



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

CAIO CÉSAR LINS DOS SANTOS

**Controle e supervisão de uma estação de recarga de veículos elétricos: aplicação  
do protocolo OCPP 1.6**

Recife  
2024

CAIO CÉSAR LINS DOS SANTOS

**Controle e supervisão de uma estação de recarga de veículos elétricos:  
aplicação do protocolo OCPP 1.6**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Orientador(a): Prof. Dr. José Filho da Costa Castro

Coorientador: Prof. Dr. Davidson da Costa Marques

Recife  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Caio César Lins dos

Controle e supervisão de uma estação de recarga de veículos elétricos:  
aplicação do protocolo OCPP 1.6 / Caio César Lins dos Santos. - Recife, 2024.  
87 p. : il., tab.

Orientador(a): José Filho da Costa Castro

Cooorientador(a): Davidson da Costa Marques

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e  
Automação - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices

1. Sistemas de energia elétrica. 2. Microrredes. 3. Mobilidade elétrica.  
4. Gerenciamento de potência em veículos elétricos. 5. OCPP. I. da Costa Castro, José  
Filho. (Orientação). II. Costa Marques, Davidson da. (Coorientação).  
IV. Título.

620 CDD (22.ed.)

CAIO CÉSAR LINS DOS SANTOS

**Controle e supervisão de uma estação de recarga de veículos elétricos:  
aplicação do protocolo OCPP 1.6**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em: 20/03/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Filho da Costa Castro (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Davidson da Costa Marques (Coorientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Marcio Rodrigo Santos de Carvalho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

MSc. Camila Mendes Bandeira (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado a meus pais, Mauro Santos, Simone Cristina e Rejane Maria, por terem me feito quem eu sou, e me dado todo o apoio que precisei desde sempre.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus pais, Mauro, Simone e Rejane, por me dar tudo o que eu precisava e mais, a meu irmão, Fellype, pelo companheirismo e pelos conselhos, não seria quem eu sou sem vocês.

A minha namorada, Sara, pelo incentivo e companheirismo, pela dedicação e pelo carinho.

Aos amigos que conheci na faculdade e me ajudaram nessa caminhada, tornaram as dificuldades do processo mais fáceis de superar: Helena, Rodrigo, Clara, Cris, Mateus, Josafá, Talita, Carolaine, Thianny, Fernanda, Júlia e Gallindo.

Aos amigos da vida: Amanda, sem quem eu não teria prosseguido no caminho que estou hoje, obrigado por tudo; e aos “Goth Bois”, pelas conversas, pelo tempo juntos e pelas risadas sem fim, especialmente nos anos de 2020 e 2021.

Ao meu orientador Dr. José Castro e coorientador e amigo Dr. Davidson Marques, por toda confiança, conselhos e apontamentos, sou muito grato. Agradeço também ao Prof. Dr. Pedro Rosas, sem qual o Laboratório de Armazendo e Mobilidade, o LAM, não teria saído do papel, e ao Prof. Dr. Geraldo Leite Maia, por viabilizar meu primeiro contato com a pesquisa científica, sem ambos, eu não teria a oportunidade de desenvolver um trabalho prático com os equipamentos do laboratório. Meus agradecimentos, também, aos professores Dr. Douglas Contente e Dra. Andrea Cavalcanti, por todo o apoio e pela dedicação, o corpo docente se enriquece com vocês. Cada aprendizado e conversa e oportunidade será levado por toda a vida.

Agradeço à CPFL Energia por viabilizar a criação do LAM via Programa de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com recursos obtidos no âmbito do projeto Chamada Estratégica da ANEEL: PD-0397-3026/2017 - “Inserção de Sistema de Armazenamento em Configurações Múltiplas Para Suporte à Geração Eólica” e do projeto “PA3059 - Soluções de Apoio à Expansão da Infraestrutura de Recarga de VEs: Estações de Carregamento Integradas à Tecnologia de Baterias e Sistemas Fotovoltaicos (PV)”. Agradeço aos engenheiros Guilherme Rissi e Amanda Lopes Fernandes pelo apoio para concretização das aquisições dos equipamentos do laboratório.

Obrigado.

*But when we you add togheter all the great political, social and ecological problems we face, they are appalling. The reason why we are in such a mess is not simply that we have wrong systems for doing things, wether they be technological, political or religious. But we have the wrong people. The system may be alright but they are in the wrong hands because we are all in various ways, self seeking, lacking in wisdom, lacking in courage, afraid of death, afraid of pain, unwilling to cooperate with others, unwilling to be open to others.*  
(WATTS, Alan)

## RESUMO

Os impactos ambientais acelerados são uma preocupação crescente no mundo moderno, e, diante disso, a mobilidade elétrica e a transição para uma matriz energética mais limpa têm se tornado tópicos cada vez mais discutidos. Diversos países e entidades já assumiram os compromissos de médio e longo prazo para a aceleração da eletrificação veicular, bem como o desenvolvimento de estratégias para mitigar os efeitos adversos podem surgir da massificação da adoção de veículos elétricos (VEs). Dessa perspectiva, esse trabalho visa apresentar resultados de uma aplicação do controle de uma estação de recarga de veículos elétricos, que está integrada em uma aplicação de uma *microrrede*, utilizada como base para a criação da infraestrutura que integra os elementos do sistema. Inicialmente o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre as prospecções de crescimento das frotas de veículos elétricos em diferentes países e como esse crescimento afetaria o meio ambiente e a saúde pública. A partir disso, é realizada uma análise das características técnicas de carregamento de VEs como os tipos de carregadores e plugues. Em seguida, aborda-se uma ferramenta que viabiliza a aplicação de gerenciamento de carregadores para veículos elétricos por meio do protocolo de comunicação OCPP (*Open Charge Point Protocol*) na versão 1.6 (um ponto seis). Por fim, é descrita a implementação da arquitetura de integração entre os elementos da microrrede laboratorial do LAM (Laboratório de Armazenamento e Mobilidade), visando o controle de potência entregue ao veículo elétrico durante a recarga em uma estratégia de recarga inteligente (*smart charging*).

**Palavras-chave:** Sistemas de energia elétrica; Microrredes; Mobilidade elétrica; Gerenciamento de potência em veículos elétricos; OCPP;

## ABSTRACT

Accelerated environmental impacts are a growing concern in the modern world, and given this, electric mobility and the transition to a cleaner energy matrix have become increasingly discussed topics. Several countries and entities have already made medium and long-term commitments related to these two solutions; therefore, it is necessary to improve knowledge about how these two solutions relate to each other and what adverse effects may arise from their implementation. From this perspective, this work aims to present results from a practical application of controlling an electric vehicle charging station, which is integrated into a *microgrid* application, necessary as a basis for creating the infrastructure that integrates the elements of this network. The justification for this practical application culminates in the presentation of a bibliographical review on the prospects for the growth of electric vehicle fleets in different countries and how this growth would affect the environment and public health. From this, an analysis of the technical characteristics of EV charging is carried out, such as the types of chargers and plugs; the presentation of tools that enable the application, specifically the specific communication protocol for EVs, OCPP 1.6, which has its parameterization revised for greater understanding; in addition to also proposing an integration architecture between all these elements, resulting in a practical implementation for variable power control throughout the day through more than one tactic.

**Keywords:** Smart grids; Electric vehicles; OCPP; Fleet management; EV Fleet operator; Microgrids; Smart charging.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Decomposição do consumo energético no Brasil em 2019 .....	17
Figura 2 - Esquemas dos BEVs e HEVs .....	20
Figura 3 - Esquema dos PHEVs e FCEVs .....	21
Figura 4 - Relações entre o FO e outras diferentes entidades presentes numa rede inteligente.....	30
Figura 5 - Comparação da receita anual gerada através do uso do sistema de gerenciamento versus a quantidade de VEs fornecendo o serviço.....	32
Figura 6 - Padrões de comunicação da EVSE no contexto das <i>smart grids</i> . .....	33
Figura 7 - Diagramas representativos dos modos de carregamento: (a) Modo 1; (b) Modo 2; (c) Modo 3; (d) Modo 4.....	35
Figura 8 - Conector Tipo 1 .....	37
Figura 9 - Conector Tipo 2 .....	37
Figura 10 - Conector CSS Tipo 1 .....	38
Figura 11 - Conector CSS Tipo 2 .....	39
Figura 12 - Conector CHAdeMO .....	39
Figura 13 - Conector GB/T AC .....	40
Figura 14 - Conector GB/T DC .....	41
Figura 15 - Conector Tesla NACS.....	41
Figura 16 - Exemplo do processo de início e fim de uma recarga.....	46
Figura 17 - Exemplo do procedimento de update de firmware .....	47
Figura 18 - Estrutura de um código JSON usado para o envio da mensagem de BootNotification pela EVSE .....	50
Figura 19 - Exemplo de criação de uma tabela em um banco SQL .....	52
Figura 20 - Topologia do Central Smart Charging.....	54
Figura 21 - Estrutura de equipamentos do LAM e suas conexões .....	55
Figura 22 - Topologia do sistema de gerenciamento de frotas de VEs proposto .....	56
Figura 23 - Tela de configuração do EVLink Parking .....	57
Figura 24 - Tela do Node-RED mostrando ao lado esquerdo a biblioteca de nós, e ao lado direito o menu <i>drop-down</i> expandido .....	59
Figura 25 - Tela de gerenciamento de bibliotecas.....	60
Figura 26 - Configuração do nó sqlite .....	60

Figura 27 - Nós de comunicação OCPP JSON 1.6 .....	62
Figura 28 - Configuração do <i>CS request JSON</i> .....	62
Figura 29 - Tela de adição de uma nova EVSE .....	63
Figura 30 - Tela de configuração do nó <i>CS Server</i> .....	64
Figura 31 - Diagrama de comunicação do comando <i>BootNotification</i> .....	65
Figura 32 - Estrutura do JSON Schema fornecido pela OCA.....	66
Figura 33 – Formato da mensagem esperada pela EVSE .....	67
Figura 34 - Estrutura do <i>flow</i> criado para processamento de mensagens enviadas pela EVSE .....	68
Figura 35 - Configuração do nó de função <i>BootNotification</i> .....	68
Figura 36 - Comando <i>ChangeConfiguration</i> .....	69
Figura 37 - Comando <i>ReserveNow</i> .....	69
Figura 38 - Comando <i>meterValues</i> .....	70
Figura 39 - Comando <i>SetChargingProfile</i> .....	71
Figura 40 - Código executado por um nó de função para a execução de um comando <i>SetChargingProfile</i> .....	71
Figura 41 - Corrente de recarga de um VE (dados reais) .....	74
Figura 42 - Gráfico da corrente máxima calculada pelo escalonamento .....	76
Figura 43 - Resultado da execução do algoritmo de controle de recarga no cenário de uma recarga, com intervalo de 1h .....	77
Figura 44 – Limites definidos pelo <i>charging profile</i> do Apêndice A a partir dos valores calculados .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modos de carga segundo a IEC 61851-1 .....	34
Tabela 2 - Velocidade, modo e tipo de plugue do carregamento de VEs.....	36
Tabela 3 - Perfis de controle do OCPP 1.6 .....	45
Tabela 4 – Estrutura da tabela criada para o armazenamento dos dados da EVSE.	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Corrente alternada
AEV	<i>All electric vehicle</i>
BEV	<i>Battery electric vehicle</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CS	Central system
DC	Corrente contínua
EV	<i>Electric vehicle</i>
EVSE	<i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>
FCEV	<i>Fuel cell electric vehicle</i>
EV FO	<i>Electric Vehicle fleet operator</i>
G2V	<i>Grid to vehicle</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
IBM	<i>International business machines</i>
IEC	<i>International eletrotechnical comission</i>
KERS	<i>Kinetic energy recovery system</i>
kVA	Quilo volt amper
LAM	Laboratório de armazenamento e mobilidade
NO <sub>x</sub>	Óxido nítrico e dóxido de nitrogênio
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
OCA	<i>Open Charge Alliance</i>
OCPP	<i>Open Charge Point Protocol</i>
SQL	<i>Structured query language</i>
VE	Veículo Elétrico
VOC	<i>Volatile organic compound</i>
V2G	<i>Vehicle to grid</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Geral.....	14
1.1.2	Específicos .....	15
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	15
<b>2</b>	<b>MOBILIDADE ELÉTRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA PREVISÃO DA ELETRIFICAÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	18
2.1.1	Previsão do crescimento da penetração dos VEs .....	19
2.1.2	Impactos ambientais e sociais da eletrificação.....	23
2.1.3	Impactos na rede elétrica .....	25
2.2	CONTROLE E SUPERVISÃO DE RECARGA PARA VES.....	28
2.2.1	Tecnologia V2G.....	28
2.2.2	Modelos de gerenciamento da infraestrutura de carregadores .....	29
2.2.2.1	<i>Funções do FO (Fleet Operator)</i> .....	29
2.2.2.2	<i>Padrões de comunicação</i> .....	32
2.3	RECARGA DE VES – CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES DE RECARGA E PLUGUES DE CARGAMENTO .....	33
2.3.1	Estações de recarga: Modos de carregamento .....	33
2.3.2	Velocidades de carregador: Tipo de carregamento ou Nível de carregamento 35	
2.3.3	Tipos de plugue .....	36
2.3.3.1	<i>SAE J1772 – Tipo 1</i> .....	36
2.3.3.2	<i>Mennekes – Tipo 2</i> .....	37
2.3.3.3	<i>CSS – Tipo 1 ou CSS Combo 1</i> .....	38
2.3.3.4	<i>CSS – Tipo 2 ou CSS Combo 2</i> .....	38
2.3.3.5	<i>CHAdeMO</i> .....	39
2.3.3.6	<i>GB/T AC</i> .....	40
2.3.3.7	<i>GB/T DC</i> .....	40
2.3.3.8	<i>Tesla Connectors</i> .....	41
<b>3</b>	<b>CONTROLE E SUPERVISÃO DE ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....</b>	<b>43</b>
3.1	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OPEN CHARGE POINT PROTOCOL – OCPP 44	
3.1.1	Perfis de controle.....	45
3.1.2	Origem das mensagens.....	45
3.1.3	Autenticação offline .....	47
3.1.4	Recarga .....	47
3.1.4.1	<i>Sessão de recarga</i> .....	48

3.1.4.2	<i>Transação</i> .....	48
3.1.4.3	<i>Período de oferta de energia</i> .....	48
3.1.4.4	<i>Período de transferência de energia</i> .....	48
3.1.5	Smart charging .....	48
3.1.5.1	<i>ChargePointMaxProfile</i> .....	49
3.1.5.2	<i>TxDefaultProfile</i> .....	49
3.1.5.3	<i>TxProfile</i> .....	49
3.1.6	Estrutura das mensagens.....	49
3.2	NODE-RED .....	50
3.3	BANCO DE DADOS SQL E SQLITE .....	51
<b>4</b>	<b>ARQUITETURA DE GERENCIAMENTO INDIRETA DE ESTAÇÕES DE RECARGA</b> .....	<b>53</b>
4.1	CENTRAL SMART CHARGING .....	53
4.2	ESTRUTURA DO LABORATÓRIO DE ARMAZENAMENTO E MOBILIDADE – LAM 54	
4.3	ARQUITETURA PROPOSTA .....	55
4.4	IMPLEMENTAÇÃO.....	56
4.4.1	EVSE: Schneider EVLink Parking.....	57
4.4.2	Node-RED no Cerbo GX .....	58
4.4.3	Banco de dados no Node-RED .....	58
4.4.4	OCPP 1.6 no Node-RED .....	61
4.4.4.1	<i>CS request JSON</i> .....	62
4.4.4.2	<i>CS Server</i> .....	63
4.4.4.3	<i>Server response</i> .....	64
4.4.5	Estrutura de uma mensagem OCPP .....	64
4.4.6	Criação do algoritmo de envio e recebimento de requisições OCPP .....	67
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>74</b>
5.1	CENÁRIO DE RECARGA PADRÃO.....	74
5.2	<i>SMART CHARGING</i> : CONTROLE DINÂMICO DA LIMITAÇÃO DE CORRENTE .....	75
5.3	<i>SMART CHARGING</i> : CONTROLE POR CHARGING PROFILE.....	77
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>79</b>
6.1	PROPOSTAS DE CONTINUIDADE .....	80
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>81</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A eletrificação do setor de transportes surge como uma revolução incontestável no cenário automotivo, moldando não apenas a maneira como ocorrem os deslocamentos, mas também redefinindo os parâmetros da sustentabilidade ambiental. Neste contexto, este trabalho aborda os desafios da disseminação da mobilidade elétrica e do gerenciamento de frotas de veículos, explorando desde as previsões de crescimento, os requisitos técnicos e os aspectos socioambientais inerentes a essa transformação.

É necessário considerar que, como qualquer tecnologia disruptiva, o crescimento acelerado da mobilidade elétrica e das fontes de energia renováveis, além dos benefícios mais diretos, como redução de emissões, pode trazer consigo novos desafios inerentes às novas dinâmicas que essas tecnologias irão proporcionar. Desta forma, a partir da identificação macro de quais são desses impactos, sendo classificados em três diferentes grupos: impactos ambientais, sociais, e na rede elétrica, se parte para uma análise micro ao abordar aspectos técnicos dos veículos elétricos - VEs e sua integração com a rede, com o objetivo de entender quais são as ferramentas disponíveis para gerenciamento e como utilizar os recursos e protocolos de comunicação existentes para executar implementações eficientes e diretas visando superar os desafios emergentes na indústria.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma aplicação de gerenciamento de potência e controle de estações de recarga de veículos elétricos, as EVSEs (do inglês *Electric Vehicle Supply Unit*) a partir da análise das restrições operativas de suprimento de demanda. O trabalho revisita também aspectos teóricos e práticas da mobilidade elétrica, evidenciados estratégias para superar os desafios e nuances em termos de crescimento, impactos ambientais e adaptações necessárias na infraestrutura elétrica.

### **1.1.2 Específicos**

- Investigar as previsões de crescimento da penetração de VEs nos próximos anos;
- Analisar os impactos ambientais e sociais associados à eletrificação da frota de veículos;
- Compreender as implicações na rede elétrica decorrentes da crescente demanda por estações de recarga;
- Utilizando os recursos do protocolo de comunicação OCPP 1.6, apresentar a implementação de uma estratégia de gerenciamento de potência com visando antecipar soluções para o crescimento da infraestrutura elétrica;
- Desenvolver, a partir das ferramentas apresentadas, uma estrutura de controle de EVSEs, e observar os resultados de controle de uma estação de recarga coletados em uma microrrede experimental.

## **1.2 Organização do Trabalho**

Este trabalho está estruturado para fornecer uma compreensão holística da mobilidade elétrica, desde sua projeção teórica até a implementação prática de sistemas de gerenciamento de estações de recarga. Os capítulos de revisão de conceitos buscam também contribuir para um entendimento abrangente da transição para VEs.

No Capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica, onde são revisadas as previsões de eletrificação da frota. O crescimento exponencial dos VEs é analisado, considerando fatores como avanços tecnológicos, políticas governamentais e mudanças nas mentalidades dos consumidores.

Em seguida, o Capítulo 3 aborda o protocolo de comunicação Open Charge Point Protocol – OCPP, fundamental para a interação entre os carregadores de VEs e as infraestruturas de gerenciamento. Diferentes perfis de controle são analisados, a

origem das mensagens, a autenticação *offline* e várias operações associadas à recarga. Este capítulo descreve também os elementos essenciais para o funcionamento eficiente das estações de carregamento.

O Capítulo 4 apresenta uma proposta de arquitetura de gerenciamento indireto de estações de recarga, que permite o desenvolvimento de uma aplicação a partir dessa arquitetura. O estudo de caso no Laboratório de Armazenamento e Mobilidade (LAM) é utilizado como um exemplo prático para ilustrar os conceitos discutidos.

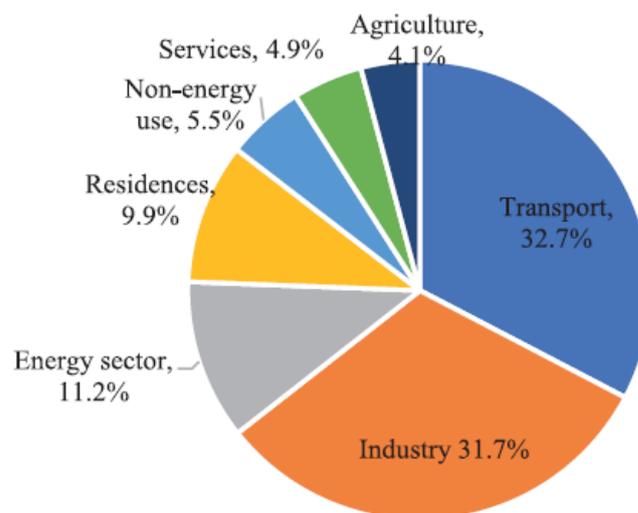
Por fim, no Capítulo 5, são apresentados os resultados coletados. Ficando evidenciada a relevância do adequado gerenciamento de estações de recarga. Neste capítulo é explorado o conceito do *Central Smart Charging*, a arquitetura específica do LAM e a topologia proposta, que conta com a implementação efetiva do protocolo OCPP 1.6, e, a partir de sua parametrização, são apresentados resultados práticos de controle de uma EVSE e de sessões de carregamento de VEs.

## 2 MOBILIDADE ELÉTRICA

As mudanças climáticas e questões de saúde em grandes centros urbanos, provenientes de emissões de gases do efeito estufa são alguns dos maiores desafios de desenvolvimento sustentável enfrentados pela sociedade moderna [1, 2, 3, 4]. Devido às crescentes lutas contra o avanço desses fatores, existe uma grande preocupação acerca de atingir as metas de mitigação dos danos ambientais, qualidade do ar e saúde pública, através de redução da emissão desses gases [5] [6].

