

Jóni Nichal Buchinho dos Santos

**SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS
E POSTO DE CARREGAMENTO SEGUNDO A NORMA ISO
15118**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2020

Jóni Nichal Buchinho dos Santos

**SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS
E POSTO DE CARREGAMENTO SEGUNDO A NORMA ISO
15118**

Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrónica
Especialização em Tecnologias de Informação e
Telecomunicações

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Jânio Miguel E. Ferreira Monteiro

Professor Doutor Cristiano Lourenço Cabrita



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia

2020

SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS E POSTO DE CARREGAMENTO SEGUNDO A NORMA ISO 15118

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Jóni Nichal Buchinho dos Santos

Copyright © 2020. Todos os direitos reservados em nome de Jóni Nichal Buchinho dos Santos. A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicado aos meus pais, irmão e namorada.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Jânio Miguel Evangelista Ferreira Monteiro pela grande disponibilidade, liderança, partilha de conhecimento e de ter sido incansável ao longo desta minha jornada.

Ao meu orientador Professor Doutor Cristiano Lourenço Cabrita pelos seus debates, pensamento crítico e troca de ideias.

Aos meus colegas, André Francisco e André Pedro por todos os *brainstorming's*, pensamentos criativos, positividade e espírito de equipa.

Aos meus ex-colegas Nelson Pinto e Dario Cruz por toda a paciência e disponibilidade que demonstraram no início desta caminhada.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Eletrotécnica, pelo apoio e partilha de conhecimento ao longo do meu percurso académico.

A todos os meus colegas de curso, por todos os bons momentos passados nesta vida académica.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, que foram o meu pilar nesta grande jornada. Um enorme obrigado do fundo do coração.

À minha namorada Denise, por todo o apoio constante, paciência, compreensão, companheirismo e amor.

Obrigado a todos.

Jóni Buchinho dos Santos

RESUMO

Verifica-se atualmente um crescimento exponencial do mercado dos veículos elétricos, o que requererá um aumento da capacidade da rede elétrica para albergar o consumo previsto. Se por um lado a introdução de geração proveniente de fontes renováveis pode ser uma solução, é também um desafio pelo carácter intermitente. A dificuldade em controlar a geração proveniente desse tipo de fontes leva a que se procure controlar e gerir o consumo de energia elétrica em função dos níveis de geração.

Neste contexto, o aparecimento das redes energéticas inteligentes introduziu mecanismos que garantem o equilíbrio entre o consumo e a produção de energia elétrica. Um desses mecanismos é o carregamento inteligente. De forma a existir carregamento inteligente surge a necessidade de comunicação entre o posto de carregamento e o veículo elétrico. Havendo comunicação, o posto de carregamento, que serve de intermediário entre o veículo elétrico e a rede elétrica, consegue controlar a energia elétrica transferida para a bateria do veículo. Através deste controlo, o posto de carregamento consegue evitar com que a rede sofra picos de consumo. Assim, surge a grande necessidade de um sistema normalizado que garanta esta comunicação.

Neste âmbito, a norma ISO 15118, abordada ao longo deste trabalho, especifica um protocolo de comunicação entre o veículo elétrico e o posto de carregamento. No trabalho aqui descrito, enquadrado no projeto Transporte Turístico Urbano Eléctrico Sostenible (TTUES), foi desenvolvido e implementado um sistema de comunicação entre veículos elétricos e posto de carregamento segundo o protocolo de comunicação da norma ISO 15118. Este sistema permite emular um carregamento real com comunicação bidirecional (i.e. entre o posto de carregamento e o veículo elétrico), com o qual o utilizador do veículo elétrico e o operador do posto de carregamento podem interagir, através de interfaces homem-máquina distintas.

PALAVRAS-CHAVE: Veículo Eléctrico, Posto de Carregamento, Carregamento Inteligente, Redes Energéticas Inteligentes.

ABSTRACT

There is currently an exponential growth in the electric vehicle market, which will require an increase in the electrical grid capacity to accommodate the demand. If, on the one hand, the introduction of generation from renewable sources can be a solution, it is also a challenge due to its intermittent nature. The difficulty in controlling the generation from these types of renewable sources leads to the attempt to control and manage the consumption of electricity according to the levels of generation.

In this context, the emergence of smart grids has introduced mechanisms that guarantee a balance between consumption and production of electricity. One of these mechanisms is the smart charging. To have smart charging, there is a need for communication between the charging station and the electric vehicle. If there is communication, the charging station, which serves as an intermediary between the electric vehicle and the electrical grid, can control the electrical energy transferred to the vehicle's battery. Through this control, the charging station can prevent the electrical grid from suffering consumption peaks. Thus, there is a necessity for a standardized system that guarantees this communication.

In this context, the ISO 15118 standard, discussed throughout this report, specifies a communication protocol between the electric vehicle and the charging station. This report, as part of the Transporte Turístico Urbano Eléctrico Sostenible (TTUES) project, was developed a communication system between electric vehicles and charging stations that implements the ISO 15118 communication protocol. This system allows to emulate a real charging with bidirectional communication (i.e. between the charging station and the electric vehicle), with which the user of the electric vehicle and the operator of the charging station can interact, through different human-machine interfaces.

KEYWORDS: Electric Vehicle, Charging Station, Smart Charging, Smart Grids

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. Introdução	1
1.1. Contexto	1
1.2. Problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Estrutura do Relatório.....	4
2. Estado de Arte.....	5
2.1. Termos e Definições	5
2.2. Normas Associadas ao Carregamento de Veículos Elétricos	7
2.2.1. Norma IEC 61851	8
2.2.1.1. Protocolo de Sinalização através dos Pinos CP e PP	8
2.2.2. Norma IEC 62196.....	12
2.2.3. Norma ISO 15118.....	12
2.2.3.1. ISO 15118 e o Modelo OSI	12
2.2.3.2. Mensagens V2G	15
2.2.3.3. Plug & Charge	32
2.3. Biblioteca Open-Source RISE V2G	33
3. Implementação do Sistema de Comunicação	35
3.1. Caracterização do sistema de Comunicação.....	35
3.2. Arquitetura do Sistema de Comunicação Implementado	37
3.3. Algoritmo de Escalonamento de Tarefas	41
3.4. EVpi.....	44
3.4.1. Controlador de Comunicação do Veículo Elétrico.....	44
3.4.2. Ficheiro de Parâmetros do Veículo Elétrico.....	45
3.4.3. Código de Gestão do EVpi	46
3.4.3.1. Sistema de Gestão de Bateria Virtual do Veículo Elétrico	47
3.4.3.2. Máquina de Estados Finita do Código de Gestão do EVpi.....	57
3.4.4. Interface Homem-Máquina do Veículo Elétrico	63
3.4.4.1. Estado 1 – Definição Inicial de Parâmetros	63
3.4.4.2. Estados 2 e 3 – Cálculo de Energia e Início de Carregamento	64
3.4.4.3. Estados 4 e 5 – Loops de Carregamento CC e CV	65
3.4.4.4. Estado 6 – Carregamento Completo.....	66
3.4.4.5. Estado 7 – Carregamento Interrompido.....	67
3.4.4.6. Estado 8 – Sessão de Comunicação Terminada.....	68
3.5. EVSEpi	69
3.5.1. Controlador de Comunicação do Equipamento de Carga	69
3.5.2. Ficheiro de Parâmetros do Posto de Carregamento.....	70
3.5.3. Código de Gestão do EVSEpi	71
3.5.3.1. Servidor de Dados IoT.....	75
3.5.3.2. Máquina de Estados Finita do Código de Gestão do EVSEpi	76
3.5.4. Interface Homem-Máquina do Posto de Carregamento	81
3.5.4.1. Estado 1 – Definição Inicial de Parâmetros	81
3.5.4.2. Estado 2 – EVSEpi em Espera.....	82
3.5.4.3. Estado 3 – Início de Carregamento.....	83
3.5.4.4. Estado 4 – Loop de Carregamento.....	84
3.5.4.5. Estado 5 – Fim de Carregamento.....	85
4. Testes e Avaliação do Sistema de Comunicação de Carga	87
4.1. Caso de Teste 1	88
4.2. Caso de Teste 2.....	90

4.3. Caso de Teste 3	92
4.4. Caso de Teste 4	94
4.5. Avaliação Conjunta	96
5. Conclusões e Trabalho Futuro	99
5.1. Conclusões	99
5.2. Trabalho Futuro	100
Bibliografia e Referências	101
Apêndices.....	105
A. Detalhes da Norma IEC 61851	105
A.1. Constituição da Norma IEC 61851	105
A.2. Modos de Carregamento Condutivo	106
B. Detalhes da Norma IEC 62196	110
B.1. Constituição da Norma IEC 62196	110
B.2. Configurações para Carregamento AC	112
B.3. Configurações para Carregamento DC	114
C. Detalhes da Norma ISO 15118.....	116
C.1. Constituição da Norma ISO 15118	116
C.2. Casos de Uso.....	118
C.3. Esquemas Exemplo de Carregamento AC e DC.....	124
D. Detalhes da Biblioteca Rise V2G	126
D.1. Parâmetros do Veículo Elétrico para Carregamento AC	126
D.2. Parâmetros do Posto para Carregamento AC	127
D.3. Parâmetros do Veículo Elétrico para Carregamento DC	128
D.4. Parâmetros do Posto para Carregamento DC	130
E. Detalhes da Implementação do Sistema de Comunicação	132
E.1. Fluxograma de Mensagens V2G do Sistema	132
E.2. Ficheiro Log	133
E.3. Formulário.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - PEV, BEV e PHEV	5
Figura 2.2 - Posto de Carregamento, EVSE, SECC e EVCC.....	6
Figura 2.3 - Tomada, Ficha, Cabo, Conetor e Entrada de Veículo	7
Figura 2.4 - Circuito de Sinalização IEC 61851 [11], [12]	8
Figura 2.5 - Gráfico dos Estados de Carregamento.....	11
Figura 2.6 - Variação da Corrente com o Duty Cycle [12]	11
Figura 2.7 - ISO 15118 e o Modelo OSI	13
Figura 2.8 - Modelo Cliente-Servidor da ISO 15118	15
Figura 2.9 - Mensagem SECCDiscovery	17
Figura 2.10 - Mensagem SupportedAppProtocol	17
Figura 2.11 - Mensagem V2G SessionSetup.....	18
Figura 2.12 - Mensagem V2G ServiceDiscovery.....	18
Figura 2.13 - Mensagem V2G ServiceDetails.....	19
Figura 2.14 - Mensagem V2G PaymentServiceSelection	19
Figura 2.15 - Mensagem V2G CertificateUpdate.....	20
Figura 2.16 - Mensagem V2G CertificateInstallation	21
Figura 2.17 - Mensagem V2G PaymentDetails.....	21
Figura 2.18 - Mensagem V2G Authorization	22
Figura 2.19 - Mensagem V2G ChargeParameterDiscovery	22
Figura 2.20 - Mensagem V2G PowerDelivery	24
Figura 2.21 - Mensagem V2G ChargingStatus	25
Figura 2.22 - Mensagem V2G MeteringReceipt	26
Figura 2.23 - Mensagem V2G CableCheck.....	27
Figura 2.24 - Mensagem V2G PreCharge	27
Figura 2.25 - Mensagem V2G CurrentDemand	28
Figura 2.26 - Mensagem V2G WeldingDetection.....	29
Figura 2.27 - Mensagem V2G SessionStop	30
Figura 2.28 - Fluxograma Mensagens V2G [17].....	31
Figura 3.1 - Esquema Geral do Sistema de Comunicação	35
Figura 3.2 - Arquitetura do Sistema de Comunicação Implementado	37
Figura 3.3 - Esquema de Troca de Parâmetros do Sistema de Comunicação	39
Figura 3.4 - Escalonamento de Tarefas do Sistema de Comunicação.....	41
Figura 3.5 - Loops do Algoritmo de Escalonamento de Tarefas.....	42
Figura 3.6 - Intervalos do Algoritmo de Escalonamento de Tarefas.....	43
Figura 3.7 - Disposição das Células nos Módulos da Bateria	48
Figura 3.8 - Gráfico da Estratégia CC-CV	50
Figura 3.9 - Gráfico Aproximado da Estratégia CC-CV	51
Figura 3.10 - Algoritmo do Limite Máximo de Corrente Suportado pelo EV	52
Figura 3.11 - Algoritmo da Corrente de Carregamento do EV	53
Figura 3.12 - Algoritmo do Limite Máximo de Tensão Suportado pelo EV.....	53
Figura 3.13 - Algoritmo da Tensão de Carregamento do EV.....	54
Figura 3.14 - Algoritmo do Tempo Restante para Fim da Fase Carregamento Rápido	56
Figura 3.15 - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVpi	57
Figura 3.16 - HMI EV Definição Inicial de Parâmetros.....	63
Figura 3.17 - HMI EV Cálculo de Energia e Início de Carregamento	64
Figura 3.18 - HMI EV Loops de Carregamento CC e CV	65

Figura 3.19 - HMI EV Carregamento Completo.....	66
Figura 3.20 - HMI EV Carregamento Interrompido.....	67
Figura 3.21 - HMI EV Sessão de Comunicação Terminada	68
Figura 3.22 - Algoritmo do Limite Máximo de Corrente do Suportado pelo EVSE	72
Figura 3.23 - Algoritmo do Limite Máximo de Tensão do Suportado pelo EVSE.....	72
Figura 3.24 - Ciclo Diário da Tarifa	74
Figura 3.25 - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVSEpi.....	76
Figura 3.26 - HMI EVSE Definição Inicial de Parâmetros.....	81
Figura 3.27 - HMI EVSE EVSEpi em Espera.....	82
Figura 3.28 - HMI EVSE Início de Carregamento	83
Figura 3.29 - HMI EVSE Loop de Carregamento.....	84
Figura 3.30 - HMI EVSE Fim de Carregamento.....	85
Figura 4.1 - Sistema de Comunicação de Carga.....	87
Figura 4.2 - Gráfico Temporal de Carregamento do Teste 1.....	89
Figura 4.3 - Gráfico Temporal do Custo de Carregamento do Teste 1	90
Figura 4.4 - Gráfico Temporal do Custo de Carregamento do Teste 2	91
Figura 4.5 - Gráfico Temporal de Carregamento do Teste 3.....	93
Figura 4.6 - Gráfico Temporal de Custo de Carregamento do Teste 3	93
Figura 4.7 - Gráfico Temporal de Carregamento do Teste 4.....	95
Figura 4.8 - Gráfico Temporal de Custo de Carregamento do Teste 4	95
Figura 4.9 - Gráfico Temporal da Potência de Carregamento.....	97
Figura A.1 - Modo de Carregamento Condutivo 1.....	107
Figura A.2 - Modo de Carregamento Condutivo 2.....	108
Figura A.3 - Modo de Carregamento Condutivo 3.....	108
Figura A.4 - Modo de Carregamento Condutivo 4.....	109
Figura B.1 - Configuração Type 1	113
Figura B.2 - Configuração Type 2.....	113
Figura B.3 - Configuração Type 3a	113
Figura B.4 - Configuração Type 3c	113
Figura B.5 - Configuração AA	115
Figura B.6 - Configuração BB.....	115
Figura B.7 - Configuração EE	115
Figura B.8 - Configuração FF.....	115
Figura C.1 - Esquema Exemplo de Carregamento AC e PnC [17]	124
Figura C.2 - Esquema Exemplo de Carregamento DC e PnC [17]	125
Figura E.1 - Fluxograma de Mensagens V2G do Sistema de Comunicação.....	132
Figura E.2 - Ficheiro Log do EVCC	133
Figura E.3 - Ficheiro Log do SECC	134

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resistência PP-PE [11], [12]	9
Tabela 2.2 - Descrição dos Estados de Carregamento [11], [12]	10
Tabela 2.3 - Tipos de Mensagens V2G [16].....	16
Tabela 3.1 - Lista do Ficheiro de Parâmetros do Veículo Elétrico.....	45
Tabela 3.2 - Parâmetros de Carregamento da Bateria Virtual do EV.....	49
Tabela 3.3 - Coeficientes de Corrente	53
Tabela 3.4 - Gama de Valores dos Parâmetros Iniciais do EV.....	58
Tabela 3.5 - Lista do Ficheiro de Parâmetros do Posto de Carregamento.....	70
Tabela 3.6 - Tarifas Aplicadas.....	74
Tabela 3.7 - Gama de Valores dos Parâmetros Iniciais do EVSE.....	77
Tabela 4.1 - Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 1	88
Tabela 4.2 - Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 3.....	92
Tabela 4.3 - Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 4.....	94
Tabela A.1- Partes da Norma IEC 61851	105
Tabela A.2 - Modo de Carregamento Condutivo 1	107
Tabela A.3 - Modo de Carregamento Condutivo 2	108
Tabela A.4 - Modo de Carregamento Condutivo 3	109
Tabela A.5 - Modo de Carregamento Condutivo 4	109
Tabela B.1 - Partes da Norma IEC 62196	110
Tabela B.2 - Configurações para Carregamento AC [42]	113
Tabela B.3 - Configurações para Carregamento DC [42]	115
Tabela C.1 - Partes da Norma ISO 15118	116
Tabela C.2 - Grupos de Casos de Uso da ISO 15118.....	118
Tabela C.3 - Casos de Uso A (Start of Charging Process).....	119
Tabela C.4 - Casos de Uso B (Communication Setup)	119
Tabela C.5 - Casos de Uso C (Certificate Handling)	119
Tabela C.6 - Casos de Uso D (Identification, Authentication and Authorization).....	120
Tabela C.7 - Casos de Uso E (Target Settings and Charge Scheduling).....	121
Tabela C.8 - Casos de Uso F (Charge Controlling and Re-scheduling).....	122
Tabela C.9 - Casos de Uso G (Value-Added Services).....	123
Tabela C.10 - Casos de Uso H (End of Charging Process)	123
Tabela D.1 - Parâmetros do Veículo Elétrico para Carregamento AC.....	126
Tabela D.2 - Parâmetros do Posto para Carregamento AC	127
Tabela D.3 - Parâmetros do Veículo Elétrico para Carregamento DC.....	128
Tabela D.4 - Parâmetros do Posto para Carregamento DC	130

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AC	<i>Alternate Current</i>
ACD	<i>Automatic Connection Device</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Informtion Interchange</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BPT	<i>Bidirectional Power Transfer</i>
CCS	<i>Combined Charging System</i>
CER	<i>Comunidade de Energia Renovável</i>
CHAdemo	<i>Charge de Move</i>
CI	<i>Certificate Installation</i>
CO₂	<i>Carbon Dioxide</i>
CO₂-eq	<i>Carbon Dioxide equivalent</i>
CP	<i>Control Pilot</i>
CPO	<i>Charge Point Operator</i>
CPT	<i>Conductive Power Transfer</i>
CU	<i>Certificate Update</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DCH	<i>Demand Clearing House</i>
DHCPv6	<i>Dynamic Host Configuration Protocol para IPv6</i>
DSO	<i>Distribution System Operator</i>
EIM	<i>External Identification Means</i>
EMAID	<i>E-Mobility Account Identifier</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMO	<i>E-Mobility Operator</i>
EMOCH	<i>E-Mobility Operator Clearing House</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>
EVCC	<i>Electric Vehicle Communication Controller</i>
EVSE	<i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>
EXI	<i>Efficient XML Interchange</i>
FO	<i>Fleet Operator</i>
G2V	<i>Grid-to-Vehicle</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HLC	<i>High Level Communication</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>
HPGP	<i>HomePlug Green PHY</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
L	<i>Line</i>
LLC	<i>Low Level Communication</i>
MR	<i>Metering Receipt</i>
N	<i>Neutral</i>

NTP	<i>Network Time Protocol</i>
OBC	<i>On-Board Charger</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PE	<i>Protetive Earth</i>
PEV	<i>Plug-in Electric Vehicle</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PnC	<i>Plug & Charge</i>
PP	<i>Proximity Pilot</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
R	<i>Resistor</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
S	<i>Actuator</i>
SA	<i>Secondary Actor</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SAP	<i>Service Access Point</i>
SDP	<i>SECC Discovery Protocol</i>
SECC	<i>Supply Equipment Communication Controller</i>
SI	<i>Sistema Internacional de Unidades</i>
SLAAC	<i>Stateless Address Autoconfiguration</i>
SLAC	<i>Signal Level Attenuation Characterization</i>
SM	<i>Smart Meter</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
V2G	<i>Vehicle-to-Grid</i>
V2GTP	<i>Vehicle-to-Grid Transfer Protocol</i>
VAS	<i>Vallue-Added Services</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WPT	<i>Wireless Power Transfer</i>
XML	<i>Extensible Mark-up Language</i>

A	<i>Ampère</i>
g	<i>Gram</i>
Hz	<i>Hertz</i>
m	<i>meter</i>
s	<i>second</i>
V	<i>Volt</i>
W	<i>Watt</i>
Wh	<i>Watt-Hour</i>
€	<i>Euro</i>
Ω	<i>Ohm</i>

1. INTRODUÇÃO

O trabalho que se apresenta nesta Tese reflete os desenvolvimentos atuais em termos das normas de comunicação entre veículos elétricos e postos de carregamento, com particular realce na norma ISO 15118.

