Adaptado de Das et al 2019 e Habib et al. (2018)

A figura 9 condensa os impactos dos veículos elétricos na rede elétrica, expostos nas Tabelas 4 e 5.

**Figura 9– Classificação dos Impactos dos EV's na Rede Elétrica**



Fonte: Das et al (2019)

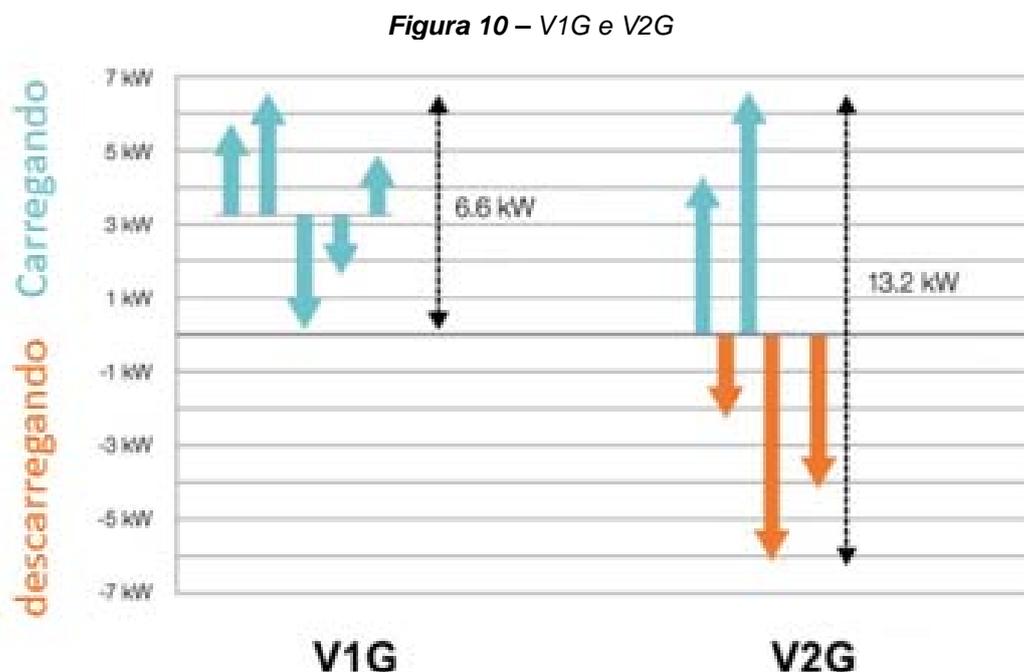
Para o aproveitamento dos impactos positivos dos EV's na rede elétrica como visto na Tabela 5, deve-se entender os conceitos de V1G e V2G.

**V1G – Smart Charging:** Também chamado de carregamento inteligente, neste conceito é possível controlar local e remotamente, com a devida conexão de dados, o nível de potência entregue ao veículo de acordo com a conveniência da rede elétrica. O fluxo de potência é unidirecional, sempre da rede elétrica para o veículo (Power Developers, 2020).

Na figura 10 é mostrada a atuação do V1G. O carregador, sempre absorvendo energia, varia a potência consumida de acordo com a conveniência da rede.

**V2G – Vehicle to Grid:** Além das características do carregamento inteligente, também possibilita o fluxo de potência bidirecional, permitindo assim a injeção de energia elétrica utilizando a bateria do veículo como um elemento armazenador de energia. Integrado ao V2G, tem-se o V2H (*Vehicle to Home*), V2B (*Vehicle to Building*) e V2L (*Vehicle to Load*), sendo respectivamente o uso da bateria do veículo para abastecimento de energia para residência, prédio e cargas específicas (Power Developers, 2020).

Na figura 10, também se vê a atuação do V2G. O carregador, tanto absorve energia como injeta energia na rede elétrica, de acordo com a conveniência da rede.



Fonte: Greenblatt et al, (2019)

O consórcio CharIn EV é composto por fabricantes de diversos segmentos relacionados ao veículo elétrico. Este consorcio propõe a evolução da integração das estações de carga com a rede elétrica, conforme mostrado na figura 11, unindo descrições das funções, características técnicas necessárias e datas estimadas para sua disponibilidade;

**Figura 11 – Evolução da Integração com a Rede Elétrica proposta pelo Consórcio CharIn EV**



Fonte: CharIn,2020

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

A estação de carga, por ser um elemento de interface entre a rede elétrica e o veículo elétrico, está sujeita a uma série de normas, tanto para a conexão com a rede elétrica quanto para com o veículo. A Tabela 6 mostra as principais normas para estrutura de carga (Das et al 2019, Habib 2018 et al).

**Tabela 6 – Normas de Carregamento e Interface de Carga**

NORMA	Aplicação
IEC61851	Aplica-se aos sistemas de carga condutiva para carregadores (conversores) embarcados e externos com tensões de alimentação até 1000VAC e 1500VDC.
IEC 61980	Aplica-se aos sistemas de carga sem fio, com tensão de alimentação até 1000VAC e 1500VDC. Também se aplica a sistemas sem fio com armazenamento de energia local.
IEC62196	Aplica-se aos conectores das estações de carga e aos receptores instalados nos veículos.
SAEJ2293	Aplica-se aos carregadores externos <i>off-board</i> . Esta norma é dividida em duas partes: J2293-1 trata sobre os requisitos de potência e arquitetura do sistema operando em três condições (condutivo AC, condutivo DC e carregamento indutivo), e J2293-2 trata os requisitos de comunicação e a arquitetura de rede para carregamento de EV's.
SAEJ1772	Aplica-se aos equipamentos de carga condutiva, estabelece os níveis de carregamento AC e DC.
SAEJ1773	Aplica-se aos sistemas de carga indutivos.
SAEJ2847 & SAEJ2836	Aplicam-se juntamente com a SAEJ1772, especificando os requisitos de comunicação entre o EV e a infraestrutura de cargas. A SAEJ2847 especifica os requisitos de comunicações e a SAEJ2836 define os casos de uso.
SAEJ2931	Aplica-se à comunicação digital entre EV, EVSE, Rede elétrica, serviços de gerenciamento da rede elétrica, infraestrutura de medição avançada, redes residenciais e públicas.

Fonte: Adaptado de Das et al 2019

Nos trabalhos *Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review* (Das et al 2019) e *Assessment of electric vehicles concerning impacts, charging infrastructure with unidirectional and bidirectional chargers, and power flow comparisons* (Habib et al. 2018), é feita uma extensa revisão geral, onde são apresentadas as normas de

carregamento, os níveis e modos de carga, a topologia de carregadores e os impactos do carregamento na rede elétrica.

O consumo de energia e o tempo necessário para o carregamento tornam o EV um elemento crítico. O deslocamento de carga (*loadshift*) consiste em permitir o processo de carga para os horários de baixa demanda para evitar o agravamento dos picos de consumo. É apontado como uma solução para uma operação segura da rede e de seus componentes (Qiyun ,2018).

As Técnicas de coordenação de carregamento, integração com fontes fotovoltaicas, eólicas e elementos de armazenamentos de energia elétrica apresentam, em simulações computacionais, reduções de até 96% nos picos de consumo de energia (Mahmud et al, 2018).

A Integração do gerenciamento da rede elétrica, das fontes geradoras, do sistema de transporte, sistemas térmicos, gás e redes de comunicação é apresentada como o conceito de Internet da Energia - *Internet Energy* ou *Internet of Energy*, onde o veículo elétrico tem um papel crucial pois este une em um único elemento, transporte, armazenamento de energia e rede elétrica (Das et al, 2019).

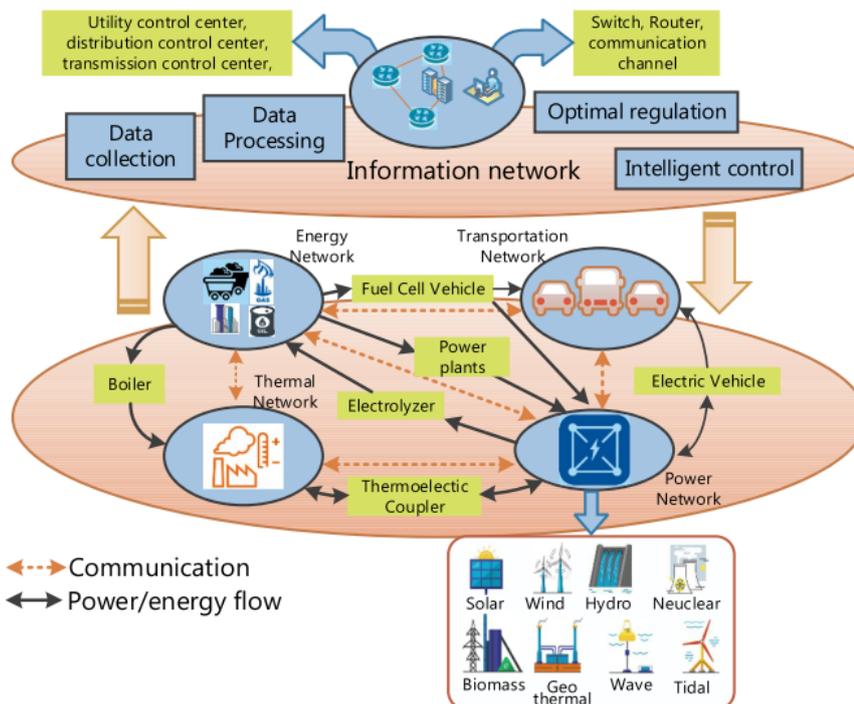
Estações de carga com capacidade V1G e V2G, participam neste cenário como elementos, permitindo o gerenciamento do processo de carga do EV.