Em 2014, cerca de 14% das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo, foram provenientes do setor de transportes [7]. Da perspectiva das fontes de emissão, nos EUA, um relatório da EPA [8] – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, constatou que, em 2019, cerca de 28% das emissões desses gases no país são provenientes do transporte, primariamente, da queima de combustível em veículos à combustão interna. Já no Brasil, uma decomposição e análise similar relatou que 32.7% do consumo energético é proveniente dos transportes, superando até o consumo do setor industrial [9], como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Decomposição do consumo energético no Brasil em 2019



Fonte: [9]

Uma das principais soluções apresentadas globalmente para a redução da emissão de gases poluentes é a mobilidade elétrica, que é considerada uma indústria

emergente estratégica [1-3, 5, 6], apontada como fator chave para atingir o chamado carbono neutro na Europa até 2050 [6]. Diferentes entidades como países, províncias instituições governamentais e fabricantes de veículos enfatizam a urgência desse assunto ao assumir o compromisso em abolir a produção ou aquisição de novos veículos a combustão interna em diferentes momentos nos próximos 40 anos [5, 10].

Diante disso, é necessário também atentar-se que a eletrificação do transporte pode apresentar novos desafios, o crescimento da frota de VEs afetará não só a distribuição espaciotemporal de emissão de poluentes [5], mas também o perfil de distribuição energética nos grandes centros. O suprimento da energia elétrica para as recargas está geograficamente atrelada ao percurso e permanência do veículo. Consequentemente, a viabilidade de recarga está também condicionada à disponibilidade de capacidade da rede elétrica de transmissão de potência [11].

## **2.1 Revisão bibliográfica da previsão da eletrificação da frota de veículos elétricos**

Uma problemática importante da eletrificação da frota de VEs diz respeito ao fato de que os impactos do consumo energético da mobilidade elétrica são dependentes da matriz energética daquele local, se por exemplo a matriz é majoritariamente originada da queima de carvão, é possível que a eletrificação da frota de veículos cause, indiretamente, um aumento na emissão de gases de efeito estufa [5]. Desta forma, visando a transição para uma matriz renovável, deve-se substituir também a geração de energia não renovável para fontes de energia renováveis e/ou menos poluentes [8]. Nesse sentido, observa-se que os países com maior taxa de disseminação de VEs também têm ambiciosos planos de desenvolvimento de fontes de energia renovável [3, 7].

Além disso, é possível que uma rápida transição da frota de veículos faça com que picos de consumo de energia elétrica maiores do que os sistemas suportam. Neste caso, isso pode ocorrer devido aos diferentes perfis de consumo de energia elétrica dos usuários, não só em escala macro (municípios, estados etc.), mas também em escala micro (residências, prédios, condomínios etc.) [3, 12].

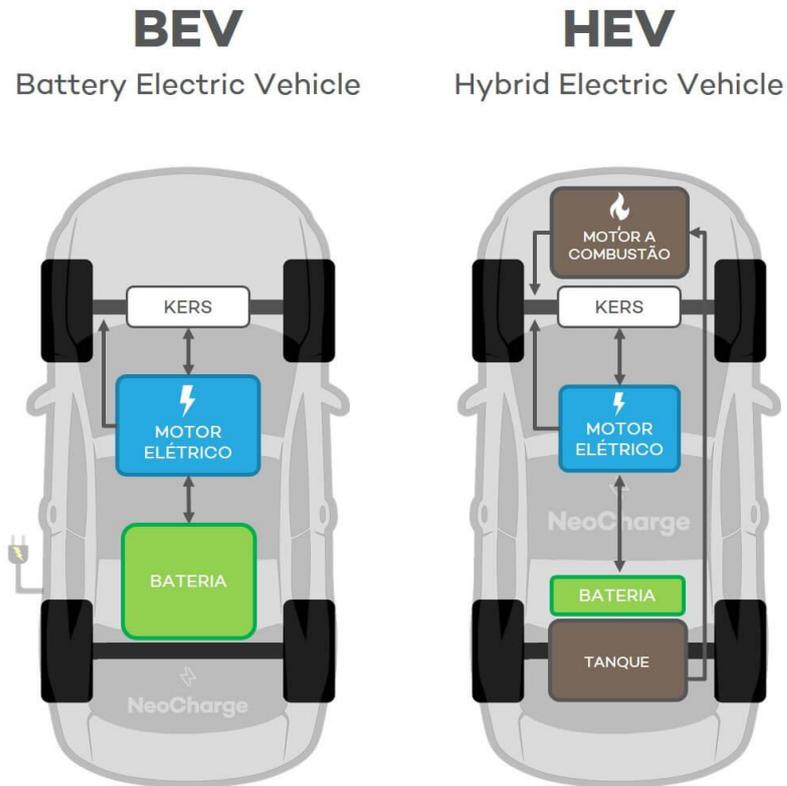
Visando entender de maneira ampla quais são os impactos causados pela eletrificação da frota de veículos, diferentes estudos foram revisitados. Entre os principais desafios está o aumento acelerado da penetração de VEs, os impactos ambientais e sociais da eletrificação, bem como os impactos na rede elétrica. Os tópicos 2.1.1 a 2.1.3 descrevem a seguir sumarizam alguns desses pontos.

### **2.1.1 Previsão do crescimento da penetração dos VEs**

Visando aprofundar no entendimento da operação de VEs, é necessário entender os diferentes tipos e particularidades no que diz respeito a interação com o meio ambiente e com a rede elétrica. Os VEs podem ser divididos em quatro grandes categorias, mostradas nas figuras Figura 2 e Figura 3 [13, 14]:

- *All-Electric Vehicles* – AEVs, ou *Battery Electric Vehicles* – BEVs ou ainda *Electric Vehicles* – EVs, são os veículos com fonte de energia exclusivamente elétrica, com motor elétrico e plugue de carregamento externo; esses veículos também contam com um sistema regenerativo, que utiliza energia da frenagem para a alimentação da bateria, chamado de KERS (*Kinetic Energy Recovery System*).
- *Hybrid Electric Vehicles* – HEVs, são veículos cuja principal fonte de propulsão é oriunda de um motor à combustão interna, mas que contam também com um motor elétrico de suporte, baterias e KERS.

Figura 2 - Esquemas dos BEVs e HEVs

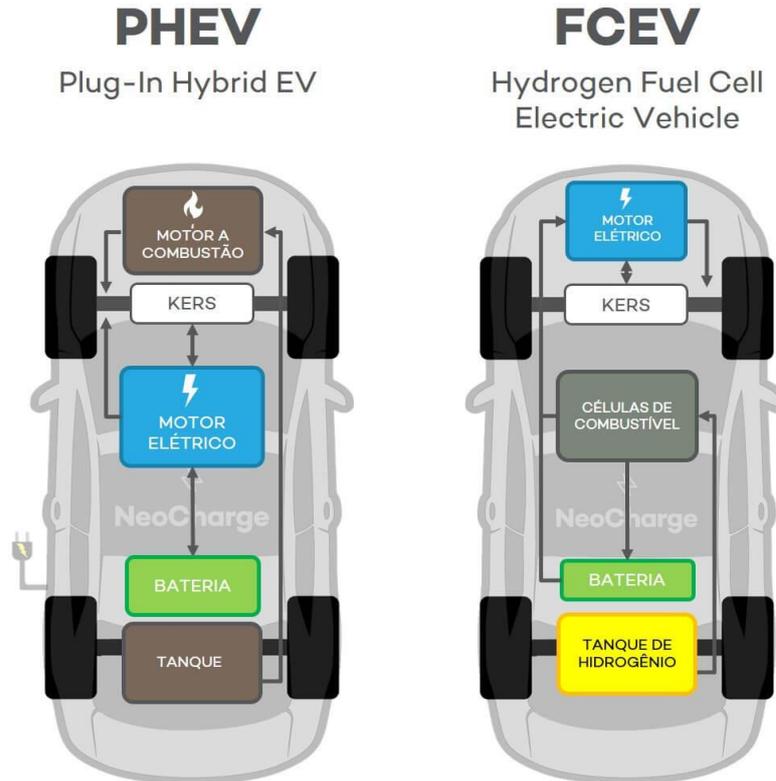


Fonte: [14]

- *Plug In Hybrid Electric Vehicles* – PHEVs, são veículos que contêm características parecidas com os HEVs, mas que além do KERS contam com um plug para uma tomada de carregamento elétrico externo, permitindo armazenar maior quantidade de energia nas baterias, e conseqüentemente dar maior autonomia de mobilidade elétrica. Alguns modelos permitem funcionamento em modo completamente elétrico. Desta forma, os PHEVs normalmente apresentam um índice de emissão de gases poluente muito menor se comparado aos HEVs;
- *Fuel Cell Electric Vehicles* – FCEVs, são carros elétricos com energia proveniente de célula combustível. Utilizam gás hidrogênio como fonte primária de energia e, apesar de terem um gás como fonte, disponibilizam ao motor energia completamente elétrica, o que faz com que se assemelhem em funcionamento aos EVs, não só em questão de

funcionamento, mas também em questão de impacto ambiental, já que um produto da geração é água.

Figura 3 - Esquema dos PHEVs e FCEVs



Fonte: [14]

Pode-se agora analisar que tipos de resultados os estudos têm levantado com relação ao crescimento da frota. É comum que os estudos levem em conta diferentes cenários de penetração de mercado dos VEs [15], isto é, uma comparação entre a parcela atual de demanda e a parcela potencial de demanda, quanto maior o índice de penetração, maior a disseminação da tecnologia [16]. Esses cenários compreendem, por exemplo, condições de mercado com ou sem estresse, choques no fornecimento de gasolina, mudanças nos preços dos veículos, subsídio governamental, isenção de impostos, entre outros [15].

Em 2012, Al-Alawi e Bradley [15], na sua revisão de literatura de estudos de prospecção dos mercados de VEs, apresentaram que algumas das barreiras ou fatores que têm impacto na predisposição de um comprador a optar por VEs são: Falta

de familiaridade com a tecnologia, vida útil da bateria, custo de substituição das baterias, custo do combustível, incertezas sobre a autonomia dos veículos, incertezas sobre o custo benefício, diferentes opções de compra, influência social e digital e classe do veículo. Diante desses fatores, os resultados analisados foram de que, em 2020, nos EUA, com uma política ativa de disseminação da tecnologia dos PHEVs, seria possível atingir cerca 4% a 5% da parcela total de vendas entre os veículos, e ter de 2% a 4% de penetração do mercado. Segundo dados da plataforma de coleta e análise de dados *Statista* [17, 18]. Em 2019, nos EUA foram vendidos cerca de 4,72 milhões de veículos, dos quais cerca de 0,32 milhão foram VEs (incluindo BEVs e PHEVs), totalizando cerca de 6,7% do total, ultrapassando as previsões iniciais.

Em literaturas mais recentes, Kapustin [3], usou uma metodologia de crescimento logístico para a previsão do impacto na rede elétrica do crescimento da frota de VEs. Essa metodologia prevê um crescimento de unidades de um produto no mercado através de uma aproximação de curva em S, com um crescimento que acelera no início da disseminação do produto, e desacelera do meio ao final, quando o mercado já está perto da saturação. Segundo a análise, em 2040, o número de VEs vai ter crescido de 60 a 70 vezes, atingindo cerca de 12% a 28% da frota global, dependendo do cenário.

Shepherd [19] propõe um modelo de difusão de mercado que leva em conta a susceptibilidade dos compradores a partir de diferentes premissas, como regimes de subsídio, estratégias de marketing, características dos BEVs, tempo de vida útil dos EVs, taxação e a difusão de informação via relações interpessoais, e entre três diferentes cenários do modelo, prevê que em 2050 no Reino Unido, a frota de BEVs e PHEVs poderá assumir uma parcela de 36,5% a 47,43% da frota total.

Oliveira [20], também analisando o impacto na rede elétrica, e utilizando o mesmo método de previsão utilizado por Kapustin [3], previu que de 2020 para 2030, a frota de VEs na cidade de Campinas-SP, no Brasil, poderia aumentar de 76 a 168 vezes, saindo de 392 veículos em 2020 para 29 mil a 66 mil em 2030.

Nos últimos anos os VEs tem sido considerado a solução convencional para as emissões dos gases poluentes. Entretanto, em função do crescimento acelerado da eletrificação, consequências positivas e negativas podem surgir. O tópico 2.1.2 a seguir aborda alguns aspectos associados aos impactos socioambientais.

### **2.1.2 Impactos ambientais e sociais da eletrificação**

Sendo os maiores incentivadores da eletrificação dos veículos, os impactos ambientais e sociais foram alvo de diferentes estudos, que utilizaram a previsão do crescimento da frota para, a partir de diferentes abordagens, analisar quantitativamente esses impactos. Kouridis [1], utilizando dados históricos de emissão de poluentes por km para diferentes classes de veículos, concluiu que, nos três maiores centros urbanos da Grécia, as emissões de CO<sub>2</sub> poderiam ser reduzidas em até 13%, 32% e 58% em 2030, 2040 e 2050 respectivamente, em comparação com 2020. As emissões de NO<sub>x</sub> poderiam ser reduzidas em 57%, 81% e 90% também nos anos de 2030, 2040 e 2050, respectivamente. Além disso, é ilustrado que cerca 730M€ em custos relacionados à saúde e benefícios sociais poderiam ser economizados entre os anos de 2020 e 2030, principalmente atribuídos à mortalidade prematura, casos de morbidade e diminuição de produtividade.

O estudo desenvolvido por Zamasz [6] traz conclusões relevantes sobre a dependência entre o impacto da eletrificação da frota de veículos em um país e sua matriz energética, levantando questionamentos éticos sobre as informações apresentadas nos catálogos dos veículos a combustão interna, em comparação com os dados práticos. Inicialmente, é feita uma análise da substituição da frota com base nos dados de consumo de combustível de catálogo de diversos grupos de veículos, levando em conta uma previsão de mudança da matriz energética do país entre 2019 e 2040. Para 2019, concluiu-se que, devido ao fato de que a matriz energética no país consistia em 74,3% proveniente de carvão ou gás natural, haveria, em média, um aumento de cerca de 26% na emissão de CO<sub>2</sub>, enquanto levando em conta o cenário previsto da matriz para 2040, que contaria com a ampliação da presença de fontes renováveis, poderia haver uma redução de cerca de até 60% na emissão devido à recarga de VEs.

Em seguida, foram observados os impactos da eletrificação de uma frota de veículos de 619 carros de uma companhia privada, utilizando agora, não só os dados de consumo de combustível de catálogo, mas também os dados reais coletados da quilometragem e consumo desses veículos. Para essa frota privada, levando em conta os dados de catálogo, haveria uma redução de custos com combustível/energia, de cerca de 20%, enquanto para os dados, haveria uma redução de até 50%. Com

relação à emissão de carbono, utilizando os dados de catálogo desses veículos, a eletrificação dessa frota acarretaria um aumento de 14% nas emissões de carbono, enquanto para os dados reais, haveria uma redução de 24%, para o mesmo cenário, de 2019.

Esses resultados evidenciam que, a depender dos dados utilizados, entidades comerciais ou grupos poderiam defender que a eletrificação dos veículos seria desvantajosa, fazendo-se necessário que as entidades governamentais e reguladoras tomem como base dados reais além dos dados de catálogo dos veículos.

Zhu [5], simulando a eletrificação da frota na China, leva em conta uma penetração de 100% no ano de 2060, a partir dos compromissos assumidos pelo governo e instituições chinesas. O estudo analisa seis diferentes cenários de previsão, com diferentes incentivos legislativos, e a distribuição da matriz energética. É ilustrado que em 2030, pode haver uma redução entre 12% e 36% das emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs e PM<sub>2,5</sub>, e em 2060, com 100% de penetração, pode haver uma redução de 94% para CO<sub>2</sub>, 99% para PM<sub>2,5</sub>, 96% para VOCs e 97% para NO<sub>x</sub>.

O estudo aponta como evidente a relação entre os poluentes citados nos grandes centros urbanos e a mobilidade urbana, e estima que até 2060, a eletrificação da frota poderia evitar de 771.870 a 1.445.310 de mortes prematuras no país, sendo a maior parte delas associadas à redução da emissão de PM<sub>2,5</sub>.

Já Shepherd [19], utilizando um modelo similar ao utilizado por Zhu [5], aponta uma redução de cerca 37,5% no total de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos pela frota de veículos no Reino Unido, chamando atenção ao fato de que, diante das análises de diferentes cenários, é mais economicamente viável para o governo se forem tomadas atitudes legislativas mais rigorosas com relação às emissões futuras.

Meinrenken, em [10], também traz contribuições importantes, ao analisar comparativamente os diferentes impactos de emissão de gases de efeito estufa associados aos VEs, e conclui que pode haver uma interpretação equivocada no que diz respeito aos BEVs. Apesar de BEVs e HEVs apresentarem redução de cerca de 40% nos índices de emissão com relação aos veículos a combustão interna, existem alguns fatores externos à recarga em si que devem ser levados em conta: custo de distribuição energética; perdas no carregamento; perdas energéticas, vida útil e emissões associadas às baterias e consumo energético associado ao peso das

baterias. Dessa ótica, o estudo ilustra que os BEVs podem ter índices de emissão cerca de 6% maiores que os HEVs.

### **2.1.3 Impactos na rede elétrica**

Green em [21] fez uma extensa e importante revisão bibliográfica de 25 diferentes fontes sobre o impacto que uma frota de VEs pode ter na rede elétrica. A revisão evidencia a importância desse tipo de estudo, e comparando diferentes modelos de previsão e impacto, podemos chegar cada vez mais perto de modelos que se assemelham com os cenários reais, que permitem e promovem resultados cada vez mais precisos e confiáveis. O estudo aponta diversos fatores e características dos veículos, dos consumidores e da própria rede elétrica que têm, cada um da sua maneira, impactos no equilíbrio energético e na infraestrutura.

De maneira geral, em [21], é possível notar que existem diferentes óticas para essa problemática. Por exemplo, avaliando o impacto de maneira macro, ao se levar em conta a variação global do consumo energético, mostrando se é ou não necessário uma expansão na infraestrutura. Na literatura revisada por Green, apontou-se que apesar de o impacto global do consumo previsto ser percentualmente unitário, nota-se que evidentemente esse consumo será geograficamente desequilibrado, com maior concentração nos grandes centros urbanos. A partir desse ponto, outros estudos revisados por Green avaliam os impactos locais, levando em conta agora os fatores micro, como:

- Perfil de recarga – As considerações de perfil entre os estudos são variadas. O perfil pode ser genérico, “a qualquer hora do dia”, chamado de recarga não controlada ou recarga uniforme; pode girar em torno do padrão comportamental do usuário, por exemplo, no início do dia, quando o usuário chega ao destino do deslocamento, como o local de trabalho; ou ao fim do dia, quando o usuário volta para casa depois de realizar seu percurso diário; pode estar relacionado à presença de recarga rápida e lenta no mix de carregadores; pode estar relacionada ao nível de informação e comunicação entre os pontos de recarga, chamados de Recarga Regulada, quando há presença de algum nível de disseminação

de informações que afetem a preferência do usuário por carregar o veículo em horários com menor tarifa por exemplo, e Recarga Não Regulada caso contrário; ou ainda, considerado o tipo mais avançado de recarga, o *Smart Charging*, ou Carregamento Inteligente, que diz respeito a todo tipo de carregamento que conta com uma implementação de tecnologias de tomada de decisão inteligente.

- Perfil de consumo e matriz energética renovável – Existe uma interação entre o perfil de consumo energético da população, o perfil de recarga, e a presença de fontes renováveis como energia solar e eólica na matriz energética. Com uma ampla infraestrutura de geração renovável, se faz necessário um manejo inteligente das cargas, devido ao fato de que a energia é disponibilizada de maneira irregular durante o dia. Idealmente, as literaturas apontam que deve haver sistemas de armazenamento de energia que armazenariam o excedente energético nos horários de geração e forneceriam nos horários de baixa geração. Além disso, idealmente os VEs seriam recarregados durante os picos de geração, de maneira a evitar carga nos horários de baixa geração.
- Capacidade dos transformadores locais – Observa-se que os transformadores da rede elétrica tendem a ter um impacto negativo na vida útil atrelado a quão próximo eles operam dos seus limites, assim como a grandes variações de carga durante o período de operação. Alguns dos estudos apontam que a depender do cenário de recarga e da velocidade da eletrificação da frota, os transformadores podem ter a vida útil diminuída por operar marginalmente nos limites. Adicionalmente, podem ter uma maior probabilidade de falhas por oscilações, ou até mesmo, não suportarem a carga e ser necessário um investimento de infraestrutura.

Já em [3], Kapustin utilizou um complexo de modelagem, o SCANNER, que consiste em um sofisticado sistema composto por diferentes ferramentas de previsão. O estudo prevê que, no mundo, em 2040 poderia haver um consumo energético de 7% a 10% maior, quando comparado ao cenário sem VEs, com o aumento geograficamente concentrado em regiões que já apresentam uma crescente

penetração de VEs, como EUA, China e União Europeia, e em alguns casos, o estudo prevê que o consumo energético proveniente de VEs pode chegar a 1/3 do total do país. É importante também notar que as regiões com alta penetração de VEs apresentam uma possível problemática relacionada a um efeito “pico a pico” na rede, que consiste de uma variação elevada entre os valores máximos e mínimos de consumo energético ao decorrer do dia, que tem o potencial de causar instabilidades na rede elétrica, e é necessário analisar os impactos caso a caso.

Kapustin também aponta o fato de que essas regiões de alta penetração também têm como foco um planejamento de expansão da matriz energética renovável, apontando novamente para a possibilidade de riscos associados ao perfil de consumo, recarga e geração dessas fontes renováveis, fazendo-se necessário um manejo inteligente dos perfis de carregamento e armazenamento de energia.