Neste primeiro capítulo apresenta-se o contexto atual relativo ao panorama global da crescente introdução de veículos elétricos na rede elétrica. Em seguida apresenta-se o problema onde são referidas as contrapartidas do acréscimo da frota de veículos elétricos para a rede elétrica. Posteriormente são apresentados os objetivos, onde são definidas as tarefas realizadas durante o estudo deste tema, e por fim a estrutura do relatório.

1.1. CONTEXTO

Numa era onde os combustíveis fósseis batem recordes de venda e a concentração de gases de efeito de estufa ameaçam todo o planeta, a indústria automóvel aposta cada vez mais nas soluções de mobilidade elétrica para fazer frente a estes desafios.

Introduzido como iniciativa de energia limpa devido às suas emissões de CO₂ (relativamente baixas ou nulas), o veículo elétrico (*electric vehicle*, EV) promete que a nova geração de automóveis seja mais sustentável. A nível global, tendo em conta as emissões médias de carbono usadas para a geração de energia elétrica (518 gramas de equivalente de dióxido de carbono por quilowatt-hora [518 g CO₂-eq / kWh]), os EV emitem uma quantidade de gases de efeito de estufa menor que os veículos de combustão interna medianos [1].

Em 2018 a frota global de veículos elétricos excedeu os 5,1 milhões, mais 2 milhões que no ano anterior, e os EV na estrada consumiram cerca de 58 TWh de energia elétrica e emitiram 41 milhões de toneladas de equivalente de CO₂. Comparando esses 41 milhões de toneladas de emissões de equivalente de CO₂ com o produzido por uma frota equivalente de veículos de motor de combustão interna, foram poupados 36 milhões de toneladas [1].

No entanto, os requisitos de carregamento não controlado de uma frota crescente de EV representam um grande desafio para a rede elétrica, pois se a demanda oriunda dos carregamentos coincidirem com os períodos de pico de consumo já existentes na rede, pode levar à sua sobrecarga [2]–[4].

As duas principais soluções para este desafio passam por um lado pela introdução de fontes de energia renovável na periferia da rede de distribuição, que reduzam a utilização de fontes de energia convencionais, e por outro pelo carregamento inteligente (*smart charging*), que permita o acesso a uma variedade de soluções para a rede elétrica através do fornecimento de serviços de controlo de consumo (*demand response*). Através dos serviços *demand response*, os EV podem minimizar os impactos causados na rede, ao moldar o seu padrão de demanda de carregamento, por variação de intensidade e por meio de alterações no tempo para períodos onde o consumo na rede seja mais baixo.

No âmbito da introdução de fontes de energia renovável, o Decreto-Lei n.º 162/2019 de 25 de outubro [5], veio aprovar o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável. Com ele foi dado um passo importante no que toca a implementações das Redes Energética Inteligentes (*smart grids*). Com este decreto-lei, as comunidades de energia renovável (CER), através de uma *smart grid*, podem produzir energia elétrica para autoconsumo e ainda suprimir défices energéticos da rede [5].

Neste contexto, o *smartcharging* dos veículos elétricos pode ser mais uma funcionalidade que permite utilizar as baterias dos automóveis como unidade de armazenamento adicional, quer pelo carregamento inteligente quer pelo potencial de fornecimento de energia através do veículo-para-rede (*vehicle-to-grid*, V2G) [1]. Esta funcionalidade torna-se ideal numa CER e em qualquer sistema de autoconsumo, onde o EV pode fornecer energia elétrica à rede nos horários onde a produção é menor, mantendo assim o seu equilíbrio.

1.2. PROBLEMA

Por forma a existir carregamento inteligente é necessário que existam mecanismos de interoperabilidade entre o veículo elétrico e o posto de carregamento. Um dos problemas atualmente referente à implementação de rede-para-veículo (*grid-to-vehicle*, G2V) e V2G, passa pela limitada capacidade de troca de informação entre o veículo elétrico e o posto de carregamento. Atualmente, a maior parte desta comunicação é realizada através dos pinos de sinalização *control pilot* (CP) e *proximity pilot* (PP). A maioria da sinalização realizada através destes pinos apenas permite saber quando o EV se encontra conectado ao posto de carregamento e qual a corrente disponível que o posto pode fornecer ao EV. Esta sinalização é limitada para a implementação do *smart charging*.

Para que o carregamento seja gerido de forma inteligente é necessário que exista mais interoperabilidade entre o posto de carregamento e veículo elétrico. O posto de carregamento necessita de mais informação vinda da parte do veículo elétrico como o estado de carga da sua bateria e os seus limites de potência. Assim, há uma clara necessidade de existência de uma comunicação bidirecional entre o posto e o veículo. Neste âmbito, a norma ISO 15118 tem ganho terreno, pois permite que o veículo elétrico e o posto de carregamento troquem, dinamicamente, informação que permita determinar quando um carregamento pode ser adequadamente agendado. Sendo esta uma norma recente, ainda não está enraizada no mercado dos EV. Contudo as grandes marcas, como a Porsche e a Audi, reconhecem o potencial desta norma e os seus veículos elétricos topo de gama já a implementam [6].

1.3. OBJETIVOS

O primeiro objetivo deste trabalho passa por efetuar uma descrição das normas usadas no carregamento de veículos elétricos no panorama europeu.

Mais detalhadamente, estudar normas que descrevem o processo de carregamento (IEC 61851), as interfaces de carregamento (IEC 62196) e as comunicações de carregamento (ISO 15118). Na norma IEC 61851 serão estudadas as componentes de modos de carregamento condutivo e sinalização CP e PP. Na norma 62196 serão estudadas as componentes de configurações de fichas, tomadas, conetores e entradas de veículos para carregamento em corrente alternada (*alternate current*, AC) e corrente contínua (*direct current*, DC). A norma ISO 15118 será estudada especialmente na componente de mensagens V2G.

O segundo e principal objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma interface de comunicação entre o veículo elétrico e posto de carregamento, segundo a norma ISO 15118, envolvendo a utilização de dois microcomputadores para emular a comunicação entre o controlador de comunicação do equipamento de carga (*supply equipment communication controller*, SECC) e o controlador de comunicação de veículo elétrico (*electric vehicle communication controller*, EVCC). A implementação do SECC e do EVCC será realizada através da biblioteca *open-source* RISE V2G. Será ainda desenvolvida uma interface homem-máquina (*humam-machine interface*, HMI) tanto na parte do SECC, como na parte do EVCC. Estas interfaces terão um papel importante na desmonstração da implementação do sistema de comunicação.

1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O resto do documento tem a seguinte estrutura.

No capítulo 2 é descrito o estado de arte, que consiste na pesquisa bibliográfica das várias normas usadas para o carregamento de veículos elétricos no panorama europeu, assim como é descrita a biblioteca usada para implementar a comunicação realizada por uma dessas normas.

No capítulo 3 é descrito como foi implementado todo o sistema de comunicação desenvolvido neste trabalho, assim como o seu funcionamento.

O capítulo 4 apresenta os testes e avaliações realizadas ao sistema de comunicação implementado no capítulo 3.

No capítulo 5 são retiradas conclusões do trabalho realizado e do conhecimento adquirido, assim como são expostas possíveis melhorias e modificações para aplicar no trabalho futuro.

Este relatório termina com as referências usadas ao longo do mesmo, e com vários apêndices que contém informações relevantes para o mesmo.

2. ESTADO DE ARTE

Neste capítulo apresenta-se o estado de arte. Para melhor compreensão das normas descritas posteriormente importa começar por apresentar as definições dos principais termos usados ao longo da dissertação. A segunda parte consiste na pesquisa bibliográfica das principais normas associadas ao carregamento de EV.

2.1. TERMOS E DEFINIÇÕES

Um dos atores principais no carregamento de veículos elétricos, decorrente dos requisitos que coloca à rede elétrica, é o veículo elétrico plug-in (*plug-in electric vehicle*, PEV). O PEV consiste em qualquer veículo que utiliza uma fonte de energia elétrica externa para carregar a sua bateria. Existem dois tipos de PEV, o veículo elétrico a bateria (*battery electric vehicle*, BEV) e o veículo elétrico híbrido plug-in (*plug-in hybrid electric vehicle*, PHEV) (Figura 2.1). No BEV a energia armazenada na sua bateria serve para alimentar o motor elétrico que fará a conversão de energia elétrica para energia mecânica, proporcionando assim movimento ao veículo. O BEV também tem a capacidade de fornecer energia à rede elétrica através da sua bateria. Já o PHEV possui mais que uma fonte de energia de propulsão, incorporando na sua estrutura um motor de combustão interna e um motor elétrico. A sua bateria pode ser alimentada tanto pelo gerador elétrico que, como através de ligação a uma fonte de energia elétrica [7]. O termo mais comum para fazer referência ao PEV é EV.

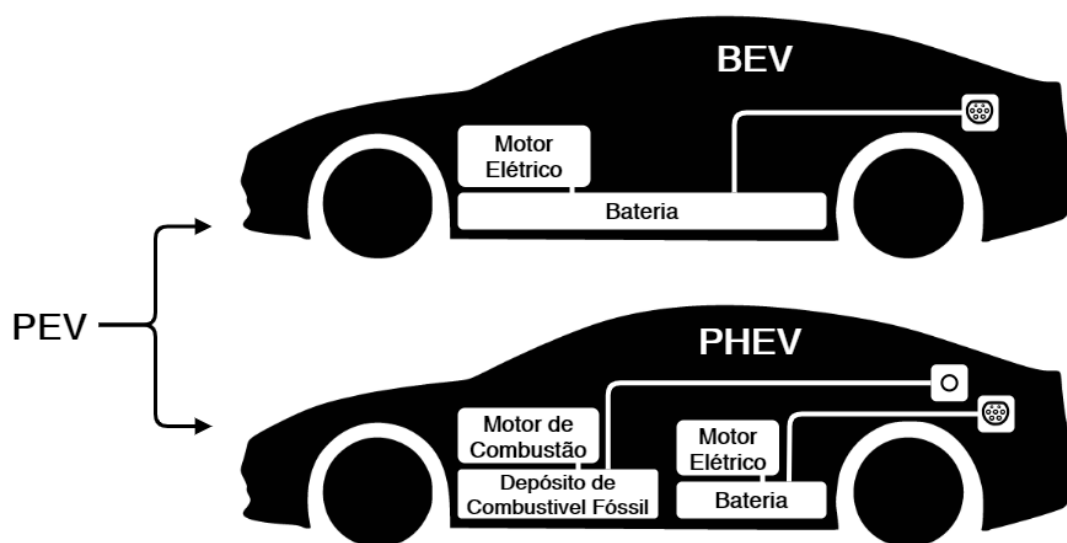


Figura 2.1 - PEV, BEV e PHEV

Outro ator principal do carregamento EV é o posto de carregamento, que consiste num objeto físico que pode englobar um ou mais equipamentos de carga para veículo elétrico (*electric vehicle supply equipment, EVSE*), que partilham a mesma interface homem-máquina (*human-machine interface, HMI*), no caso desta existir. Existem dois tipos de postos de carregamento, os *plug & charge (PnC)* e os *external identification means (EIM)*. No PnC a identificação do EV é realizada automaticamente. Já no EIM, existem leitores de RFID ou de cartões de crédito, por exemplo, de forma a identificar o EV.

O EVSE consiste na parte do posto de carregamento que fornece energia ao EV, através de uma tomada ou conector, e está ligado a um medidor de energia (*smart meter, SM*) presente no posto. Cada EVSE pode conter várias tomadas ou conectores disponíveis, mas apenas um deles, entre os vários existentes, pode estar ligado a um EV, ou seja, se dois EV estão ligados a um posto de carregamento ao mesmo tempo, então, estão a ser carregados por EVSE diferentes em que cada um tem o seu próprio identificador, ou EVSEID [8].

Outros componentes do posto de carregamento, e que desempenham um papel fundamental na comunicação do carregamento EV são o controlador de comunicação do equipamento de carga (*supply equipment communication controller, SECC*) e o controlador de comunicação do veículo elétrico (*electric vehicle communication controller, EVCC*), que são responsáveis pela comunicação de alto nível (*high level communication, HLC*), respetivamente no lado do EVSE e no lado do EV. Dependendo da configuração usada, cada SECC pode controlar a comunicação de um, ou mais EVSE, e deste modo, comunicar com mais que um EVCC ao mesmo tempo, como podemos ver na Figura 2.2.

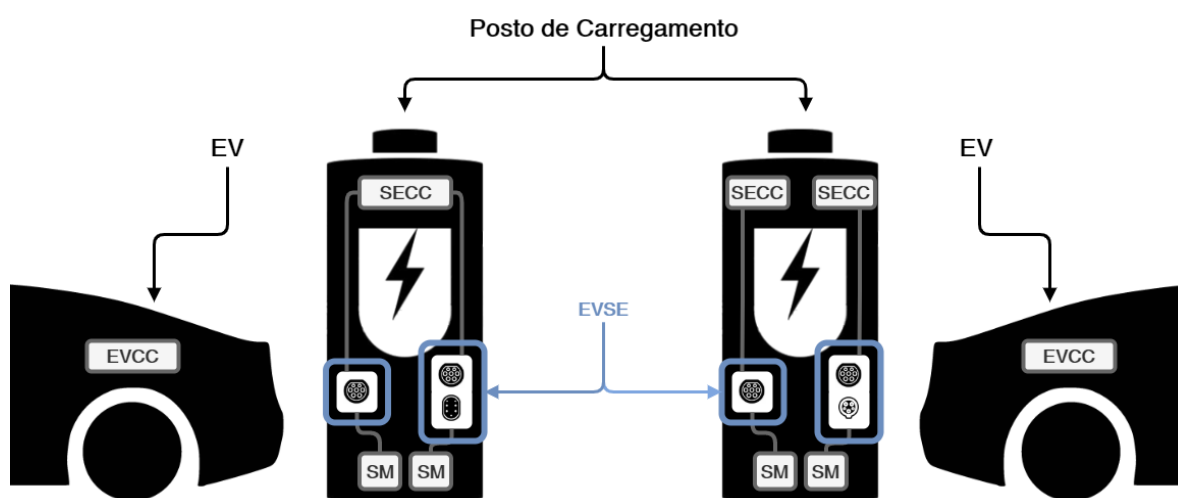


Figura 2.2 - Posto de Carregamento, EVSE, SECC e EVCC

2.2. NORMAS ASSOCIADAS AO CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

De modo a existir interoperabilidade entre o veículo elétrico e o posto de carregamento, têm sido desenvolvidas normas associadas ao carregamento de EV, como a IEC 61851 [9], IEC 62196 [9] e a ISO 15118 [10]. Antes de descrever cada uma delas, importa definir a nomenclatura que lhe é comum:

Para melhor compreensão das normas apresentadas ao longo da dissertação (IEC 61851, IEC 62196 e ISO 15118), são definidos os seguintes termos:

- **Tomada:** Ponto de conexão, no lado do posto de carregamento, que fornece energia elétrica.
- **Ficha:** Peça na extremidade do cabo elétrico, no lado do posto de carregamento, que se liga à tomada, com o objetivo de transmissão de energia elétrica.
- **Cabo:** Meio físico que interliga a ficha com o conector, e pelo qual flui a energia elétrica.
- **Conetor:** Peça na extremidade do cabo elétrico, no lado do EV, que se liga à entrada do veículo, com o objetivo de transmissão de energia elétrica.
- **Entrada do Veículo:** Ponto de conexão, no lado do EV, pelo qual o mesmo recebe energia elétrica.
- **Acoplador do Veículo:** Conjunto formado pelo conetor e entrada do veículo [11].

Estes elementos são apresentados na Figura 2.3 de forma a ajudar a sua compreensão.

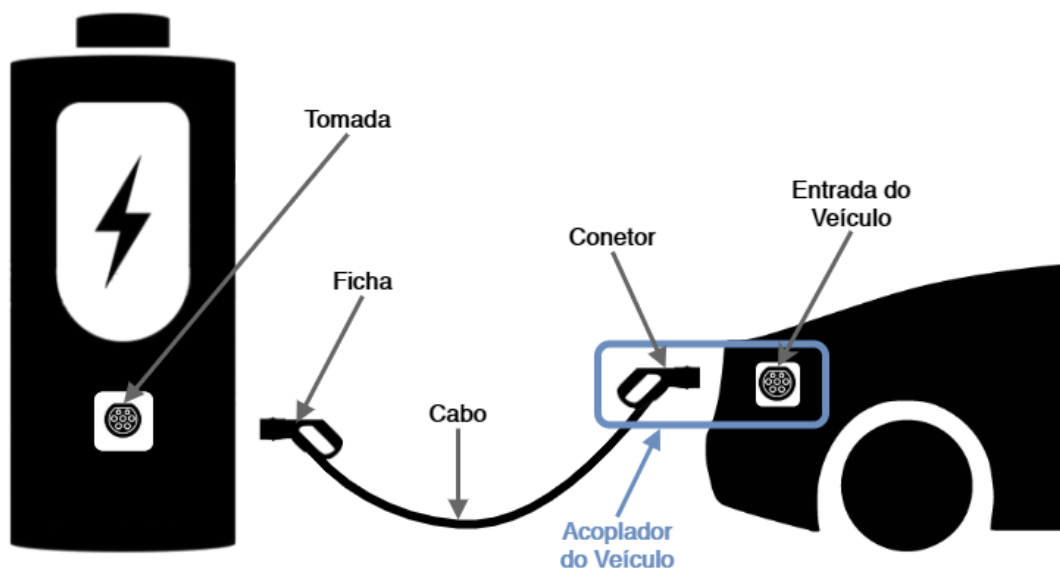


Figura 2.3 - Tomada, Ficha, Cabo, Conetor e Entrada de Veículo

Em seguida apresentam-se essas normas com mais detalhe.

2.2.1. NORMA IEC 61851

A IEC 61851 “*electric vehicle conductive charging system*” define o sistema de carregamento do veículo elétrico. Esta norma deriva da norma americana SAE J1772, mas está adaptada ao panorama do sistema elétrico europeu e asiático, onde é usada. É constituída por cinco partes que são descritas na secção A.1 e enumeradas na Tabela A.1 do próprio. Ainda em apêndice são descritos os modos de carregamento condutivo segundo esta norma (secção A.2). Em seguida é descrito o funcionamento do protocolo de sinalização desta norma.

2.2.1.1. PROTOCOLO DE SINALIZAÇÃO ATRAVÉS DOS PINOS CP E PP

A norma IEC 61851-1 também descreve o protocolo de sinalização dos pinos CP e PP. Este protocolo foi originalmente definido na norma americana SAE J1772, e só depois adotado pela norma IEC 61851, e ao contrário dos restantes protocolos de carregamento, não requer circuitos integrados.

Este protocolo de sinalização foi projetado para funcionar da seguinte forma: (1) O EVSE sinaliza a presença de fonte de energia elétrica; (2) O EV deteta o conector através do pino de sinalização PP, isto previne que o EV se mova durante o carregamento; (3) Através do pino de sinalização CP, o EVSE deteta o EV e indica ao mesmo a sua disponibilidade para fornecer energia elétrica; (4) Ainda através do CP, o EVSE determina se o EV necessita de carregamento com ventilação; (5) O EVSE disponibiliza a energia elétrica requisitada pelo EV, ao mesmo; (6) O EV controla o fluxo de energia durante o carregamento; (7) O EV e o EVSE verificam continuamente a ligação à terra; (8) O carregamento pode ser interrompido ao desligar o conector do EV [11], [12].

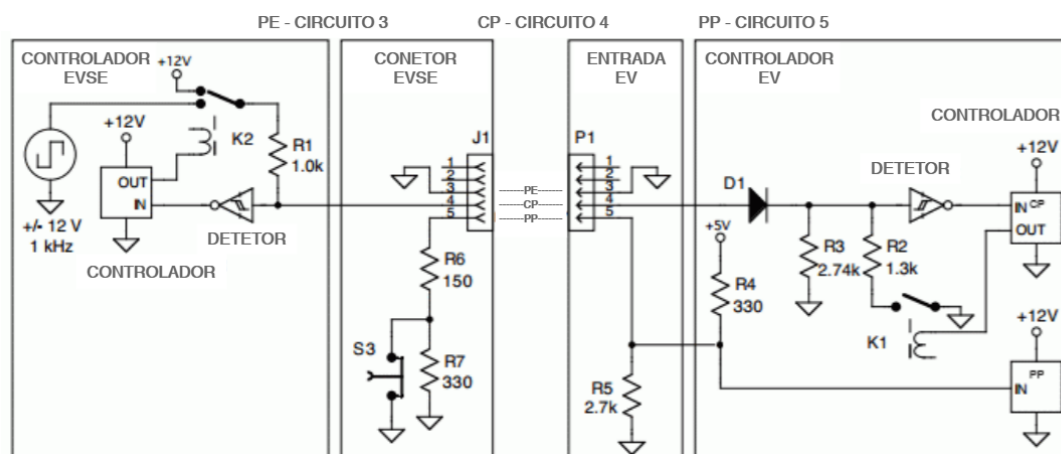


Figura 2.4 - Circuito de Sinalização IEC 61851 [11], [12]

O pino de sinalização *proximity pilot* (PP), representado pelo circuito 5 (pino 5) na Figura 2.4, permite ao EV detetar quando está ligado a um conector. Isto acontece através da deteção, pela parte do EV, de uma resistência passiva representada pelo conector, detetada entre o pino PP e o pino terra (*protective earth*, PE). O pino PP não liga o EV e EVSE.