A figura 12 mostra em digrama de camadas a estrutura da Internet da Energia. A operação das estruturas computacionais, aquisição e processamento de dados, algoritmos de análise, otimização e recuperação da rede operam em nível superior.

No nível intermediário estão as cargas, elementos de aquisição de dados, atuadores e monitores do sistema de potência, os veículos elétricos e estações de carga.

No nível base estão as fontes geradoras de energia elétrica, integradas e gerenciadas pelo nível superior com os dados da camada intermediária.

**Figura 12 – Estrutura da Internet da Energia**



Fonte: Das et al, 2019

Neste trabalho, o gerenciamento V1G de uma estação nível 2 (240V, 16A) é proposto utilizando a forma mais simples do controle de carregamento, seguindo as normas SAE J1772 e IEC 61851. Através de um sinal PWM (Modulação por largura de pulso, em inglês: *Pulse Width Modulation*) de controle pode-se limitar o consumo de corrente durante o processo de carga, conforme disposto nas normas citadas. A medição de energia é feita através de uma solução integrada, permitindo a medição do real consumo do veículo durante o processo de carregamento.

Uma solução similar é apresentada em *A Method for Remote Control of EV Charging by Modifying IEC61851 Compliant EVSE Based PWM Signal* (Pendersen et al, 2015), adicionando um elemento entre a estação de carga e o EV, para alteração da largura de pulso do sinal PWM de controle modificando os valores máximos de corrente disponíveis para a carga, mas não utiliza a solução de medição de energia.

No trabalho *Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview* (Sharma, Saini 2015) mostram alguns circuitos integrados para medição de energia utilizadas em medidores inteligentes que apresentam erros

de medição inferiores a 0,1%. Os dados referentes a estes circuitos integrados são mostrados na Tabela 7

**Tabela 7** – Características dos circuitos integrados para medição de energia

Código	Padrão de Medição	Precisão Wh	Range Dinâmico	Tensão de Alimentação	Interface	Recurso de Segurança	$\Delta \Sigma$ curso
ADE7755	IEC60687, IEC61036	<0.1	500:1	2.5	LFLO	-	16
ADE7753	IEC60687, EC61036, IEC61268, IEC62053-2x	<0.1	1000:1	2.4	SPI	-	16
MSP430FE4A	-	<0.1	2400:1	2.7–3.6	UART, SPI	-	16
ASM221	IEC62053-21, IEC62053-22, IEC62053-23, ANSI C12.1, ANSI C12.20	<0.1	10000:1	1.8–3.6	SPI, I <sup>2</sup> C, UART	✓	64
MSP430F676	ANSI C12.20, IEC62053	<0.1	5000:1	1.8–3.6	UART, SPI, I2C	✓	24
PS2100	IEC62053-22, ANSI C12.20	<0.1	2000:1	3.0	UART, SPI, I2C	✓	10
ADE7751	IEC60687, IEC61036	<0.1	500:1	2.5	LFLO	-	16
ADE7757	IEC61036, IEC521	<0.1	500:1	2.5	LFLO	-	16

Fonte: Adaptado de Sharma e Saini, 2015

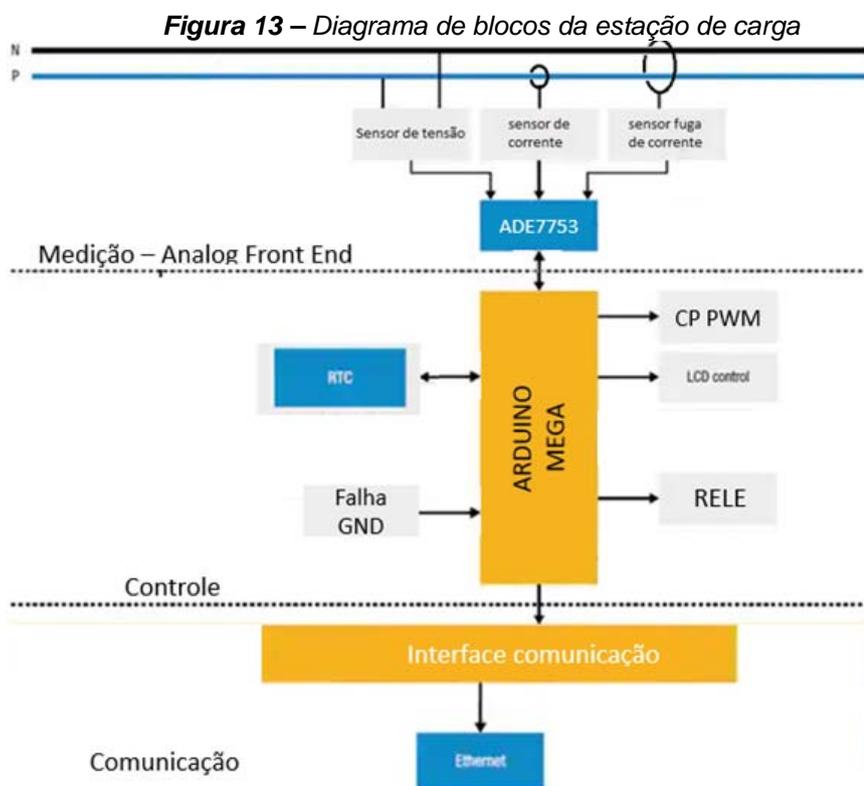
**Tabela 7 – Características dos circuitos integrados para medição de energia – continuação**

Código	Padrão de Medição	Precisão Wh	Range Dinâmico	Tensão de Alimentação	Interface	Recurso de Segurança	$\Delta\Sigma$ ADC(bit)
MAX71617	MID/WELMEC	<0.1	5000:1	2.7–3.6	I <sup>2</sup> C, UART,SPI, ISO UART	✓	32
ADE7953	EN50470-x, IEC62053-2x	(a) <0.1 (b) <0.2	(a) 3000:1 (b) 1000:1	3.3	UART, SPI,I <sup>2</sup> C	✓	16
78M6613	IEC 62053, ANSI C12.20	<0.5	2000:1	3.3	UART	✓	22
CS5464	IEC/ANSI/JIS	<0.1	1000:1	2.5	SPI	✓	16
PL3201	IEC60687, IEC61036, IEC61268, IEC62053-2x	<0.1	1000:1	5.0	UART	-	16
MCP3905A	IEC62053, IEC61036, IEC60687	<0.1	500:1	2.4	LFLO	-	16
ADE7761	IEC60687, IEC61036	<0.1	500:1	2.5	LFLO	-	24
STPM32	EN50470-x, IEC62053-2x, ANSIC12.2x	<0.1	5000:1	3.3	UART, SPI	-	24
ATM90E26	IEC62052-11, IEC62053-21, IEC62053-23	<0.1	5000:1	2.8–3.6	SPI, UART	-	32

F Fonte: Adaptado de Sharma e Saini, 2015

## 4 MÉTODOS E MATERIAIS

Uma característica essencial de uma estação de carga, seja ela AC ou DC, é a capacidade de medição de energia elétrica consumida. Com base nesta afirmação, a estação de carga proposta é construída com base em um microcontrolador de uso bastante difundido para aplicação dos sinais de controle necessários para o processo de carga, um processador exclusivo para o cálculo de energia e uma interface de comunicação. Todos estes elementos, são componentes com aplicação consolidada e, sendo assim, há uma grande disponibilidade de informações que auxiliam sua aplicação. A Figura 13 apresenta o diagrama blocos dos elementos que constituem a estação de carga. Esta topologia tem como base, a necessidade de processamento para o cálculo de energia. Um microcontrolador de 8 bits como o Arduino MEGA 2560 possui uma série de canais de conversão digital-analógico, mas estes canais são multiplexados. Com isso, a amostragem de corrente e tensão ocorre em instantes diferentes, nesse caso a amostragem impõe erro de defasagem entre os sinais digitalizados.



Fonte: do Autor, 2020

#### 4.1 Medição de energia

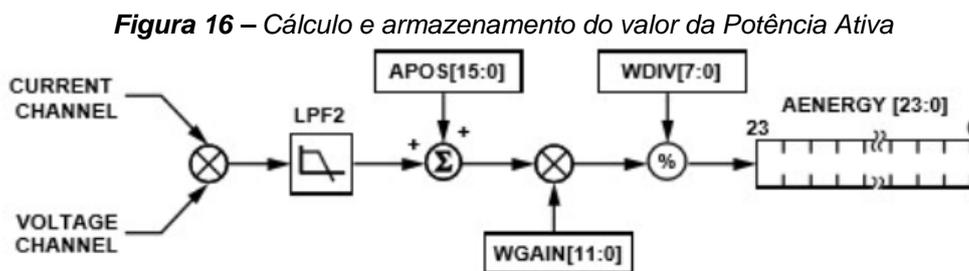
O componente ADE7753 integra 2 conversores A/D Sigma-Delta de segunda ordem de 16 bits e um núcleo de processamento para o cálculo dos valores de tensão e corrente eficazes, potência ativa, reativa, aparente e frequência. A opção por este circuito integrado tem por base a redução da necessidade de processamento central. Para isso, o ADE7753 possui a interface de condicionamento, amostragem, conversão analógico-digital (AFE – *Analog Front End*) e cálculo das grandezas elétricas necessárias para medição de energia. Fica a cargo do processamento gerenciar os sinais de controle, os valores medidos que são transferidos pela interface Serial SPI (*Serial Peripheral Interface*) (Lemos, 2017). Este componente atende as normas de medição IEC 60687/61036/61268 e IEC 62053-21/62053-22/62053-23, possui erro inferior a 0.1 na medição de energia ativa com um range dinâmico de 1000:1, como também compensação da defasagem causada por transformadores de corrente e tensão. (Analog Devices, 2015).