Hudson [22], estudando circuitos residenciais, se utilizou de simulações com 24 cenários diferentes, em que foram variados parâmetros de perfil de consumo, perfil de recarga, geração solar residencial e armazenamento de energia residencial com conjunto de baterias. Foi utilizado como base um conjunto de 180 transformadores divididos entre 50 kVA, 75 kVA e 100 kVA, alimentando 1422 residências distribuídas entre eles.

Nos resultados do estudo, Hudson observou-se que uma comparação no cenário sem geração solar, ou baterias, apenas alterando o tipo de perfil de recarga de não controlado para *smart charging*, poderia haver uma redução da demanda de pico de quase 100% por residência durante o dia, redistribuindo o valor do consumo entre as 17h e 23h, para outros horários.

Além disso, uma importante adição desse estudo diz respeito às análises feitas com relação a um parâmetro chamado Fator de Envelhecimento Equivalente, relacionado aos transformadores. Os cálculos mostraram que cenários de muita variação da potência ou até do sentido da potência nos transformadores aumenta esse fator em uma média de 23% a 55%, mas em circuitos específicos, pode aumentar em até 150%, o que implica que em alguns cenários, os impactos na infraestrutura podem se tornar muito relevantes. Em contrapartida, nos cenários onde houve a implementação do *smart charging*, esse valor médio pôde ser reduzido de 5% a 21%, e o máximo, de 7% a 45%.

Em resumo, algumas das literaturas corroboram a necessidade da existência de um sistema de carregamento inteligente. Desta forma, como objetivo deste trabalho, será dada ênfase ao *smart charging* e supervisão de estações de VEs; justificando a necessidade de controlar as EVSEs, e que tipo de tecnologias estão envolvidas nesse processo.

## **2.2 Controle e supervisão de recarga para VEs**

Em 9 dos 25 textos revisados em [21], Hudson em [22] e Delgado em [23] o uso da tecnologia do Smart Charging é apontada como solução para mitigação dos efeitos negativos do consumo energético, equilíbrio da rede elétrica, redução de desgastes de infraestrutura e também como fator de aumento da penetração de sistemas de energia renovável [22]. Fica evidente que para atingir um cenário ótimo é necessário que haja uma intervenção administrativa na infraestrutura de carregamento, e uma das principais ferramentas para esse fim é a tecnologia de fluxo energético “veículo para rede” ou Vehicle to Grid – V2G.

### **2.2.1 Tecnologia V2G**

É intuitiva a noção de que VEs absorvem energia da rede elétrica, em um modelo de relação com a rede chamado de *grid to vehicle* – G2V, mas eles também podem ser usados como um recurso de armazenamento de energia distribuído, quando consideramos que cada VE que não está em uso pode ter sua energia disponibilizada novamente para a rede elétrica, o que caracteriza a dinâmica de vehicle to grid – V2G [4].

Para que seja possível utilizar-se dessa capacidade, é necessário que o VE e a estação de carregamento tenham a capacidade de inversão de corrente DC-AC no sentido veículo-rede [4], mas, além disso, há também a necessidade de que as estações de recarga tenham acesso às informações e possam receber comandos a partir de um sistema de controle central, o *Central System* – CS, em uma dinâmica chamada de *smart grid*. Através das técnicas de *smart charging*, a depender do nível de controle entre a *smart grid* e a estação de recarga, o CS poderia disponibilizar e

receber informações sobre as condições atuais da rede, ou até, em cenários com maior nível de controle, tomar as decisões de carga/descarga dos veículos [12].

Existem ainda dois importantes potenciais do uso da V2G, ambos dizem respeito a um possível lucro passivo associado ao mercado de VEs, que ganha destaque quando uma única pessoa ou empresa detém muitos VEs. Isso é possível porque com um gerenciamento eficiente, é possível utilizar o potencial das baterias dos VEs para serem consideradas um sistema de armazenamento distribuído, gerando uma redução de custos ou lucro associado à frota de VEs [2, 12]. Esses dois potenciais são: (i) a capacidade de servir como serviço auxiliar de regulação da rede elétrica [24]; (ii) e a capacidade de absorver o excesso de geração proveniente de fontes renováveis como energia solar e eólica [12].

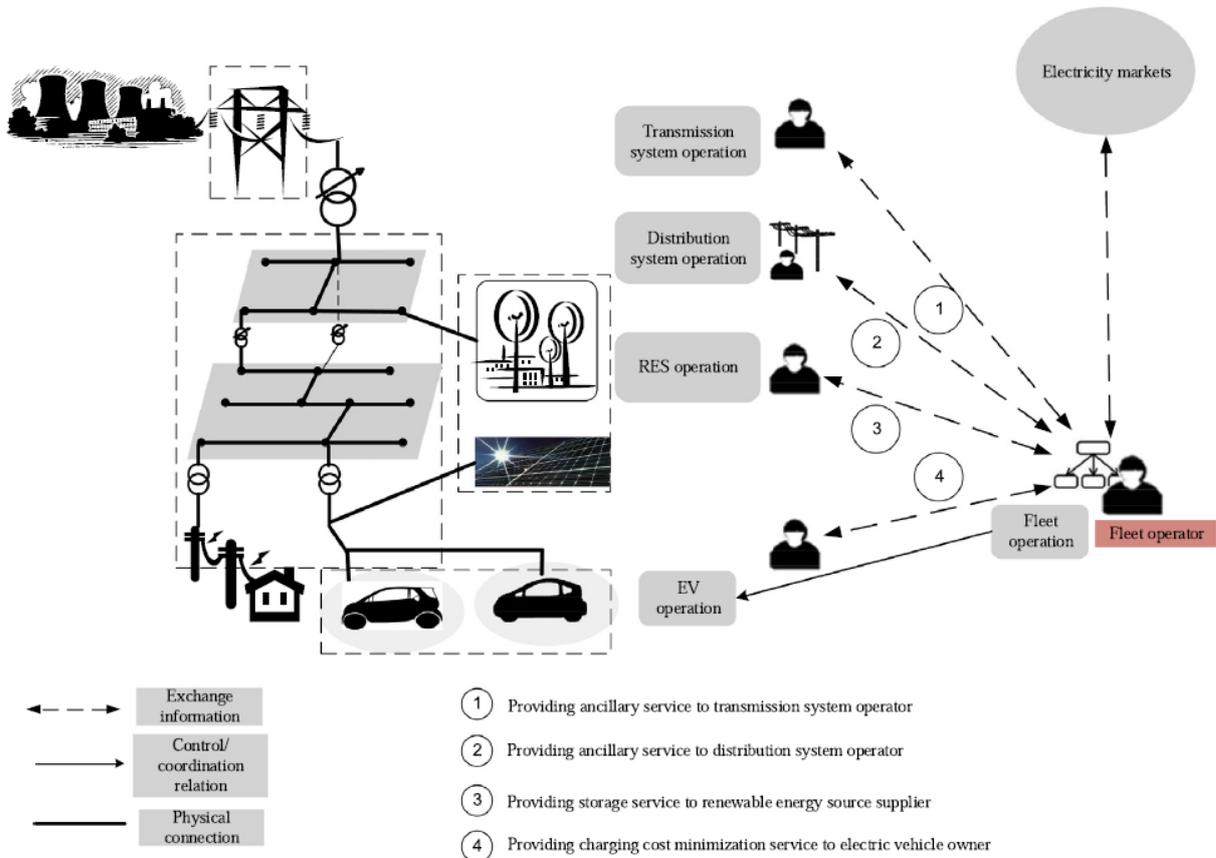
### **2.2.2 Modelos de gerenciamento da infraestrutura de carregadores**

Nesta seção serão apresentados os principais resultados de alguns estudos sobre o gerenciamento de uma infraestrutura de carregadores de VEs, em particular o de Hu et al [12], que apresentam o conceito de uma entidade de operador de rede elétrica que participa da *smart grid*, chamado “operador de frota de VEs” em tradução livre de *EV fleet operator* – EV FO. Outros nomes foram propostos, como “usina virtual de VEs”, “agregador de VEs”, “provedor de serviços para VEs”, todos em tradução livre.

#### **2.2.2.1 Funções do FO (Fleet Operator)**

No estudo é apontado que um FO teria basicamente três funções: (i) garantir as necessidades dos proprietários de VEs com um gerenciamento que permita que os parâmetros dos usuários sejam mantidos (como por exemplo, sempre manter a bateria do VE acima de 80%); (ii) gerenciar o processo de disponibilização de energia para a rede elétrica em horários de pico, fornecendo um maior equilíbrio energético; (iii) fornecer serviços auxiliares para diferentes elementos e operadores dos sistemas de potência. A Figura 4 ilustra um possível cenário de integração entre essas diferentes entidades do setor energético e que tipo de interação o FO pode ter com elas [12].

Figura 4 - Relações entre o FO e outras diferentes entidades presentes numa rede inteligente



Fonte: [12]

Os serviços auxiliares que podem ser fornecidos para os operadores do sistema de transmissão – TSOs (do inglês *Transmission System Operators*), estão associados principalmente à regulação de potência, que é o processo de aumentar ou diminuir a potência de operação de determinado elemento do sistema para que esteja conforme com os outros, mas também está associado à regulação de frequência. A utilização dos VEs para esse fim apresenta um potencial retorno financeiro substancial aos proprietários [2].

Para os operadores do sistema de distribuição – DSO, o estudo aponta que, atualmente, os FO podem fornecer dois tipos de serviços auxiliares: 1) prevenção aos picos de carga e redução das perdas; 2) regulação de tensão.

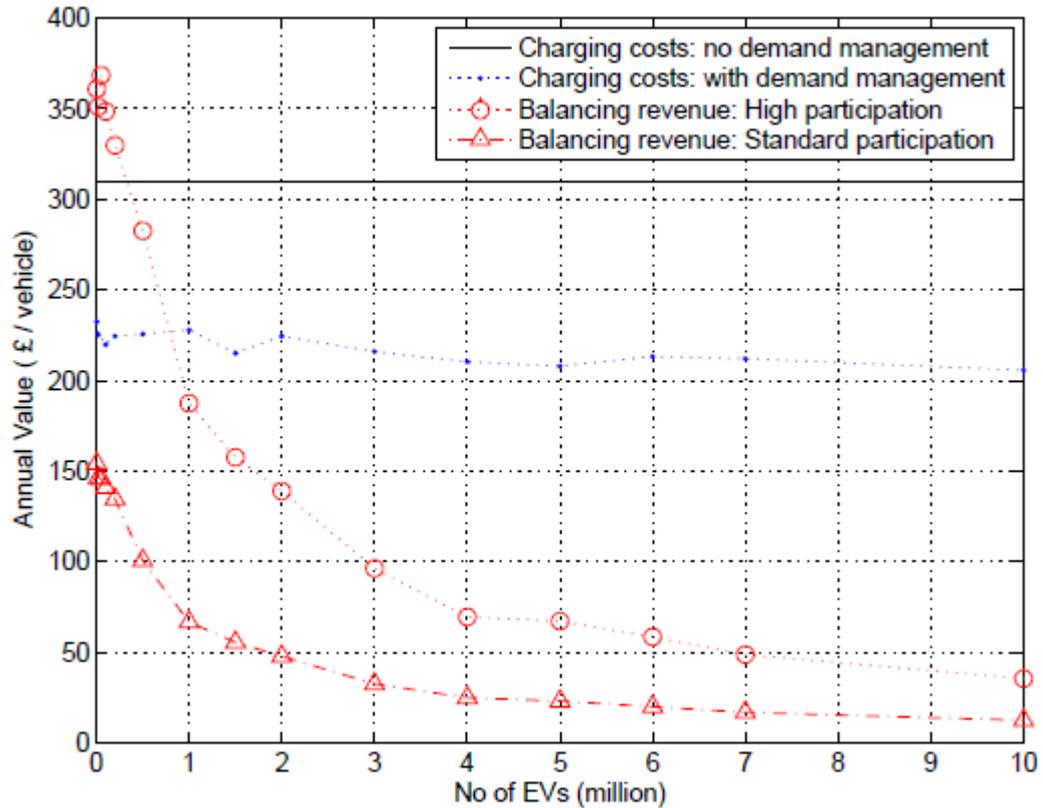
Já os serviços auxiliares a fontes de energia renovável – RES (do inglês *Renewable Energy Sources*) estão embasadas no crescente aumento das fontes de geração de energia renovável, que tendem a ter comportamento intermitente, como energias solar e eólica [12].

A integração com um sistema capaz de absorver o excedente energético no pico da geração e disponibilizá-lo novamente nos momentos de baixa geração apresenta um grande potencial de aproveitamento, como apresentado por Dallinger e Wietschel [25], que mostraram que em 2030, na Alemanha, a frota de VEs prevista associada à matriz energética renovável poderia absorver cerca de 50% do excedente de geração anual, energia que, na ausência de sistemas de armazenamento, seria perdida.

Por fim, os serviços de minimização de custos de carregamento que podem ser fornecidos aos usuários através da ação de FOs precisam ser cuidadosamente analisados. Programações dinâmicas individualmente aplicadas às estações de recarga podem ser utilizadas para a implantação de calendários de carga e descarga dos VEs a depender do valor da energia elétrica em determinada hora do dia. Alguns pontos potencialmente negativos a se observar nesse quesito são os seguintes: 1) custos adicionais de investimento numa infraestrutura que permita o fluxo energético bidirecional; 2) implantação de comunicação e medições avançadas; 3) aumento na degradação das baterias devido a uma utilização de ciclos muito maior em comparação aos cenários com ausência da V2G [12].

Em perspectiva, Druitt e Früh em [11], levando em conta dois modelos de gerenciamento de carga (que se assemelham a FOs), e fizeram análises sobre a prospecção de lucros devido à utilização desses modos de controle em um sistema com tecnologia V2G e geração eólica de 25GW, e chegaram aos resultados apresentados na Figura 5. Nos cenários da Figura 5, as duas linhas vermelhas representam diferentes níveis de participação, isto é, tempo em que o VE passa plugado em estações de recarga. A alta participação diz respeito ao proprietário que pode deixar o VE plugado sempre que não estiver dirigindo, representada pela linha tracejada com círculos, e a baixa, o proprietário que faz o uso médio das estações de recarga, representada pela linha tracejada com triângulos. Analisando os resultados, é possível notar que para os *early adopters* – pessoas que começam a utilizar uma tecnologia no início da sua disseminação, com o gerenciamento de demanda ativo, pode haver uma redução do custo de recarga para cerca de £50 (cinquenta libras esterlinas) para os proprietários com participação padrão, enquanto para os de alta participação, poderia haver um lucro de até £200 por ano [11].

Figura 5 - Comparação da receita anual gerada através do uso do sistema de gerenciamento versus a quantidade de VEs fornecendo o serviço.

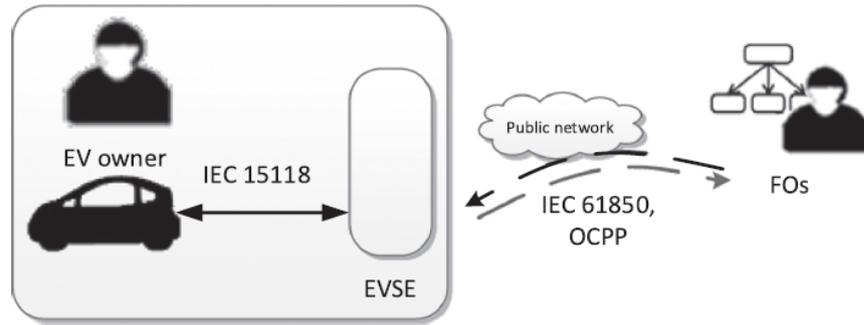


Fonte: Adaptado de [11]

### 2.2.2.2 Padrões de comunicação

Um ponto importante do gerenciamento oferecido pelos FOs diz respeito a infraestrutura de comunicação a ser utilizada. A comunicação entre a EVSE e o VE é feita segundo uma padronização internacional, a IEC 15118, e não necessita de intervenção humana. Já a comunicação do FO com o TSO, DSO e RES seriam realizadas através da internet convencional, com protocolos e meio de comunicação bem estabelecidos [26]. Mas a comunicação com a EVSE pode ser realizada através de protocolo não convencionais, como o IEC 61850, o SAEJ2836/3TM e o Open Charge Point Protocol – OCPP e o Hubject's Open Charge Protocol – OICP [12].

Figura 6 - Padrões de comunicação da EVSE no contexto das *smart grids*.



Fonte: [12]

Tendo a proposta do FO e os resultados apresentados, é possível visualizar como em um cenário de grande penetração de VEs, se faz necessária a integração entre pontos de carregamento distribuídos. Nesse sentido, é necessário que as características dos elementos envolvidos, como as estações de recarga e os tipos de plugues de conexão utilizados, estejam previamente bem definidas. A seguir, serão apresentadas informações adicionais sobre as especificações de EVSEs e, posteriormente, são abordados os protocolos de comunicação.

### 2.3 Recarga de VEs – Características das estações de recarga e plugues de carregamento

Nesta seção, serão exploradas algumas características técnicas e definições associadas à infraestrutura de carregamento de VEs e as estações de recarga.

#### 2.3.1 Estações de recarga: Modos de carregamento

Segundo a Comissão Eletrotécnica Internacional – IEC (um órgão não governamental com o objetivo de desenvolver normas de sistemas elétricos seguindo parâmetros de segurança, saúde e sustentabilidade), os tipos de sistema de carregamento de VEs, ou estações de recarga, definido pela padronização IEC 61851-1 são normalmente divididos em 4 categorias, referidas como “modos de carregamento”. Os modos 1 a 3 se utilizam de corrente AC, enquanto o modo 4, corrente DC.

Os modos 1 e 2 são majoritariamente residenciais, o modo 1, considerado lento, utiliza plugues residenciais, sem nenhuma camada de proteção adicional, com corrente limitada a 16A, não sendo recomendada para recarga de VEs, e até proibida em alguns países [4, 27]. O modo 2, tem uma limitação de corrente 32A e conta uma adaptação do plugue, e também com um equipamento de proteção contra choques e incêndios elétricos chamado Dispositivo de Corrente Residual, sendo um meio de recarga comum em ambientes residenciais. No entanto é proibido na Itália, e tem uso restrito no Canadá, Suíça, Dinamarca e França [28].

Os sistemas com modos 3 e 4 são especializados, não podem ser incorporados em tomadas residenciais comuns e necessitam de um sistema elétrico independente e planejado de segurança. Englobam as modalidades de carregamento lenta a rápidas, e são os modos mais utilizados em estações de carregamento não residenciais, muitas vezes com uma finalidade comercial [4, 27]. O modo 3 consiste em sistemas que normalmente podem alcançar até 22kW de potência e têm algum nível de comunicação bidirecional entre o veículo e a estação de carregamento. É importante notar que, nesse modo, a conversão da corrente AC-DC ocorre no VE, em um conversor interno. Já o modo 4, na definição pela IEC pode chegar a até 400V/200A em corrente contínua, ou até 100kW de potência, e é definido como “modo rápido em corrente contínua”; nesse modo, a conversão da corrente AC-DC ocorre na estação de carregamento. Os modos de carregamento, segundo a norma, foram sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modos de carga segundo a IEC 61851-1

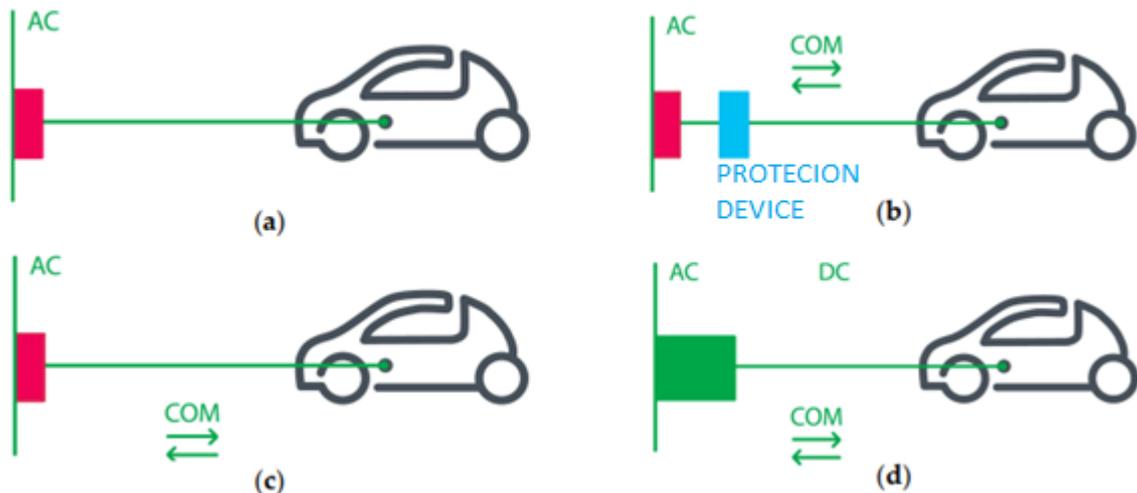
Modo	Tensão	Corrente	Tipo
Modo 1	250V 1φ / 480V 3 φ	16A	AC, não dedicado
Modo 2	250V 1φ / 480V 3 φ	16A	AC, não dedicado
Modo 3	250V 1φ / 480V 3 φ	16A	AC, dedicado (IEC 62196-2)
Modo 4	400V	200A	DC, dedicado (62196-3)

Fonte: Próprio autor

Uma observação importante é que, além das definições da IEC, companhias já passaram dos limites de potência definidos, chegando no patamar chamado de carregamento ultrarrápido. Por exemplo, as empresas *ChargePoint* e *NIO*, que são duas grandes inovadoras na área de carregadores de VEs, apresentam modelos comerciais que ultrapassam os 100 kW definidos norma: o *ChargePoint Express Plus*,

que pode atingir até 500 kW de potência [29], e *NIO Power Charger 4.0*, que pode atingir até 640 kW de potência [30].

Figura 7 - Diagramas representativos dos modos de carregamento: (a) Modo 1; (b) Modo 2; (c) Modo 3; (d) Modo 4.