Durante o carregamento, o EVSE liga o pino PP ao pino PE através do atuador S3 e da resistência R6 (150 Ω). Ao abrir o atuador S3, a resistência R7 (330 Ω) é adicionada ao circuito PP-PE, e faz com que haja uma mudança de tensão no mesmo. O EV ao detetar a mudança de tensão no pino PP, que resulta da mudança de resistência, inicia um processo controlado de corte de corrente antes que se dê a desconexão física da ficha. Salienta-se, contudo, que muitos cabos adaptadores de baixa potência não contêm a deteção de estado do atuador no pino PP.

Em suma, um conector com o atuador fechado é representado por uma resistência de 150 Ω , já um conector com o atuador aberto é representado por 480 Ω (que resulta de 150 Ω e 330 Ω). A deteção da ligação física ao posto, para além de permitir efetuar o corte de energia antes que o conector seja desligado, permite também que o EV bloqueie deslocamentos enquanto o cabo de carregamento estiver ligado.

Do lado do EVSE, o PP também permite saber quando a tomada está ligada a uma ficha. Mais uma vez, uma resistência passiva, presente na ficha faz a ligação entre o pino PP e o pino PE (não representado na Figura 2.4). Por esta via, o cabo de carregamento permite que o EVSE determine o valor máximo da corrente que suporta, através da resistência entre os esses pinos (Tabela 2.1). Por sua vez, o EVSE comunica ao EV a corrente máxima suportada pelo conjunto posto mais cabo de carregamento através do pino CP [11], [12].

Tabela 2.1 - Resistência PP-PE [11], [12]

Resistência PP-PE	Corrente Máxima	Secção do Condutor
Aberto, ou $\infty \Omega$	6 A	0,75 mm ²
1500 Ω	13 A	1,5 mm ²
680 Ω	20 A	2,5 mm ²
220 Ω	32 A	6 mm ²
100 Ω	63 A	16 mm ²
50 Ω , ou $< 100 \Omega$	80 A	25 mm ²

O pino de sinalização *control pilot* (CP), representado pelo circuito 4 (pino 4) na Figura 2.4 foi concebido para ser facilmente processado por eletrónica analógica.

O EVSE inicia no estado A e aplica uma tensão de +12 V ao CP. Ao detetar a resistência R3 (2,74 k Ω) entre o pino CP e o pino PE, o EVSE altera o estado para B, e aplica um sinal de onda quadrada a 1 kHz cuja tensão é ± 12 V (24 V pico a pico). O EV pode solicitar

carregamento, ao alterar a resistência CP-PE para 882Ω ($2,74 \text{ k}\Omega // 1,3 \text{ k}\Omega$) ou 246Ω ($2,74 \text{ k}\Omega // 270 \Omega$), dependendo do valor de R_2 ($1,3 \text{ k}\Omega$ ou 270Ω). Quando a resistência CP-PE é 882Ω , o EV solicita carregamento sem ventilação, enquanto que quando é 246Ω solicita o carregamento com ventilação.

Ou seja, o estado de carregamento altera-se consoante a resistência equivalente CP-PE detetada no circuito. Quando o conector do EVSE é ligado à entrada do EV, a resistência de $2,74 \text{ k}\Omega$ é detetada no circuito CP-PE, o que faz com que a tensão neste circuito baixe de $+12 \text{ V}$ para $+9 \text{ V}$, passando do estado A de carregamento (sem ligação) para o estado B (EV detetado) (Tabela 2.2 e Figura 2.5). O carregamento é acionado pelo EV ao adicionar uma resistência de $1,3 \text{ k}\Omega$ no circuito, em paralelo com a de $2,74 \text{ k}\Omega$, resultando numa resistência equivalente CP-PE de 882Ω . Com essa resistência equivalente (de 882Ω) a tensão no circuito diminui para $+6 \text{ V}$, passando para o estado C de carregamento (carregamento sem ventilação). Se o EV adicionar uma resistência de 270Ω no circuito em paralelo com a de $2,74 \text{ k}\Omega$, ao invés de uma de $1,3 \text{ k}\Omega$, o resultado será uma resistência CP-PE de 246Ω . Esta resistência equivalente de 246Ω fará com que a tensão baixe dos $+6 \text{ V}$ para os $+3 \text{ V}$, e o estado de carregamento passe para o estado D (carregamento com ventilação).

O diodo presente no circuito CP-PE garante que a apenas a tensão positiva baixe, ficando a negativa sempre nos -12 V . Qualquer oscilação de tensão negativa fará com que o circuito desligue, considerando essa oscilação como um erro (estado F) [11], [12].

Tabela 2.2 - Descrição dos Estados de Carregamento [11], [12]

Estado	Descrição de Estado	Resistência CP-PE	Tensão CP-PE
A	Sem ligação	Aberto, ou $\infty \Omega$	$+12 \text{ V}$
B	EV detetado	$2,74 \text{ k}\Omega$	$+9 \pm 1 \text{ V}$
C	Carregamento sem ventilação	882Ω	$+6 \pm 1 \text{ V}$
D	Carregamento com ventilação	246Ω	$+3 \pm 1 \text{ V}$
E	Desligado		0 V
F	Erro		-12 V

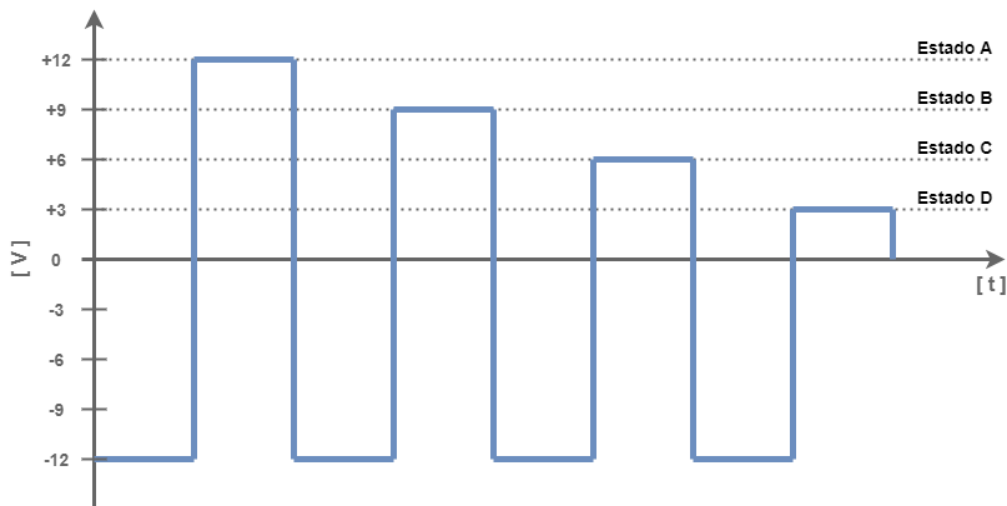


Figura 2.5 - Gráfico dos Estados de Carregamento

O EVSE aproveita também a onda quadrada de 1kHz para transmitir ao EV a sua corrente máxima de carregamento. Ao usar modulação por largura de pulso (*pulse width modulation*, PWM), o EVSE faz variar o *duty cycle* para indicar ao EV diferentes valores de corrente disponível [11], [12].

$$Corrente [A] = \begin{cases} 0,6 \times DutyCycle [\%] & 10\% \leq DutyCycle \leq 85\% \\ (DutyCycle [\%] - 64) \times 2,5 & 85\% < DutyCycle \leq 95\% \end{cases} \quad (2.1)$$

Através da equação (1) [12], o EVSE define o *duty cycle* do sinal PWM, relacionando o estado superior e com o estado inferior da onda durante 1 ms. Ou seja, diferentes percentagens de *duty cycle*, correspondem a diferentes correntes disponíveis pelo EVSE como podemos ver na Figura 2.6.

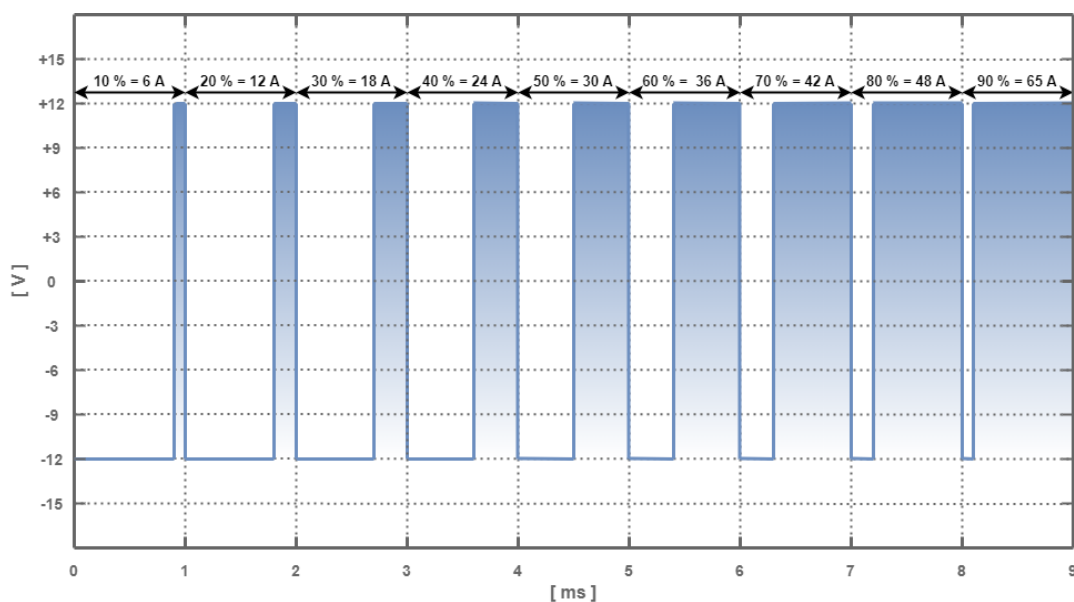


Figura 2.6 - Variação da Corrente com o Duty Cycle [12]

2.2.2. NORMA IEC 62196

A norma internacional IEC 62196 “*plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – conductive charging of electric vehicles*” define um grupo de conetores dedicado para EVs, mantida pela Internacional Electrotechnical Commission (IEC). Esta norma está dividida em seis partes descritas na secção B.1 e enumeradas na Tabela B.1 do próprio. Ainda em apêndice estão presentes as configurações descritas nesta norma para o carregamento em corrente alternada (secção B.2, Tabela B.2) e para o carregamento em corrente contínua (secção B.3, Tabela B.3).

2.2.3. NORMA ISO 15118

Em 2010, a International Organization for Standardization (ISO) e a International Electrotechnical Commission (IEC), uniram forças para criar o ISO/IEC 15118 Joint Working Group. Este grupo de trabalho conseguiu criar uma solução, que neste momento é a norma líder nas maiores regiões do globo como a Europa, o centro da América, o sul da América e a Coreia do Sul. Entretanto a ISO assumiu a publicação da norma e agora é conhecida simplesmente por ISO 15118 “*road vehicles – vehicle to grid communication interface*”. Esta norma define a informação geral acerca da infraestrutura de carregamento, descrevendo protocolos de comunicação digital usados pelo EV e pelo EVSE durante o carregamento.

Quando um EV se conecta a um EVSE, o controlador de comunicação do lado do veículo (EVCC) e o controlador de comunicação do posto de carregamento (SECC), estabelecem uma rede de comunicação que permite a troca de mensagens de alto nível. O objetivo desta rede de comunicação é a de trocar informação entre ambos sobre o início e fim de carregamento, taxas de pagamentos, autenticações e segurança [13].). Esta norma está dividida em oito partes descritas na secção C.1 e enumeradas na Tabela C.1.

2.2.3.1. ISO 15118 E O MODELO OSI

Na Figura 2.7 é possível observar como se relaciona cada uma das partes da ISO 15118 com as 7 camadas do modelo Open System Interconnection (OSI), de modo a estabelecer uma comunicação *standard* conforme a norma.

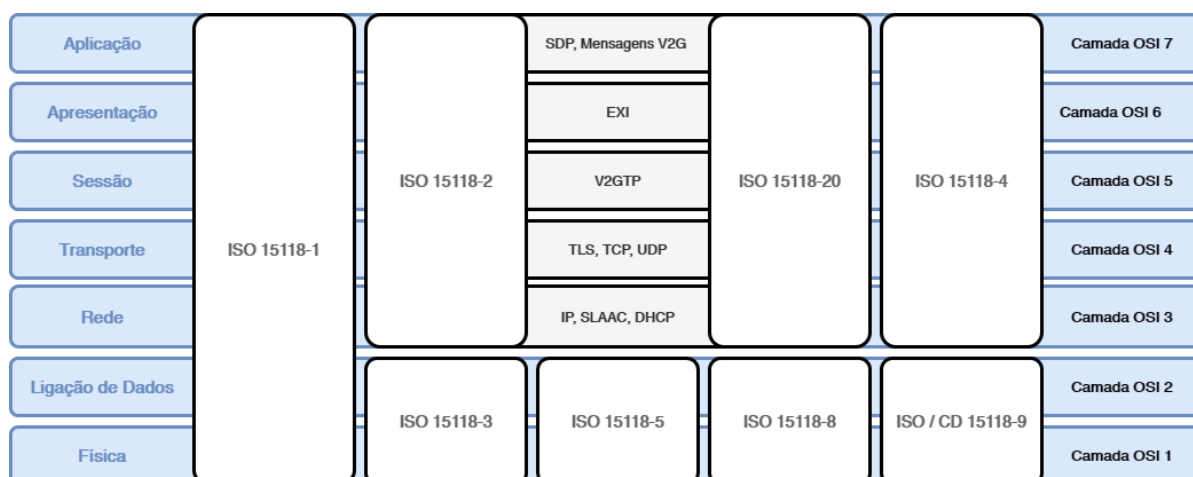


Figura 2.7 - ISO 15118 e o Modelo OSI

Cada camada do modelo OSI é construída baseada na camada subjacente. A primeira camada do modelo OSI, denominada de camada física, define o meio físico e a força do sinal. O trabalho de normalização da ISO 15118 começou por ter duas tecnologias candidatas para esta camada, ambas utilizando a Power Line Communication (PLC): a HomePlug Green PHY (HPGP) (PLC de alta velocidade) e a G3-PLC (PLC de baixa velocidade). Posteriormente, foi proposto um sistema de comunicação em banda que sobrepõe a PLC à linha do CP em vez de linha de alimentação e feito um estudo que levou em consideração o estado de desenvolvimento de cada país e os sistemas legais e regulatórios de cada mercado. Com base no resultado desse estudo, a HPGP foi escolhida como principal meio da norma ISO 15118, porque possui banda mais larga, comunicação em alta velocidade e um menor impacto no ambiente.

Recentemente foi publicada a parte 8 da norma (ISO 15118-8), que define os requisitos técnicos para a comunicação sem fios nesta camada, assim como para a próxima (camada de ligação de dados), usando a tecnologia de comunicação sem fios IEEE 802.11n. A IEEE 802.11n junta-se assim à tecnologia PLC como meio físico de comunicação principal da norma ISO 15118, sendo a IEEE 802.11n usada no carregamento sem fios e a PLC usada no carregamento condutivo. Esta dissertação aborda apenas as componentes do carregamento condutivo (ISO 15118-2).

Na camada de ligação de dados são aplicadas as especificações do sinal PLC, e contém duas características especiais. Uma das características é o controlo de entradas e saídas (*I/O-control*) Service Access Point (SAP), a outra característica é o Signal Level Attenuation Characterization (SLAC).

O estado em que se encontra o carregamento do veículo elétrico é expresso pela sinalização do CP (IEC 61851), de acordo com a descrição feita na secção 2.2.1.1. Não pelo sinal PLC.

No entanto, na norma ISO 15118, a leitura do estado de carregamento do EV é necessária. O SAP é usado para fornecer sinais entre as camadas do modelo OSI, e possibilita que o estado do CP seja enviado e inserido na camada de ligação de dados, que por sua vez possibilita o envio de informações para as camadas superiores do modelo OSI.

O SLAC determina se o sinal foi recebido, ou não, por uma linha piloto conectada, ao medir a intensidade desse sinal. Esta função consegue lidar com o fenómeno da diafonia que ocorre nas redes de comunicação elétrica, permitindo ao EVCC encontrar o SECC a que está diretamente conectado, de forma correta.

Na camada de rede é obtido um endereço Internet Protocol (IP), de forma a executar a comunicação IP. Como existem duas versões de endereços IP, durante o processo de normalização da ISO 15118, o esquema de endereçamento IPv6 foi definido como obrigatório e a versão IPv4 opcional. Nesta camada, o IPv6 é definido sobre Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC) ou Dynamic Host Configuration Protocol para IPv6 (DHCPv6).

Na camada de transporte, a comunicação é realizada através do User Datagram Protocol (UDP) e do Transmission Control Protocol (TCP). O UDP é utilizado para encaminhar as mensagens SECC Discovery Protocol (SDP) e pode ser transmitida uma mensagem sem a necessidade de especificar o destino. Já o TCP é utilizado para encaminhar as mensagens de comunicação de alto nível e deve ser especificado um endereço de destino para encaminhar a mensagem. Nos dois casos pode ser usado o Transport Layer Security (TLS) como camada para encriptar a comunicação, deixando-a mais segura.

Na camada de sessão é usado o Vehicle-to-Grid Transfer Protocol (V2GTP) para definir a estrutura de dados de comunicação, a estrutura do cabeçalho e o endereço da porta, assim como é usado para definir o formato de mensagem na camada seguinte (camada de apresentação). Todas as mensagens trocadas na camada de sessão circulam em pacotes V2GTP.

Na camada de apresentação cada mensagem é definida com Extensive Mark-Up Language (XML), devido ao facto desta linguagem ser amplamente usada para comunicação baseada na Internet. No entanto, para a codificação e troca de mensagens de comunicação de alto nível reais é usado o Efficient XML Interchange (EXI), de forma a reduzir o “peso” da comunicação.

Por fim, na camada de aplicação é usado, pelo controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC) e pelo controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC), um conjunto de mensagens V2G de forma a comunicarem um com o outro. Esta camada usa o caminho estabelecido para trocar qualquer mensagem relacionada aos casos de uso (*use cases*) da

norma, seja para carregamento AC, carregamento DC ou carregamento sem fios [14]–[16]. Os casos de uso desta norma são enumerados e descritos na secção C.2.

2.2.3.2. MENSAGENS V2G

O controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC) e o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) são os responsáveis pela comunicação de alto nível (HLC), que controla o procedimento geral de carregamento. A comunicação na norma ISO 15118 é realizada no modelo cliente-servidor, através de uma série de mensagens *request-response* (Figura 2.8). Para cada tipo de mensagem V2G, o cliente (EVCC), envia uma mensagem de solicitação (*request*), à qual o servidor (SECC) interage com uma mensagem de resposta (*response*).