A Figura 14 mostra o diagrama interno do ADE7753, apresentando os dois canais para amostragem dos sinais de tensão e corrente, desta forma os sinais são amostrados no mesmo instante, eliminando o problema da aquisição defasada dos sinais de tensão e corrente. Em adição a isto cada canal possui um conversor AD de 16bits, possibilitando uma resolução maior em relação ao conversor AD de 10bits do Arduino.

O canal 1 do ADE7753 utilizado para medição de corrente pode ser conectado a sensores resistivos (*Shunt*), transformadores de corrente (TC) e bobinas de Rogowsk. O canal 2 utilizado para a medição de tensão, pode ser conectado a transformadores de potencial (TP), divisores resistivos e amplificadores de isolamento. Neste projeto, o canal 1 é conectado a um transformador de corrente e o canal 2 é ligado a um divisor resistivo associado a um amplificador de isolamento.



Com os valores instantâneos de corrente e tensão, pode-se calcular a potência ativa. No caso do ADE7753, este valor é integrado e armazenado no registrador AENERGY, com um período de amostragem de 1,1us; conforme ilustrado na figura 16. Os registradores WGAIN e WDIV são utilizados no processo de calibração do medidor (Lemos, 2017).



Fonte: Analog Devices, 2015

Os valores de potência ativa também são calculados pelo ADE7753. Para tal, os valores médios de tensão e corrente são armazenados no registrador AENERGY, em 24 bits, com amostragem de 1,1us.

## 4.2 Processamento

O processamento é realizado pelo ATMEGA2560 da Atmel Corporation. Esse microcontrolador é responsável pelo controle dos relês principais da rede AC, monitora falhas de aterramento através do circuito GFI – *Ground failure indicator*, cria o sinal PWM de controle (1kHz) com os níveis de tensão mostrados na Tabela 8, largura de pulso mostrados na Tabela 9 e concentra os dados de energia medidos pelo ADE7753, transmitidos pela interface de comunicação padrão SPI.

O *firmware* embarcado no microcontrolador é programado através da plataforma de desenvolvimento *open source* Arduino, como mostrado na figura 17, que utiliza linguagem de programação C/C++.

**Figura 17 – Kit de desenvolvimento Arduino – ATmega 2560**



Fonte: Arduino, 2020

**Tabela 8 – Estados de Carga para Níveis de Tensão no Sinal Piloto**

Estado	Piloto High	Piloto Low	Frequência	EV Resistance	Fases
A	+12V	N/A	DC (0Hz)	N/A	Sem Conexão
B	+9V	-12V	1 kHz	2k74 $\Omega$	EV conectado
C	+6V	-12V	1 kHz	882 $\Omega$	EV em Carga
D	+3V	-12V	1 kHz	246 $\Omega$	EV em Carga Ventilação Requerida
E	0V	0V	N/A		Erro
F	N/A	-12V	N/A		Erro

Fonte: adaptado de OPENEVSE, 2019

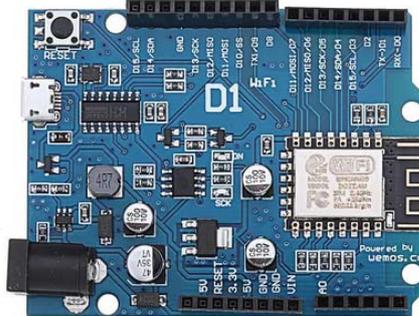
**Tabela 9 – Tabela dos Estados Identificados pelo Sinal PWM**

Corrente (A)	Duty Cycle	Corrente (A)	Duty Cycle
6	10%	40	66%
12	20%	48	80%
18	30%	65	90%
24	40%	75	94%
30	50%	80	96%

Fonte: adaptado de OPENEVSE, 2019

### 4.3 Módulos de Comunicação

#### Wifi

**Figura 18 – Kit de WiFi ESP8266**

Fonte: Arduino, 2020

O ESP8266 é uma solução integrada de rádio frequência (RF) para WiFi

#### Características

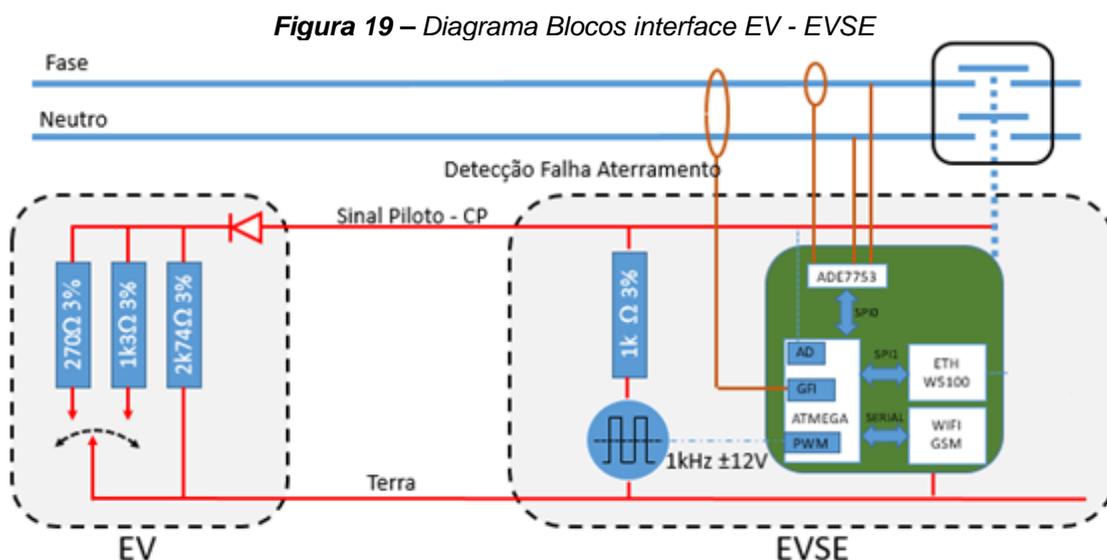
- Potência máxima de transmissão: +20dBm.
- Sensibilidade: -91dBm (11Mbps).
- Faixa de operação: 2,412 e 2,484 MHz.
- Protocolos de segurança:
  - WPA(Wi-Fi Protected Access)/WPA e
  - Criptografia WEP/TKIP e AES.

O ESP8266 pode ser utilizado como hospedeiro (*host*) de aplicações ou descarregando (*adapter*) funções de rede de outro aplicativo.

#### 4.4 Estação de carga

A estação de carga faz o controle de carga produzindo um sinal PWM 1kHz, conforme IEC 61851e SAE J1772. Este sinal PWM é chamado sinal piloto, que informa ao EV a corrente máxima que a estação pode fornecer. Os estados do processo de carga são codificados no sinal de controle PWM (CP - *Control Pilot*, sinal Piloto) na sua amplitude e largura de pulso. Os detalhes são mostrados nas Tabelas 7 e 8.

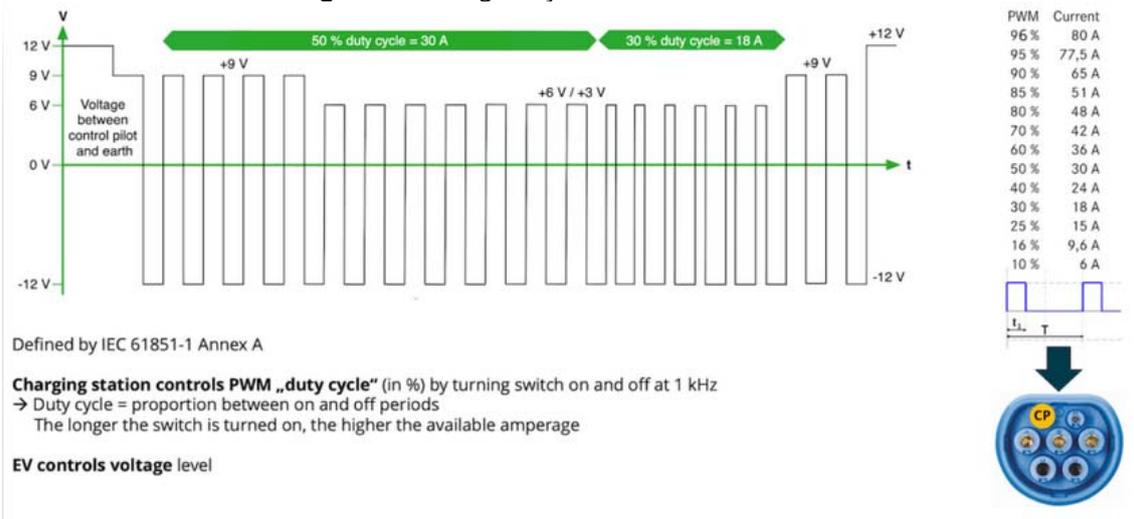
A figura 19 detalha a conexão do sinal piloto com a interface de controle do EV.



Fonte: adaptado de Pedersen et al, 2015

Na figura 20 é mostrado o comportamento do sinal piloto, a variação de amplitude para controle do processo de carga e a largura dos pulsos limitando o valor de corrente elétrica consumida pelo EV.