Fonte: Adaptado de [31]

Também existe uma categorização das EVSEs chamada tipo ou nível de carregamento, que está relacionada com a potência ou corrente máximas que uma EVSE pode disponibilizar para um VE conectado.

### 2.3.2 Velocidades de carregador: Tipo de carregamento ou Nível de carregamento

Tipicamente, os tipos de estações estão divididos em quatro: *Level 1*) lenta; *Level 2*) semi-rápida; *Level 3*) rápida; *Level 4*) ultrarrápida. Essas categorias são definidas por velocidade de carregamento, ou seja, potência máxima de saída, e como consequência, para suportar diferentes potências, diferentes tipos de conectores ou plugues para os VEs foram desenvolvidos [4, 32]. Os tipos de recarga com suas informações estão sumarizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Velocidade, modo e tipo de plugue do carregamento de VEs.

<b>Tipo de recarga</b>	<b>Modo</b>	<b>Tipo de conector no VE</b>
Lenta: 2,4kW, 3kW	Modo 2	Tipo 1 ou Tipo 2
Rápida: 3,7kW, 7,4kW, 11kW, 22kW	Modo 2	Tipo 1 ou Tipo 2
Rápida AC: 43kW	Modo 3	Tipo 2
Rápida CC: 20-50kW	Modo 4	CHAdEMO ou Combo 2 (CSS)
Ultrarrápida CC: 100+kW	Modo 4	CHAdEMO ou Combo 2 (CSS)

Fonte: Adaptado de [4]

### 2.3.3 Tipos de plugue

Com o passar dos anos, diferentes tipos de conectores foram desenvolvidos a fim de suprir as demandas de potência, ergonomia, e comunicação entre as EVSEs e os VEs [33, 34] além disso, fatores geográficos também definiram a disseminação dessas tecnologias, de maneira que existem padrões que dominam diferentes mercados, basicamente separados em 4 regiões: América do Norte, Europa, China e Japão [35]. Abaixo, podemos ter uma visualização geral dos tipos de plugue e sua distribuição geográfica.

#### 2.3.3.1 SAE J1772 – Tipo 1

Também conhecido como Plugue J é utilizado principalmente na América do Norte e no Japão. Tem 5 pinos e pode suportar até 80A em uma entrada de 240V, oferecendo uma potência máxima de 19,2kW, se enquadrando nos níveis de carregamento 1 e 2. Apenas suporta carregamento monofásico, e não possui sistema de travamento [34]. A Figura 8 ilustra um plugue do padrão SAE J1772 – Tipo 1.

Figura 8 - Conector Tipo 1

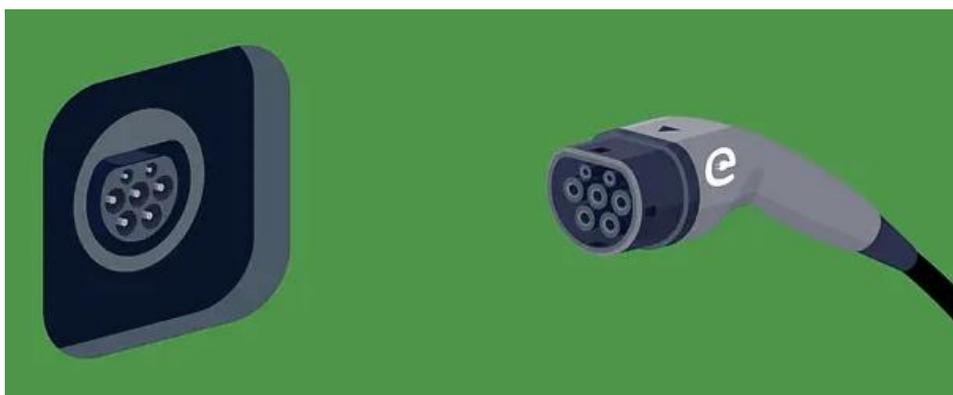


Fonte: Adaptado de [34].

### 2.3.3.2 Mennekes – Tipo 2

Esse tipo de carregador é majoritariamente utilizado na Europa. Contém 7 pinos e pode suportar até 32A em uma entrada de até 230V monofásico ou 400V trifásico, fornecendo uma potência de 7,6kW ou 22kW, respectivamente, se enquadrando no nível de carregamento 2. Suporta carregamento monofásico ou trifásico, e conta com um sistema de travamento que impede que seja removido enquanto o carregamento estiver ativo [34]. A Figura 9 ilustra um plugue do padrão Mennekes – Tipo 2.

Figura 9 - Conector Tipo 2



Fonte: Adaptado de [34].

### 2.3.3.3 CSS – Tipo 1 ou CSS Combo 1

CSS significa *Combined Charging System*, e tem esse nome devido ao fato de que combina um plug AC com mais dois pinos de carregamento DC. Esse carregador é majoritariamente utilizado na Europa. O CSS Combo 1 contém 7 pinos e pode suportar até 500A em uma entrada de 1000V DC, podendo atingir até 360kW, se enquadrando nos níveis de carregamento 1, 2, 3 e 4. Suporta carregamento monofásico, trifásico e em corrente contínua [34]. A Figura 10 ilustra um plugue do padrão CSS Combo 1.

Figura 10 - Conector CSS Tipo 1



Fonte: Adaptado de [34].

### 2.3.3.4 CSS – Tipo 2 ou CSS Combo 2

Esse carregador é majoritariamente utilizado na América do Norte. O CSS Combo 2 contém 5 pinos e pode suportar até 500A em uma entrada 1000V DC, podendo atingir até 360kW, se enquadrando nos níveis de carregamento 2, 3 e 4. Suporta apenas carregamento em corrente contínua [34]. A Figura 11 ilustra um plugue do padrão CSS Combo 2.

Figura 11 - Conector CSS Tipo 2

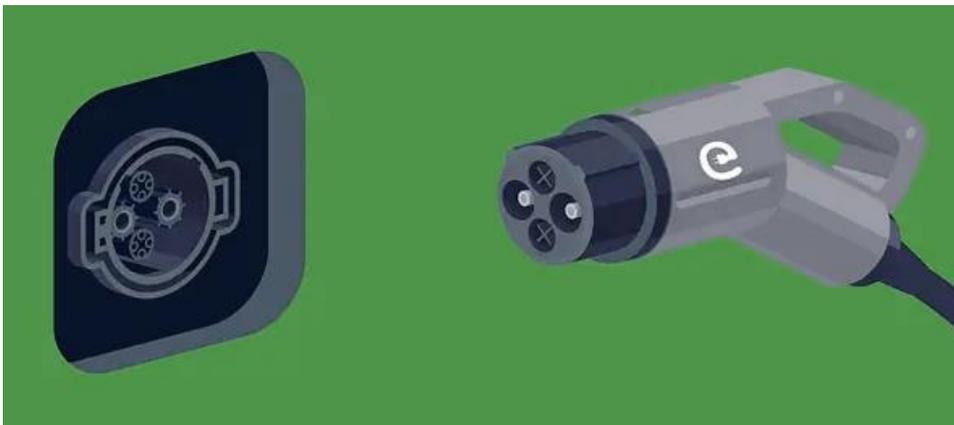


Fonte: Adaptado de [34].

#### 2.3.3.5 CHAdeMO

É um conector que foi inicialmente desenvolvido por fabricantes japonesas, e foi criado antes do CSS. Utilizado majoritariamente no Japão, o CHAdeMO contém 10 pinos, e pode fornecer até 400A em como uma saída de 400V, podendo atingir até 400kW, mas para atingir a máxima potência de saída, o cabo precisaria de um resfriamento por líquido, similar aos CSS. Se enquadra nos níveis de carregamento 2, 3 e 4. Suporta apenas corrente contínua [34]. A Figura 12 ilustra um plugue do padrão CHAdeMO.

Figura 12 - Conector CHAdeMO



Fonte: Adaptado de [34].

### 2.3.3.6 GB/T AC

Na China, só existem dois tipos de plugues utilizados no mercado, ambos chamados GB/T, devido aos padrões nacionais utilizados, “*Guobiao national standards*”. O GB/T AC tem aparência muito similar com o Tipo 2, mas tem organização dos pinos diferente, tornando-os incompatíveis. Pode fornecer até 7,4kW por fase, se enquadrando no nível de carregamento 2. Suporta apenas carregamento em corrente alternada, monofásica ou trifásica [34]. A Figura 13 ilustra um plugue do padrão GB/T AC.

Figura 13 - Conector GB/T AC

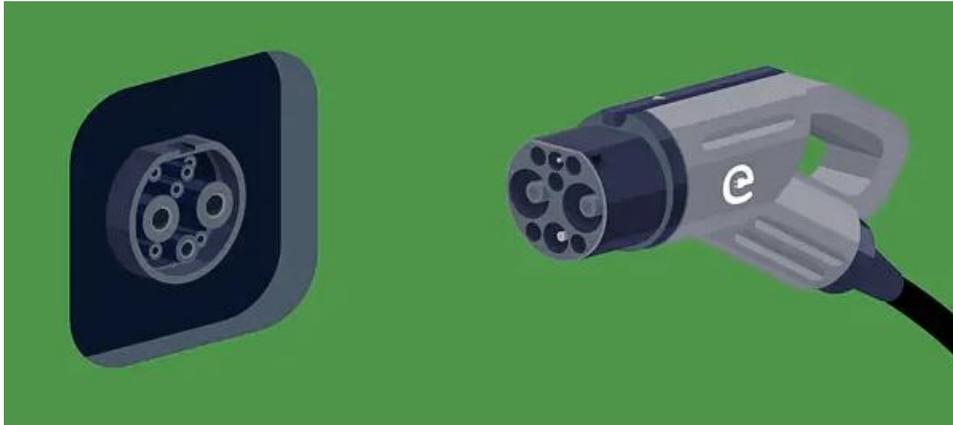


Fonte: Adaptado de [34].

### 2.3.3.7 GB/T DC

O segundo carregador chinês, para corrente DC, contém 9 pinos e pode fornecer até 250A, podendo atingir até 275.5kW, se enquadrando nos níveis de carregamento 2, 3 e 4. Suporta apenas carregamento em corrente contínua [34]. A Figura 14 ilustra um plugue do padrão GB/T DC.

Figura 14 - Conector GB/T DC



Fonte: Adaptado de [34].

### 2.3.3.8 Tesla Connectors

O NACS (*North American Charging Standard*) é utilizado nos carros Tesla da América do Norte, foi inicialmente o conector proprietário da empresa Tesla, que antes era chamado de *Tesla SuperCharger*, esse aceita carregamento AC e DC e pode fornecer até 250kW, se enquadrando nos carregamentos de níveis 2, 3 e 4. Apesar de ter sido disponibilizado para uso por outras empresas, por enquanto apenas é utilizado por carros Tesla, além disso, fora da América do Norte, os VEs da Tesla usam os plugues convencionais [34]. A Figura 15 ilustra um plugue do padrão Tesla NACS.

Figura 15 - Conector Tesla NACS



Fonte: Adaptado de [34].

Todos os cabos apresentados possuem características de proteção contra sobrecorrente, sobretensão, falhas no aterramento e altas temperaturas, acrescentando muito na segurança dos usuários [34].

Concluindo esta seção, vale a pena ressaltar que a depender do conector DC, protocolos de comunicação diferentes entre EVSE e VE são usados: conectores CHAdeMO e GB/T utilizam o protocolo CAN, enquanto CCS1 e CCS2 utilizam protocolo PLC (*Power line communication*) [35].

Este capítulo descreveu as principais tecnologias, modalidades de supervisão e equipamentos que essencialmente fazem parte do contexto da recarga de VEs. No próximo capítulo, é apresentada uma revisão sobre como é possível realizar a comunicação e o controle de EVSEs, e que tipos de tecnologias podem ser utilizadas.

### 3 CONTROLE E SUPERVISÃO DE ESTAÇÕES DE REGARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Para o desenvolvimento das *smart grids*, a comunicação entre os diferentes agentes na rede elétrica é fundamental [36]. Por exemplo, para realizar o controle de uma EVSE, é necessário que haja uma estrutura de comunicação bem estabelecida. As dinâmicas de interação entre os equipamentos ocorrem a nível de software através de protocolos de comunicação, que são, de maneira resumida, um conjunto de definições da estrutura dos dados trocados entre dois ou mais equipamentos. Os protocolos de comunicação estabelecem as regras de como é permitido o recebimento e o envio de dados e informações corretamente [26].

A norma IEC 61850 é uma padronização internacional para a automação da distribuição energética e controle de subestações elétricas, de maneira geral e para o controle de recursos energéticos distribuídos [37]. Essa norma, devido a sua estrutura que faz aplicação do paradigma de programação orientada a objetos [37, 38, 36, 39], tem uma capacidade muito abrangente de aplicações. Idealmente qualquer tipo de objeto de comunicação pode ser implementado, e conseqüentemente, é possível comunicar-se com uma grande gama de dispositivos com diversificadas funções e fabricantes [36]. Devido a isso, o protocolo estabelecido pela norma IEC 61850 é apresentado como uma ferramenta com elevado potencial para uso por um *fleet operator* para integração entre os agentes de uma *smart grid* [37, 38, 36].

O OCPP – *Open Charge Communication Protocol* é o protocolo de comunicação atualmente aceito pela indústria de EVSEs para a comunicação entre a estação de recarga e o seu sistema de controle. Por exemplo, o FO ou algum outro tipo de sistema inteligente [36, 40]. Quando integrado com o IEC 61850, permite com que o FO trate a EVSE como uma unidade de recurso distribuído na rede [36]. Desta forma, considerando os padrões de comunicação estabelecidos, será tomado como objetivo propor uma estrutura da relação do FO com a EVSE através do protocolo de comunicação OCPP. Para tal, um requisito necessário é identificar como o protocolo estabelece e mantém a comunicação, e que tipo de informação a EVSE pode trocar com o FO.

### 3.1 Protocolo de comunicação Open Charge Point Protocol – OCPP

Em 2010, uma organização não lucrativa, a *ElaadNL*, visava instalar 10 mil estações de recarga na Holanda, e para esse fim, iniciou processo de desenvolvimento de um protocolo que fosse capaz de padronizar o controle dessas estações: o OCPP. Ainda em 2010 foi lançada a primeira versão, o OCPP 1.0, que foi disponibilizado desde o início como uma ferramenta de incentivo ao crescimento da indústria e do próprio protocolo. Em 2012, com o crescimento da tecnologia e o surgimento de novas demandas, foi lançada a primeira atualização, o OCPP 1.5 [41].

Em 2014, a Open Charge Alliance – OCA foi estabelecida como organização não lucrativa sob a legislação holandesa. A OCA surge a partir de um esforço conjunto de fornecedores de produtos e serviços, com o objetivo do fomento de iniciativas relacionadas aos sistemas de infraestrutura, logística e pesquisa e desenvolvimento relacionados aos VEs. É a instituição responsável pelo desenvolvimento e manutenção do protocolo OCPP [41]. Em 2015, foi lançado o OCPP 1.6, que agregou diversas novas funcionalidades como gerenciamento de cargas, a implementação do *smart charging*. A versão 1.6 é atualmente a mais utilizada no mundo. Em 2018 e 2020 as versões 2.0 e 2.0.1 foram lançadas, respectivamente. Apesar de terem sido desenvolvidos com um esforço conjunto de pesquisa e feedback da indústria, incorporou modelos de comunicação incompatíveis com as versões anteriores, o que dificultou a sua adoção [41].

Para uma análise detalhada do protocolo OCPP 1.6 será utilizada como base a documentação oficial do protocolo [40], disponibilizada pela OCA, e os pontos de maior relevância informativa serão explorados. Por ser a versão mais utilizada globalmente, e por já permitir as funcionalidades de controle de carga e *smart charging*, o protocolo OCPP 1.6 foi escolhido como objeto de estudos. Visando pacificar a nomenclatura dos elementos, duas definições básicas devem ser estabelecidas: (i) o termo *Central System* – CS é utilizado no OCPP para denominar o equipamento que está conectado à EVSE e realiza as trocas de informação com ela e (ii) o termo *Charge Point*, é, no protocolo, usado para se referir à própria EVSE [40].

É importante apontar que o OCPP 1.6 permite a utilização do protocolo *WebSocket* para comunicação, o que viabiliza a implementação dos modos de utilização baseados em JSON (*Java Script Object Notation*) ou SOAP (*Simple Object*

*Access Protocol*) [40]. Apesar de os modos terem suas particularidades, são análogos nos objetivos e utilizam lógicas parecidas. Entre os dois, optou-se pelo uso do modo JSON, por sua maior simplicidade e compatibilidade com as outras ferramentas que serão utilizadas na estrutura que será proposta posteriormente neste trabalho.

### 3.1.1 Perfis de controle

No OCPP, as mensagens que podem ser enviadas e funcionalidades estão agrupadas em perfis, mostrados na Tabela 3. Dependendo da funcionalidade, desenvolvedores podem escolher implementar a quantidade de perfis que quiserem, e os clientes podem usar os perfis como medida de se o sistema desenvolvido está de acordo com o seu modelo de negócios.

Tabela 3 - Perfis de controle do OCPP 1.6

Nome do perfil	Tipo de conector no VE
Core	Funcionalidades básicas de operação, comparadas ao OCPP 1.5, sem suporte para atualizações de firmware, lista de autorização local ou reservas.
Gerenciamento de Firmware	Suporte para o gerenciamento do update de firmware e download do arquivo de logs.
Gerenciamento de lista de autenticação local	Funcionalidade de gerenciar a autenticação local de usuários da EVSE
Reserva	Suporte para a reserva dos pontos de carregamento
Smart charging	Suporte para o <i>smart charging</i>
Gatilho remoto	Suporte para o gatilho remoto de mensagens iniciadas pela EVSE

Fonte: Adaptado de [40]

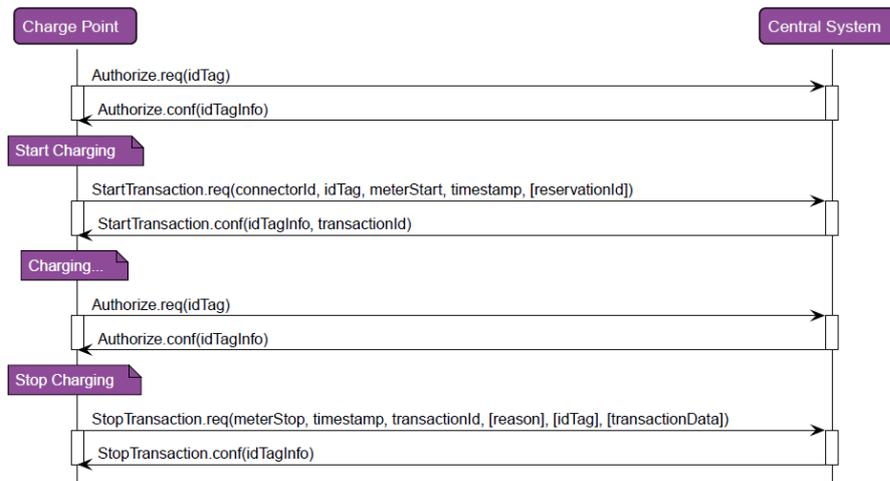
### 3.1.2 Origem das mensagens

Toda a comunicação entre o CS e a EVSE está classificada em duas categorias: 1) mensagens iniciadas pela EVSE; 2) mensagens iniciadas pelo CS. A Figura 16 e a Figura 17 exemplificam as categorias citadas. Os sentidos das setas identificam quem está enviando a mensagem, e quem está apenas respondendo.

Sempre que uma recarga for iniciada e a autorização estiver habilitada, antes de iniciar a recarga, a EVSE solicita que o *Central System* confirme a autenticação do usuário. Antes de finalizar, o CS também requer a confirmação de que o usuário finalizando a recarga é o mesmo que a iniciou.

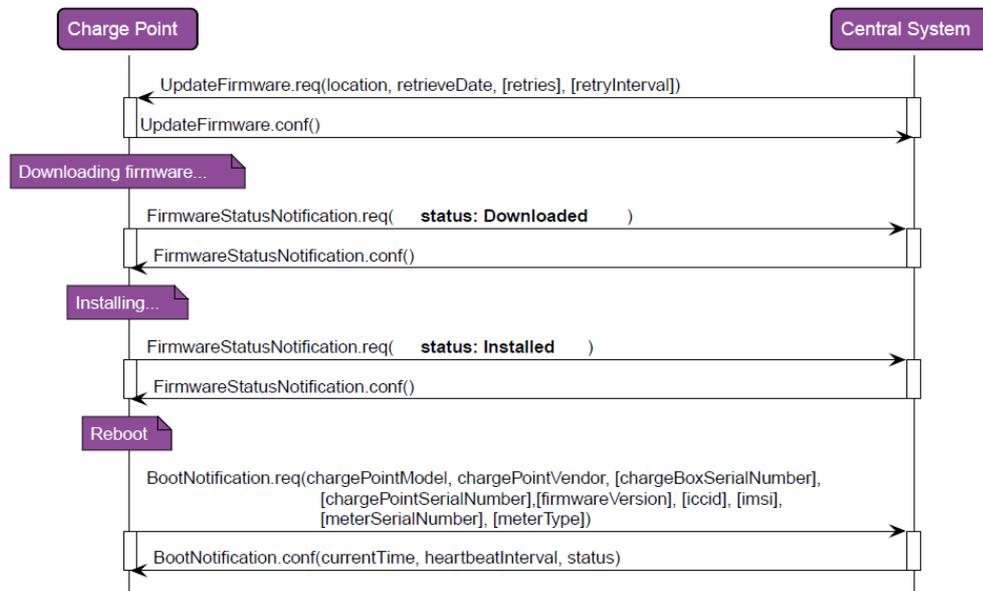
Quando é necessário atualizar o firmware, o central system informa à EVSE o momento em que ela poderá iniciar a instalação, e, após iniciada, a EVSE deve sempre informar ao CS cada etapa do processo, como ilustrado na Figura 17.