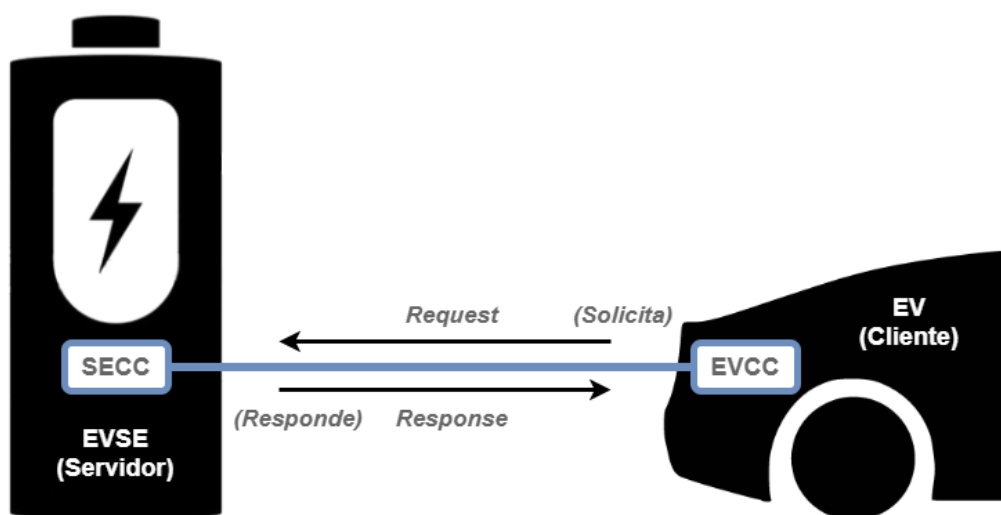


Figura 2.8 - Modelo Cliente-Servidor da ISO 15118

Através destas mensagens, o EV e o EVSE trocam as informações necessárias antes, durante e após o carregamento. A mensagem V2G está estruturada em duas partes, o cabeçalho e o corpo. O cabeçalho da mensagem transporta informação sobre o objeto de comunicação, como o identificador de sessão de comunicação (SessionID). Já o corpo da mensagem inclui informação específica, que varia de acordo com o tipo de mensagem V2G. Por exemplo, no corpo de numa mensagem de solicitação V2G de um dado tipo, é transportada informação sobre o veículo elétrico, referente a esse tipo de mensagem. Já no corpo da mensagem de resposta V2G, é transportada informação sobre EVSE, referente ao tipo de mensagem V2G.

No corpo da mensagem de resposta, o SECC ainda envia sempre um código de resposta, independentemente do tipo de mensagem V2G. Esse código de resposta contém o valor “OK” se a mensagem de solicitação enviada anteriormente for bem recebida pelo SECC, ou o valor “ERROR” se houver alguma inconsistência na mensagem recebida. Quando o código de resposta apresenta o valor “OK”, a sequência de mensagens V2G segue o seu fluxo predefinido consoante o caso de uso utilizado. Já se o código de resposta apresentar o valor “ERROR”, a sessão de comunicação é terminada.

Existem vários tipos de mensagens V2G trocadas entre o EVCC e o SECC, e todas elas estão mapeadas conforme os grupos de casos de uso da ISO 15118. Na Tabela 2.3 é possível observar todos os tipos de mensagens que é trocar numa sessão de comunicação, assim como os seus respetivos grupos [6], [16], [17].

Tabela 2.3 - Tipos de Mensagens V2G [16]

Tipos de Mensagens V2G	Grupo
<i>SessionSetup</i>	A
<i>ServiceDiscovery</i>	B
<i>ServiceDetail</i>	B
<i>PaymentServiceSelection</i>	B
<i>CertificateUpdate</i>	C
<i>CertificateInstallation</i>	C
<i>Authorization</i>	D
<i>PaymentDetails</i>	E
<i>ChargeParameterDiscovery</i>	E
<i>PowerDelivery</i>	E
<i>ChargingStatus</i>	F
<i>MeteringReceipt</i>	F
<i>CableCheck</i>	F
<i>PreCharge</i>	F
<i>CurrentDemand</i>	F
<i>WeldingDetection</i>	F
<i>SessionStop</i>	H

De forma estabelecer a ligação para a sessão de comunicação através de mensagens V2G são usadas duas mensagens especiais, a SECCDiscovery e a SupportedAppProtocol.

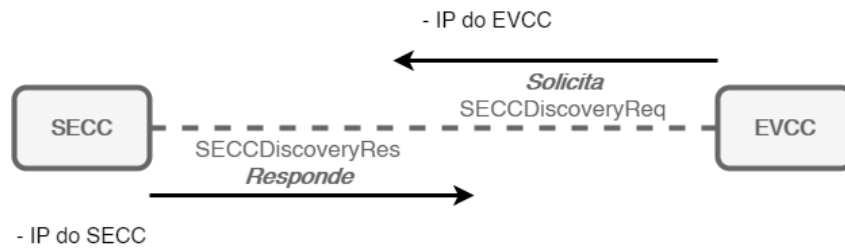


Figura 2.9 - Mensagem SECCDiscovery

Embora a mensagem SECCDiscovery não entre no leque de mensagens V2G da ISO 15118, é através dela que a ligação entre o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) e o controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC) é iniciada. O EVCC começa por encaminhar a solicitação da mensagem SECCDiscovery contendo o seu IPv6, através de UDP, sem especificar o destino (Figura 2.9).

Por sua vez, o SECC que está à espera de ligação, recebe a solicitação proveniente do EVCC e encaminha a mensagem de resposta contendo o seu IPv6 (Figura 2.9). Depois da troca de IPv6 entre ambos os controladores de comunicação, é estabelecida uma ligação baseada em IP. Esta mensagem também serve para trocar informação acerca de suporte do protocolo TLS [8], [17]–[20].

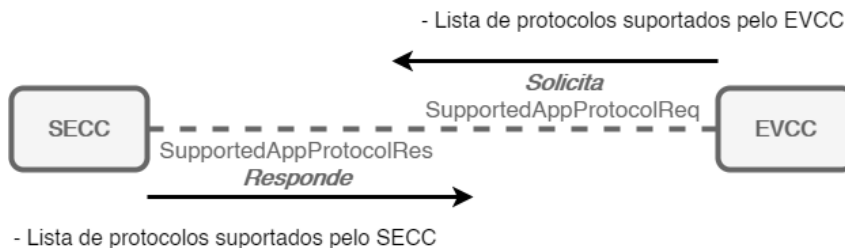


Figura 2.10 - Mensagem SupportedAppProtocol

Após a troca da mensagem SECCDiscovery, é iniciada a troca da mensagem SupportedAppProtocol. Esta mensagem, assim como a SECCDiscovery também não faz parte do leque de mensagens V2G da ISO 15118.

O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação contendo a lista de protocolos suportados pelo EV. Por sua vez, o SECC envia a mensagem de resposta contendo a lista de protocolos compatíveis com o veículo (Figura 2.10). Só depois de uma negociação, entre o EV e o EVSE, acerca dos protocolos suportados é iniciada a troca de mensagens V2G, isto se ambos suportarem o protocolo de comunicação ISO 15118.

Esta mensagem segue-se à mensagem SECCDiscovery e é seguida pela mensagem V2G SessionSetup [8], [17]–[20].

podem ser: (1) contrato, via Plug & Charge (PnC) ou (2) pagamento externo (EIM), via RFID por exemplo. Já os tipos de carregamento podem ser: (1) corrente alternada monofásica, (2) corrente alternada trifásica e (3) corrente contínua.

Esta mensagem V2G é seguida pela mensagem V2G Service Details quando solicitados serviços de valor acrescentado (VAS), ou pela mensagem V2G PaymentServiceSelection quando os VAS não são solicitados [8], [17]–[20].

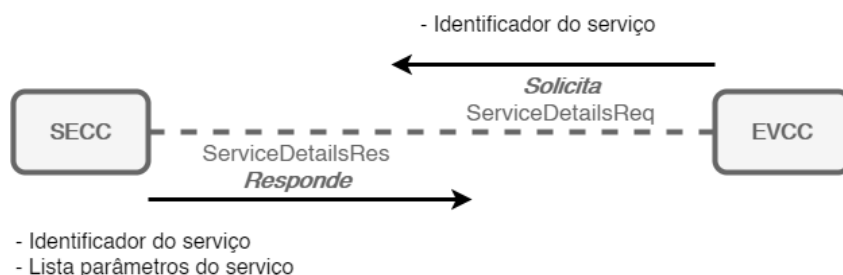


Figura 2.13 - Mensagem V2G ServiceDetails

A mensagem V2G ServiceDetails permite a troca de parâmetros não necessários para a transferência de energia entre o EV e o EVSE, daí ser uma mensagem de carácter opcional. Esta mensagem só é usada numa sessão de comunicação quando são solicitados serviços de valor acrescentado (VAS).

O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (ServiceDetailsReq), contendo no seu corpo o identificador do serviço ao qual pretende obter informação. Por sua vez, o SECC retribui com a mensagem de resposta (ServiceDetailsRes), que contém no seu corpo a lista com os parâmetros do serviço escolhido pelo EVCC (Figura 2.13).

Esta mensagem V2G é seguida pela mensagem V2G PaymentServiceSelection [8], [17]–[20].

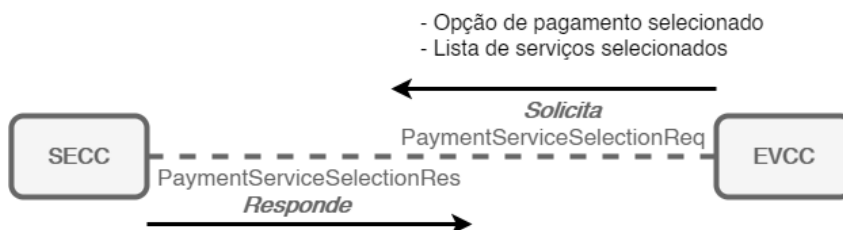


Figura 2.14 - Mensagem V2G PaymentServiceSelection

A mensagem V2G PaymentServiceSelection, como o nome indica, tem a finalidade de transportar a informação do serviço escolhido, assim como especificar como esses serviços

são pagos. Para tal, o EVCC envia no corpo da mensagem de solicitação (PaymentServiceSelectionReq) os serviços escolhidos e a opção de pagamento escolhida, como é possível observar na Figura 2.14.

Os serviços e a opção de pagamento solicitadas devem coincidir com as enviadas pelo SECC anteriormente na mensagem ServiceDiscovery. Se assim for, o SECC envia na mensagem de resposta (PaymentServiceSelectionRes) o código com o valor “OK”, que confirma que os serviços e a opção de pagamento escolhida foram aceites.

Esta mensagem V2G é precedida: (1) pela mensagem V2G ServiceDetails quando solicitados serviços de valor acrescentados (VAS), ou (2) pela mensagem V2G ServiceDiscovery quando os VAS não são solicitados.

É seguida: (1) pela mensagem V2G PaymentDetails se a opção de pagamento for Plug & Charge (PnC), ou (2) pela mensagem V2G CertificateInstallation se a opção de pagamento for PnC e necessitar de instalar certificados, ou (3) pela mensagem V2G CertificateUpdate se a opção de pagamento for PnC e necessitar atualizar certificados, ou (4) pela mensagem V2G Authorization se a opção de pagamento for pagamento externo (EIM) [8], [17]–[20].

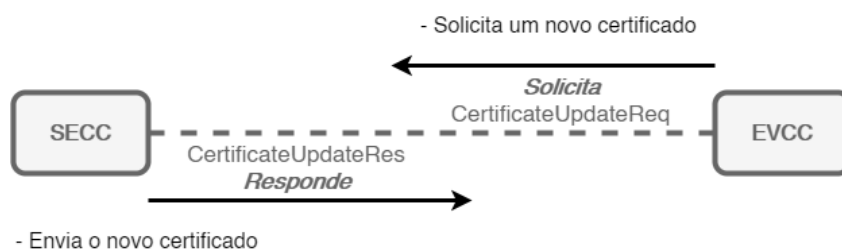


Figura 2.15 - Mensagem V2G CertificateUpdate

A mensagem V2G CertificateUpdate é usada quando existe a necessidade de atualização de certificados. Esta necessidade é verificada quando os certificados estão a poucos dias de expirar. Estes certificados apenas são utilizados quando a opção de pagamento selecionada for Plug & Charge. Quando o EVCC envia a mensagem de solicitação (CertificateUpdateReq), está a pedir ao SECC um novo certificado pertencente ao seu contrato atualmente válido. Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC estabelece uma comunicação online e requisita o novo certificado ao ator secundário (SA). De seguida, o SECC envia ao EVCC o novo certificado na mensagem de resposta (CertificateUpdateRes) (Figura 2.15). Os parâmetros trocados nos corpos das mensagens de solicitação e resposta não são descritos pois é necessário um conhecimento avançado dos mecanismos de criptografia do Plug & Charge que não são abordados neste trabalho.

Esta mensagem é precedida pela mensagem V2G PaymentServiceSelection e é seguida pela mensagem V2G PaymentDetails [8], [17]–[20].

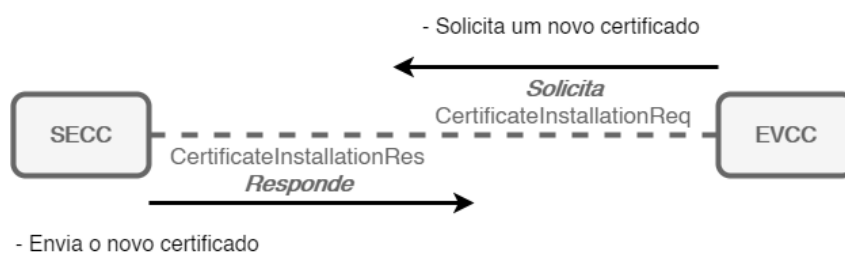


Figura 2.16 - Mensagem V2G CertificateInstallation

A mensagem V2G CertificateInstallation, é usada quando existe a necessidade de instalação de certificados. Estes certificados são utilizados apenas quando a opção de pagamento selecionada for Plug & Charge. Quando o EVCC envia a mensagem de solicitação (CertificateInstallationReq), está a pedir ao SECC um novo certificado pertencente ao seu contrato atualmente válido. Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC envia o novo certificado na mensagem de resposta (CertificateInstallationRes) (Figura 2.16). Os parâmetros trocados nos corpos das mensagens de solicitação e resposta não são descritos pela mesma razão apresentada anteriormente na descrição da mensagem V2G CertificateUpdate.

A mensagem V2G CertificateInstallation é precedida pela mensagem V2G PaymentServiceSelection e é seguida pela mensagem V2G PaymentDetails [8], [17]–[20].

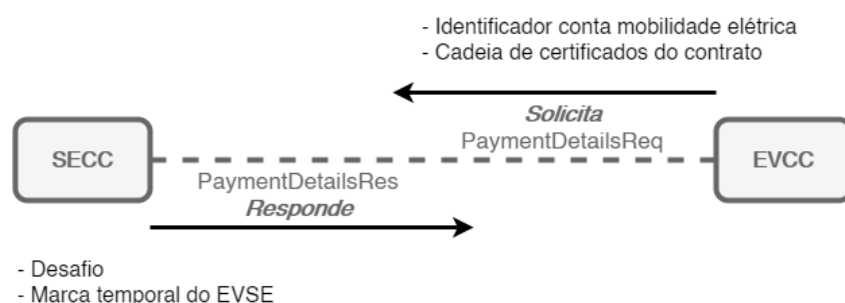


Figura 2.17 - Mensagem V2G PaymentDetails

Na mensagem V2G PaymentDetails são trocados os detalhes do pagamento. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (PaymentDetailsReq), contendo no seu corpo o identificador da conta de mobilidade elétrica e a cadeia de certificados do contrato (Figura 2.17). Por sua vez, o SECC retribui com a mensagem de resposta (PaymentDetailsRes), contendo no seu corpo a marca temporal do EVSE (EVSETimeStamp) e o desafio que mais tarde será assinado pelo EVCC.

Esta mensagem é precedida: (1) pela mensagem V2G PaymentServiceSelection se a opção de pagamento for Plug & Charge (PnC), ou (2) pela mensagem V2G CertificateInstallation se a opção de pagamento for PnC e necessitar de instalar certificados, ou (3) pela CertificateUpdate se a opção de pagamento for PnC e necessitar atualizar certificados. A ela segue-se a mensagem V2G Authorization [8], [17]–[20].

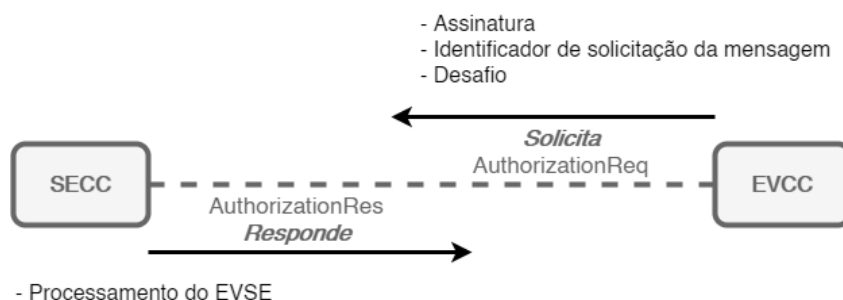


Figura 2.18 - Mensagem V2G Authorization

Na mensagem V2G Authorization é realizada a autorização para carregamento. Para tal, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (AuthorizationReq). No cabeçalho desta mensagem, além do identificador de sessão de comunicação (SessionID), o EVCC envia também a assinatura ao desafio enviado anteriormente na mensagem de resposta PaymentDetailsRes. Já no corpo da mensagem de solicitação é enviado o identificador de solicitação da mensagem e o desafio para mais tarde ser assinado pelo SECC. De seguida o SECC, retribui com a mensagem de resposta contendo no seu corpo a mensagem de processamento do EVSE como é possível observar na Figura 2.18.

Esta mensagem V2G segue: (1) à mensagem V2G PaymentServiceSelection se a opção de pagamento for pagamento externo (EIM), ou (2) à PaymentDetails se a opção de pagamento for Plug & Charge (PnC). É seguida pela mensagem V2G ChargeParameterDiscovery [8], [17]–[20].

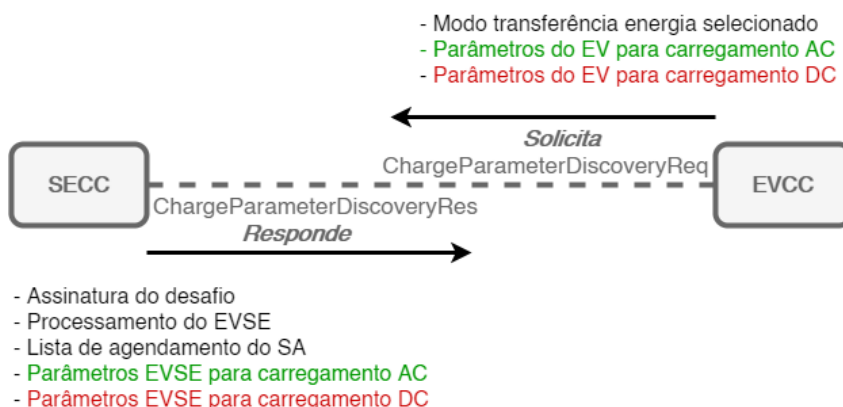


Figura 2.19 - Mensagem V2G ChargeParameterDiscovery

Na mensagem V2G ChargeParameterDiscovery são trocados os parâmetros relativos ao início do carregamento. O EVCC começa por fornecer no corpo da mensagem de solicitação (ChargeParameterDiscoveryReq) o modo de transferência de energia pretendido e os parâmetros de carregamento conforme o modo de transferência de energia (Figura 2.19).

Se o modo de transferência de energia selecionado for corrente alternada (AC), o EVCC envia no corpo da mensagem os parâmetros do veículo elétrico para carregamento AC. Estes parâmetros incluem: (1) a quantidade de energia necessária para carregar o EV (EAmount), (2) o tempo que o EV pretende deixar o EVSE (DepartureTime), (3) a tensão máxima suportada pelo EV (EVMaxVoltage), (4) a corrente máxima suportada pelo EV (EVMaxCurrent) e (5) a corrente mínima suportada pelo EV (EVMinCurrent).

Se o modo de transferência de energia selecionado for corrente contínua (DC), o EVCC envia no corpo da mensagem os parâmetros do veículo elétrico para carregamento DC. Estes parâmetros incluem: (1) a quantidade de energia necessária para carregar o EV (EEnergyRequest), (2) o limite máximo de corrente suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit), (3) o limite máximo de tensão suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit) e (4) o estado atual do EV para carregamento DC (DC_EVStatus). O estado atual do EV para carregamento DC é composto pelo estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) e pelos códigos relativos a erros e disponibilidade do EV.

Depois de receber a mensagem de solicitação por parte do EVCC, o SECC envia a mensagem de resposta (ChargeParameterDiscoveryRes). No cabeçalho desta mensagem, além do identificador de sessão de comunicação (SessionID), o SECC envia também a assinatura ao desafio enviado anteriormente na mensagem de solicitação AuthorizationReq. No corpo desta mensagem, o SECC envia a mensagem de processamento do EVSE, a lista de agendamento do ator secundário (SA) e os parâmetros do EVSE para o modo de transferência de energia escolhido, como é possível observar na Figura 2.19.

Se o modo de transferência de energia selecionado for AC, o SECC envia no corpo da mensagem os parâmetros do EVSE para carregamento AC. Estes parâmetros incluem: (1) a tensão nominal do EVSE (EVSENominalVoltage), (2) a corrente máxima suportada pelo EVSE (EVSEMaxCurrent) e (3) o estado atual do EVSE para carregamento AC (AC_EVSEStatus). O estado atual do EVSE para carregamento AC é composto pelos códigos relativos a erros e disponibilidade do EVSE para este modo de transferência de energia.