**Figura 20 – Negociação IEC61851 EV - EVSE**



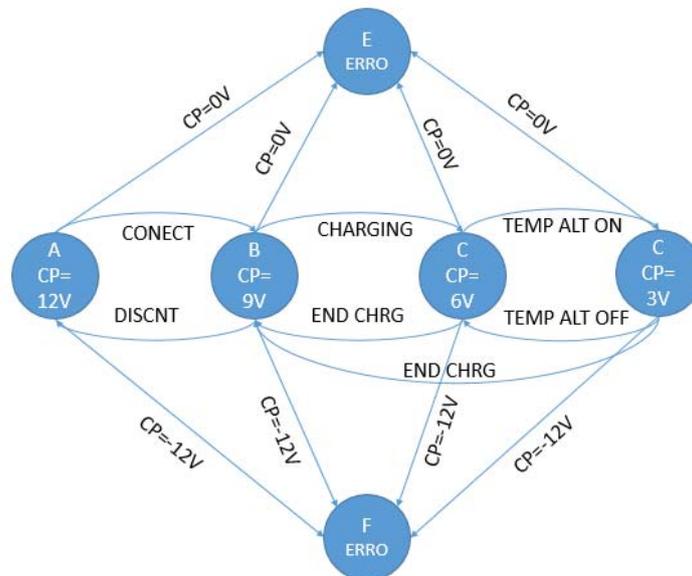
Fonte: V2G-clariry, 2019

## 4.5 TESTES E ENSAIOS

### Interface de controle PWM

A máquina de estado da figura 21 descreve os estados de operação para a execução da carga do EV.

**Figura 21– Estados do processo de carga estabelecidos na SAE J1772**



Fonte: Autor, 2020

Estado A – Estação pronta sem uso

Estado B – Estação conectada ao veículo

Estado C – Estação em uso

Estado D – Estação em uso, alerta de temperatura do EV

Estado E – Sinal CP em 0V – Erro

Estado F – Sinal CP em -12V – Erro

O EV é simulado com as impedâncias mostradas na figura 19. Utilizando um sinal serial os valores de *Duty-Cycle* devem ser alterados conforme mostrado na figura 20.

### **Circuito de Medição**

A medição de potência é realizada através do circuito integrado ADE7753 conectado a uma carga de referência para o ajuste dos valores medidos. Com estes dados é feito o ajuste de calibração do ADE7753 através dos registradores dos seus registradores de calibração.

## 5 RESULTADOS

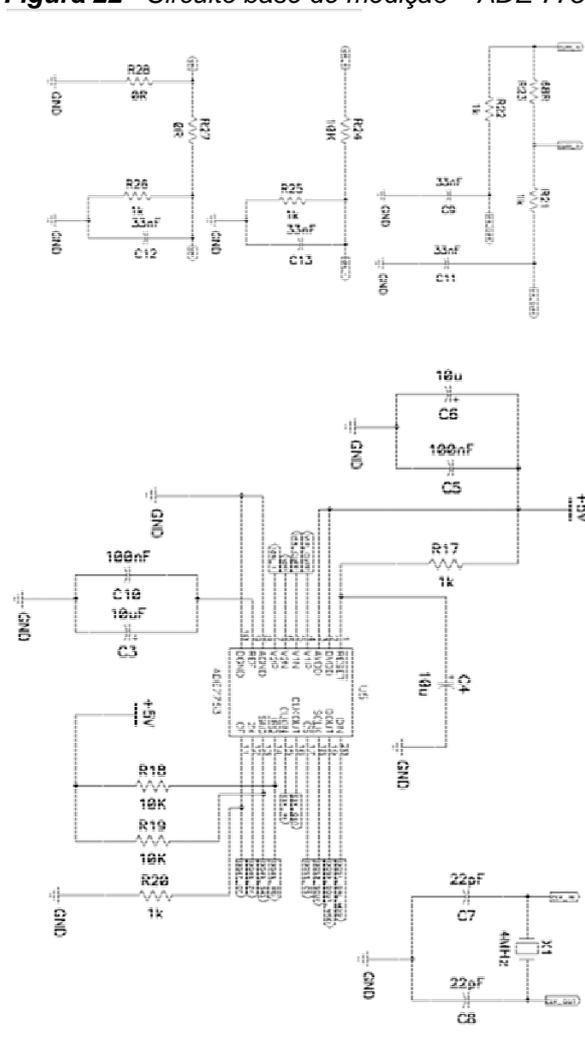
Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos divididos em três partes: *Hardware, Software, Interface Web*.

### 5.1 HARDWARE

O diagrama elétrico, desenvolvido com o uso do *software* PCAD 2001, utilizado no projeto da estação de carga proposta é mostrado nas figuras 22, 23.

A figura 22 ilustra a o circuito de medição construído com o ADE7753, os resistores R21, R22, R23 que fazem a conversão do sinal de corrente em tensão e os resistores R24 e R25 que compõe o divisor resistivo para o condicionamento do sinal de tensão.

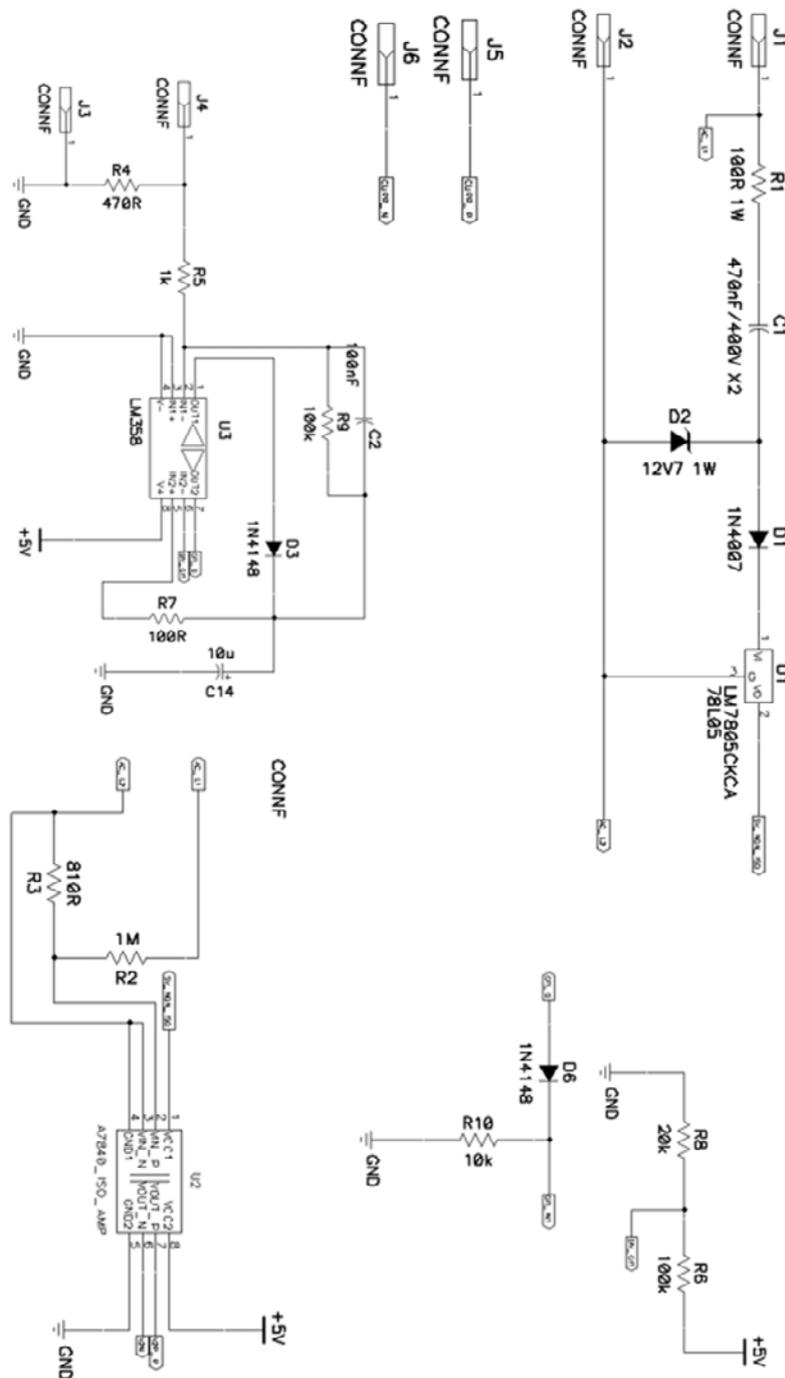
**Figura 22**– Circuito base de medição – ADE 7753



Fonte: do Autor, 2020

O sistema de detecção de falha de aterramento foi construído conforme o circuito ilustrado na figura 23.

Figura 23 – Circuito de detecção de falha de aterramento e acoplamento ótico.