Figura 16 - Exemplo do processo de início e fim de uma recarga



Fonte: [40]

Figura 17 - Exemplo do procedimento de update de firmware



Fonte: [40]

### 3.1.3 Autenticação offline

Caso o CS e a EVSE estejam desconectados por algum motivo, a estação de recarga deve ter autonomia para operar sozinha, no modo offline. Para isso, a EVSE pode armazenar informações de autenticação dos usuários em duas listas: 1) Cache de Autorização e/ou 2) Lista de Autorização Local.

O Cache de Autorização deve guardar em memória algumas das informações de autenticação dos usuários que utilizaram a autenticação recentemente. Já a Lista de Autorização Local é uma lista que pode ser sincronizada com o CS, contendo as informações de todos, ou uma parcela dos usuários já autorizados.

### 3.1.4 Recarga

A recarga é composta por 4 diferentes estados que se sobrepõem:

#### 3.1.4.1 Sessão de recarga

É considerada iniciada quando o usuário tem o primeiro contato com o sistema, que pode ser através de um cartão de identificação, sensor de presença do veículo, conexão do plugue etc. A sessão termina quando a EVSE está novamente disponível, sem plugues conectados, e com a vaga de recarga livre.

#### 3.1.4.2 Transação

Inicia quando todas as condições da recarga foram satisfeitas: EV conectado à EVSE, usuário autorizado, ou outras que possam ser predefinidas. É finalizada quando todas as condições que viabilizam a recarga se tornam falsas.

#### 3.1.4.3 Período de oferta de energia

Inicia quando a EVSE está pronta e disponível para fornecer energia. Durante uma transação pode haver mais de um período de oferta de energia, por exemplo, um período de oferta pode ser interrompido para atingir uma condição de balanceamento de carga ou de *smart charging* externo.

#### 3.1.4.4 Período de transferência de energia

É todo o momento em que está havendo alguma transferência de energia entre o VE e a EVSE. Durante o mesmo período de oferta de energia, pode haver diferentes períodos de transferência de energia. Por exemplo, por conta de um sobreaquecimento das baterias, ou no caso em que há um sistema de *smart charging* interno em vigor que limitou a corrente naquele momento.

#### 3.1.5 Smart charging

Com o *smart charging*, o Central System tem a capacidade de fornecer limitações de corrente e potência para a plugues individuais para uma EVSE ou um

grupo de EVSEs, a partir de perfis de recarga que são enviados através de uma operação iniciada pelo CS.

Um Perfil de Recarga, ou *Charging Profile* é, de maneira simples, uma listagem com intervalos de tempo, e as correntes ou potências máximas que os dispositivos controlados podem atingir naquele intervalo. Existem três tipos de perfil de recarga:

#### 3.1.5.1 *ChargePointMaxProfile*

Esse perfil pode ser usado quando há a intenção de se fazer balanceamento de carga, já que ele define sempre uma limitação compartilhada entre os conectores da EVSE.

#### 3.1.5.2 *TxDefaultProfile*

O perfil Default pode ser usado para impor políticas de carregamento para um ou mais conectores da EVSE. Por exemplo, ao definir que um dos plugues não poderá ser usado durante os horários de pico, ou não poderá ser usado durante o dia.

#### 3.1.5.3 *TxProfile*

Esse tipo de perfil é atrelado a uma transação específica, e apenas a ela, deve ser excluído após o término da transação ao qual foi atrelado. Também deve sobrepor o perfil *Default* caso ambos estejam presentes.

### 3.1.6 **Estrutura das mensagens**

Como mencionado no início do capítulo, as mensagens trocadas pelo protocolo a partir das configurações selecionadas são escritas no formato JSON. Esse formato permite receber e enviar objetos com estruturas definidas. Como o exemplo, a Figura 18 ilustra a estrutura de uma possível mensagem de *BootNotification* enviada pela EVSE para o CS.

Figura 18 - Estrutura de um código JSON usado para o envio da mensagem de BootNotification pela EVSE

```
"payload": {  
  "chargePointVendor": "string",  
  "chargePointModel": string,  
  "chargePointSerialNumber":string  
}
```

Fonte: Próprio autor

Apesar de não contar com implementações que permitam a dinâmica V2G, o OCPP 1.6 permite explorar diversos aspectos dos sistemas de controle propostos no Capítulo 2 através do uso do *smart charging*.

### 3.2 Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta de código aberto, criado em Node.js, um software de interpretação da linguagem de programação *JavaScript*, se destaca na integração de sistemas de automação e conta com uma comunidade consolidada de desenvolvimento [42].

Idealizado inicialmente pela IBM – *Emerging Technology Services*, logo em seguida se tornou parte da Fundação JS Foundation, evidenciando seu compromisso com a inovação acessível e de qualidade. O Node-RED começou como um projeto interno da IBM, destinado a simplificar o desenvolvimento de aplicações voltados para a Internet das Coisas – IoT (do inglês *Internet of Things*). O emprego em aplicações de IoT é considerado uma das características notáveis do Node-RED. Seu lançamento como código aberto em 2013 marcou o início de uma jornada comunitária, em que contribuições de desenvolvedores globais continuaram a aprimorar e expandir suas capacidades [42].

O Node-RED é conhecido por sua abordagem visual e intuitiva na criação de fluxos de automação. No centro da ferramenta, encontra-se um ambiente gráfico baseado em navegador, permitindo que os desenvolvedores conectem blocos chamados "nós" para criar lógicas de fluxo. Esses nós representam uma variedade de funcionalidades, desde entrada de dados, processamento, até a saída de resultados;

tudo através da estrutura de chave-valor dos objetos JSON, geralmente no corpo principal das mensagens, chamado de *payload* [42, 43].

Os fluxos de automação são criados arrastando e soltando nós no editor, conectando-os para formar um fluxo lógico. Essa abordagem gráfica elimina parte da complexidade de codificação tradicional, tornando-o acessível a desenvolvedores de diferentes níveis de habilidade. Como exemplo, dois tipos de nós muito comumente usados são: 1) o *Switch*, que é responsável pelo tratamento de dados através de filtros de valores, isto é, caso os valores de uma mensagem satisfaçam determinadas condições, elas serão direcionadas para diferentes saídas do nó; e 2) o *Function node*, que é o bloco de função, utilizado para executar códigos programados em Javascript, que podem também receber uma mensagem em sua entrada, para que seja utilizada como base de algum processamento, etc. [42, 43].

Em resumo, o Node-RED representa uma abordagem inovadora para integração de sistemas, proporcionando uma plataforma visual e amigável para a criação de fluxos de automação. Sua evolução contínua e base sólida na colaboração comunitária continuam a solidificar sua posição como uma ferramenta essencial na caixa de ferramentas do desenvolvedor moderno [42, 43].

### 3.3 Banco de dados SQL e SQLite

Bancos de dados relacionais são a infraestrutura de uma gestão eficiente de dados em sistemas modernos. Essa abordagem organiza dados em tabelas, onde relacionamentos entre diferentes conjuntos de informações são estabelecidos. Os princípios fundamentais incluem [44]:

- Tabelas: Representam entidades distintas e contêm linhas de registros com colunas definindo os dados armazenados.
- Relacionamentos: Vínculos entre as tabelas, geralmente estabelecidos por meio do conceito de chaves primárias e estrangeiras.
- SQL – *Structured Query Language*: Linguagem padrão para consulta e manipulação de dados em bancos relacionais.

Já o SQLite, uma *engine* de banco de dados relacional, recebe muita atenção devido a sua simplicidade e eficiência. Algumas características distintas são: 1) a engine opera como uma biblioteca embutida, não requer um processo de servidor separado, o que remove a necessidade de configuração muito complexas ou administração contínua, tornando-o ideal para aplicativos incorporados e de pequena escala; e 2) oferece todas as funcionalidades essenciais do SQL, permitindo criação, consulta, atualização e exclusão de dados de maneira intuitiva [45].

As operações base como SELECT, INSERT, UPDATE e DELETE são executadas usando consultas SQL, fornecendo flexibilidade e controle sobre os bancos de dados criados, podemos ver um exemplo simples de criação de uma tabela chamada Usuários, com as colunas ID, Nome e Idade em um banco na Figura 19.

Figura 19 - Exemplo de criação de uma tabela em um banco SQL

```
CREATE TABLE Usuarios (  
    ID INTEGER PRIMARY KEY,  
    Nome TEXT NOT NULL,  
    Idade INTEGER  
);
```

Fonte: Próprio autor

Em resumo, bancos de dados relacionais, como exemplificado pelo SQLite, formam uma importante ferramenta para o funcionamento das aplicações modernas. A simplicidade do SQLite faz com que seja visto como uma escolha importante em diversas aplicações, proporcionando uma experiência robusta e eficiente para desenvolvedores em todo o espectro tecnológico.

## 4 ARQUITETURA DE GERENCIAMENTO INDIRETA DE ESTAÇÕES DE RECARGA

Como descrito anteriormente no Capítulo 2, com o objetivo de mitigar os impactos negativos da humanidade no meio ambiente, diversos países, além de definir metas ambiciosas de energias renováveis, estão caminhando para a substituição da frota de VEs nas próximas décadas.

A transição visando a descarbonização impões desafios individuais, tal como a possibilidade de ocorrência de sobrecarga de transformadores em horário de pico pelo consumo dos VEs ou o superavit de energia nos picos de geração das energias renováveis. Entre as estratégias de mitigação está a utilização de tecnologias de gerenciamento para a 1) a otimização da dinâmica de recarga dos VEs através do *smart charging* ou do balanceamento de carga (mitigando impactos na rede elétrica) e 2) uma integração das fontes de energia renovável com recursos energéticos distribuídos. Com o adequado gerenciamento, os VEs, quando operador numa dinâmica de V2G sob um perfil de *Smart Charging*, podem ser considerados como recursos energéticos distribuídos que armazenariam o excedente energético das fontes renováveis.

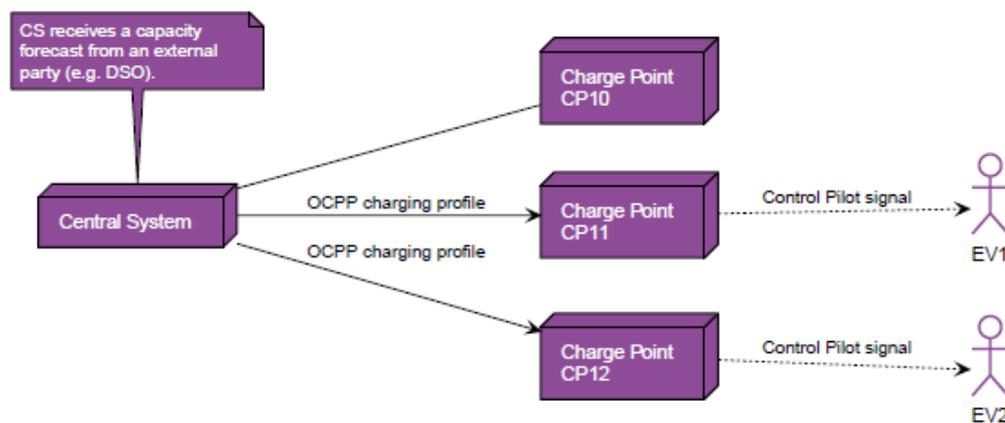
Para enfrentar esses desafios, será apresentada uma arquitetura, baseada na *Central Smart Charging* proposta pela OCA [40], mas em aplicação para a integração de uma EVSE em uma rede de diferentes equipamentos elétricos, inteligente e independente da rede elétrica, contando com a integração de múltiplos recursos energéticos (além da estação de recarga).

### 4.1 Central Smart Charging

Pela topologia definida do *Central Smart Charging*, representada na Figura 20, é considerado que o *Central System* está diretamente encarregado de todo o controle das EVSEs, podendo realizar todos os tipos de controle e limitação a partir de dados enviados por um sistema externo, como períodos de indisponibilidade, pedidos de reserva, limites de carga etc [40]. Partindo deste princípio, analisa-se um cenário de integração de múltiplos elementos instalados em um posto de carregamento de VEs, chamado “eletroposto”. Considerando o contexto de descarbonização e as motivações

socioambientais, poderá ser comum no futuro que os eletropostos sejam construídos com a integração de fontes de energia renovável, armazenamento de energia e integração com a rede, tal como como o caso citado por Oliveira et al. [20], onde o sistema apresentado conta com geração fotovoltaica, baterias de alta capacidade e EVSEs.

Figura 20 - Topologia do Central Smart Charging



Fonte: [40]

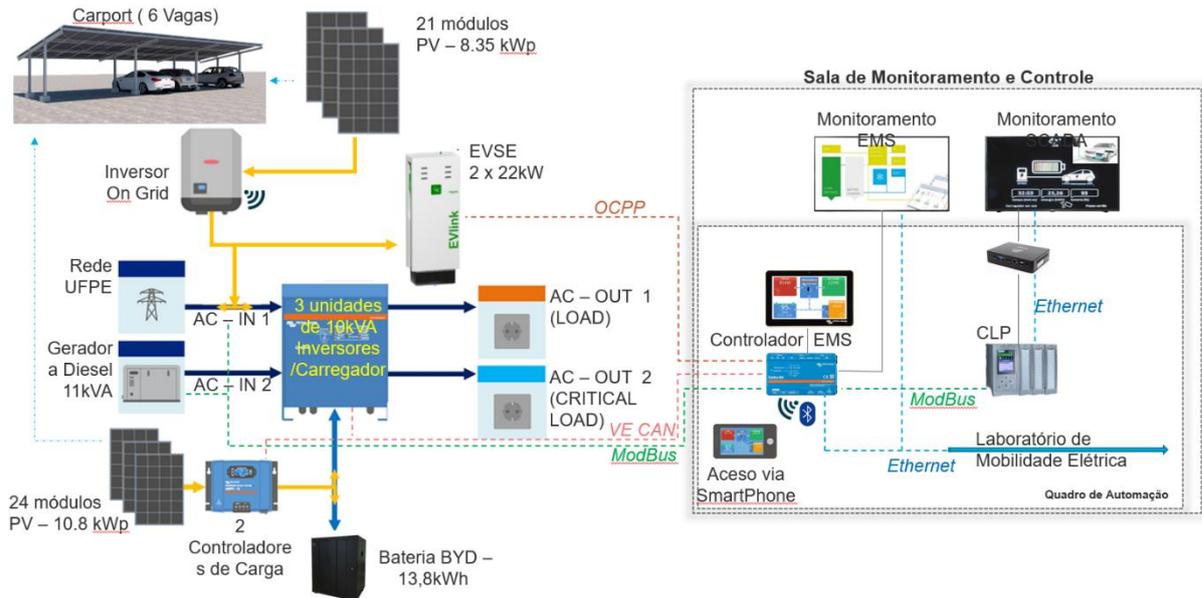
## 4.2 Estrutura do Laboratório de Armazenamento e Mobilidade – LAM

Por definição, uma *microrrede* é, segundo Danley e o *Departamento de Energia dos Estados Unidos* [46], um conjunto de cargas interconectadas e distribuídas de recursos energéticos com fronteiras elétricas definidas e que opera como uma entidade unificada controlável com relação à rede [47]. Uma microrrede pode ser conectada ou desconectada da rede para permitir operação em modos conectado à rede ou ilhado.

O LAM é composto por uma estrutura que conta com diversos equipamentos, com topologia representada na Figura 21, em uma estrutura de microrrede. A instalação conta com equipamentos de recursos energéticos, como o inversor *Ongrid*, 19 kWp de módulos fotovoltaicos, integração com a rede, baterias de íons de Lítio e

a EVSE. O LAM conta também com equipamentos de controle e automação, como o CLP e o controlador centralizado, o *Cerbo GX* (que será discutido mais adiante).

Figura 21 - Estrutura de equipamentos do LAM e suas conexões



Fonte: Próprio autor

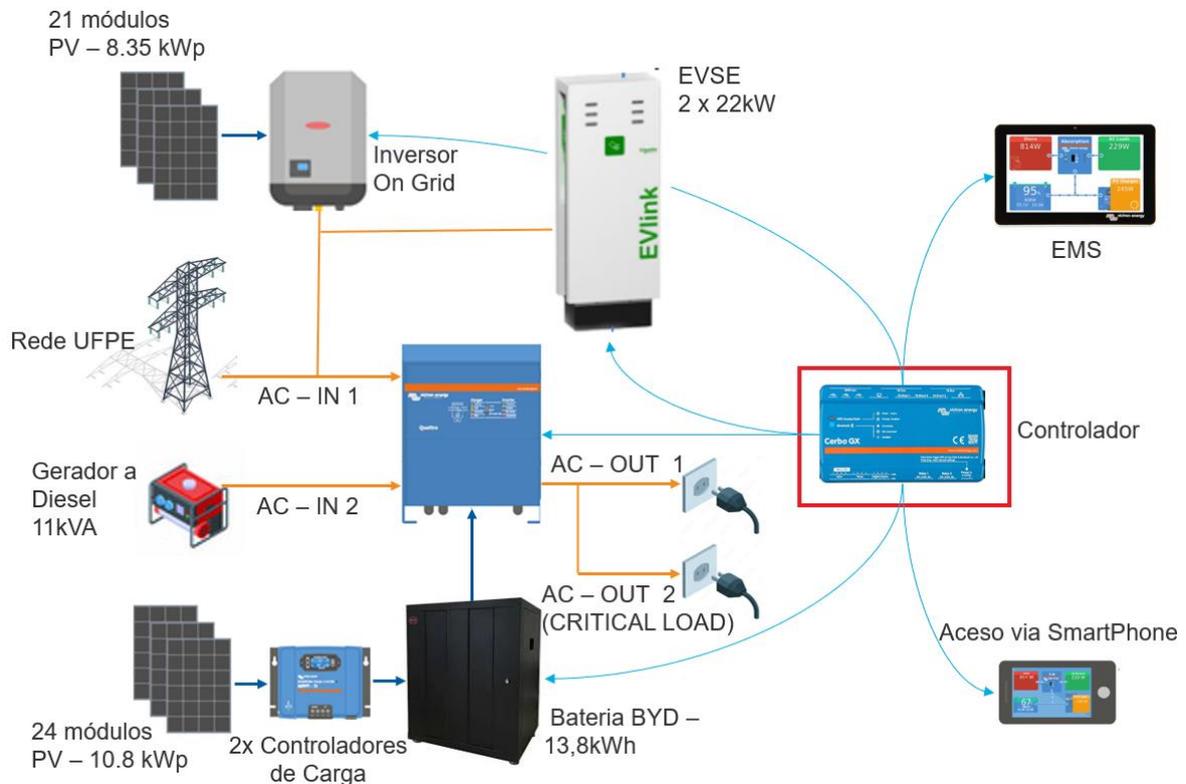
Uma integração completa de uma microrrede percorre diversas áreas de desenvolvimento e parametrização de dispositivos. Entretanto, quando em funcionamento pleno, possui um potencial didático enorme, devido ao fato de que é possível observar e experimentar as possíveis dificuldades que surgem das integrações dos recursos energéticos que fazem em um ambiente controlado.

### 4.3 Arquitetura proposta

Na arquitetura proposta na Figura 22, o controlador central é um dispositivo responsável por se comunicar com os demais equipamentos deve ter a capacidade de interagir com os diferentes protocolos de comunicação (VEBus, Modbus, OCPP etc.). Por padrão, o *Cerbo GX* já tem a capacidade de gerenciamento da maioria dos dispositivos da microrrede do LAM, mas não conta com uma integração para EVSEs,

sendo necessária uma ferramenta que viabilize essa integração, e esse é o objetivo da implementação proposta.

Figura 22 - Topologia do sistema de gerenciamento de frotas de VEs proposto



Fonte: Próprio autor

#### 4.4 Implementação

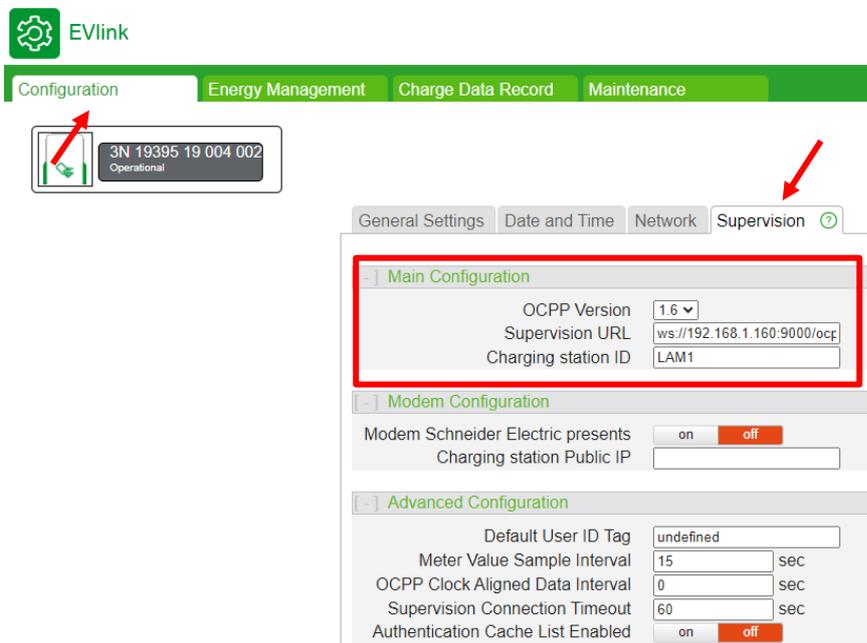
Foi realizada uma implementação que tem o objetivo de viabilizar o controle da EVSE pelo *Cerbo GX* através do protocolo OCPP 1.6, essencialmente, tornando-o o CS, de maneira que seja possível um entendimento profundo de seu funcionamento e de que tipo de ferramentas ele nos proporciona para o objetivo final do *smart charging*.