Se o modo de transferência de energia selecionado for DC, o SECC envia no corpo da mensagem os parâmetros do EVSE para carregamento DC. Estes parâmetros incluem: (1) o limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit), (2) o limite

mínimo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMinimumCurrentLimit), (3) o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit), (4) o limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMinimumVoltageLimit), (5) o pico da corrente de ripple (EVSEPeakCurrentRipple) e (6) o estado atual do EVSE para carregamento DC (DC_EVStatus). O estado atual do EVSE para carregamento DC é composto pelos códigos relativos a erros e disponibilidade do EVSE para este modo de transferência de energia.

A mensagem V2G ChargeParameterDiscovery segue à mensagem V2G Authorization, ou à mensagem V2G PowerDelivery quando solicitada uma renegociação. E é seguida pela mensagem V2G PowerDelivery se o tipo de carregamento solicitado for AC, ou pela mensagem V2G CableCheck se o tipo de carregamento solicitado for DC [8], [17]–[20].

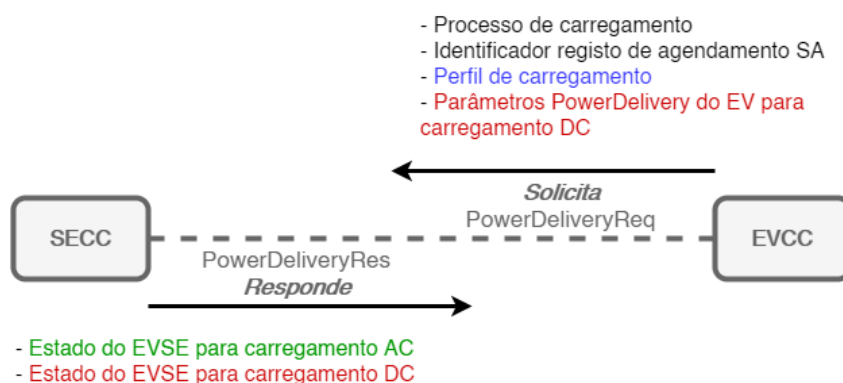


Figura 2.20 - Mensagem V2G PowerDelivery

A mensagem V2G PowerDelivery tem o objetivo de começar e parar o processo de carregamento. O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (PowerDeliveryReq) contendo no seu corpo o identificador do registo de agendamento do ator secundário e o estado do processo de carregamento. O estado do processo de carregamento pode conter o valor “Start” (iniciar), “Renegotiate” (renegociar) e “Stop” (parar). Sempre que na mensagem de solicitação o estado do processo de carregamento contiver o valor “Start”, o EVCC envia no corpo desta mensagem, juntamente com os anteriores parâmetros, o perfil de carregamento que o mesmo irá seguir, como é possível observar na linha delimitada a azul na Figura 2.20. Ainda no corpo da mensagem de solicitação, se o modo de transferência de energia escolhido for corrente contínua (DC), são enviados também os parâmetros PowerDelivery do EV.

Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC envia a mensagem de resposta (PowerDeliveryRes) contendo no seu corpo o estado do EVSE. Os parâmetros enviados no estado do EVSE dependem do modo de transferência de energia escolhido. Se o modo de transferência de energia escolhido for corrente alternada (AC), o SECC envia o estado do

EVSE para carregamento AC. Já se for DC, é enviado o estado do EVSE para carregamento DC como é possível observar na Figura 2.20.

A mensagem V2G PowerDelivery segue: (1) à mensagem V2G ChargeParameterDiscovery quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (2) à mensagem V2G PreCharge quando o tipo de carregamento solicitado é DC, ou (3) à mensagem V2G ChargingStatus quando o tipo de carregamento solicitado é AC e é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (4) à mensagem V2G CurrentDemand quando o tipo de carregamento solicitado é DC e é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (5) à mensagem V2G MeteringReceipt quando o tipo de carregamento solicitado é AC, a opção de pagamento solicitada é Plug & Charge (PnC) e é solicitada uma paragem ou renegociação.

Esta mensagem V2G é seguida: (1) pela mensagem V2G ChargingStatus se o tipo de carregamento solicitado for AC, ou (2) pela mensagem V2G CurrentDemand se o tipo de carregamento solicitado for DC, ou pela mensagem V2G ChargeParameterDiscovery se for solicitada uma renegociação, ou pela mensagem V2G SessionStop se for solicitada uma paragem [8], [17]–[20].

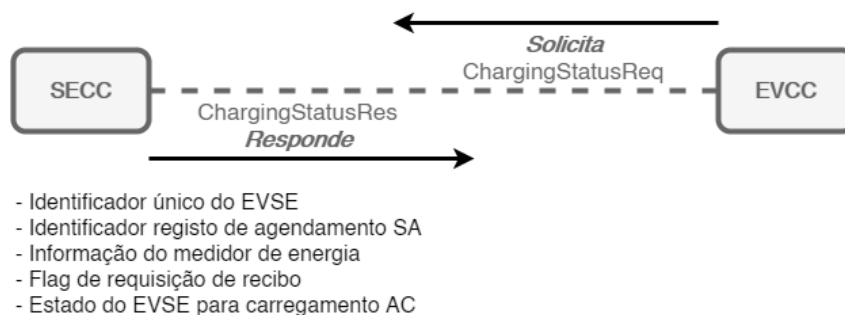


Figura 2.21 - Mensagem V2G ChargingStatus

A ChargingStatus é responsável pelo *loop* de carregamento quando o modo de transferência de energia escolhido é corrente alternada (AC). O *loop* de carregamento consiste no ciclo repetitivo em que é realizada transferência de energia por parte do posto para a bateria do veículo elétrico. O *loop* de carregamento pode ser acompanhado também pela mensagem MeteringReceipt se a opção de pagamento for Plug & Charge (PnC) e for requisitado recibo de medição (MR).

O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (ChargingStatusReq), à qual o SECC retribui com a mensagem de resposta (ChargingStatusRes). No corpo da mensagem de resposta, o SECC envia: (1) o identificador único do EVSE, (2) o identificador do registo de agendamento do ator secundário, (3) a informação referente ao medidor de energia, (4) o

estado atual do EVSE para carregamento AC e (5) o indicador de requisição de recibo de medição (Figura 2.21).

Esta mensagem V2G é procedida: (1) pela mensagem V2G PowerDelivery quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (2) pela mensagem V2G MeteringReceipt se a opção de pagamento for PnC e for requisitado MR no *loop* de carregamento.

Esta mensagem é seguida: (1) pela mensagem V2G PowerDelivery quando é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (2) pela mensagem V2G MeteringReceipt se a opção de pagamento solicitada for PnC e solicitado MR no *loop* de carregamento [8], [17]–[20].

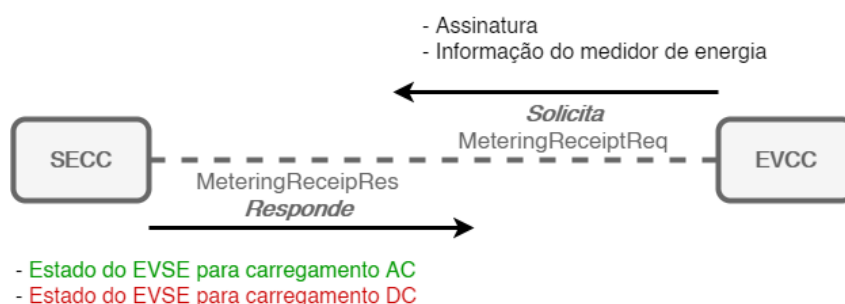


Figura 2.22 - Mensagem V2G MeteringReceipt

A mensagem V2G MeteringReceipt apenas é usada quando a opção de pagamento é Plug & Charge (PnC) e for requisitado recibo de medição (MR) durante o *loop* de carregamento. Esta mensagem V2G tem como objetivo assinar digitalmente a informação referente à medição de energia de carregamento.

O EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (MeteringReceiptReq), contendo no seu corpo a informação referente ao medidor de energia (fornecida anteriormente pelo SECC no *loop* de carregamento) e a sua assinatura referente a essa informação. Por sua vez, o SECC envia a mensagem de resposta (MeteringReceiptRes), contendo no seu corpo o estado do EVSE referente ao modo de transferência de energia escolhido (Figura 2.22).

Esta mensagem V2G segue-se: (1) à mensagem V2G ChargingStatus quando o tipo de carregamento solicitado é corrente alternada (AC), a opção de pagamento for PnC e for solicitado recibo de medição (MR) durante o *loop* de carregamento, ou (2) à CurrentDemand quando o tipo de carregamento solicitado é corrente contínua (DC), a opção de pagamento for PnC e for solicitado MR no *loop* de carregamento.

A mensagem V2G MeteringReceipt é seguida: (1) pela mensagem V2G PowerDelivery quando é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (2) pela ChargingStatus quando o tipo de carregamento solicitado é AC, ou (3) pela CurrentDemand quando o tipo de carregamento solicitado é DC [8], [17]–[20].

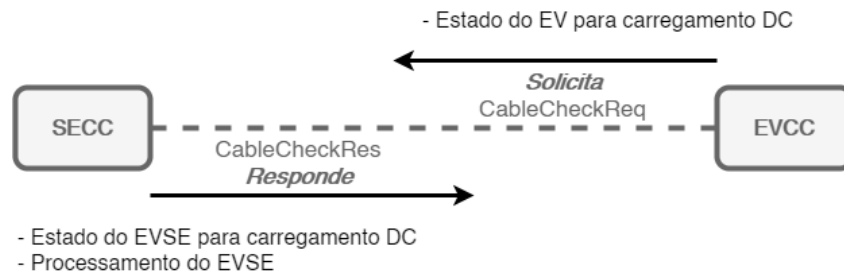


Figura 2.23 - Mensagem V2G CableCheck

A mensagem V2G CableCheck é usada apenas se o modo de transferência de energia escolhido for corrente contínua (DC). Esta mensagem tem a finalidade de verificar se o conector está trancado no lado do EV e se o mesmo está pronto para o carregamento. Para tal, o EVCC envia a mensagem de solicitação (CableCheckReq) contendo no seu corpo o estado do EV para carregamento DC. Ao receber esta mensagem, o SECC retribui com a mensagem de resposta (CableCheckRes) contendo no seu corpo o estado do EVSE para carregamento DC e a mensagem de processamento do EVSE como é possível observar na Figura 2.23.

Esta mensagem segue-se à mensagem V2G ChargeParameterDiscovery quando o tipo de carregamento solicitado é DC e é seguida pela mensagem V2G PreCharge [8], [17]–[20].

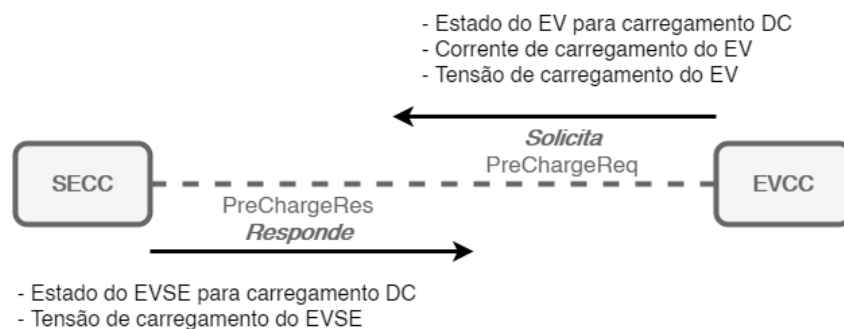


Figura 2.24 - Mensagem V2G PreCharge

A mensagem V2G PreCharge é usada apenas se o modo de transferência de energia escolhido for corrente contínua (DC) e tem como finalidade ajustar a tensão de saída do EVSE à tensão da bateria do EV. Para tal, o EVCC começa por enviar no corpo da mensagem de solicitação (PreChargeReq) o estado, a tensão de carregamento e a corrente carregamento do EV. O SECC, por sua vez, envia a mensagem de resposta (PreChargeRes) contendo no seu corpo o estado e a tensão de carregamento do EVSE como é possível observar na Figura 2.24.

Esta mensagem segue-se à mensagem V2G CableCheck e é seguida pela mensagem V2G PowerDelivery [8], [17]–[20].

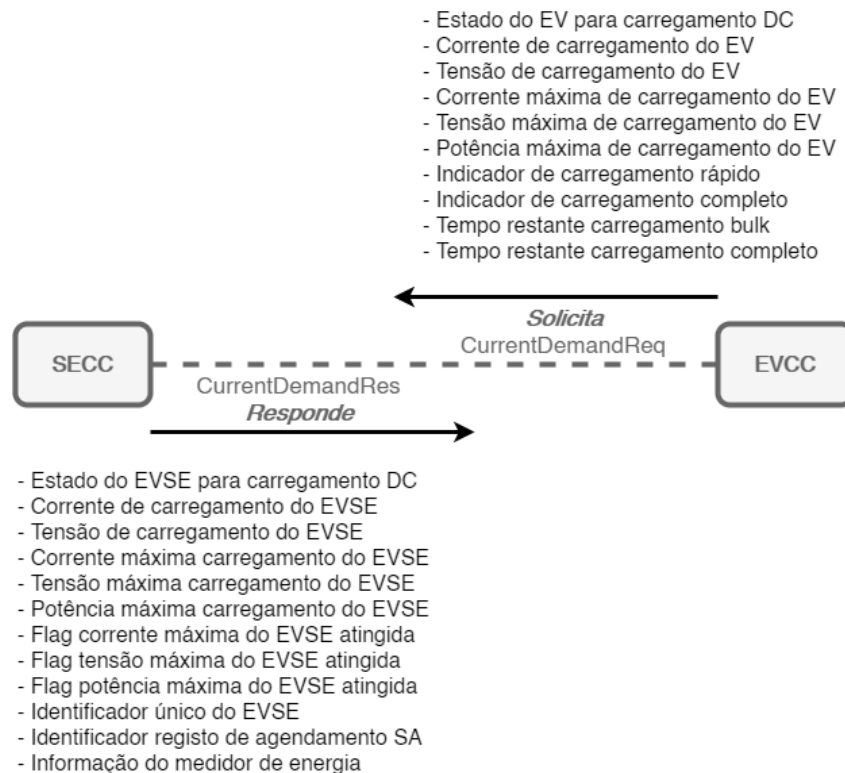


Figura 2.25 - Mensagem V2G CurrentDemand

A mensagem V2G CurrentDemand é responsável pelo *loop* de carregamento quando o modo de transferência de energia escolhido é corrente contínua (DC). O *loop* de carregamento pode ser acompanhado também pela mensagem MeteringReceipt se a opção de pagamento for Plug & Charge (PnC) e for requisitado recibo de medição (MR).

No *loop* de carregamento, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (CurrentDemandReq). A mensagem de solicitação contém no seu corpo: (1) o estado atual do EV para carregamento DC (DC_EVStatus), (2) a corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent), (3) a tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage), (4) o limite máximo de corrente suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit), (5) o limite máximo de tensão suportado pelo EV (EVMaximumVoltageLimit), (6) o limite máximo de potência suportado pelo EV (EVMaximumPowerLimit), (7) o indicador de fase de carregamento rápido completo (BulkChargingComplete), (8) o indicador de carregamento completo (ChargingComplete), (9) o tempo restante para o final da fase de carregamento rápido (RemainingTimeToBulkSoC) e (10) o tempo restante para o carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC) (Figura 2.25).

Depois de receber a mensagem de solicitação, o SECC retribui com a mensagem de resposta (CurrentDemandRes). A mensagem de resposta contém no seu corpo: (1) o estado atual do EVSE para carregamento DC (DC_EVSEStatus), (2) a corrente de carregamento do EVSE

(EVSEPresentCurrent), (3) a tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage), (4) o limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit), (5) o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit), (6) o limite máximo de potência suportado pelo EVSE (EVSEMaximumPowerLimit), (7) o indicador de corrente máxima de carregamento atingida (EVSECurrentLimitAchieved), (8) o indicador de tensão máxima de carregamento atingida (EVSEVoltageLimitAchieved), (9) o indicador de potência máxima de carregamento atingida (EVSEPowerLimitAchieved), (10) o identificador único do EVSE (EVSEID), (11) o identificador do registo de agendamento do ator secundário e (12) a informação referente ao medidor de energia, como é possível observar na Figura 2.25.

Esta mensagem V2G segue-se: (1) à mensagem V2G PowerDelivery quando o tipo de carregamento solicitado é DC, ou (2) à mensagem V2G MeteringReceipt quando a opção de pagamento é PnC e é requisitado MR. É seguida: (1) pela mensagem V2G PowerDelivery quando é solicitada uma paragem ou renegociação, ou (2) pela mensagem V2G MeteringReceipt se a opção de pagamento solicitada for PnC e requisitado MR no *loop* de carregamento [8], [17]–[20].

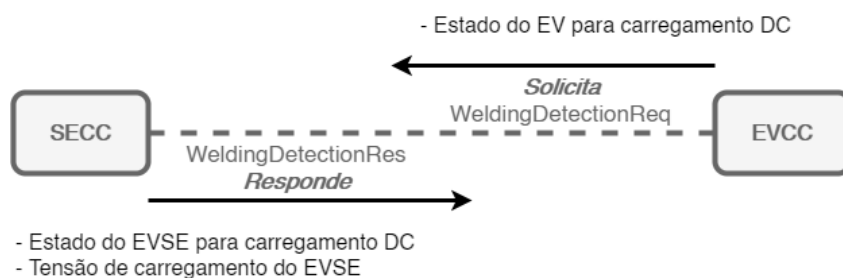


Figura 2.26 - Mensagem V2G WeldingDetection

A mensagem V2G WeldingDetection é usada apenas se o modo de transferência de energia escolhido for corrente contínua (DC) e tem como finalidade verificar os contactores do EV no final de cada carregamento. Esta verificação é feita como um mecanismo de segurança para assegurar que os contactos dos contactores do EV não colaram durante a transferência de energia proveniente do carregamento. Para tal, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (WeldingDetectionReq), contendo no seu corpo o estado atual do EV para carregamento DC (DC_EVStatus). Por sua vez, o SECC responde com a mensagem (WeldingDetectionRes), contendo no seu corpo o estado atual do EVSE para carregamento DC e a tensão de carregamento do EVSE como é possível observar na Figura 2.26.

Esta mensagem V2G segue à mensagem V2G PowerDelivery quando o tipo de carregamento solicitado é DC e é solicitada uma paragem. É seguida pela mensagem V2G SessionStop [8], [17]–[20].

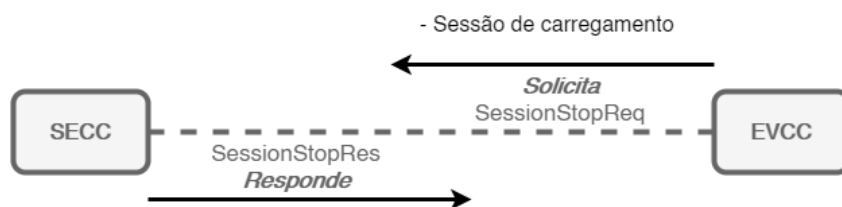


Figura 2.27 - Mensagem V2G SessionStop

A mensagem V2G SessionStop é a última mensagem trocada numa sessão de comunicação V2G da ISO 15118. É usada para terminar a sessão de comunicação iniciada pela mensagem V2G SessionSetup. De modo a terminar a sessão, o EVCC começa por enviar a mensagem de solicitação (SessionStopReq), contendo no seu corpo o parâmetro de sessão de carregamento com o valor “Terminate” (terminar), como é possível observar na Figura 2.27. Por sua vez, o SECC retribui com a mensagem de resposta (SessionStopRes), contendo no seu corpo o código com o valor “OK”. Depois do EVCC receber o código de resposta por parte do SECC, a sessão de comunicação V2G da ISO 15118 é terminada.

Em casos normais, esta mensagem V2G segue: (1) à mensagem V2G PowerDeliver quando o tipo de carregamento solicitado é corrente alternada (AC), ou (2) à WeldingDetection quando o tipo de carregamento solicitado é corrente contínua (DC). Em situações de anomalia, pode seguir-se a qualquer mensagem V2G, durante a sessão de comunicação [8], [17]–[20].

Na Figura 2.28 está representado um fluxograma que foi desenvolvido para facilitar a compreensão de como são utilizados os diferentes tipos de mensagens V2G durante uma sessão de comunicação. Neste fluxograma pode-se observar como os tipos de mensagem V2G fluem em função dos modos de transferência de energia, opções de pagamento, serviços de valor acrescentado e entre outras condições impostas como mencionado anteriormente.

Na secção C.3 são apresentados dois exemplos de esquemas de carregamento, o primeiro para carregamento AC, com opção de pagamento Plug & Charge (PnC) e com recibo de medição (MR) (Figura C.1), e o segundo para carregamento DC, com opção de pagamento PnC e sem MR (Figura C.2) [8], [17]–[20].