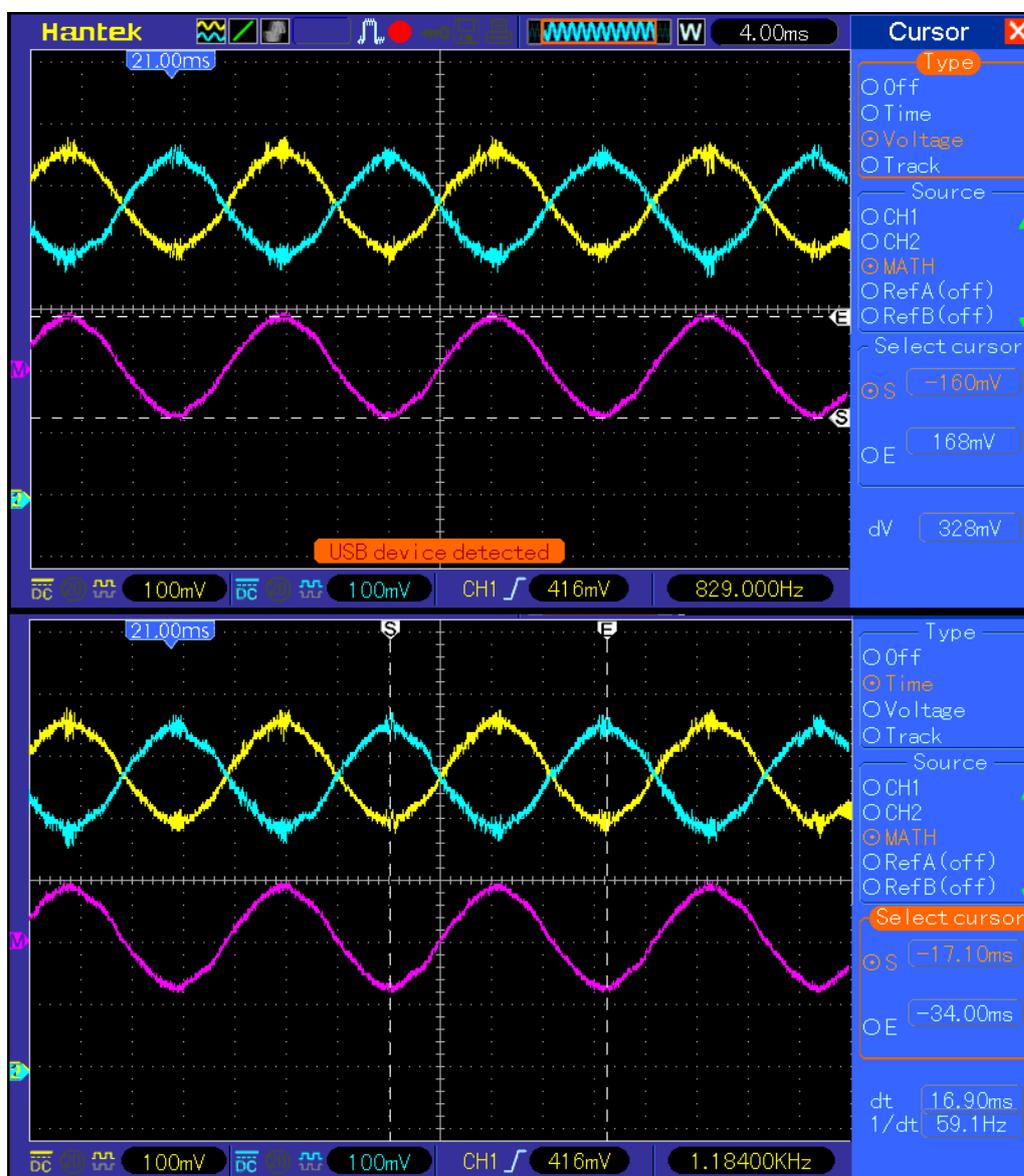
Fonte: do Autor, 2020

O detector de falha de aterramento mede a diferença de corrente entre os condutores da rede e sendo composto por amplificador operacional LM358 (U3) montado em topologia de filtro integrador. Quando a diferença no valor de corrente entre os condutores se torna maior que 20mA o sinal *Fault* vai para nível

lógico 1, que sinaliza a necessidade de interromper a alimentação do EV desativando os relês da rede AC.

O amplificador de isolamento A7840 (U2 na figura 23) cria a interface isolada, através de um acoplamento ótico entre a rede elétrica e a entrada de tensão do ADE7753. A figura 24 mostra o sinal de saída do A7840, nas curvas amarela e azul. É notado que ambos os sinais apresentam uma componente AC somada a um nível DC, com uma defasagem de  $180^\circ$  entre eles. O sinal resultante é mostrado na curva rosa, onde o nível DC é eliminado resultando no sinal AC presente na rede elétrica.

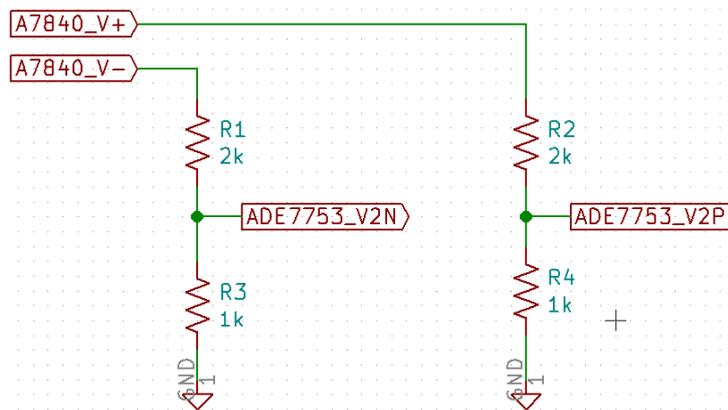
Figura 24 – Sinal de saída do amplificador de isolamento



Fonte: do Autor, 2020

Os sinais apresentados na figura 24 são medidos nos pontos ADE7753\_V2N e ADE7753\_V2P, ilustrados na figura 25. O sinal de tensão é ajustado pelo divisor resistivo para os valores limite especificados pelo fabricante do ADE7753 (+/- 0.5V).

**Figura 25** – Divisor resistivo para condicionamento do sinal de tensão



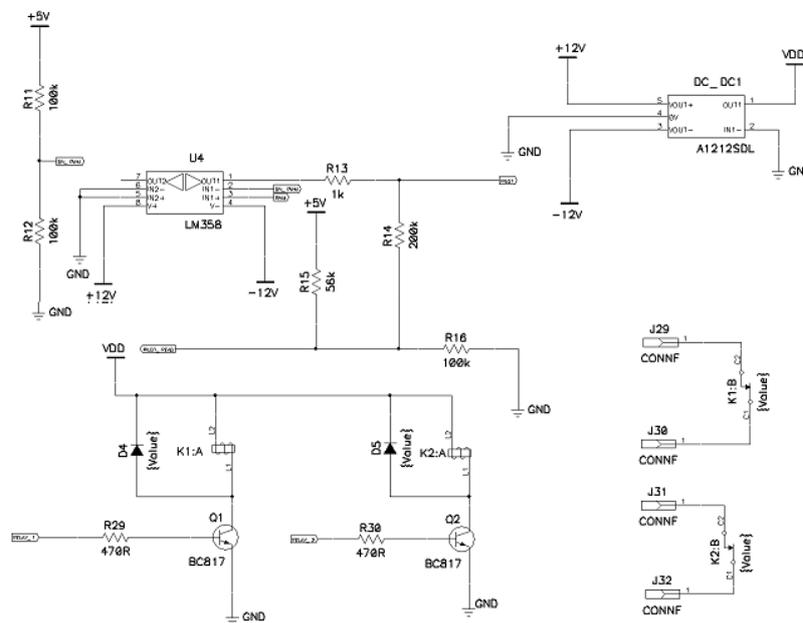
Fonte: do Autor, 2020

A figura 26 mostra o circuito de conversão do sinal PWM 0-5V gerado pelo ATmega 2560 em um sinal +/-12V (estabelecido pela J1772) e a interface de amostragem do sinal PWM para a leitura no ATmega. O amplificador operacional LM358 (U4), montado em topologia de comparador de tensão, PWM do ATmega 2560 executando a conversão de amplitude de 0-5V para +/-12V (estabelecido pela J1772). A rede resistiva composta pelos resistores R14, R15 e R16 é ligada ao sinal de saída servindo como realimentação para o ATmega 2560 para detecção do sinal PWM (sinal piloto).

A geração da alimentação do sinal -12V é feita pelo conversor DCDC A1212SDL, a partir da alimentação +12V.

Os transistores Q1 e Q2 são responsáveis pelo acionamento dos relês de controle de acionamento AC.

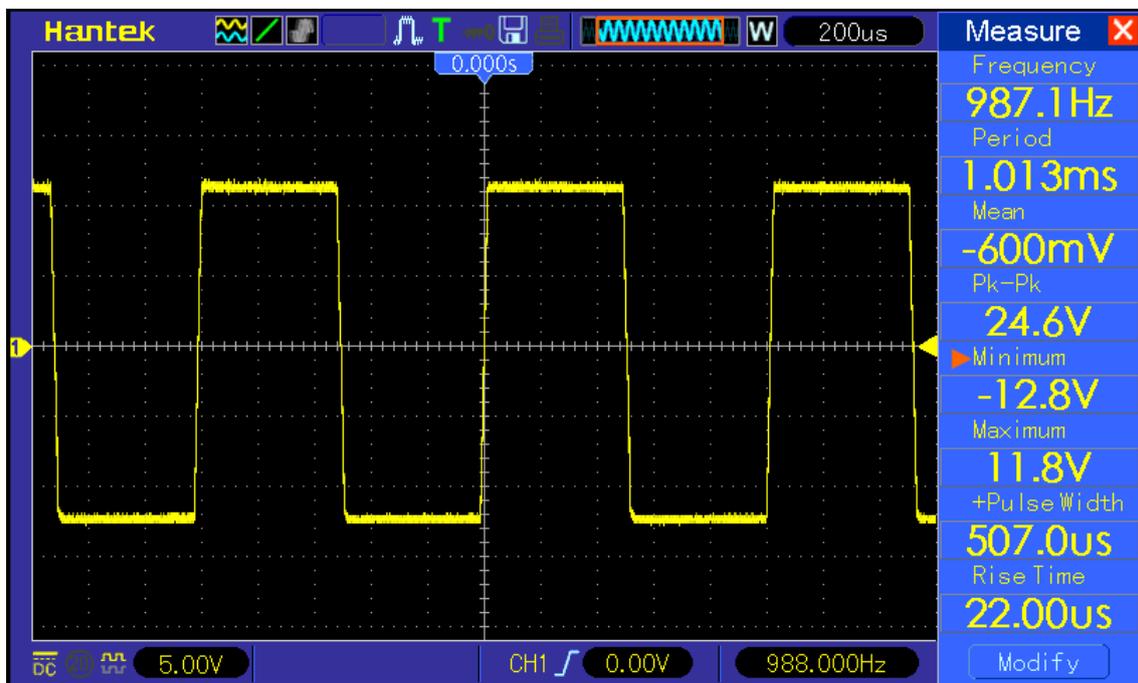
**Figura 26** – Circuito de conversão do sinal PWM 0-5V para +/-12V.