#### 4.4.1 EVSE: Schneider EVLink Parking

Para que a comunicação OCPP seja estabelecida é necessário que ambos os dispositivos, tanto a EVSE quanto o *Central System* sejam parametrizados de acordo com o protocolo *web socket* [40]. No caso da EVSE, sempre será necessário informar a URL de supervisão associada, que geralmente consiste no IP do dispositivo, seguido da porta de comunicação utilizada, e o caminho desejado. Por exemplo, se o IP do CS for 192.168.1.2, a porta OCPP definida for 9000 e o caminho for */ocpp*, a URL pode ser do tipo: *ws://192.168.1.2:9000/ocpp*.

No LAM, a EVSE é do fabricante Schneider, que pode ser configurado por um acesso direto na URL do seu IP por navegador. Ao realizar login, usando as credenciais definidas no comissionamento da EVSE, pode-se editar os parâmetros relacionados à comunicação OCPP na aba *Configuration>Supervision>Main configuration*, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Tela de configuração do EVLink Parking



Fonte: Próprio autor

Nessa tela, deveremos definir a *OCPD Version*, o *Supervision URL*, e o *Charging Station ID* de acordo com o nosso sistema, usando o *Supervision URL* relacionado ao Cerbo GX, que tem sua parametrização descrita a seguir.

#### **4.4.2 Node-RED no Cerbo GX**

Para que o Cerbo assuma a posição do *central system* na comunicação OCPP, pode-se utilizar o seu servidor Node-RED interno, que pode ser inicializado de acordo com o manual da própria fabricante [48], através do portal de controle remoto chamado VRM, ou através de controle local, seguindo alguns passos:

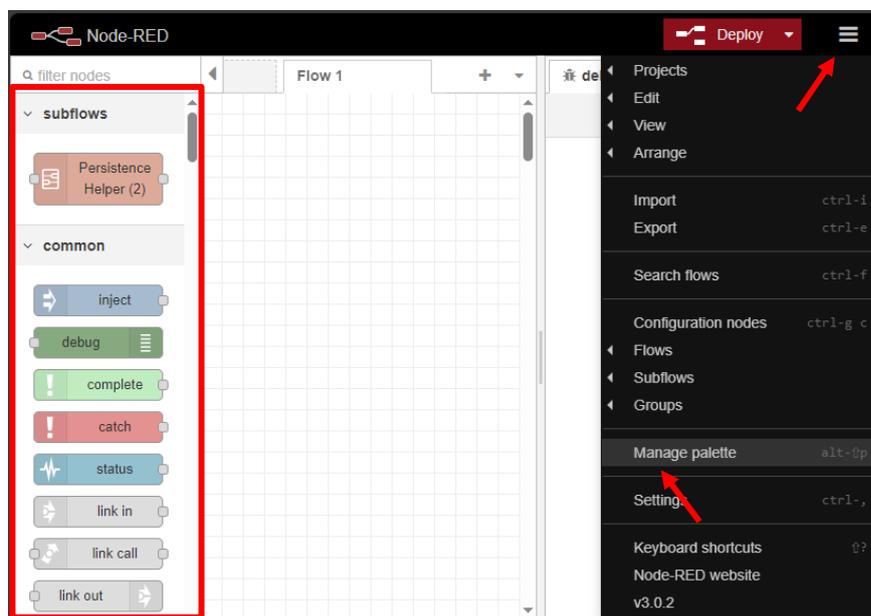
1. Atualizar o firmware do equipamento: Settings → Firmware → Online updates
2. Mudar o tipo de imagem para Venus OS Large: Settings → Firmware → Online updates → Image type
3. Verificar o menu do Venus OS e ativar o Node-RED: Settings → Venus OS Large Features
4. Com isso, é possível acessar o Node-RED do Cerbo através de um navegador. Estando na mesma rede que o equipamento, é possível estabelecer conexão através da porta específica do Node-RED para Cerbo: 1881, ou seja, se o IP do Cerbo for 192.168.1.1, o endereço da página do Node-RED será: <https://192.168.1.1:1881>

#### **4.4.3 Banco de dados no Node-RED**

Visando estabelecer um controle e monitoramento completo da EVSE, os dados de disponibilidade, erros, métricas de carregamento etc. são de alta relevância. Com esse objetivo de análise de resultados e dados de histórico de uso, é possível adicionar na aplicação um banco de dados para armazenar as informações. Através da biblioteca *node-red-node-sqlite* [49] é possível criar localmente um banco de dados capaz de armazenar esses dados de interesse.

Para utilizar a biblioteca mencionada, inicialmente deve-se encontrar e descarregar a biblioteca no Node-RED. No canto superior direito está o menu “*Manage Palette*” como mostrado na Figura 24.

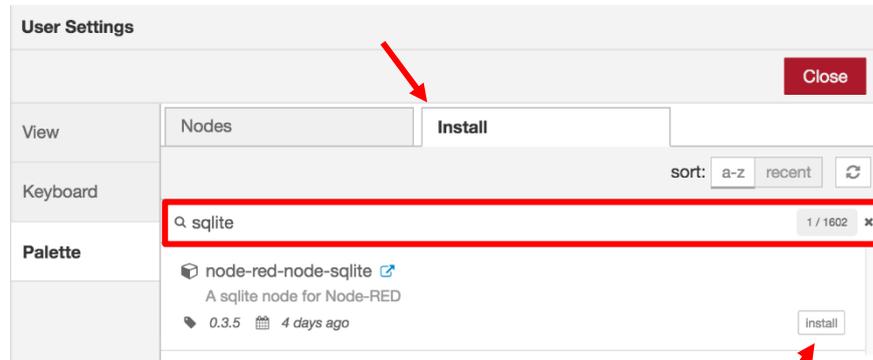
Figura 24 - Tela do Node-RED mostrando ao lado esquerdo a biblioteca de nós, e ao lado direito o menu *drop-down* expandido



Fonte: Próprio autor

Em seguida, já na tela de gerenciamento de bibliotecas, mostrada na Figura 25, deve-se buscar a biblioteca desejada e iniciar sua instalação. Neste caso, a biblioteca *node-red-node-sqlite*.

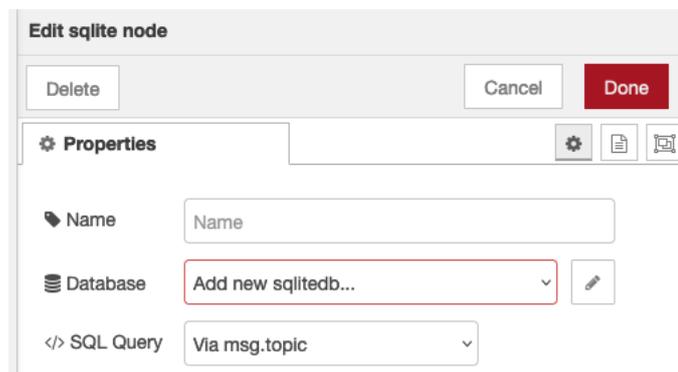
Figura 25 - Tela de gerenciamento de bibliotecas



Fonte: Próprio autor

Uma vez instalado, para utilizar o *sqlite*, basta procurar o nó ao lado esquerdo da tela inicial, como mostrado na Figura 24, na listagem de nós, e adicioná-lo ao fluxo. Para configurá-lo, deve-se pressionar duas vezes, exibindo sua janela de configuração. Na Figura 26, observa-se que esse nó deve ser configurado ao informar o caminho do arquivo .db nos arquivos do sistema, e qual o método de envio das queries.

Figura 26 - Configuração do nó sqlite



Fonte: Próprio autor

A Tabela 4 mostra a estrutura da tabela SQL criada conforme a seção 3.3 utilizada para armazenar os dados gerados pela EVSE, pensada com os dois principais objetivos: 1) armazenar todos os comandos enviados pela EVSE de

maneira que permita filtragem por comando e 2) armazenar as variáveis de carregamento de maneira que permita análises dos dados como tempo, variação de corrente etc.

Tabela 4 – Estrutura da tabela criada para o armazenamento dos dados da EVSE

Nome da coluna	Descrição	Tipo de dado	Obrigatoriedade
id	Identificador	Numérico	Sim
raw	Dado bruto recebido	Json	Sim
type	Tipo de mensagem enviada	Alfanumérico	Sim
datetime	Data e hora que o dado foi recebido	Data	Sim
deviceId	ID do dispositivo que enviou a mensagem	Numérico	Sim
status	Estado atual do carregador	Alfanumérico	Não
command	Comando OCPP enviado/recebido	Alfanumérico	Sim
plugId	ID do plug que enviou a mensagem relativo ao carregador (dispositivo)	Numérico	Não
energy	Soma da potência (KWh)	Numérico	Não
current	Corrente RMS (A)	Numérico	Não
currentMax	Corrente máxima (A)	Numérico	Não
currentL1	Corrente fase 1 (A)	Numérico	Não
currentL2	Corrente fase 2 (A)	Numérico	Não
currentL3	Corrente fase 3 (A)	Numérico	Não
voltage	Tensão (V)	Numérico	Não
voltageL1	Tensão fase 1 (V)	Numérico	Não
voltageL2	Tensão fase 2 (V)	Numérico	Não
voltageL3	Tensão fase 3 (V)	Numérico	Não

Fonte: Próprio autor

#### 4.4.4 OCPP 1.6 no Node-RED

Existe uma biblioteca da comunidade para o OCPP, a *node-red-contrib-ocpp* (*node*) que parametriza por completo a infraestrutura websocket da comunicação entre o Cerbo e a EVSE. Para utilizá-la é necessário baixar a mesma conforme descrito na seção anterior, e realizar algumas parametrizações a respeito da conexão com o EVSE, descritas a seguir.

Para que uma requisição seja concluída segundo as definições do protocolo, é sempre necessário que haja uma troca de informações entre as partes, sempre que a EVSE enviar uma mensagem, o CS deve responder, e vice-versa [40]. Na biblioteca

utilizada, os nós “*CS request JSON*”, “*CS server*” e “*server response*”, representados na Figura 27 são responsáveis por realizar essa dinâmica [50].

Figura 27 - Nós de comunicação OCPP JSON 1.6



Fonte: [50]

#### 4.4.4.1 *CS request JSON*

É usado para que o usuário envie uma requisição para a EVSE. O usuário pode enviar a requisição por um *payload* na entrada do nó, e a resposta da EVSE será transmitida na saída. Para realizar a configuração, deve-se editar o nó, e adicionar uma nova EVSE, conforme ilustra a Figura 28.

Figura 28 - Configuração do *CS request JSON*

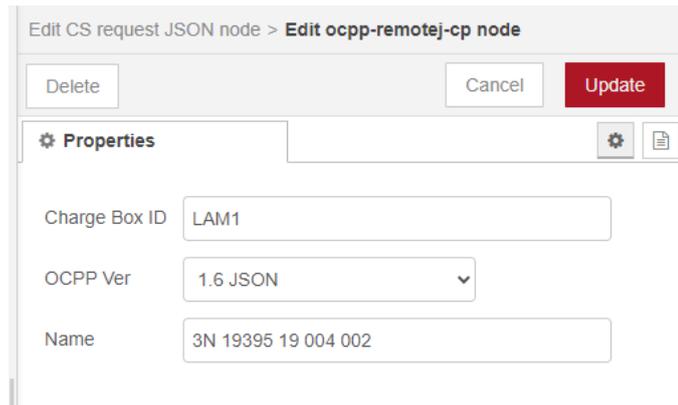
A imagem mostra a interface de usuário para editar o nó "CS request JSON". O título da janela é "Edit CS request JSON node". No topo, há botões para "Delete", "Cancel" e "Done". Abaixo, há uma seção "Properties" com ícones de configuração, documentação e ajuda. Os campos de configuração são: "Name" com o valor "CS Request Charger 1"; "EVSE" com o valor "3N 19395 19 004 002" e um ícone de edição destacado por um retângulo vermelho; "Command" com o valor "<None>"; e "Command Param" com o valor "JSON formatted parameters". Há também uma nota "\* = 1.6 command only" abaixo do campo "Command".

Fonte: Próprio autor

Ao adicionar uma nova EVSE, existem três parâmetros que podem ser editados, mostrados na Figura 29. Deve-se dar atenção especial ao parâmetro “*Charge Box ID*”,

que é um dos parâmetros utilizados para diferenciar uma EVSE da outra, em um cenário onde múltiplas estão se comunicando com o CS ao mesmo tempo.

Figura 29 - Tela de adição de uma nova EVSE



Edit CS request JSON node > Edit ocpp-remotej-cp node

Delete Cancel Update

⚙ Properties

Charge Box ID LAM1

OCPP Ver 1.6 JSON

Name 3N 19395 19 004 002

Fonte: Próprio autor

#### 4.4.4.2 CS Server

É utilizado para receber as mensagens que a EVSE envia. As mensagens que forem emitidas desse nó devem ser processadas e uma resposta de acordo com o que o protocolo determinar e as lógicas definidas pelo usuário deve ser emitida de volta para a EVSE. Ao editar esse nó, como mostrando na Figura 30, é possível definir a porta que será usada para a comunicação, que tipo de mensagem está sendo enviada pela EVSE, e o caminho da URL onde as mensagens enviadas estão sendo esperadas.

Figura 30 - Tela de configuração do nó CS Server

The image shows a configuration window titled "Properties" for a CS Server node. The "Name" field contains "CerboGX@9000". The "Port" field contains "9000" and is highlighted with a red box. Below this, there are three sections for OCPP protocols: "OCPP 1.5 SOAP" with an unchecked checkbox, "OCPP 1.6 SOAP" with an unchecked checkbox, and "OCPP 1.6 JSON" with a checked checkbox. The "Path" field at the bottom contains "/ocpp" and is also highlighted with a red box.

Fonte: Próprio autor

#### 4.4.4.3 Server response

Neste nó não há nenhuma configuração a ser feita, pois depois do processamento da mensagem oriunda do CS server, a resposta deve ser enviada pela entrada do nó *server response*. É interessante notar que a mensagem recebida pelo CS server contém em seu corpo informações sobre como deve ser respondida, então é necessário que o objeto da mensagem seja transmitido por completo, e altere-se apenas o *payload* antes de enviá-la ao *server response* [50].

Sabendo como configurar os nós que devem ser usados, é possível voltar-se agora para a estrutura das mensagens que devem ser enviadas, e como interpretar as que são recebidas.

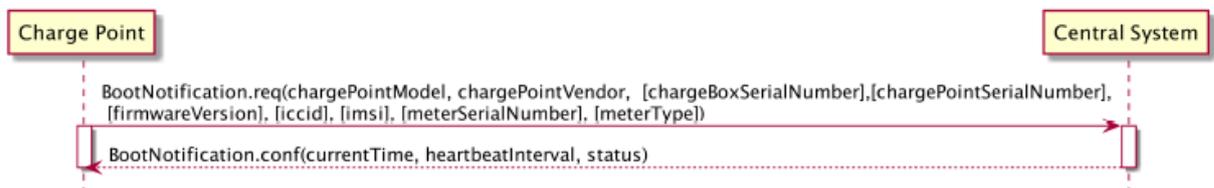
#### 4.4.5 Estrutura de uma mensagem OCPP

Ao acessar o site da OCA e baixar os arquivos do protocolo OCPP, é possível ter acesso a um arquivo .zip. Nele, há alguns arquivos PDF do protocolo OCPP, com uma pasta chamada *JSON Schemas*, onde são disponibilizados diversos arquivos JSON contendo as estruturas de cada tipo de mensagem que está definida no protocolo.

Usando esses arquivos como base, é possível entender quais parâmetros devem ser enviados para cada tipo de mensagem e quais tipos de variáveis devem ser inseridas nesses parâmetros. Como exemplo, será analisada a mensagem `BootNotification.conf`, na Figura 31.

O `BootNotification.req` é a primeira mensagem que a EVSE troca com o CS ao conectar-se [40]. Como vimos, ao receber uma mensagem, o CS deve sempre responder com algum tipo de validação como resposta, nesse caso, como exemplificado no diagrama da Figura 31, é possível identificar que ao enviar um `BootNotification.req`, o tipo da resposta esperada pela EVSE é um `BootNotification.conf`.

Figura 31 - Diagrama de comunicação do comando `BootNotification`



Fonte: [40]

Ao consultar os JSON Schemas, temos a estrutura mostrada na Figura 32, e podemos ver quais são os parâmetros do `BootNotification.conf`: A mensagem esperada é do tipo “object”, e as propriedades esperadas são 1) “status”, de tipo string, que pode assumir os valores “Accepted”, “Pending” ou “Rejected”; 2) “currentTime” de tipo string e deve ser enviada no formato date-time e 3) “interval”, do tipo inteiro; e que os três campos são obrigatórios.

Figura 32 - Estrutura do JSON Schema fornecido pela OCA

```

"$schema": "http://json-schema.org/draft-04/schema#",
"id": "urn:OCPP:1.6:2019:12:BootNotificationResponse",
"title": "BootNotificationResponse",
"type": "object",
"properties": {
  "status": {
    "type": "string",
    "additionalProperties": false,
    "enum": [
      "Accepted",
      "Pending",
      "Rejected"
    ]
  },
  "currentTime": {
    "type": "string",
    "format": "date-time"
  },
  "interval": {
    "type": "integer"
  }
},
"additionalProperties": false,
"required": [
  "status",
  "currentTime",
  "interval"
]

```

Fonte: [40]

Nesse caso, fica indefinido o significado da propriedade “*interval*” apenas observando o *schema*. Dessa maneira, ao consultar o manual, na seção do BootNoitification [40] é afirmado que esse campo “*interval*” contém o tempo do *heartbeat* em segundos. O intervalor de *heartbeat* configura uma dinâmica de comunicação que consiste em uma mensagem que a EVSE envia para o CS para reafirmar a persistência da comunicação entre os dois equipamentos. Sendo assim, a mensagem que a EVSE espera receber tem uma estrutura como ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Formato da mensagem esperada pela EVSE

```
{  
  "status": "Accepted",  
  "currentTime": new Date().toISOString(),  
  "heartbeatInterval": 60  
}
```

Fonte: Próprio autor

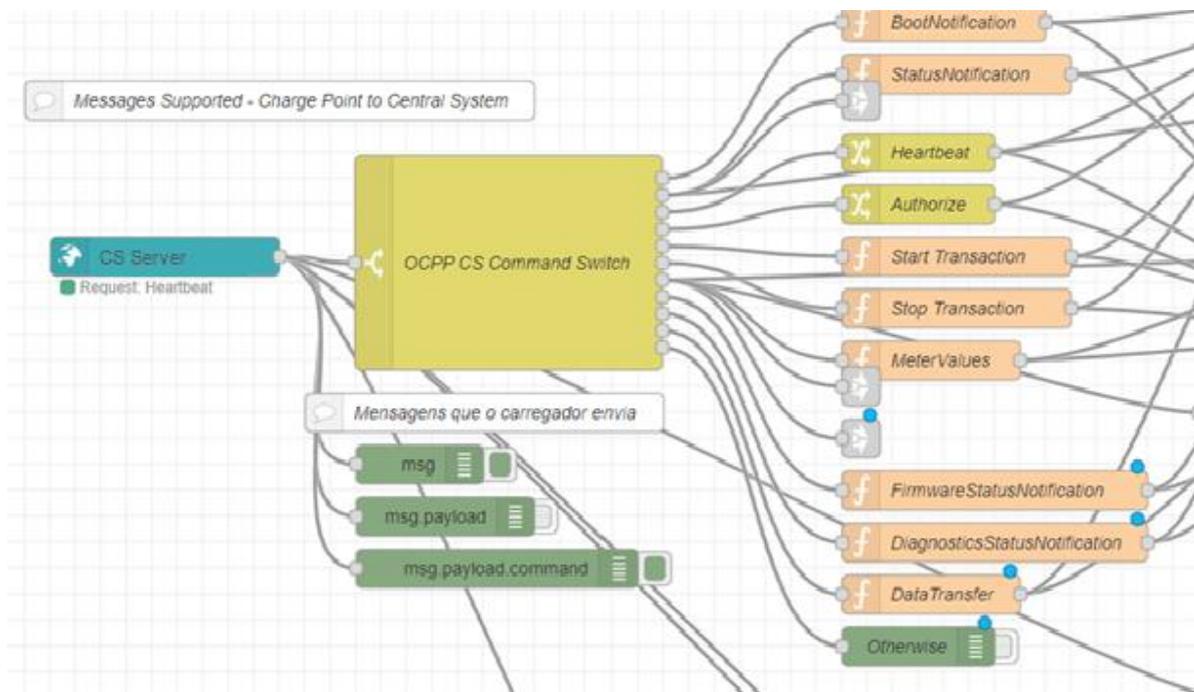
Com isso, fica estabelecida uma metodologia para a comunicação OCPP 1.6, e como definir uma mensagem através da consulta à documentação do protocolo, que agora pode ser usada de maneira generalista para entender e estabelecer qualquer tipo de mensagem que deve ser enviada ou recebida. Alguns exemplos de mensagem são apresentados na próxima seção.

#### **4.4.6 Criação do algoritmo de envio e recebimento de requisições OCPP**

Para a diferenciação das mensagens recebidas de maneira a criar e enviar uma resposta à EVSE de acordo com o protocolo, se faz necessária a implementação de uma integração entre um nó de *switch*, responsável por identificar o tipo de cada comando recebido pelo CS, e nós de *function*, responsáveis por montar o *payload* da resposta que será enviada, a estrutura criada resultante está representada na Figura 34.

Também é através de um nó de função que os dados das mensagens são processados para serem salvos no banco de dados.