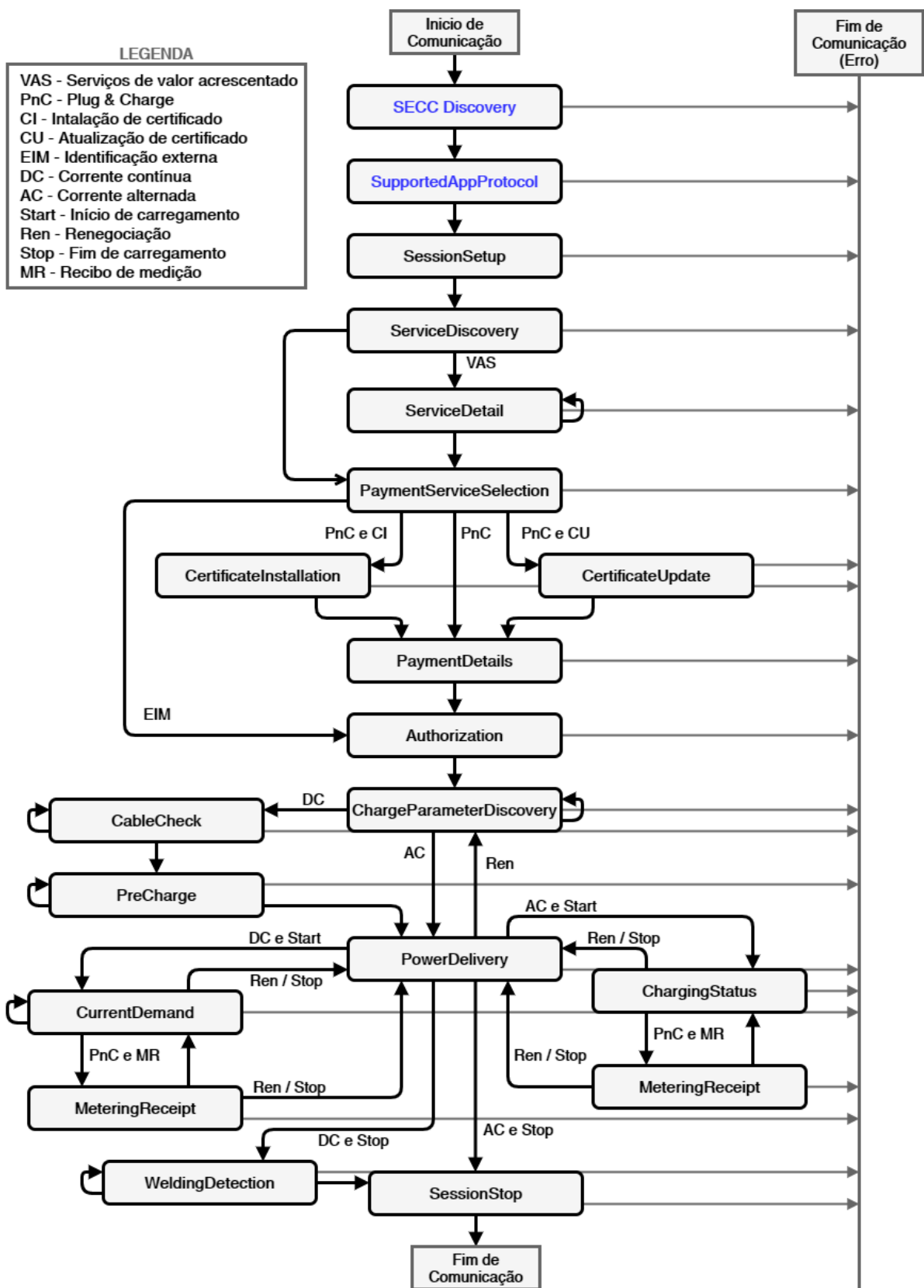


Figura 2.28 - Fluxograma Mensagens V2G [17]

2.2.3.3. PLUG & CHARGE

A rede elétrica é uma infraestrutura que necessita ser protegida contra potenciais ataques. Em simultâneo é muitas das vezes requerido ao utilizador pagar pela energia elétrica que foi entregue ao seu EV. Sem uma comunicação segura entre o EV e o posto de carregamento, as mensagens trocadas podem ser alvo de manipulação. A norma ISO 15118 dispõe de uma característica chamada de Plug & Charge (PnC). O PnC implementa vários mecanismos de criptografia de modo a proteger a comunicação e garantir a confidencialidade, integridade e autenticidade de todos os dados trocados. O Plug & Charge também permite ao EV identificar-se junto do posto de carregamento e garantir o acesso autorizado à transferência de energia. O condutor não necessita de fazer nada mais que ligar o EV ao posto. Para tal, a ISO 15118 descreve um ecossistema de certificados digitais que necessitam de estar em vigor para que o PnC funcione.

No caso da ISO 15118, os certificados usados para autenticar e autorizar o acesso são emitidos para veículos elétricos, postos de carregamento e participantes do mercado essenciais para o processo do PnC, como o operador do ponto de carga (*charge point operator*, CPO).

Para que o posto de carregamento permita que o veículo elétrico carregue a sua bateria, este último necessita apresentar um certificado de contrato válido para autorização do carregamento. Este certificado de contrato está vinculado a uma conta de facturamento por meio de um identificador exclusivo conhecido por identificador de conta de mobilidade elétrica (*e-mobility account identifier*, EMAID). O utilizador, por sua vez, necessita celebrar um contrato com uma operadora de mobilidade elétrica (EMO), para criar uma conta de facturação. A operadora de mobilidade elétrica, por sua vez, fornece o certificado de contrato ao EV. Após o EV apresentar o certificado de contrato ao posto de carregamento e ser autorizado pela operadora de mobilidade elétrica, pode começar a carregar a sua bateria [13], [21].

2.3. BIBLIOTECA OPEN-SOURCE RISE V2G

A biblioteca RISE V2G consiste na implementação de referência do protocolo de comunicação da norma ISO 15118, que pode ser consultado em [22]. A sigla RISE V2G advém de *Reference Implementation Supporting the Evolution of the Vehicle-2-Grid communication interface ISO 15118*, e tem como principal objetivo fornecer uma plataforma para testar a interoperabilidade entre o EV e o EVSE. A RISE V2G consiste assim numa implementação de código aberto, em linguagem JAVA, do protocolo de comunicação entre o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) e o controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC).

Este código oferece a possibilidade de alterar os ficheiros de configuração, tanto do SECC, como do EVCC, de modo a testar vários cenários de implementação para a comunicação digital entre ambos. Estes ficheiros de configuração estão associados a ficheiros JAVA, que serão executados sempre que seja necessário testar as implementações.

Do lado do posto, no ficheiro de configuração do SECC, podem ser alterados parâmetros como a interface de rede por onde serão trocadas as mensagens, os modos de transferência de energia para carregamento condutivo (AC e/ou DC) suportados (pelo EVSE), as opções de pagamento, entre outros.

Do lado do veículo, no ficheiro de configuração do EVCC, também podem ser alterados parâmetros como a interface de rede por onde serão trocadas mensagens, os modos de transferência de energia suportados (neste caso aplicado ao EV), entre outros.

Visto que este software permite implementar o sistema Plug & Charge (PnC), é necessário trocar certificados digitais que estão instalados no lado do posto de carregamento e no lado do EV. De forma a resolver este requisito, o software também gera os certificados necessários para que a implementação do sistema PnC funcione plenamente.

Os controladores de comunicação podem ser implementados através desta biblioteca de duas formas. A primeira é com recurso à interface *loopback* da placa de rede de um único computador. Esta interface permite que as duas entidades (SECC e EVCC), implementadas separadamente, sejam executadas e troquem mensagens na mesma máquina. A segunda consiste em implementar o controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC) e o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) em máquinas separadas e ainda assim atingir a interoperabilidade entre eles.

Num carregamento com comunicação através de mensagens V2G, enquanto o veículo elétrico carrega a sua bateria, os controladores de comunicação devem trocar as mensagens

V2G referentes ao *loop* de carregamento durante um determinado período. Este período deve corresponder ao tempo que a bateria demora a carregar. Então, os controladores de comunicação devem trocar as mensagens V2G referentes ao *loop* em função do tempo de carregamento. Na biblioteca isto não se verifica. Esta apenas permite simular a comunicação durante o carregamento em função do número de *loops* e não em função do tempo.

Embora a biblioteca RISE V2G implemente uma comunicação através de mensagens V2G segundo a ISO 15118, os parâmetros trocados no corpo das mensagens V2G permanecem estáticos durante a sessão de comunicação. Ou seja, se por exemplo, no início do carregamento o valor do estado de carga da bateria do EV for igual a 50 %, no final do mesmo carregamento o valor continuará sendo os 50 %. Os parâmetros do protocolo de comunicação segundo a ISO 15118, que esta biblioteca permite manipular, são descritos nas secções D.1, D.2, D.3 e D.4.

Em suma, antes de iniciar a sessão de comunicação, são configurados os parâmetros que esta biblioteca permite trocar e é introduzido o número de *loops* de carregamento que são pretendidos simular. Em seguida a sessão de comunicação é realizada, terminando alguns segundos depois, com sucesso. Posteriormente são apresentadas todas as mensagens trocadas nestes segundos pelos controladores de comunicação na consola do Netbeans IDE. Ao observá-las é possível concluir que os valores dos parâmetros introduzidos antes do início da sessão de comunicação permanecem os mesmos.

O sistema de comunicação a implementar neste trabalho tem como objetivo contornar este comportamento da biblioteca como será possível observar no Capítulo 3.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Depois do estudo da norma e de analisada uma solução para a sua implementação, o próximo passo consistiu no desenvolvimento do sistema de comunicação entre o posto de carregamento e o veículo elétrico. A Figura 3.1 apresenta o esquema geral do sistema a implementar que compreende o as trocas de informação acerca do carregamento entre o veículo elétrico, o posto de carregamento, o utilizador do veículo elétrico e o operador do posto de carregamento.

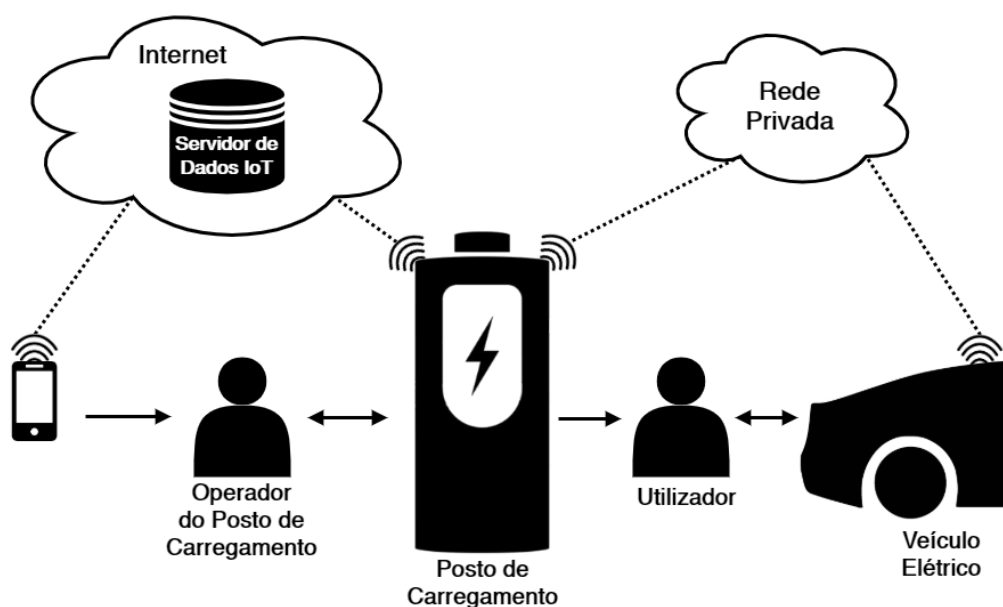


Figura 3.1 - Esquema Geral do Sistema de Comunicação

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O sistema de comunicação tem como principal objetivo, monitorizar e gerir os principais parâmetros durante um carregamento EV. O protocolo de comunicação da norma ISO 15118 foi o escolhido para a implementação deste sistema e como estudado anteriormente, este protocolo fornece a troca dinâmica de parâmetros de carregamento, durante uma sessão de comunicação entre o veículo elétrico e o posto de carregamento.

Este sistema não implementa as primeiras duas camadas (física e ligação de dados) conforme a ISO 15118 e o modelo OSI (secção 2.2.3.1). Segundo a ISO 15118, a comunicação

é realizada por meio de Power Line Communication (PLC) sobreposta à linha do *control pilot* (CP). Este sistema implementa o protocolo de comunicação da ISO 15118, através da biblioteca *open-source* RISE V2G (secção 2.3). Esta biblioteca usa como recurso para realizar a comunicação a interface de rede da máquina em que está instalada. Neste trabalho, a comunicação é realizada através da interface de rede wireless, sendo o meio de comunicação Wi-Fi.

Embora o sistema não exija transferência de energia real/física, é necessário adotar um modo de transferência de energia, de modo a simular a comunicação através das correspondentes mensagens V2G. Visto que este sistema foi especificado no seguimento do projeto Transporte Turístico Urbano Elétrico Sostenible (TTUES), foi escolhido como modo de transferência de energia somente corrente contínua, pois neste modo o número de parâmetros trocados é maior, o que permite uma melhor gestão de carregamento. Já como opção de pagamento foi escolhida o Plug & Charge por já vir implementado na biblioteca RISE V2G, e oferecer uma maior segurança ao sistema.

Quanto aos casos de uso da ISO 15118, descritos na secção C.2, o sistema de comunicação implementado inicia o processo de carregamento DC através de uma comunicação de alto nível (HLC) forçada, por Wi-Fi (caso de uso A1). De seguida é realizada a configuração da comunicação entre o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) e o controlador de comunicação do equipamento de energia (SECC) (caso de uso B1). A autorização é realizada, com recurso a certificados de contrato, pelo EVSE, ou seja, é usado o Plug & Charge (secção 2.2.3.3) como opção de pagamento, sendo todos os certificados gerados pela biblioteca RISE V2G (caso de uso D1). O carregamento DC é ajustado dinamicamente à potência máxima do veículo elétrico dentro dos limites do EVSE (caso de uso E4). A interrupção do *loop* de carregamento é efetuada pelo utilizador, através da HMI do veículo elétrico (caso de uso F3). O sistema ainda fornece ao utilizador informações acerca do processo de carregamento através da HMI (caso de uso G2). Por fim termina o processo de carregamento de forma segura (caso de uso H1).

Quando o sistema inicia uma sessão de comunicação através de mensagens V2G (secção 2.2.3.2), segue o fluxograma de mensagens representado na Figura E.1 presente na secção E.1.

Este sistema ainda tem a particularidade de enviar os dados relativos aos carregamentos EV para um servidor de dados IoT (*Internet of Things*). Neste caso, os dados referentes ao carregamento são enviados para uma aplicação web *open-source*, dedicada ao armazenamento e visualização de dados energéticos.

3.2. ARQUITETURA DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO IMPLEMENTADO

O sistema de comunicação implementado está dividido em dois blocos principais representados na Figura 3.2. Cada um dos blocos foi implementado sobre um Raspberry Pi 3 – Modelo B. Do lado do veículo elétrico encontra-se o EVpi, descrito em detalhe na secção 3.4. Do lado do posto de carregamento, encontra-se o EVSEpi, descrito na secção 3.5. Cada um destes blocos está dividido em quatro sub-blocos, que utilizam o mesmo princípio de comunicação, sendo eles: (1) o controlador de comunicação, (2) o código de gestão, (3) o ficheiro de parâmetros e (4) a interface homem-máquina (de acordo com a Figura 3.2).

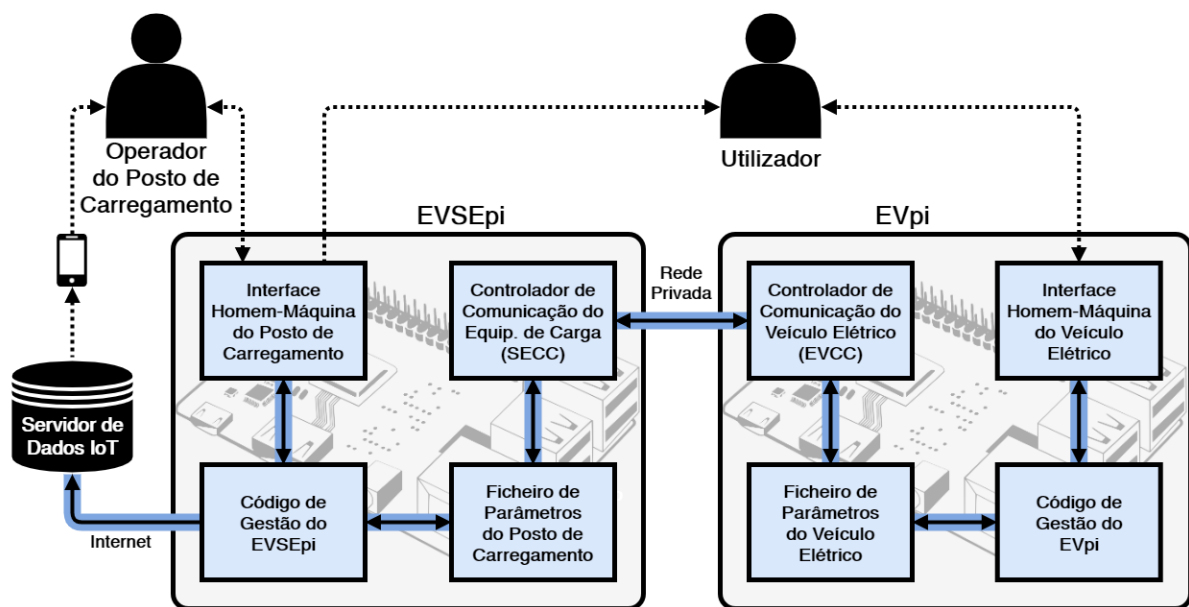


Figura 3.2 - Arquitetura do Sistema de Comunicação Implementado

O EVpi é composto pelo controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC), o ficheiro de parâmetros do veículo elétrico, o código de gestão do EVpi e a interface homem-máquina do veículo elétrico como é possível observar no lado direito da Figura 3.2.

O código de gestão do EVpi, que será descrito na secção 3.4.3, foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA e tem como principais objetivos gerir o processo de carregamento do EV, a comunicação realizada pelo EVCC e a informação da HMI do EV. É por isso o coração do EVpi. Para gerir o processo de carregamento, ainda implementa um sistema de gestão de bateria (*battery management system*, BMS) virtual, que gera os perfis de carregamento do veículo elétrico.

O controlador de comunicação do veículo elétrico, descrito na secção 3.4.1, tem como objetivo estabelecer uma comunicação com o controlador de comunicação do equipamento de

carga, de forma a possibilitar a troca dinâmica de parâmetros de carregamento no sistema. Este controlador é gerido pelo código de gestão do EVpi e tem um ficheiro log associado, que guarda os seus registos de comunicação. Este ficheiro log é descrito na secção E.2.

O ficheiro de parâmetros do veículo elétrico, que será descrito na secção 3.4.2, tem como principal objetivo servir como intermediário entre o controlador de comunicação e o código de gestão do EVpi.

Por último, a interface homem-máquina do veículo elétrico (HMI), descrita na secção 3.4.4, tem como objetivo disponibilizar ao utilizador em tempo real a informação relativa ao carregamento, permitindo também interromper o carregamento no caso de necessidade de saída rápida. Neste sistema de comunicação, a HMI do veículo elétrico também permite definir os valores limite de tensão e corrente suportados pelo EV, assim como o seu estado de carga antes da sessão de comunicação ser iniciada. Desta forma, é possível simular diferentes comportamentos de carregamento. A HMI do veículo elétrico é gerida pelo código de gestão do EVpi.

Tal como representado no lado esquerdo da Figura 3.2, o EVSEpi é composto: (1) pelo controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC), (2) pelo ficheiro de parâmetros do posto de carregamento, (3) pelo código de gestão do EVSEpi e (4) pela interface homem-máquina do posto de carregamento.

O código de gestão do EVSEpi, que será descrito na secção 3.5.3, foi também desenvolvido na linguagem de programação JAVA e tem como principais objetivos gerir o processo de carregamento a partir do posto, a comunicação realizada pelo SECC e a informação da HMI do posto. Este código ainda tem a particularidade, além de aplicar tarifas de carregamento, de enviar os dados relativos aos carregamentos para um servidor de dados IoT, possibilitando assim ao operador do posto, analisar dados referente aos carregamentos como perfis de carga, horários de carregamento, custos de carregamento e tarifas aplicadas.