Fonte: do Autor, 2020

O sinal piloto gerado pelo Arduino é mostrado na figura 27.

**Figura 27** – Sinal PWM Piloto gerado pelo conjunto Arduino e conversor DCDC



Fonte: do Autor, 2020

A frequência de 987,1 Hz atende o parâmetro especificado pela SAEJ1772, por outro lado os valores de -12,8V de valor mínimo e 22us de tempo de subida não atendem os valores da mesma norma. Este comportamento deve-se ao desbalanço (*offset*) e limites de resposta do amplificador operacional LM358. Este comportamento é resolvido substituindo o LM358 pelo operacional TLV1805, que apresenta um tempo de subida de 300ns e um valor de *offset* menor.

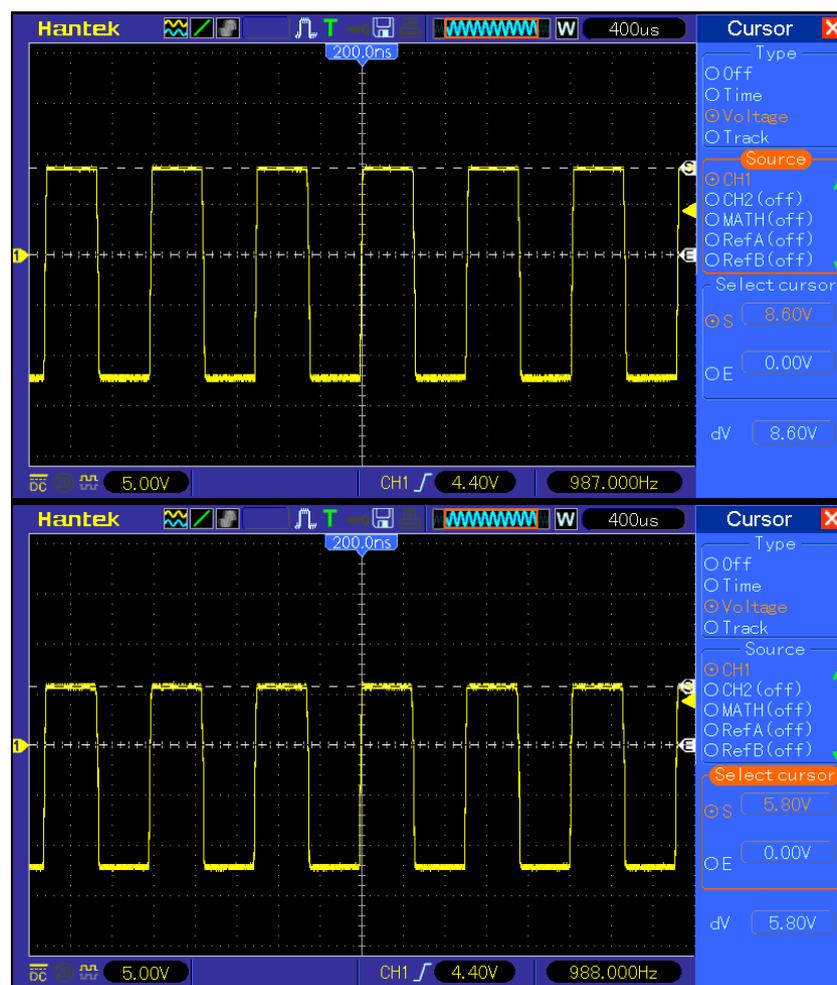
Este sinal mostra o Estado B descrito na seção 4.5, quando o veículo é conectado a estação de carga.

A Figura 28 mostra o Estado C, quando se inicia o processo de carga do veículo.

Os estados A, B, C foram simulados com o circuito mostrado na figura 29.

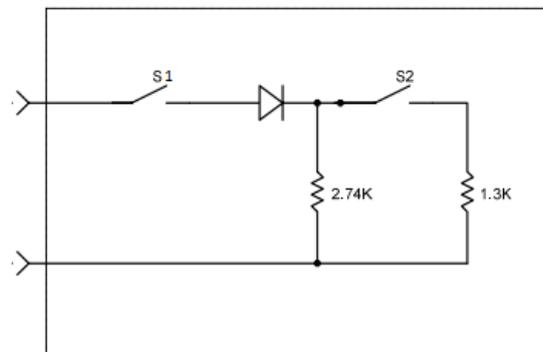
Os estados D e E foram simulados aplicando-se um curto circuito após o diodo como mostrado na figura 29.

**Figura 28** – Alteração de amplitude nos estados B e C



Fonte: do Autor, 2020

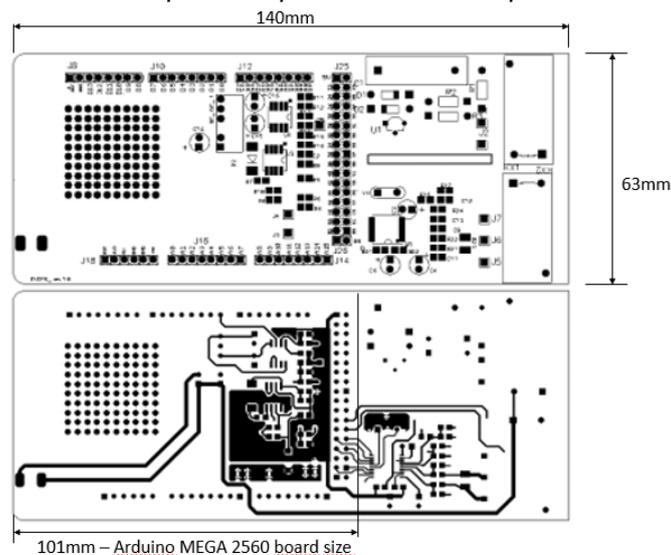
**Figura 29** – Simulador de Estados



Fonte: Adaptado de SAE J1772. 2010

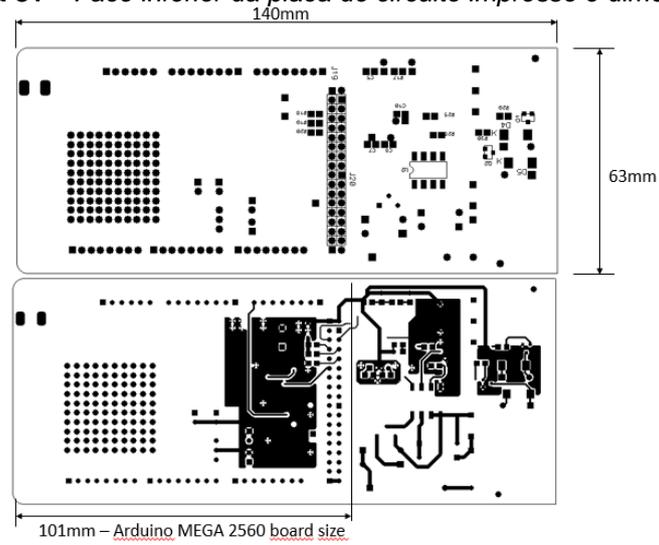
Uma placa de circuito impresso foi desenvolvida no formato *shield* para permitir a conexão direta com o kit Arduino, facilitando o seu uso para o desenvolvimento de aplicações de estação de carga. A placa tem por dimensões 140mm de comprimento e 63 mm de largura, cobrindo assim a placa do Arduino MEGA 2560, deixando acessíveis os *ports* do microcontrolador para expansão de funções e posicionando os relês e interface com rede elétrica na extrema direita da placa assim afastados dos componentes lógicos do Arduino. As figuras 31 e 32 mostram as faces superior e inferior da placa de circuito impresso, desenvolvidos com o *software* PCAD 2001.

**Figura 30** – Face superior da placa de circuito impresso e dimensões.



Fonte: do Autor, 2020

**Figura 31** – Face inferior da placa de circuito impresso e dimensões.



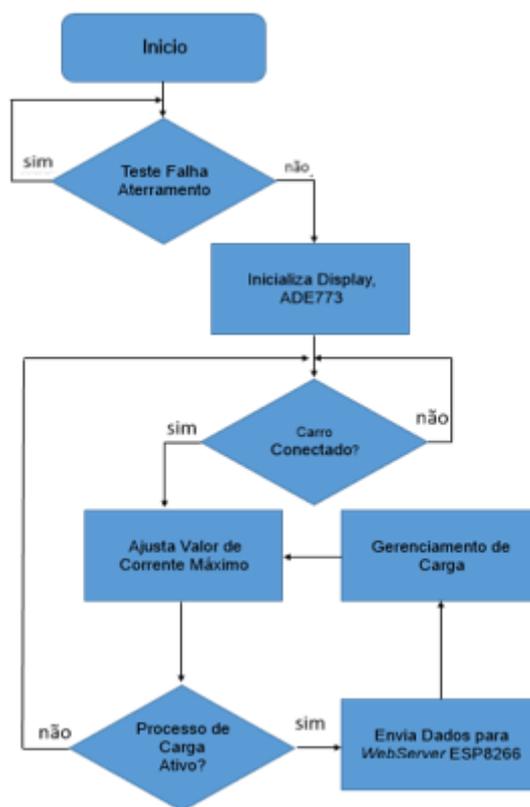
Fonte: do Autor, 2020

## 5.2 SOFTWARE

O software necessário para realizar o controle de carregamento de veículos elétricos foi desenvolvido com o uso do ambiente integrado de desenvolvimento do Arduino. Este ambiente também foi utilizado para o desenvolvimento do código para o Webserver no Kit ESP8266.