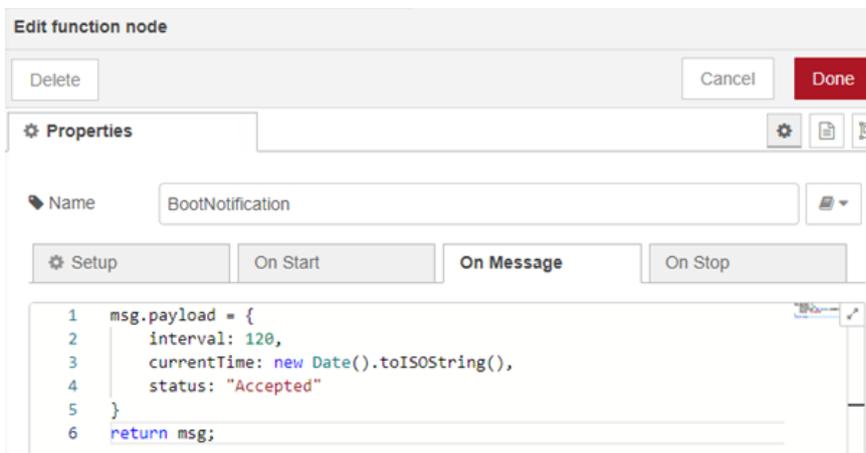
Figura 34 - Estrutura do *flow* criado para processamento de mensagens enviadas pela EVSE



Fonte: Próprio autor

Como mencionado, cada nó de função, será responsável por criar um *payload* definido de acordo com o protocolo, sendo assim, o nó de função do *BootNotification* realiza a operação de definir esse *payload* via um breve script, como mostrado na Figura 35.

Figura 35 - Configuração do nó de função *BootNotification*

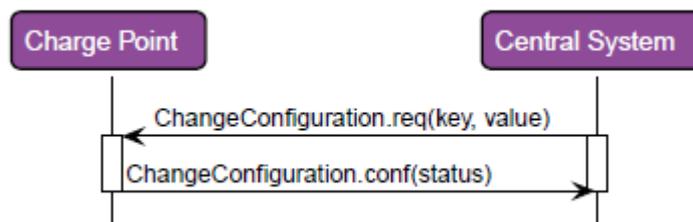


Fonte: Próprio autor

Já com relação aos comandos que partem da CS, através do nó *CS request JSON*, para o escopo desse trabalho vale a pena ressaltar alguns deles, representados nas Figuras Figura 36 a Figura 39.

O comando *ChangeConfiguration* é um comando utilizado para a definição de qualquer configuração editável da EVSE [40]. No caso do *EVLink Parking*, é interessante atentar-se a duas configurações definidas no manual do equipamento [51]: 1) *ControlChargeByRemoteCommand*, que habilita a utilização dos comandos de controle de recarga por comando externo, como *ReserveNow* e *SetChargingProfile*, entre outros; e 2) *maxIntensitySocket*, que limita qual o máximo de corrente que pode ser fornecida a qualquer momento pela EVSE [40, 51].

Figura 36 - Comando *ChangeConfiguration*



Fonte: [40]

O comando *ReserveNow*, ilustrado na Figura 37, tem a função de tornar a estação de recarga ou um conector indisponível aos usuários durante um certo intervalo predefinido no momento do envio do comando [40].

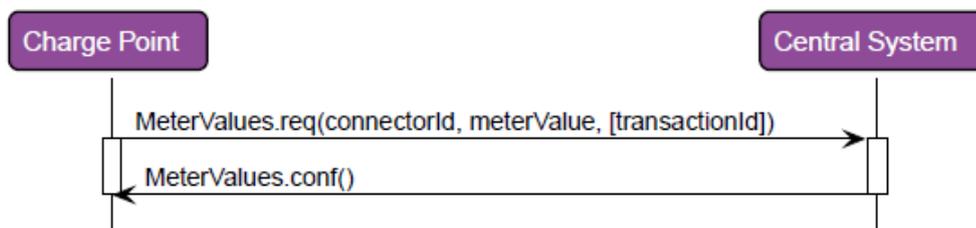
Figura 37 - Comando *ReserveNow*



Fonte: [40]

O *MeterValues* é o comando responsável por enviar os dados relacionados à recarga para o CS. Dentro do parâmetro *meterValue* da mensagem, como ilustrado na Figura 38, há um *array* com os objetos relacionados à cada variável, como energia, corrente trifásica, tensão, entre outros. Tanto os valores medidos quanto o intervalo de envio das mensagens podem ser editados utilizando o *ChangeConfiguration*.

Figura 38 - Comando *meterValues*



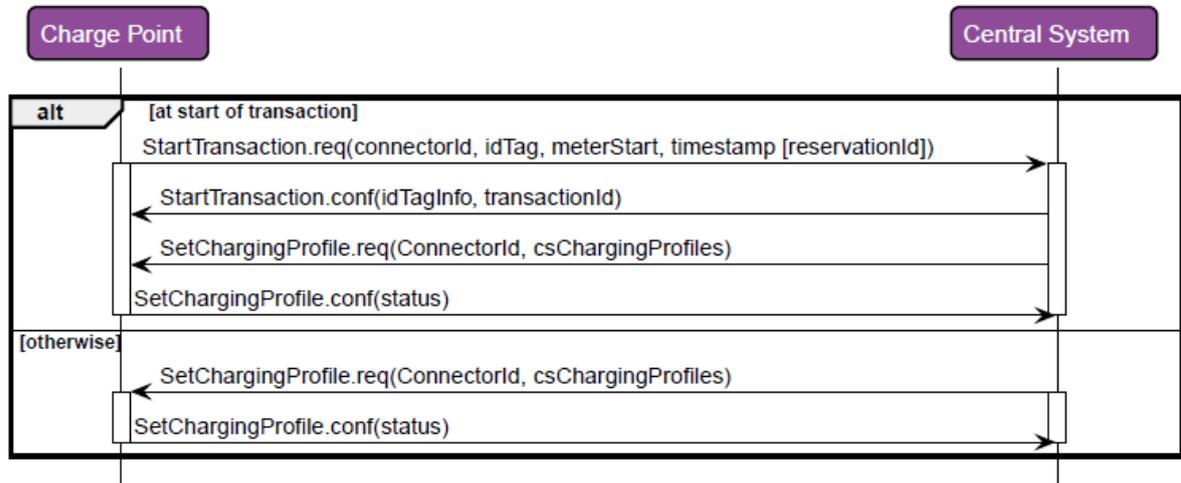
Fonte: [40]

Por último, o comando *SetChargingProfile*, ilustrado na Figura 39, pode ser utilizado para definir limitações de carregamento atrelados a um carregamento específico, ou de acordo com um calendário [40].

No caso de limitação por recarga, um exemplo de uso é uma situação com autenticação ativa, onde usuários sem identificação poderiam ter um limite de energia fornecido por recarga, enquanto usuários cadastrados poderiam ter um acesso ilimitado [40, 51].

Já no caso da limitação atrelada a um calendário, o exemplo mais direto de uso seria relacionado ao *smart charging*, de maneira que o *Charging Profile* seria definido por exemplo para diminuir a corrente máxima permitida durante os momentos do dia de maior tarifa energética.

Figura 39 - Comando SetChargingProfile



Fonte: [40]

Devido à complexidade do comando *SetChargingProfile*, é necessário estar atento ao *payload* da mensagem que deve ser enviada para no comando *SetChargingProfile*, e seus parâmetros (definidos pela documentação do protocolo) [40]. A Figura 40 mostra a definição de um perfil de recarga que limita a corrente máxima fornecida em três intervalos: 1) 22 A entre 00:00h e 9:00h; 2) 32 A entre 9:00h e 19:00h, e 3) 12 A entre 19:00h e 00:00h.

Figura 40 - Código executado por um nó de função para a execução de um comando *SetChargingProfile*

```

{
  msg.payload = {
    "connectorId": 0,
    "csChargingProfiles": {
      "chargingProfileId": profileId,
      "stackLevel": 0,
      "chargingProfilePurpose": "ChargePointMaxProfile",
      "chargingProfileKind": "Recurring",
      "recurrencyKind": "Daily",
      "chargingSchedule": {
        "chargingRateUnit": "A",
        "chargingSchedulePeriod": [
          {
            "limit": 22,
            "startPeriod": 0
          },
          {
            "limit": 32,
            "startPeriod": 9
          },
          {
            "limit": 12,
            "startPeriod": 19
          }
        ]
      }
    }
  }
}
  
```

```

        "limit": 32,
        "startPeriod": 32400
    },
    {
        "limit": 12,
        "startPeriod": 68400
    }
]
},
"validFrom": "2024-01-01T00:00:00+00:00"
}
}

```

Fonte: Próprio autor

As propriedades da mensagem são definidas como:

- **connectorId:** é o plugue da EVSE ao qual será aplicado o perfil de recarga. Se o valor for 0, vale para todos os plugues;
- **csChargingProfiles:** é um objeto contendo mais parâmetros de recarga;
- **chargingProfileId:** é um identificador do perfil em questão, pode ser utilizado quando existem perfis predefinidos a serem aplicados;
- **stackLevel:** é o nível de prioridade do perfil de recarga. Se outro perfil de recarga com *stackLevel* maior for ativo, o perfil com maior valor prevalece;
- **chargingProfilePurpose:** pode assumir três valores, 1) *TxProfile*, quando o perfil é relacionado a apenas uma recarga, 2) *TxDefaultProfile*, quando o perfil não está relacionado a apenas uma carga, e pode persistir após o fim da recarga, 3) *ChargePointMaxProfile*, quando o perfil é usado para controlar a EVSE por completo.
- **chargingProfileKind:** pode assumir três valores, 1) *Absolute*, quando a referência dos períodos do perfil é definida a partir de um ponto no tempo predefinido, 2) *Recurring*, quando a referência se dá a partir da última recorrência programada a partir de um primeiro momento, e 3) *Relative*, quando a referência ocorre a partir do momento em que o perfil foi implementado.
- **recurrencyKind:** quando o *chargingProfileKind* for recorrente, pode assumir os valores *daily* ou *weekly*.

- **chargingSchedule:** um objeto que contém as informações da unidade a ser limitada pelo perfil e do calendário de execução dele.
- **chargingRateUnit:** a unidade a ser controlada, “A” para corrente e “P” para potência.
- **chargingSchedulePeriod:** contém um *array* com um ou mais elementos, contendo os períodos que serão controlados pelo perfil.
- **limit:** o valor máximo em amperes ou watts a ser ofertado naquele período.
- **startPeriod:** o valor, em segundos, do início dessa limitação, a partir das 00h. O valor dessa propriedade do primeiro no *array* deve ser sempre 0, e a partir do segundo elemento do *array*, o *startPeriod* de um elemento, também marca o momento de término do elemento anterior.

Por fim, com as ferramentas apresentadas e implementações concluídas, é possível avaliar a operação da estação de recarga do LAM operando em uma estratégia de *smart charging* com perfis de carregamento, experimentar diferentes cenários de recarga, bem como visualizar as informações armazenadas no banco de dados.

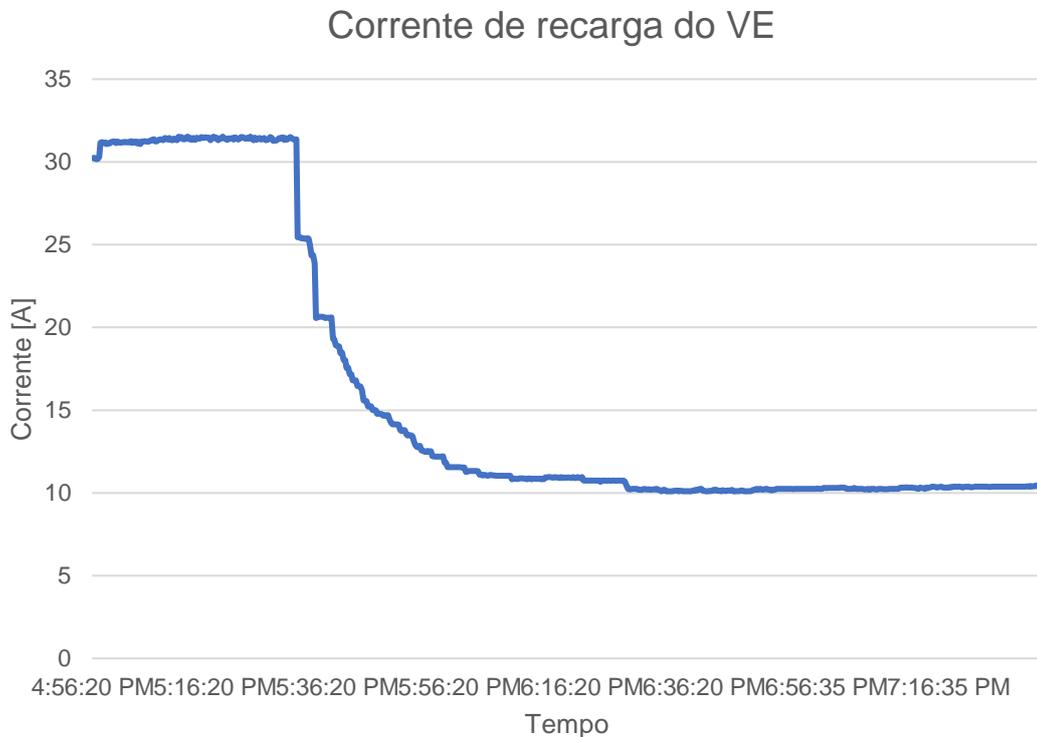
## 5 RESULTADOS

Este capítulo descreve os resultados da implantação de uma estratégia de recarga inteligente visando controlar o modo de operação de uma estação de recarga. Foi criado um banco de dados que armazena as mensagens enviadas pelo carregador, possibilitando observar os resultados da implementação.

### 5.1 Cenário de recarga padrão

Apenas para demonstração do funcionamento do sistema, em um primeiro momento foram coletados os dados de uma recarga completa sem restrições, com a EVSE oferecendo sua corrente máxima e nenhum perfil de recarga implementado, como mostrado na Figura 41.

Figura 41 - Corrente de recarga de um VE (dados reais)



Fonte: Próprio autor

A curva representa o comportamento de um método de recarga adotado para preservação do tempo de vida de baterias de lítio, chamando “corrente constante tensão constante” [52], que é aplicado devido ao crescimento da resistência interna das baterias ao final da recarga [53]. Estudos mostram que a não aplicação desse método pode causar degradação acelerada não só às baterias, mas também aos sistemas eletrônicos internos do veículo [52, 54].

## 5.2 *Smart charging*: Controle dinâmico da limitação de corrente

Para essa seção, a ideia do teste foi coletar os dados de carregamento da EVSE funcionando com o controle feito por um algoritmo que fosse capaz de alterar o limite de corrente dinamicamente durante o dia.

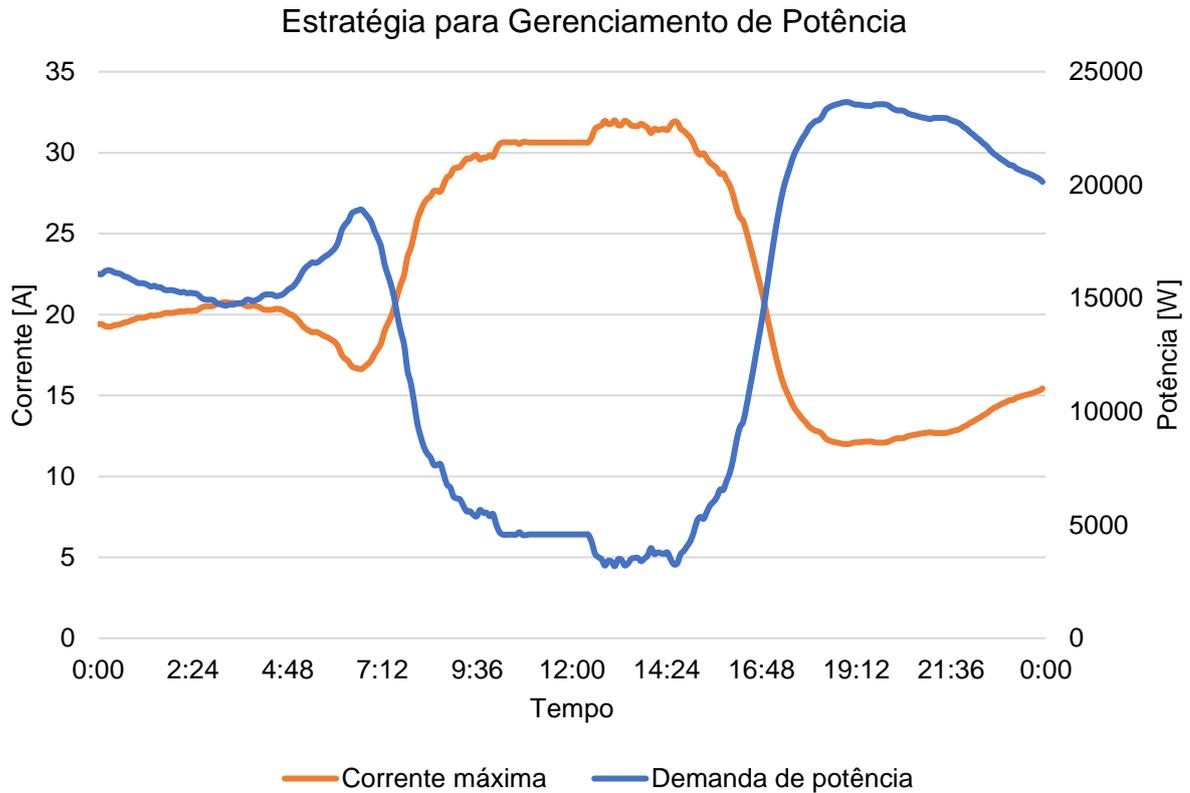
O algoritmo é a aplicação da equação (1), que é o escalonamento de uma variável  $x$  que tem range conhecido  $[X_{min}, X_{max}]$ , para o range  $[a, b]$ .

$$y(x) = (b - a) \frac{x - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} + a \quad (1)$$

A estratégia de gerenciamento é baseada na ideia de utilizar os dados históricos de variação de demanda elétrica durante o dia para escalonar em um range de limitação de corrente da EVSE. A partir desses valores, em intervalos predefinidos como a cada 10 ou 30 minutos, o CS modifica a corrente máxima ofertada para recarga, com o objetivo de mitigar o impacto do carregamento de VEs nos horários de pico.

Os dados utilizados na equação são provenientes do range de corrente definido pela fabricante da EVSE do LAM, entre 12A e 32A [51]; e os dados do consumo médio diário no mês de janeiro de 2024 no estado da Califórnia, nos EUA, entre 3180 MW e 23657MW, fornecidos pelo operador independente do sistema da Califórnia (Tradução livre), o *California ISO* [55]. O resultado do uso da equação 1 pode ser visto na Figura 42. É possível observar que o valor permitido de corrente máxima para a recarga ocorre nos intervalos de menor demanda de potência no sistema elétrico.

Figura 42 - Gráfico da corrente máxima calculada pelo escalonamento



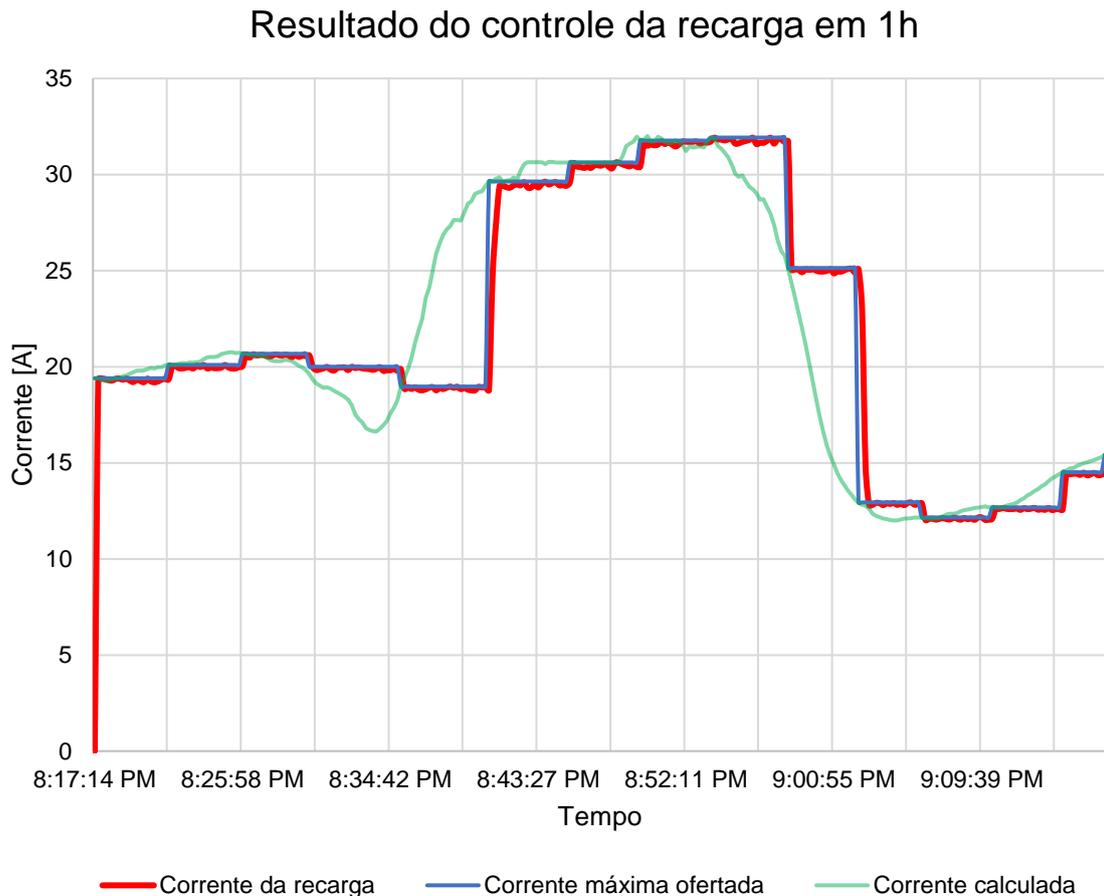
Fonte: Próprio autor

Analisando os resultados, observa-se que a aplicação da estratégia de gerenciamento poderia reduzir a demanda proveniente dos EVs em até 62,5%, por meio da redistribuição do consumo para o restante do dia. Um ponto de desvantagem seria o aumento do tempo de recarga dos VEs nos horários de pico, que a depender da necessidade do usuário, pode ter um impacto relevante, o que justificaria, por exemplo, um modelo de cobrança em que o usuário que quisesse ter acesso ao máximo de corrente nesse momento, poderia ser cobrado um valor acima da cotação padrão pela energia.