O controlador de comunicação do equipamento de carga, descrito na secção 3.5.1, tem como objetivo estabelecer uma comunicação com o controlador de comunicação do veículo elétrico, de forma a possibilitar a troca dinâmica de parâmetros de carregamento no sistema. Este controlador é gerido pelo código de gestão do EVSEpi e tem um ficheiro log associado, que guarda os seus registos de comunicação. Este ficheiro log é descrito na E.2.

O ficheiro de parâmetros do posto de carregamento, descrito na secção 3.5.2, tem como principal objetivo servir de intermediário entre o controlador de comunicação do equipamento de carga e o código de gestão do EVSEpi.

A interface homem-máquina do posto de carregamento, descrita na secção 3.5.4, tem como objetivo disponibilizar ao utilizador a informação relativa ao carregamento em tempo real. Esta HMI também permite definir valores limite de tensão e corrente suportados pelo EVSE antes da sessão de comunicação ser iniciada. Desta forma, é possível emular diferentes comportamentos de carregamento. A HMI do posto é gerida pelo código de gestão do EVSEpi.

São estes oito sub-blocos juntos que permitem a implementação do sistema de comunicação, através de mensagens V2G descritas anteriormente. A principal mensagem trocada durante o *loop* de carregamento em corrente alternada, é a mensagem V2G CurrentDemand. Nesta mensagem, o veículo elétrico e o posto de carregamento, trocam parâmetros referentes ao carregamento (tal como visto na secção 2.2.3.2). Alguns destes parâmetros mudam ao longo do tempo de carregamento, como por exemplo o estado de carga da bateria do EV (EVRESSoC). Esta atualização de parâmetros é realizada no código de gestão. Por exemplo, o estado de carga da bateria do EV é atualizado no código de gestão do EVpi pois é um parâmetro interno do veículo elétrico.

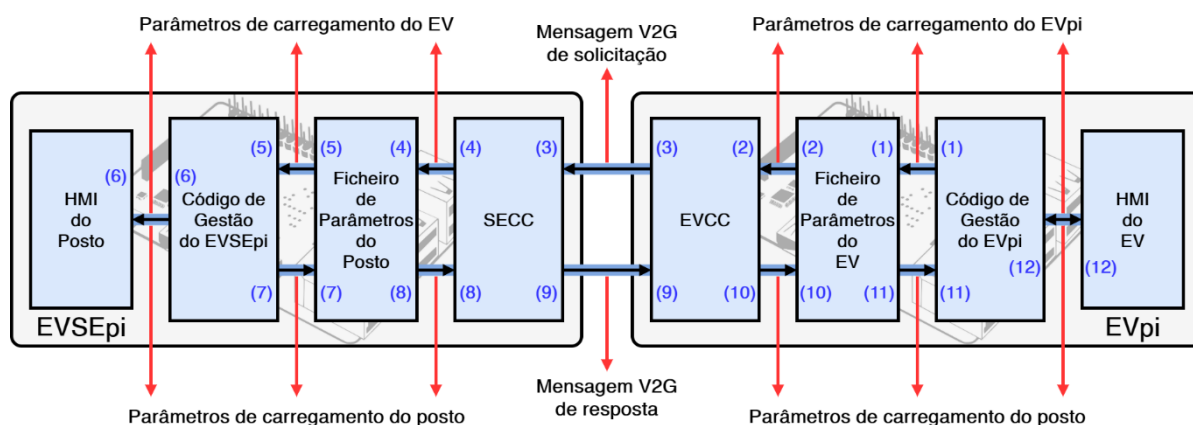


Figura 3.3 - Esquema de Troca de Parâmetros do Sistema de Comunicação

Na Figura 3.3 é possível observar como esses parâmetros dinâmicos são trocados no sistema durante uma sessão de comunicação e é usado o exemplo da mensagem V2G CurrentDemand para explicar essa troca em seguida. Na figura, a numeração (1) a (12) corresponde a:

(1) O código de gestão do EVpi gera os parâmetros de carregamento atualizados do EV e depois envia para a lista de registos do ficheiro de parâmetros.

(2) O EVCC ao preparar-se para enviar a mensagem de solicitação (CurrentDemandReq), vai obter os valores atualizados à lista de registos do ficheiro de parâmetros do EV.

(3) O EVCC envia a `CurrentDemandReq` para o SECC, contendo no seu corpo os parâmetros de carregamento do EV.

(4) O SECC ao receber a `CurrentDemandReq`, envia os parâmetros de carregamento para a lista de registos do ficheiro no lado do posto.

(5) O código de gestão do EVSEpi obtém os parâmetros de carregamento, provenientes do EV, através do ficheiro de parâmetros do posto. Estes parâmetros são usados pelo posto para processamento de carregamento, cálculo de tarifas e monitorização de dados pela parte do operador, sendo ainda possível aplicar em algoritmos de escalonamento (não usados neste sistema).

(6) O código de gestão do EVSEpi, depois de receber os parâmetros do EV, também disponibiliza esses mesmos parâmetros mais os seus à sua HMI. A HMI por sua vez transforma esses parâmetros em informação de carregamento para apresentar ao utilizador (não representado na Figura 3.3).

(7) O código de gestão do EVSEpi gera os parâmetros de carregamento atualizados do EVSE e depois envia para a lista de registos do ficheiro de parâmetros.

(8) Depois de receber a mensagem de solicitação (`CurrentDemandReq`) vinda do EVCC, o SECC prepara-se para enviar a mensagem de resposta (`CurrentDemandRes`) e obtém os valores atualizados dos parâmetros de carregamento do EVSE, através da lista de registos do ficheiro de parâmetros do posto.

(9) O SECC envia a mensagem de resposta `CurrentDemandRes` para o EVCC, contendo no seu corpo os parâmetros de carregamento do EVSE.

(10) O EVCC ao receber a `CurrentDemandRes`, envia os parâmetros de carregamento para a lista de registos do ficheiro no lado do veículo elétrico.

(11) O código de gestão do EVpi obtém os parâmetros de carregamento, provenientes do posto, através do ficheiro de parâmetros do veículo elétrico. Estes parâmetros são usados pelo EV para processamento de carregamento.

(12) O código de gestão do EVpi, depois de receber os parâmetros do posto, disponibiliza esses mesmos parâmetros mais os seus à sua HMI. A HMI por sua vez transforma esses parâmetros em informação de carregamento para apresentar ao utilizador (não representado na Figura 3.3).

3.3. ALGORITMO DE ESCALONAMENTO DE TAREFAS

O sistema de comunicação implementa um algoritmo de escalonamento de tarefas, de forma a que o fluxo de informação, como o anteriormente descrito, possa fluir no sistema sem falhas, ou colisões. As tarefas executadas no sistema de comunicação são compostas pelas tarefas executadas pelo EVpi e pelo EVSEpi.

As tarefas executadas pelo EVpi são compostas pelas tarefas executadas pelo código de gestão do EVpi e pelas tarefas executadas pelo controlador de comunicação do veículo elétrico.

As tarefas executadas pelo EVSEpi são compostas pelas tarefas executadas pelo código de gestão do EVSEpi e pelas tarefas executadas pelo controlador de comunicação do equipamento de carga.

A Figura 3.4 apresenta o escalonamento de tarefas em ambos os extremos. Nesta figura, tanto o controlador de comunicação do veículo elétrico, como o do equipamento de carga, embora estejam implementados em máquinas separadas, estão representados a azul porque executam tarefas em conjunto numa sessão de comunicação. Ainda ao analisar esta figura, é possível observar que nenhuma tarefa está sobreposta no mesmo bloco (EVpi e EVSEpi).

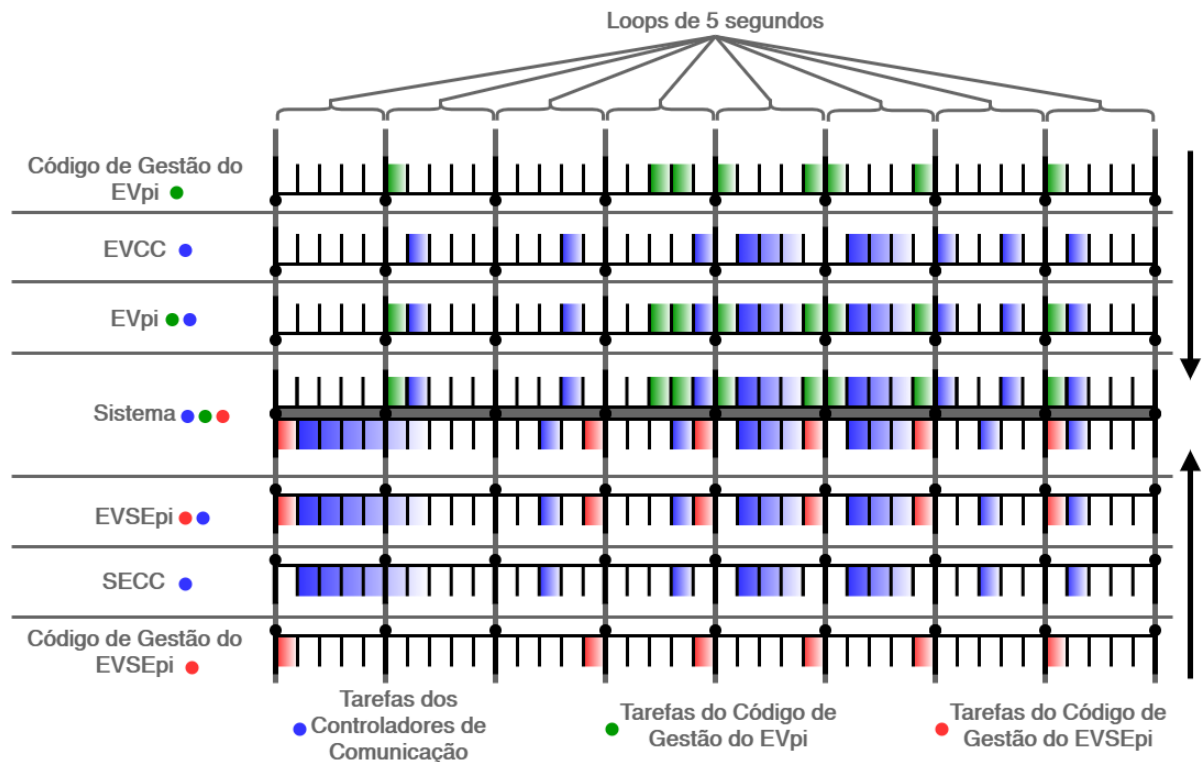


Figura 3.4 - Escalonamento de Tarefas do Sistema de Comunicação

Este algoritmo é baseado em *loops* de 5 segundos, em que cada segundo corresponde a um conjunto de tarefas que não comprometem o fluxo de informação.

Em suma, os 60 segundos de um minuto são divididos em 12 *loops* de 5 segundos. Cada *loop* de 5 segundos corresponde a um *loop* de carregamento do respetivo código de gestão e cada intervalo de segundo num *loop* de 5 segundos corresponde a um conjunto de tarefas associadas a esse *loop* de carregamento, como é possível observar na Figura 3.5.

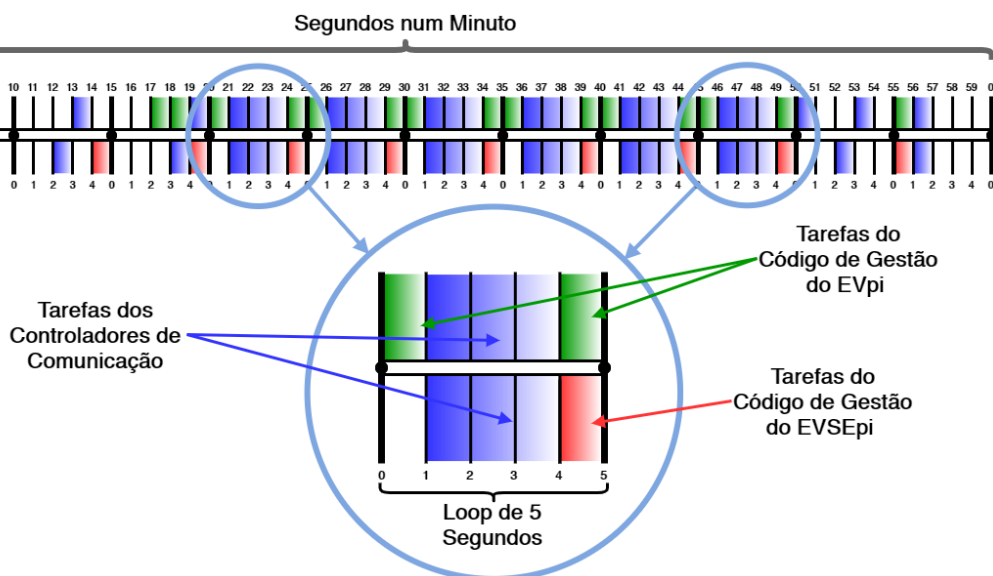


Figura 3.5 - Loops do Algoritmo de Escalonamento de Tarefas

Os conjuntos de tarefas divididos pelos intervalos de 1 segundo possuem um tempo de execução inferior a um segundo, mesmo assim é reservado um intervalo de 1 segundo completo para cada conjunto, evitando sobreposições de tarefas no sistema. O seu escalonamento nos intervalos ao longo do *loop* de 5 segundos é realizado sempre que os segundos do relógio sejam um múltiplo de 5. Por exemplo, sendo uma dada tarefa executada no intervalo [0 a 1], o algoritmo executa essa mesma tarefa quando os segundos do minuto sejam múltiplos de 5, ou seja, essa tarefa pode ser iniciada nos segundos 0, 5, 10, 15, 20, 25, etc. Já quando uma dada tarefa é executada, por exemplo, no intervalo [3 a 4], o algoritmo executa essa mesma tarefa quando os segundos do minuto são múltiplos de 5 e resto 3, ou seja, essa tarefa pode ser iniciada nos segundos 3, 8, 13, 18, 23, 28, etc. Estes exemplos podem ser acompanhados na Figura 3.6.

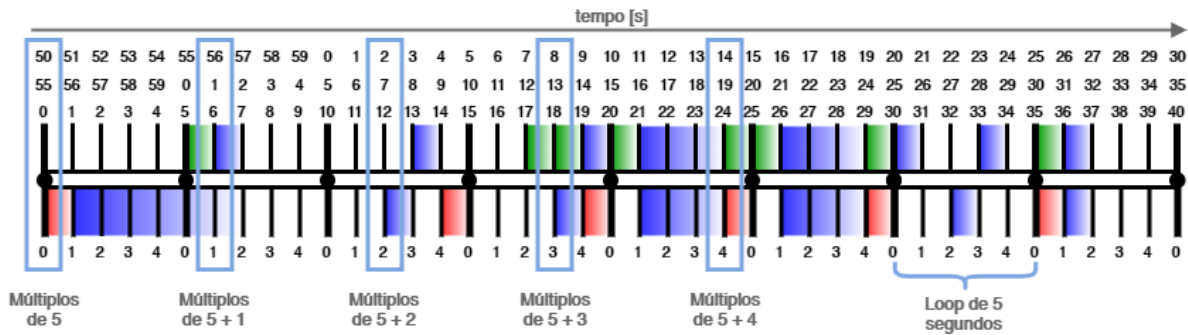


Figura 3.6 - Intervalos do Algoritmo de Escalonamento de Tarefas

Sendo que o EV_{pi} e o EVSE_{pi} utilizam a mesma rede para comunicar entre si, ambos possuem o mesmo horário durante uma sessão de comunicação, o horário fornecido por um servidor Network Time Protocol (NTP) na rede. Neste caso, tanto o EV_{pi}, como o EVSE_{pi} ao estarem ligados à rede IP partilham o mesmo horário, mas no caso de não haver ligação a um servidor NTP por parte do EVCC, ainda existe uma outra forma de sincronização. Quando a mensagem de resposta V2G SessionSetupRes é enviada pelo SECC, no seu corpo é transportada a marca temporal do EVSE (EVSETimeStamp). Através desta marca temporal, o EVCC adota o mesmo horário que o SECC e é possível implementar a sincronização, durante a sessão de comunicação. Contudo, estando os Raspberry Pi já sincronizados através da rede, esta sincronização apenas será implementada numa próxima fase do projeto, quando o EV_{pi} carecer de ligação a um servidor NTP.

Estando o EV_{pi} e o EVSE_{pi}, sincronizados através do seu respetivo relógio do sistema, é necessário sincronizar os seus sub-blocos, mais precisamente os controladores de comunicação e os códigos de gestão. Tendo em conta que o controlador de comunicação e o código de gestão foram desenvolvidos em linguagem de programação JAVA, foi utilizada a classe JAVA LocalDateTime [23]. Através desta classe é possível obter vários campos da data e hora do sistema, tais como o ano, o mês do ano, o dia do mês, o dia do ano, o dia da semana, a semana do ano, as horas do dia, os minutos da hora, os segundos do minuto e os nanossegundos do segundo. Neste caso apenas é usado o campo dos segundos do minuto.

3.4. EVPI

De modo a desenvolver o EVpi foram implementados os quatro sub-blocos brevemente descritos na arquitetura deste sistema de comunicação (secção 3.2), sendo eles o controlador de comunicação do veículo elétrico, o código de gestão do EVpi, o ficheiro de parâmetros do veículo elétrico e a interface homem-máquina do veículo elétrico. As secções seguintes descrevem esses quatro sub-blocos.

3.4.1. CONTROLADOR DE COMUNICAÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO

O controlador de comunicação do veículo elétrico foi implementado a partir da biblioteca *open-source* RISE V2G. O seu objetivo é somente o de trocar informação acerca do carregamento EV, através das mensagens V2G, com o controlador de comunicação do equipamento de carga. Como já visto anteriormente na secção 2.3, a biblioteca RISE V2G apenas permite trocar parâmetros de carregamento estáticos ao longo da sessão de comunicação. De forma a contornar essa característica da biblioteca foram selecionados os parâmetros mais relevantes, para a sessão de comunicação dedicada ao carregamento DC. Estes mesmos parâmetros, foram alterados de um valor estático, para um valor que é obtido a partir de uma linha específica do ficheiro de parâmetros do veículo elétrico. Ou seja, cada vez que o EVCC acede a um parâmetro dos escolhidos, em vez de aceder diretamente ao valor de uma variável no seu código fonte, obtém o valor a partir de uma linha de registo do ficheiro de parâmetros. Essa linha contém o valor do parâmetro que o EVCC pretende aceder. Esse valor é atualizado, de cinco em cinco segundos, pelo código de gestão do EVpi.

De todos os parâmetros para carregamento DC que o EVCC permite manipular, foram escolhidos os seguintes para a troca e atualização dinâmica no sistema implementado: (1) o identificador único do controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCCID), (2) o limite máximo de corrente suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit), (3) o limite máximo de tensão suportado pelo EV (EVMaximumVoltageLimit), (4) o limite máximo de potência suportado pelo EV (EVMaximumPowerLimit), (5) o estado de carga da bateria do EV (EVRESSoC), (6) a quantidade de energia necessária para carregar o EV (EVEnergyRequest), (7) a corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent), (8) a tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage), (9) o tempo restante para o final da fase de carregamento rápido (RemainingTimeToBulkSoC), (10) o tempo restante para o final do

carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC), (11) o indicador de carregamento rápido completo (BulkChargingComplete) e (12) o indicador de carregamento completo (ChargingComplete).

3.4.2. FICHEIRO DE PARÂMETROS DO VEÍCULO ELÉTRICO

O ficheiro de parâmetros do veículo elétrico tem como principal objetivo servir de intermediário entre o código de gestão do EVpi e o controlador de comunicação do veículo elétrico. Este ficheiro guarda os parâmetros que são trocados numa lista, onde cada parâmetro ocupa uma posição predefinida, de acordo com a representação feita na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Lista do Ficheiro de Parâmetros do Veículo Elétrico

Lista do Ficheiro de Parâmetros do Veículo Elétrico				
Posição	Parâmetro	Unidade	Tipo	Grupo
1	EVMaximumCurrentLimit	A	Short	ISO 15118
2	EVMaximumVoltageLimit	V	Short	ISO 15118
3	EVEnergyRequest	Wh	Short	ISO 15118
4	EVRESSSoC	%	Byte	ISO 15118
5	EVTargeVoltage	V	Short	ISO 15118
6	EVTargeCurrent	A	Short	ISO 15118
7	EVMaximumPowerLimit	kW	Short	ISO 15118
8	RemainingTimeToFullSoC	s	Short	ISO 15118
9	RemainingTimeToBulkSoC	s	Short	ISO 15118
10	ChargingComplete	-	Boolean	ISO 15118
11	BulkChargingComplete	-	Boolean	ISO 15118
12	EVCCID	-	String	ISO 15118
13	SessionID	-	String	ISO 15118
14	EVSEID	-	String	ISO 15118
15	EVSEMaximumVoltageLimit	V	Short	ISO 15118
16	EVSEMaximumCurrentLimit	A	Short	ISO 15118
17	EVSEMinimumVoltageLimit	V	Short	ISO 15118
18	EVSEMinimumCurrentLimit	A	Short	ISO 15118
19	EVinit_Flag	-	Boolean	Ind. Interação
20	EVloopinit_Flag	-	Boolean	Ind. Interação
21	EVloopend_Flag	-	Boolean	Ind. Interação
22	EVend_Flag	-	Boolean	Ind. Interação

Cada parâmetro guardado nesta lista tem a sua respetiva unidade, tipo e grupo. Esta rotulagem é importante porque o controlador de comunicação do veículo elétrico, implementado através da biblioteca RISE V2G, só permite a troca de parâmetros se os mesmos tiverem de acordo com a sua unidade, e mais importante, com o seu tipo. Assim, estes parâmetros têm de manter o mesmo nome, unidade e tipo, tanto no lado do código de gestão do EVpi, como no lado controlador de comunicação do veículo elétrico.