Na figura 32, o fluxograma do *software* é mostrado.

**Figura 32** – Fluxograma de operação do software.

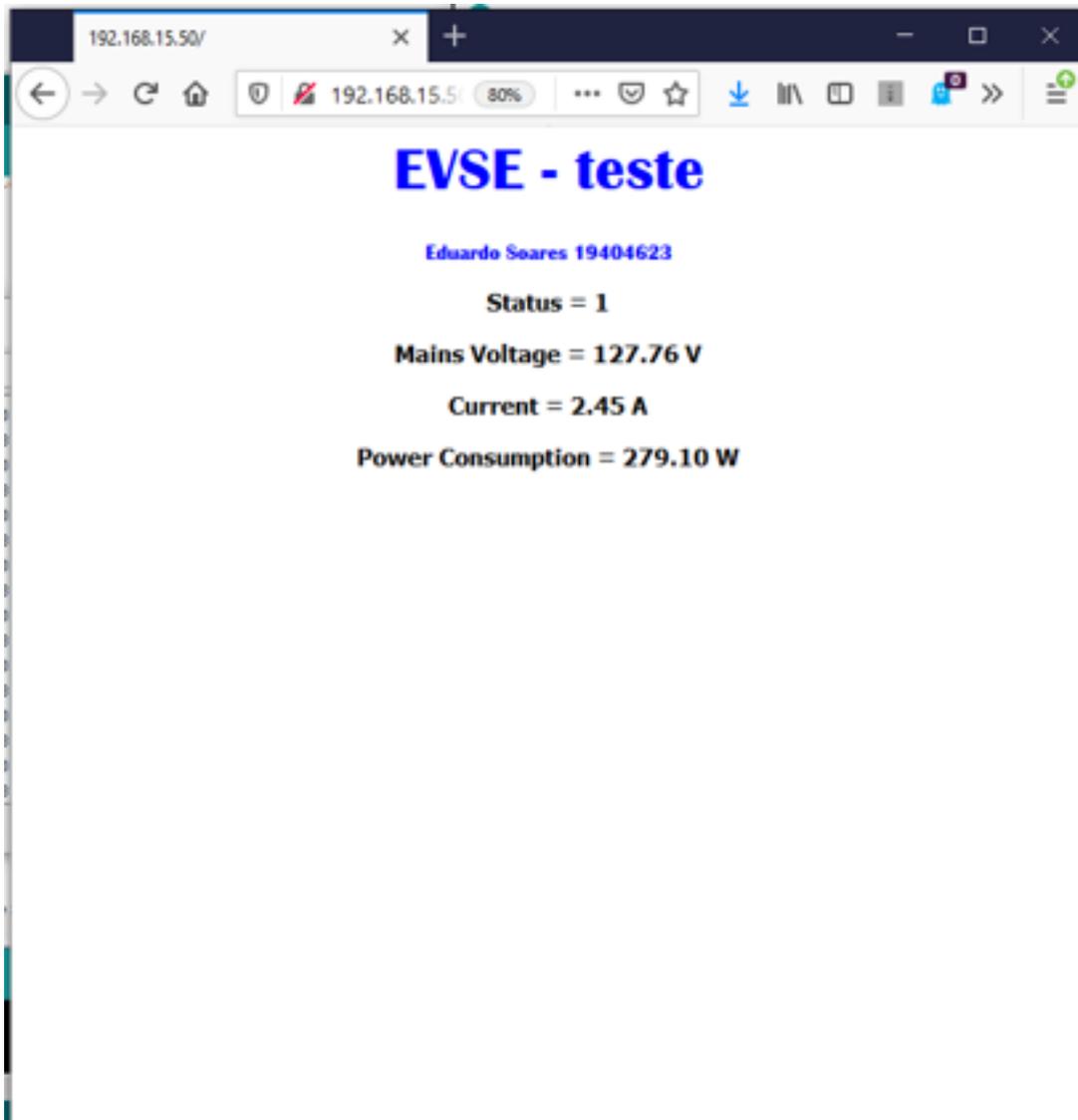


*Fonte: do Autor, 2020*

Após a inicialização, o microcontrolador executa a verificação inicial de falha de aterramento. Em caso de falhar a inicialização permanece bloqueada até que esta falha seja corrigida. Em seguida, o sinal piloto é monitorado para a detecção de conexão de veículo. No momento em que o veículo (simulado com as cargas da figura 29) é conectado ao EVSE, inicia-se a medição de tensão, corrente e potência consumida pelo EV.

Os dados medidos pelo ADE7753 são enviados ao ESP8266. O ESP apresenta os dados pela interface WEB ilustrada na figura 33. Permitindo tanto o monitoramento quanto o controle da EVSE.

*Figura 33 – Interface Web*



*Fonte: do Autor, 2020*

## Interface de controle PWM

A Tabela 10 apresenta o custo de componentes para a construção da placa de controle da estação de carga na versão 1.

**Tabela 10 – Preço dos Componentes para Montagem da Placa**

Componente	Descrição	Quantidade	Preço (US\$)	Fonte
Arduino Mega 2560	Kit processador	1	38,50	mouser.com.br
ADE7753	Cl. Medição de energia	1	4,40	Mercadolivre.com.br
SCT-031	Trafo. Corrente	1	7,90	mouser.com.br
A7840	Isolador Optico	1	7,76	mouser.com.br
G5J-1-TP-16A	Rele 16A	2	2,26	Mercadolivre.com.br
LM358	Amp. Op	2	0,37	mouser.com.br
Cristal 4MHz	Oscilador	1	0,45	mouser.com.br
A1212SDL	Conv. DCDC	1	8,05	mouser.com.br
LM78L05	Reg. Tensão 5V	1	0,42	mouser.com.br
Jack P2	Conector	1	0,68	mouser.com.br
Capacitor 470nF X2	Capacitor Poliester	1	1,70	mouser.com.br
Capacitor 10uF 25V	Capacitor eletrolítico	4	0,21	mouser.com.br
Capacitor 470uF 25V	Capacitor eletrolítico	1	0,21	mouser.com.br
Capacitor 100nF 25V	Capacitor eletrolítico	5	1,70	mouser.com.br
BC337	Transistor Bipolar	2	0,26	mouser.com.br
Resistor 100kΩ	Resistor 1/8W	3	0,21	mouser.com.br
Resistor 10kΩ	Resistor 1/8W	6	0,21	mouser.com.br
Resistor 1kΩ	Resistor 1/8W	4	0,21	mouser.com.br
Resistor 100Ω	Resistor 1/8W	4	0,21	mouser.com.br
Resistor 100W 2Ω	Resistor 2W	2	0,38	mouser.com.br
Resistor 68Ω	Resistor 1% 1/2W	1	0,21	mouser.com.br
Fonte 12V 2A	-	1	4,40	Mercadolivre.com.br
Placa de circuito Impresso	-	1	10,00	mouser.com.br
ESP8266 – Expressif	Kit Wifi	1	8,50	mouser.com.br
<b>Total</b>			<b>112,63</b>	

Fonte: do Autor, 2020

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Por meio de recursos de plataformas *open source* é possível desenvolver uma estação de carga para veículos elétricos, implementando as funções básicas de medição com um circuito integrado especializado em medição de energia elétrica capaz de fornecer a precisão necessária e as interfaces de controle e comunicação com microcontrolador de baixo custo. Com a interface de comunicação o controle remoto pode ser executado de forma a controlar o processo de carga tornando-o mais eficiente de acordo com o estado da rede.

A estação proposta neste trabalho foi desenvolvida com o formato de um *Shield* permitindo o desenvolvimento de outras funções, como a leitura de cartão de identificação, teclado e outras interfaces de comunicação

O custo desta implementação é 12% maior do que o preço proposto pela placa referência comercializada pela [www.openevse.com](http://www.openevse.com) com a adição das funções de comunicação e circuito de medição com precisão para cobrança de energia.

### 6.1 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS:

Como sugestões para trabalhos futuros, incluem-se:

- Implementação do protocolo OCPP 1.6 para integração em sistemas de gerenciamento já em utilização; e
- Implementação dos controles da SAEJ1772 em microcontroladores de menor capacidade associados ao ESP 8266 ou ESP32.

## 7 BIBLIOGRAFIA

**Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores** Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2020. **ANFAVEA**, São Paulo, 2020.

FGV Fundação Getulio Vargas Carros Elétricos [Relatório] / **FGV Energia** ; FGV, Fundação Getulio Vargas. - Rio de Janeiro.FGV, 2017. - p. 112.

International Energy Agency Global EV Outlook 2019. **IEA**, 2019.

Diaz, Sherly M.C.V. **Analysis of the Vehicle-to-grid technology: European case study review.** - Milão : [897567], 2019.Dissertação de Mestrado apresentada a Politecnico Di Milano School of Industrial and Information Engineering.

Honghu, Cheng **Charging stations for electric Vehicle in Europe, Japan, China and USA** - Milão : [814048], 2016. Dissertação de Mestrado apresentada a Politecnico Di Milano School of Industrial and Information Engineering

Gaurav Dwaramakk, Manimaran Harinarayanan **Impact of EV Charging Station on the Electric Distribution** : [814767] 2016. Dissertação de Mestrado apresentada a Politecnico Di Milano School of Industrial and Information Engineering

Tahir, Moez. **Electric vehicles and vehicle-to-grid technology.** - Narvik : [mta027], 2017. Dissertação de Mestrado apresentada a The Arctic University of Norway - Electrical Engineering of UiT.