A coleta dos dados dessa implementação em pleno funcionamento não foi possível devido ao fato de que na EVSE do LAM não registro de recargas o suficiente durante o dia para que seja possível visualizar as consequências dessa limitação. Entretanto, apenas para fins de validação da dinâmica, os dados da curva foram utilizados para a variação do range dentro de 1h, para uma recarga, ao invés das 24h definidos no perfil de recarga inteligente. Neste teste, o valor da corrente máxima calculada foi enviado para a EVSE a cada 5 minutos, resultando nos dados da Figura

43. Como ilustrado na figura, fica evidenciada a possibilidade do controle da corrente com a dinâmica proposta, podendo o algoritmo e o modelo de execução serem generalizados para outras modalidades e finalidades de controle.

Figura 43 - Resultado da execução do algoritmo de controle de recarga no cenário de uma recarga, com intervalo de 1h



Fonte: Próprio autor

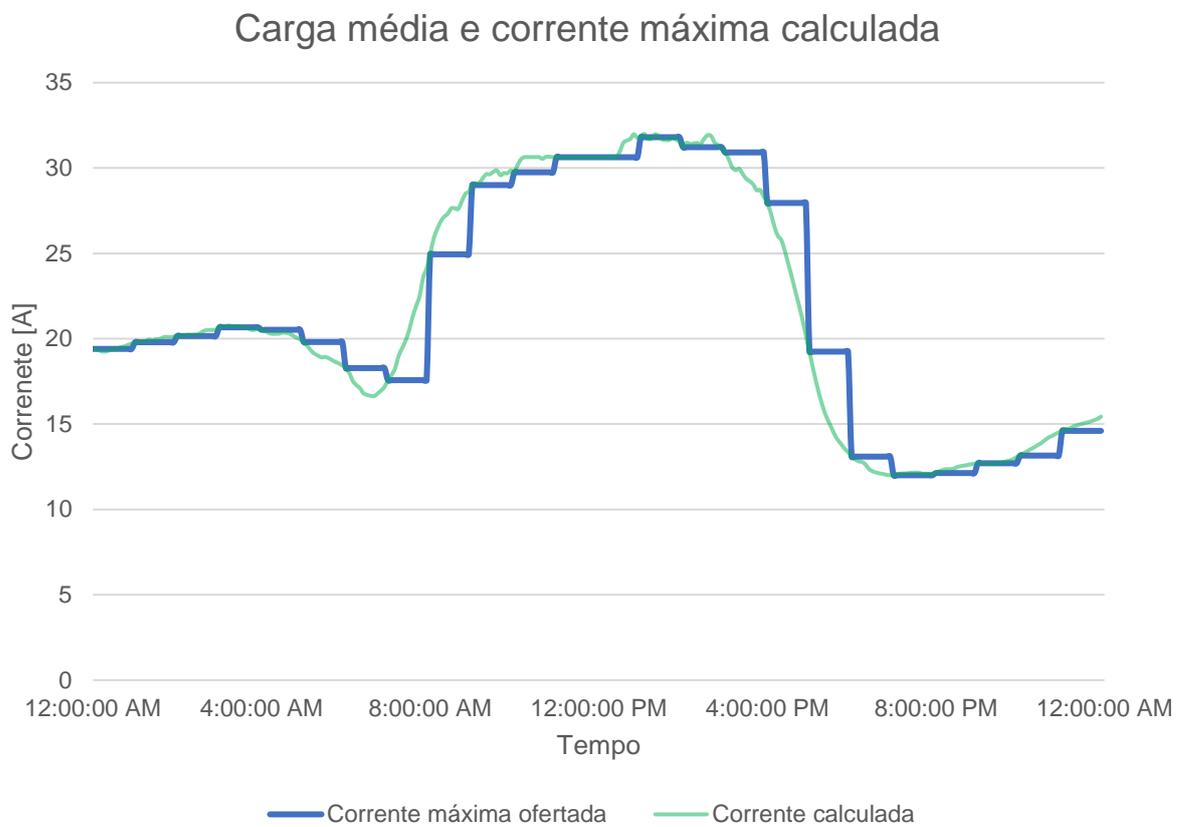
### 5.3 *Smart charging*: Controle por charging profile

Neste teste o controle de corrente é definido com base um perfil pré-definido. Essa modalidade do controle tem resultado similar ao resultado da seção anterior, sendo diferente apenas a metodologia com a qual os limites de corrente são enviados para a EVSE. Em um exemplo prático, foram utilizados os dados de consumo durante o dia da Figura 42 para criar um *charging profile* que aplica o limite de corrente de hora em hora, o JSON enviado para a EVSE está mostrado no Apêndice A, já o limite

de corrente da EVSE resultante durante o dia, que foi coletado com o comando OCPP GetConfiguration pode ser visualizado na

Figura 44.

Figura 44 – Limites definidos pelo *charging profile* do Apêndice A a partir dos valores calculados



Fonte: Próprio autor

É possível observar que mesmo com o controle sendo aplicado hora a hora, o atraso aparente não parece ser relevante, mas ainda assim é possível minimizar esse atraso se o controle for realizado a cada 10 minutos ao invés de a cada 1h por exemplo. Essa curva, assim como no caso anterior, demonstra uma possível mitigação no impacto da corrente proveniente do carregamento de EVs nos horários de pico de demanda da rede.

## 6 CONCLUSÕES

Após a avaliação dos principais conceitos sobre os VEs, é possível perceber que apesar de os EVs trazerem algumas dificuldades de implementação, principalmente associadas à necessidade de controle e supervisão distribuídos, também trazem soluções para desafios que estão por vir no contexto da transição energética para matrizes energéticas renováveis com elevada presença de recursos energéticos distribuídos.

É importante notar que, por ser uma tecnologia disruptiva, há ainda uma barreira social ideológica a ser superada pelo mercado para a ampla adoção dos veículos elétricos. Conforme revisita inicialmente neste trabalho por meio da revisão bibliográfica, os resultados de previsão podem ser afetados por um viés na base dados, que aos olhos de muitos, poderia passar despercebido. Dessa ótica, é interessante que haja uma continuidade no fomento do pensamento crítico e científico para que através da constatação prática e teórica dos objetos de estudo, seja possível chegar a conclusões e soluções efetivas para os desafios apresentados.

Nos últimos anos tem sido observado um crescimento acelerado da disseminação tecnológica de VEs. Neste momento surgem não só as demandas de pesquisa e desenvolvimento, mas também as oportunidades de mercado para novos ramos, como a criação e manutenção de infraestrutura, que pode particularmente se beneficiar deste trabalho. Motivo pelo qual este trabalho faz uma revisitação dos aspectos teóricos envolvendo os VEs, bem como apresenta o passo-a-passo das implementações visando compartilhar o conhecimento técnico/prático necessário para a criação e manutenção da infraestrutura.

Foi possível analisar que, em uma realidade um pouco mais distante, existirá uma grande demanda também pelo gerenciamento mais avançado dessas frotas de VEs, que podem ser integrados a outras soluções tecnológicas como microrredes e geração de energia solar, em prol de se criar um sistema elétrico sustentável, eficiente e funcional.

Este trabalho termina a sua contribuição ao descrever um estudo de caso prático envolvendo um controle sobre uma EVSE, através de uma implementação de um Charging Server numa infraestrutura de microrrede. Foi possível obter com sucesso

os resultados de controle e supervisão desejados, tanto com relação à coleta de dados, quanto com relação ao controle com o objetivo de mitigar os impactos das EVSEs em momentos de pico de consumo energético.

Além disso, utilizando as parametrizações corretas de acordo com o OCPP 1.6, através de diferentes abordagens, é possível generalizar as aplicações para um contexto de controle com múltiplas EVSEs, e atingir um gerenciamento com maior nível de complexidade da recarga das frotas de VEs.

### **6.1 Propostas de continuidade**

Como proposta de continuidade ao desenvolvimento do LAM, em trabalhos futuros, é possível explorar aspectos associados à operação da microrrede, tal como:

- Elaborar estratégias de controle que tenham como objetivo a redução do custo de carregamento da bateria;
- Implementação de uma dinâmica de integração entre a bateria e a EVSE, de maneira a não diminuir o fornecimento de energia à EVSE em horários de alto consumo da rede, mas sim utilizar energia da bateria quando houver esse cenário;
- Um desenvolvimento mais complexo que viabilizaria estudos de uma perspectiva de carregamento V2G ao criar-se, utilizando alguma linguagem de programação, um modelo que utilizaria a bateria do LAM para simular um VE com tecnologia V2G.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. Kouridis e C. Vlachokostas, "Towards decarbonizing road transport: Environmental and social benefit of vehicle fleet electrification in urban areas of Greece," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 1, 2022.
- [2] M. Schmidt, P. Staudt e C. Weinhardt, "Decision support and strategies for the electrification of commercial fleets," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8 2021.
- [3] N. O. Kapustin e D. A. Grushevenko, "Long-term electric vehicles outlook and their potential impact on electric grid," *Energy Policy*, 2 2020.
- [4] T. Chen, X.-P. Zhang, J. Wang, J. Li, C. Wu, M. Hu e H. Bian, "A Review on Electric Vehicle Charging Infrastructure Development in the UK," *International Journal of Science and Research Archive*, 10 2023.
- [5] Y. Zhu, "Carbon mitigation and health effects of fleet electrification in China's Yangtze River Delta," 2023.
- [6] K. Zamasz, J. Stęchły, A. Komorowska e P. Kaszyński, "The Impact of Fleet Electrification on Carbon Emissions: A Case Study from Poland," *Energies* 14, 10 2021.
- [7] S. Glyniadakis, "Brazilian light vehicle fleet decarbonization scenarios for 2050," *Energy Policy*, 10 2023.
- [8] EPA, "Sources of Greenhouse Gas Emissions," 2021. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>. [Acesso em 2 2024].
- [9] L. C. D. S. Ribeiro, J. F. D. S. Filho, G. F. D. Santos e L. F. D. S. Freitas, "Structural decomposition analysis of Brazilian greenhouse gas emissions," *World Development Sustainability*, 6 2023.
- [10] C. J. Meinrenken e K. S. Lackner, "Fleet view of electrified transportation reveals smaller potential to reduce GHG emissions," *Applied Energy*, 1 2014.
- [11] J. & F. Druitt, "Simulation of demand management and grid balancing with electric vehicles," *Journal of Power Sources*, 10 2012.
- [12] J. Hu, H. Morais, T. Sousa e M. Lind, "Electric vehicle fleet management in smart grids," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4 2015.
- [13] IEEE, *Electric and Hybrid Vehicles – A Comprehensive Overview*, 2021.
- [14] NeoCharge, "CONHEÇA OS TIPOS DE CARROS ELÉTRICOS," [Online]. Available: [https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20tipos%20b%C3%A1sicos%20de,c%C3%A9lula%20de%20combust%C3%ADvel%20\(FCEV\)..](https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20tipos%20b%C3%A1sicos%20de,c%C3%A9lula%20de%20combust%C3%ADvel%20(FCEV)..) [Acesso em Fevereiro 2024].
- [15] B. M. Al-Alawi e T. H. Bradley, "Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling Studies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5 2013.

- [16] P. Kotler, K. L. Keller e S. Yamamoto, *Administração de Marketing*, Pearson Universidades, 2018.
- [17] STATISTA, “Electric Vehicles - United States,” [Online]. Available: <https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/united-states>. [Acesso em 2 2024].
- [18] STATISTA, “Annual passenger car sales in the United States from 1951 to 2022,” [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/199974/us-car-sales-since-1951/#:~:text=U.S.%3A%20Annual%20car%20sales%201951%2D2022&text=The%20U.S.%20auto%20industry%20sold,million%20in%20the%20United%20States..> [Acesso em 2 2024].
- [19] S. Shepherd, P. Bonsall e G. Harrison, “Factors affecting future demand for electric vehicles: A model based study,” *Transport Policy*, 3 2012.
- [20] M. S. d. Oliveira, C. C. L. D. Santos, J. F. C. Castro, L. Tavares, D. Marques, P. A. C. Rosas, L. H. A. D. Medeiros e F. Bradaschia, “EV demand forecasting based on logistic growth method applied to infrastructure planning for fast charging allocation integrated with storage and solar photovoltaic energy system,” *CIREC Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems*, 6 2022.
- [21] R. C. G. II, L. Wang e M. Alam, “The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook.”
- [22] B. Hudson, G. Razeghi e S. Samuelsen, “Mitigating impacts associated with a high-penetration of plug-in electric vehicles on local residential smart grid infrastructure,” *Journal of Power Sources*, 2024 2.
- [23] J. Delgado, “Impacts of plug-in electric vehicles in the portuguese electrical grid,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6 2018.
- [24] J. Druitt, “Simulation of demand management and grid balancing with electric vehicles,” *Journal of Power Sources*, 10 2012.
- [25] D. Dallinger, “Grid integration of intermittent renewable energy sources using price-responsive plug-in electric vehicles,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 2012.
- [26] A. Gerodimos, “IoT: Communication protocols and security threats,” *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2023.
- [27] J. M. d. Rossa, F. Grassi e C. Rech, “Desenvolvimento de uma Estação de Recarga Modo 3 para Veículos Elétricos,” *Proceedings of the 13th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC 2021)*, 5 2021.
- [28] Daze, “Charging modes for electric vehicles,” [Online]. Available: <https://daze.eu/travel-electric-car/charging-modes-electric-vehicles/>. [Acesso em 2 2024].
- [29] ChargePoint, “ChargePoint Express Plus: The building block for corridor charging success,” [Online]. Available: <https://www.chargepoint.com/businesses/dc-stations/express-plus>. [Acesso em 2 2024].
- [30] NIO, “NIO Power,” [Online]. Available: <https://www.nio.com/nio-power>. [Acesso em 2 2024].

- [31] M. Rata, G. Rata, C. Filote, M. S. Raboaca, A. Graur, C. Afanasov e A.-R. Felseghi, "The ElectricalVehicle Simulator for Charging Station in Mode 3 of IEC 61851-1 Standard". *Fuel Cell Renewable Hybrid Power Systems*.
- [32] ZAPMAP, "EV charging connector types," [Online]. Available: <https://www.zap-map.com/ev-guides/connector-types>. [Acesso em 2 2024].
- [33] ChargeHub, "Guide On How To Charge Your Electric Car With Charging Stations," [Online]. Available: <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>. [Acesso em 2 2024].
- [34] Evesco, "EV CHARGING CONNECTOR TYPES: A COMPLETE GUIDE," [Online]. Available: <https://www.power-sonic.com/blog/ev-charging-connector-types/>. [Acesso em 2024 2].
- [35] Renhotec, "EV Charging Connector Types Worldwide," [Online]. Available: <https://www.renhotecev.com/blog/ev-charging-connector-types-worldwide.html#:~:text=However%2C%20the%20EV%20charging%20connector,Japan's%20is%20using%20CHAdemo%20standard..>
- [36] O. C. Alliance, "OCPP & IEC 61850: a winning team," 9 2023. [Online].
- [37] B. W. Z. C. C.-C. C. H. P. R. G. Yingqi Xiong, "Extension of IEC61850 with smart EV charging," *2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia)*, 11 2016.
- [38] C. A. A. C. W. Jens Schmutzler, "Evaluation of OCPP and IEC 61850 for smart charging electric vehicles," *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 11 2013.
- [39] L. R. d. Miranda, "NORMA GLOBAL DE COMUNICAÇÃO EM SUBESTAÇÕES - IEC61850," *SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, 10 2005.
- [40] Open Charge Alliance, "Open Charge Point Protocol 1.6," 2019. [Online]. Available: <https://openchargealliance.org/my-oca/ocpp/>. [Acesso em 2 2024].
- [41] Open Charge Alliance, "CONNECTING THE EV CHARGING INDUSTRY," [Online]. Available: <https://openchargealliance.org/>. [Acesso em 2 2024].
- [42] Node-RED, "Node-RED: About," [Online]. Available: <https://nodered.org/about/#:~:text=Node%2DRED%20started%20life%20in,easily%20extended%20in%20any%20direction..> [Acesso em 2 2024].
- [43] V. J. Piana, J. S. P. Junior e A. L. Gonçalves, "Accessibility of the node-red iot framework: an integrative review," *ETECH: Tecnologias para competitividade industrial*, 12 2022.
- [44] Alura, "Saiba tudo sobre SQL - A linguagem padrão para trabalhar com banco de dados relacionais!," [Online]. Available: <https://www.alura.com.br/artigos/o-que-e-sql>. [Acesso em 2 2024].
- [45] Alura, "SQLite: da instalação até sua primeira tabela," [Online]. Available: <https://www.alura.com.br/>. [Acesso em 2 2024].
- [46] M. C. D. G. N. Martins, IMPLANTAÇÃO DE MICRORREDE DOTADA DE SISTEMA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.

- [47] D. R. Danley, "Defining a Microgrid Using IEEE 2030.7," *Business & Technology Surveillance*, Novembro 2019.
- [48] victron energy, "Venus OS Large image: Signal K and Node-RED," [Online]. Available: <https://www.victronenergy.com/live/venus-os:large>. [Acesso em 2 2024].
- [49] Node-RED, "node-red-node-sqlite: 1.1.0," [Online]. Available: <https://flows.nodered.org/node/node-red-node-sqlite>. [Acesso em 2024 2].
- [50] B. Nystrom, J. D. Harper e A. N. Laboratory, "node-red-contrib-ocpp," [Online]. Available: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-ocpp#csrequestsoap>. [Acesso em 2 2024].
- [51] Schneider, "EVlink: OCPP guide," 2018. [Online].
- [52] S. Gao, K. T. Chau, C. Liu, D. Wu e C. C. Chan, "Integrated Energy Management of Plug-in Electric Vehicles in Power Grid With Renewables," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2014.
- [53] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua e M. Ouyang, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," *Journal of Power Sources*, 3 2013.
- [54] E. D. Kostopoulos, G. C. Spyropoulos e J. K. Kaldellis, "Real-world study for the optimal charging of electric vehicles," *Energy Reports*, 11 2019.
- [55] California ISO, "Today's Outlook," [Online]. Available: <https://www.caiso.com/TodaysOutlook/Pages/index.html>. [Acesso em 2 2024].
- [56] A. Watts, "YouTube: Alan Watts - Become the watcher," [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=T36TzGW9Ars&ab\\_channel=Curva](https://www.youtube.com/watch?v=T36TzGW9Ars&ab_channel=Curva). [Acesso em 2 2024].
- [57] International Electrotechnical Commission, IEC 61851-1, 2017.
- [58] S. Wappelhorst, "GROWING MOMENTUM: GLOBAL OVERVIEW OF GOVERNMENT TARGETS FOR PHASING OUT SALES OF NEW INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLES," THE ICCT, 11 2020. [Online]. Available: <https://theicct.org/growing-momentum-global-overview-of-government-targets-for-phasing-out-sales-of-new-internal-combustion-engine-vehicles/>.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – CÓDIGO JSON EXECUTADO PARA CRIAÇÃO DO CHARGEPROFILE

```
{
  msg.payload = {
    "connectorId": 0,
    "csChargingProfiles": {
      "chargingProfileId": profileId,
      "stackLevel": 0,
      "chargingProfilePurpose": "ChargePointMaxProfile",
      "chargingProfileKind": "Recurring",
      "recurrencyKind": "Daily",
      "chargingSchedule": {
        "chargingRateUnit": "A",
        "chargingSchedulePeriod": [
          {
            "limit": 19.40,
            "startPeriod": 0
          },
          {
            "limit": 19.79,
            "startPeriod": 3600
          },
          {
            "limit": 20.16,
            "startPeriod": 7200
          },
          {
            "limit": 20.67,
            "startPeriod": 10800
          },
          {
            "limit": 20.52,
            "startPeriod": 14400
          },
          {
            "limit": 19.8,
            "startPeriod": 18000
          },
          {
            "limit": 18.28,
            "startPeriod": 21600
          },
          {
            "limit": 17.57,
            "startPeriod": 25200
          },
          {
            "limit": 24.94,
            "startPeriod": 28800
          },
          {
            "limit": 29,
            "startPeriod": 32400
          }
        ]
      }
    }
  }
}
```

```
},
{
  "limit": 29.75,
  "startPeriod": 36000
},
{
  "limit": 30.63,
  "startPeriod": 39600
},
{
  "limit": 30.63,
  "startPeriod": 43200
},
{
  "limit": 31.8,
  "startPeriod": 46200
},
{
  "limit": 31.22,
  "startPeriod": 50400
},
{
  "limit": 30.91,
  "startPeriod": 54000
},
{
  "limit": 27.95,
  "startPeriod": 57600
},
{
  "limit": 19.24,
  "startPeriod": 61200
},
{
  "limit": 13.09,
  "startPeriod": 64800
},
{
  "limit": 12,
  "startPeriod": 68400
},
{
  "limit": 12.13,
  "startPeriod": 72000
},
{
  "limit": 12.70,
  "startPeriod": 75600
},
{
  "limit": 13.15,
  "startPeriod": 79200
},
{
  "limit": 14.60,
  "startPeriod": 82800
```

]

```
    },  
    "validFrom": "2024-01-01T00:00:00+00:00"  
  }  
}
```