Lemos, Ivan Pedrotti. **MEDIDOR DE ENERGIA PARA AVALIAÇÃO DA ADESÃO À TARIFA BRANCA EM SMART GRIDS.** - Campinas : [s.n], 2017. - Dissertação de Mestrado apresentada a Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Habib Salman, Khan Muhammad Mansoor, Abbas Faruhk, Sang Lei, Shahid Muhammad Umair e Tang Houjun **A Comprehensive Study of Implemented International Standards, Technical Challenges, Impacts and Prospects for Electric Vehicles** [Periódico] // IEEE Access - [s.l.] : IEEE, 15 de Março de 2018. : Vol. 6. - pp. 13866 - 13890. - 2169-3536

Fachrizal Reza, Shepero Mahmoud, Meer Dennis van der, Munkhammar Joakim, Widén Joakin **Smart charging of electrical of electric vehicles considering photovoltaic power production and electricity consumption: A review** [Periódico] // eTransportation - [s.l.] : Elsevier, 19 de Março de 2020.

Guo Chunlin, Zhu Kejia, Chen Chenchen, Xiao Xiangning **Characteristics and effect laws of the large-scale electric Vehicle's charging load** [Periódico] // eTransportation - [s.l.] : Elsevier, 12 de Fevereiro de 2020.

Shen Zuo-Jun Max, Fengo Bo, Mao Chao, Ran Lun **Optimization models for electric vehicle service operations: A literatura review** // Transportation Research Part B - [s.l.] : Elsevier, 16 de Agosto de 2019.

Habib Salman, Khan Muhammad Mansoor, Abbas Faruhk, Sang Lei e Tang Houjun **Assessment of electric vehicles concerning impacts, charging infrastructure with unidirectional and bidirectional chargers, and power flow comparisons** [Periódico] // INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH - [s.l.] : WILEY, 18 de Abril de 2018. : Vol. 42. Issue 11 - pp. 3416 - 3441.

Yong Jia Ying, Salman, Ramachandaramurthy Vigna K., Tan kang Miao, Mithulananthan N. **A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects** [Periódico] // Renewable and Sustainable Energy Reviews - [s.l.] : ELSEVIER, 03 de Março de 2015.

H.S. Das, M.M Rahman, S. Li, C. W. Tan. **Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review** [Periódico] // Renewable and Sustainable Energy Reviews - [s.l.] : ELSEVIER, 18 de Fevereiro de 2019.

Un-Noor Fuad, Padmanban Sanjeevikumar, Mihet-Popa Lucian, Mollah Mohammad Nurunnabi, Hossain Eklas **A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development** [Periódico] // Energies - [s.l.] : MDPI, 17 de Agosto de 2017. : Vol. 10. Issue 8.

Jahangir Hamidreza, M. A. Golkar, A. Ahmadian, A. Elkamel **Why Electric Vehicles?** [Seção do Livro] // Electric Vehicles in Energy Systems Modelling, Integration, Analysis, and Optimization / E. do livro Ahmadian Ali, Mohammadi-ivatloo Behnam e Elkame Ali - Suíça: Springer, 2020

Ehsani Mehrdad, Gao Yimin, Longo Stefano, Ebrahimi Kambiz M. **Environmental Impact and History of Modern Transportation** [Seção do Livro] // Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles / A. do livro Ehsani Mehrdad, Gao Yimin, Longo Stefano, Ebrahimi Kambiz M. – Boca Raton, Florida : CRC Press, 2018

Crisostomi Emanuele, Shorten Robert, Stüdli Sonja, Wirth Fabian **Introduction to Energy Management Issues** [Seção do Livro] // Electric and Plug-in Hybrid Vehicle Networks: Optimization and Control / A. do livro Crisostomi Emanuele, Shorten Robert, Stüdli Sonja, Wirth Fabian. – Boca Raton, Florida : CRC Press, 2017

Dang Qiyun **Electric Vehicle (EV) Charging Management and Relieve Impacts in Grid** [Simpósio] // IEEE International Symposium on Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG - [s.l.] : IEEE, 28 de Junho de 2018.

Sharma Konark, Saini Lalit Mohan **Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview** // Renewable and Sustainable Energy Reviews - [s.l.] : Elsevier, 27 de Abril de 2015.

Estes Hunter B. **Electric Vehicle Demand Response via J1772™ Charging Signal Interruption** [Simpósio] // IEEE Green Technologies Conference (PEDG - [s.l.] : IEEE, 06 de Abril de 2018.

**Kularatna Nihal Rechargeable battery Technologies [Seção do Livro] // Energy Storage Devices for Electronic Systems** / A. do livro Kularatna Nihal – Langford Lane, Oxford : Elsevier, 2015

Koki Ogura, Mohan Lal Kolhe **Battery technologies for electric vehicles** [Seção do Livro] // Electric Vehicles: Prospects and Challenges / A. do livro Mohan Lal Kolhe – Norway : Elsevier, 2015

Ramalingam K. e Indulkar C. S. **Overview of Plug-in Electric vehicle Technologies** [Seção do Livro] // Plug In Electric Vehicles in Smart Grids: Integration Techniques/ E. do livro Rajakaruna S., · Shahnia F., Ghosh A.– Singapore Heidelberg New York Dordrecht London: Springer, 2015

Khizir Mahmud, Hossain M. Jahangir, Town Graham E. **Peak-Load Reduction by Coordinated Response of Photovoltaics, Battery Storage, and Electric Vehicles** // IEEE Acces - [s.l.] : IEEE, 20 de Junho de 2018. : Vol. 06.

Pedersen Anders Bro, Martinenas Sergejus, Andersen Peter Bach, Sørensen, Høj Henning Si **A Method for Remote Control of EV Charging by Modifying IEC61851 Compliant EVSE Based PWM Signal** [Periódico] // 2015 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm): Architectures, Control and Operation for Smart Grids and Microgrids- [s.l.] : IEEE,

Manzetti Sergio, Mariasiu **Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems** [Periódico] // 2015 Renewable and Sustainable Energy Reviews - [s.l.] : ELSEVIER, 06 de Julho de 2015. :

**How KOSTAL Uses RISE V2G To Test ISO 15118 Onboard Charge Controllers** - v2g-clarity [Online] // Disponível em <<https://v2g-clarity.com/blog/how-kostal-uses-risev2g-to-test-iso15118-onboard-charge-controllers/>>. Acesso em 04 de Junho de 2020

Jeffrey Greenblatt, Cong Zhang, Samveg Saxena, **Quantifying the Potential of Electric Vehicles to Provide Electric Grid Benefits in the MISO Area** [Relatório técnico] // 2019 Final report to the Midcontinent Independent System Operator Inc., 06 de Outubro de 2019. :

**Information Tehnology Gartner Glossary** – Disponível em <<https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/electro-mobility-e-mobility>>. Acesso em 09 de Junho de 2020

Howell Chris **Electric Vehicle Charging** [Relatório] / OpenEVSE. – disponível em <[https://github.com/lincomatic/open\\_evse](https://github.com/lincomatic/open_evse)> - Acesso em 09 de junho de 2020

**Arduino Products-** Arduino [Online] // Arduino – Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Main/Products>> Acesso em 04 de Junho de 2020

**CharIN- Grid Level integration Arduino** [Online] // CharIn – Disponível em <[https://www.charinev.org/fileadmin/Downloads/Papers\\_and\\_Regulations/CharlN\\_Levels\\_\\_Grid\\_Integration\\_v5.1.pdf](https://www.charinev.org/fileadmin/Downloads/Papers_and_Regulations/CharlN_Levels__Grid_Integration_v5.1.pdf)>. Acesso em 11 de Junho de 2020.

Open Energy Monitor - [Online] // **Open energy monitor** – Disponível em <<https://guide.openenergymonitor.org/technical/emonpi/>> Acesso em 11 de Junho de 2020.

**ANALOG DEVICES.** Disponível em: <[www.analog.com](http://www.analog.com)>. Acesso em 04 de Junho de 2020

**Power Developers, 2020** - [Online] // Power Developers – Disponível em <<http://www.pr-electronics.nl/>>. Acesso em 15 de Dezembro de 2020.

**Roadmap Electric Vehicles and Grid Integration (V1G versus V2G)** – [Online]// Disponível em <<http://www.pr-electronics.nl/nl/nieuws/86/roadmap-electric-vehicles-and-grid-integration-v1g-versus-v2g/>> Acesso em Acessado em 06 de dezembro de 2020

Neaimeh Myriam e Andersen Peter Bach **Mind the gap- open communication protocols for vehicle grid integration** [Artigo] // Energy Informatics 3. - 10 de February de 2020.

Farrell John e Weinmann Karlee **Choosing the Electric Avenue: Unlocking Savings, Emissions Reductions, and Community Benefits of Electric Vehicles** [Artigo] // Institute for Local Self-Reliance. -2017.

Martinenas Sergejus **Enabling Technologies for Smart Grid Integration and Interoperability of Electric Vehicle** (Tesis) [Book] / ed. Thesis PhD. - 2017.

Florinda Martins, Carlos Felgueiras, Miroslava Smitkova, Nídia Caetano **Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impacts in European Countries** [Periódico] // IEEE Access - [s.l.] : IEEE, 15 de Março de 2018. : Vol. 6. - pp. 13866 - 13890. - 2169-3536 energies.

Emanuel Cella Simon **Avaliação de Impactos da Recarga de Veículos Elétricos em Sistemas de Distribuição, 2013** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.