Sendo o ficheiro de texto ASCII, todos os parâmetros quando guardados no ficheiro são convertidos do seu tipo de variável para o tipo *String*, e quando lidos a partir do ficheiro são convertidos do tipo de variável *String* para o seu tipo. Estas conversões acontecem no código de gestão do EVpi e no controlador de comunicação do veículo elétrico. O algoritmo de escalonamento de tarefas descrito na secção 3.3 permite evitar colisões de acesso ao ficheiro.

Os últimos quatro parâmetros representados na Tabela 3.1, pertencem a um outro grupo denominado de indicadores de interação. Ao contrário dos parâmetros do grupo ISO 15118, estes últimos parâmetros não pertencem ao protocolo de comunicação da norma. Foram introduzidos nos códigos fonte para servir como indicadores de interação locais entre o controlador de comunicação do veículo elétrico e módulo de gestão do EVpi. Permitem a troca de informação sobre: (1) o início da sessão de comunicação (EVinit_Flag), (2) o fim da sessão de comunicação (EVend_Flag), (3) o início do *loop* de carregamento (EVloopinit_Flag) e (4) o fim do *loop* de carregamento (EVloopend_Flag). Estes indicadores são do tipo booleano, logo, só podem adquirir dois valores “true” ou “false” (verdadeiro ou falso), sendo o seu valor inicial sempre “false”. Estes parâmetros têm um papel importante no sincronismo do código de gestão do EVpi com o controlador de comunicação do veículo elétrico, como poderá ser visto na secção 3.4.3.2.

3.4.3. CÓDIGO DE GESTÃO DO EVPI

O código de gestão do EVpi é o coração do mesmo, pois é nele que são geridas todas as informações enviadas e recebidas pela interface homem-máquina do EV, assim como as sessões de comunicação em conjunto com o controlador de comunicação do EV. Este código foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA, e implementa uma máquina de estados finita (*finite state machine*, FSM). O conceito de FSM é concebido como uma máquina abstrata que deve estar apenas num, de entre um número finito de estados. Cada estado é responsável por um determinado conjunto de tarefas do código de gestão do EVpi. A

implementação da máquina de estados finita do código de gestão do EVpi é descrita na secção 3.4.3.2.

Além disso, um dos principais objetivos do código de gestão do EV é gerir o carregamento da bateria virtual de iões de lítio (Li-ion) do veículo elétrico. Numa situação real, essa gestão é realizada por um sistema de gestão de bateria (BMS). Assim foi implementado um BMS virtual de modo a realizar essa gestão. O BMS tem como principais objetivos fornecer segurança e longevidade à bateria, revelar o estado funcional (capacidade) na forma de estado de carga (%) e indicar o fim de vida das mesmas quando a capacidade cai abaixo do limite definido pelo fabricante. O BMS gere ainda o equilíbrio das células. Isto permite que todas as células presentes na bateria estejam equilibradas quanto ao seu nível de tensão, garantido que todas carreguem ao mesmo nível [24],[25]. O BMS virtual implementado no código de gestão do EVpi é descrito de seguida.

3.4.3.1. SISTEMA DE GESTÃO DE BATERIA VIRTUAL DO VEÍCULO ELÉTRICO

Esta secção aborda como é implementado o sistema de gestão de bateria (BMS) virtual, do código de gestão do EVpi. É de salientar que o BMS não é um dos casos de estudo desta dissertação. A sua implementação apenas serve para emular o funcionamento típico de um processo de carregamento de um veículo elétrico, gerando as curvas correspondentes, aproximando o sistema desenvolvido de um processo de carregamento real. Assim, foram desprezados alguns fatores influenciadores como a temperatura e o equilíbrio das células.

Para ter um BMS, é necessário primeiro ter uma bateria para gerir. Para tal, foi usado como referência a bateria de um Tesla Model S, e implementada de acordo com [26], como é descrito de seguida.

Uma bateria de um Tesla Model S é constituída por 16 módulos individuais ligados em paralelo, e cada módulo é constituído por 444 células individuais. A disposição das 444 células individuais no módulo, estão divididas em 6 séries de células, cada uma com 74 células em paralelo, como é possível observar na Figura 3.7. As células usadas em cada módulo são equivalentes à Panasonic NCR18650BE [27],[28], com uma capacidade nominal de 3,2 Ah e uma tensão nominal de 3,6 V. A sua corrente de carregamento *standard* são 0,9 A, a sua tensão de carregamento máxima é de 4,2 V e a sua tensão mínima de descarga é de 2,5 V.

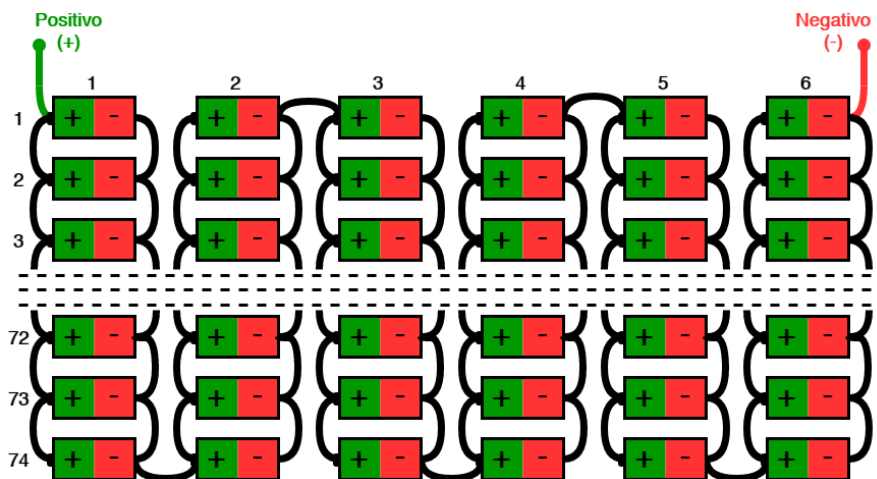


Figura 3.7 - Disposição das Células nos Módulos da Bateria

Quando as células são ligadas em paralelo (polos iguais), a capacidade resultante multiplica-se pelo número de células e a tensão mantém-se. Já quando as células são ligadas em série (polos diferentes), a capacidade mantém-se e a tensão multiplica-se pelo número de células [29]. Tendo em conta estes aspetos, a capacidade nominal do módulo é aproximadamente 236,8 Ah que resulta da série de 74 células. A tensão nominal do módulo é aproximadamente 21,6 V que resulta do paralelo das 6 séries de células. Os dezasseis módulos da bateria do Tesla Model S estão ligados em paralelo, logo a capacidade nominal da bateria é aproximadamente 236,8 Ah e a sua tensão nominal é aproximadamente 345,6 V.

Outro parâmetro a ter em conta neste processo é a taxa de carregamento (*charge rate*, C-rate). A C-rate controla a taxa de carregamento e descarregamento de uma bateria. Uma bateria com um C-rate de 1C terá de ser capaz de fornecer a totalidade da sua capacidade numa hora. Assim, por exemplo a bateria do Tesla Model S totalmente carregada (236,8 Ah), se tiver um C-rate de 1C terá de ser capaz de fornecer 236,8 A numa hora. Já a mesma bateria com um C-rate de 0,5C deve fornecer 118,4 A por 2 horas [30]. Assim para carregar a bateria é necessário ter em conta a sua C-Rate de carregamento.

Tendo em conta que a corrente de carregamento standard da célula é 0,9 A, e a capacidade da célula é de 3,2 Ah, a C-rate de carregamento da célula é aproximadamente de 0,28C. Em relação à corrente máxima de carregamento que a célula permite, vai ser utilizado o valor de 0,5C, uma vez que os valores máximos da C-rate, para carregamento de baterias de iões de lítio, variam normalmente entre 0,5C o 1C [31],[32],[33]. Assim a corrente máxima de carregamento da célula é de 1,6 A, o que resulta numa corrente máxima de carregamento da bateria de aproximadamente 118,4 A, sendo igual à de todos os módulos.

Tendo em conta que a tensão de carregamento máxima da célula é de 4,2 V, um módulo tem uma tensão de carregamento de aproximadamente 21,6 V. Por sua vez, a bateria tem uma tensão máxima de carregamento de aproximadamente 403,2 V. Ao usar a mesma analogia, a tensão mínima de descarga da célula é de 2,5 V, então a do módulo são 15 V e a da bateria resulta numa tensão mínima de descarga aproximadamente de 240 V.

Através dos valores encontrados, já é possível ter uma noção dos valores que serão usados para gerar a curva de carregamento virtual do veículo elétrico. Os valores que são usados daqui para a frente são os presentes na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros de Carregamento da Bateria Virtual do EV

Parâmetros de Carregamento da Bateria Virtual do EV				
Capacidade Total	Corrente Máxima	Tensão Máxima	Tensão Mínima	Tensão Nominal
235 Ah	117 A	400 V	240 V	350 V

Tendo em conta os valores da capacidade total, em Ah, e da tensão nominal da bateria, em V, pode-se dizer ainda que o valor da capacidade nominal da bateria, em kWh, é de aproximadamente 82 kWh [34].

Para proceder ao carregamento da bateria de íões de lítio do veículo elétrico é necessário referir as técnicas de carregamento de Corrente Constante (*constant current*, CC) e Tensão Constante (*constant voltage*, CV). A estratégia CC-CV consiste em dividir o carregamento nas duas técnicas de carregamento. Quando uma bateria de íões de lítio tem uma tensão abaixo da tensão máxima de carregamento, é aplicada a técnica de carregamento CC. Esta fase é denominada de fase de carregamento rápido. Nesta técnica, a bateria é carregada com corrente de carregamento constante, não ultrapassando a corrente máxima permitida. Nesta fase, a tensão da bateria sobe gradualmente. Quando a tensão da bateria iguala a tensão máxima de carregamento, é feita a transição da técnica de carregamento CC para a técnica de carregamento CV. Esta fase é denominada de fase de carregamento lento. Nesta técnica de carregamento a tensão da bateria mantém-se constante enquanto a corrente de carregamento baixa ao longo do tempo até atingir o final do carregamento. A Figura 3.8 ilustra o comportamento da tensão, da corrente e da capacidade da bateria, durante um carregamento completo ao longo do tempo, usando a estratégia de carga CC-CV [27], [28], [33].

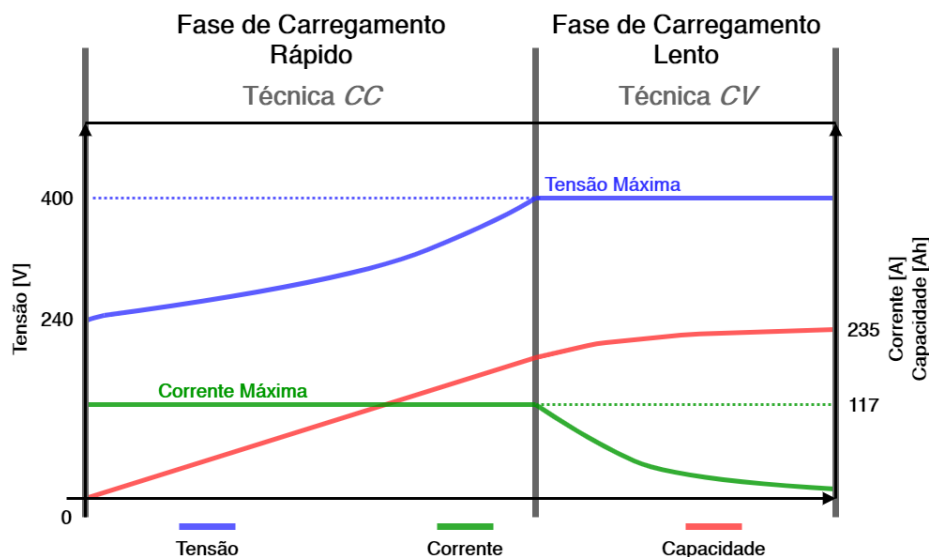


Figura 3.8 - Gráfico da Estratégia CC-CV

De modo a implementar um comportamento similar a esta estratégia de carregamento na BMS virtual do veículo elétrico, foram realizadas as seguintes aproximações: (1) Foi definido que a mudança da técnica de carregamento CC para a técnica de carregamento CV é realizada quando a bateria está com 80% da sua capacidade, aproximadamente 188 Ah. Nesse exato momento, a tensão atinge a sua tensão máxima de carregamento e a corrente começa a descer do seu valor máximo. Em suma, a técnica de carregamento CC é usada dos 0% aos 80% e a técnica de carregamento CV a partir dos 80% até aos 100% da capacidade da bateria. (2) Admite-se que a curva da tensão na técnica de carregamento CC é linear (i.e. se pode aproximar por uma reta), com a ressalva de que apesar de não representar a realidade, serve de demonstração no processo de comunicação do valor da tensão. (3) Foi definido que a curva da corrente na técnica de carregamento também sofre uma aproximação, mas neste caso é usada uma outra abordagem. O intervalo entre [80% - 100%] da carga foi dividido em 10 sub-intervalos, onde cada sub-intervalo representa 2% da capacidade da bateria. Nestes sub-intervalos, a corrente máxima é multiplicada pelo coeficiente correspondente ao seu sub-intervalo (Tabela 3.3), isto resulta que a corrente baixe, em forma de degrau, enquanto a capacidade da bateria aumenta na técnica de carregamento CV.

Ao implementar estas aproximações, o comportamento da corrente e tensão durante o carregamento da bateria do veículo elétrico deve seguir a representação feita no gráfico da Figura 3.9.

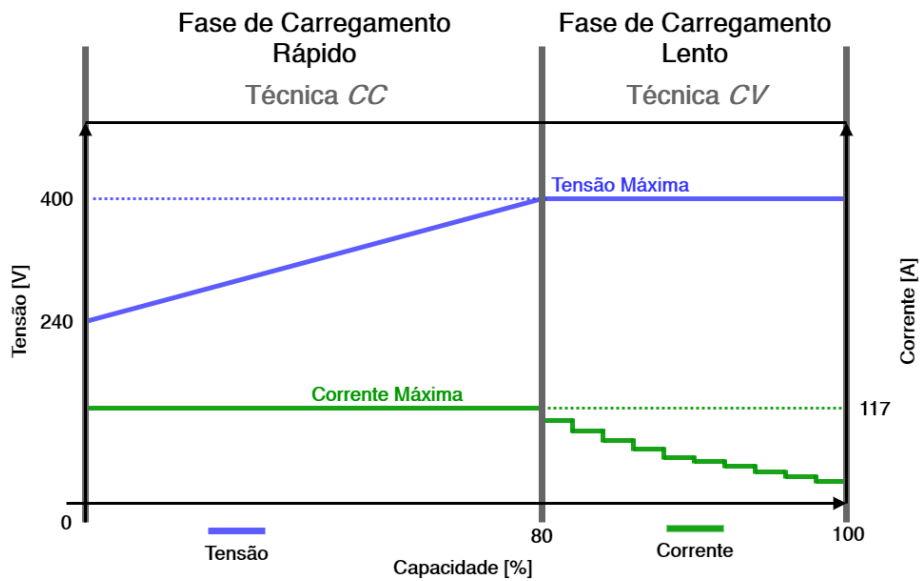


Figura 3.9 - Gráfico Aproximado da Estratégia CC-CV

Através da Figura 3.9, são retirados os pontos iniciais (0 , 240) e finais (80 , 400) da reta que relaciona a tensão com a capacidade, e encontrada a sua equação reduzida (equação 3.1). Nesta equação o valor da capacidade da bateria em percentagem é representado por x e o valor da tensão em volt é representado por y .

$$-160x + 80y - 19200 = 0 \quad (3.1)$$

De seguida é descrito como são estabelecidos os valores no BMS virtual do veículo elétrico, de forma a dinamizar os parâmetros trocados no sistema de comunicação segundo a norma ISO 15118.

O valor do limite máximo de corrente suportado pelo veículo elétrico ($EV_{MaximumCurrentLimit}$ em A) é definido pelo utilizador, antes da sessão de comunicação ser iniciada, através da interface homem-máquina do veículo elétrico. Já o valor do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE ($EVSE_{MaximumCurrentLimit}$ em A) é definido pelo operador do posto de carregamento, antes da sessão de comunicação ser iniciada, mas através da interface homem-máquina do posto de carregamento. Estes parâmetros são muito importantes, pois são trocados entre o EVCC e o SECC durante o início da sessão de comunicação, através da mensagem V2G ChargeParameterDiscovery. Isto permite que tanto no lado do EVpi, como no lado EVSEpi, seja estabelecido um limite máximo de corrente para o carregamento. No lado do EVpi, o responsável por estabelecer o limite máximo de corrente do carregamento é o código de gestão do EVpi. O valor deste limite é estabelecido através do algoritmo representado na Figura 3.10.

```
se ( EVMaximumCurrentLimit > EVSEMaximumCurrentLimit )
    EVMaximumCurrentLimit = EVSEMaximumCurrentLimit;
senão EVMaximumCurrentLimit = EVMaximumCurrentLimit;
```

Figura 3.10 - Algoritmo do Limite Máximo de Corrente Suportado pelo EV

Um dos parâmetros mais importantes deste sistema é a determinação da corrente de carregamento do veículo elétrico ($EV_{TargetCurrent}$ em A). Para encontrar o valor deste parâmetro é necessário ter em conta com qual técnica de carregamento a bateria do veículo elétrico vai carregar (CC ou CV). Em ambos os casos, é necessário encontrar o valor do limite máximo de corrente suportado pelo EV, obtido através do algoritmo da Figura 3.10. Se o veículo elétrico estiver a carregar na fase de carregamento rápido (técnica de carregamento CC), o valor da corrente de carregamento do EV permanece constante e absorve o valor do limite máximo de corrente do EV.

Já na fase de carregamento lento (técnica de carregamento CV), como descrito anteriormente, a corrente de carregamento do veículo elétrico varia conforme o estado de carga da bateria do mesmo (EV_{RESSoC} em %). De forma a fazer a corrente de carregamento variar durante a fase de carregamento lento, multiplica-se a o limite máximo de corrente por um coeficiente de corrente ($Current_{Coef}$). O valor do coeficiente de corrente aplicado varia com o estado de carga da bateria do veículo elétrico, conforme a Tabela 3.3.

Existe ainda uma outra particularidade da corrente de carregamento do veículo elétrico. Visto que o valor da corrente de carregamento do EV desce na fase de carregamento lento, é necessário ter em conta o limite inferior de corrente, i.e. o limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE ($EVSE_{MinimumCurrentLimit}$ em A). Este valor é definido através da interface homem-máquina do posto de carregamento e trocado pelos controladores de comunicação no início da sessão de carregamento na mensagem V2G ChargeParameterDiscovery. Quando o valor da corrente de carregamento do veículo elétrico desce abaixo do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE, o valor da corrente de carregamento absorve o valor deste limite mínimo. Num caso real, se o valor da corrente pretendida pelo EV for menor que a suportada pelo EVSE, o carregamento não seria aceite. Caso fosse aceite poderia comprometer a bateria do veículo elétrico.

Em suma, o valor da corrente de carregamento do veículo elétrico é estabelecido pelo algoritmo representado na Figura 3.11.

```

se ( EVRESSSoC ≥ 0 e EVRESSSoC < 80 )
    EVTargetCurrent = EVMaximumCurrentLimit;
se ( EVRESSSoC ≥ 80 e EVRESSSoC < 100 )
    EVTargetCurrent = EVMaximumCurrentLimit*CurrentCoef;
    se ( EVTargetCurrent < EVSEMinimumCurrentLimit )
        EVTargetCurrent = EVSEMinimumCurrentLimit;

```

Figura 3.11 - Algoritmo da Corrente de Carregamento do EV

Tabela 3.3 - Coeficientes de Corrente

Estado de Carga (%)	Coefficiente (CurrentCoef)
$80 \leq \text{EVRESSSoC} < 82$	0,90
$82 \leq \text{EVRESSSoC} < 84$	0,80
$84 \leq \text{EVRESSSoC} < 86$	0,70
$86 \leq \text{EVRESSSoC} < 88$	0,60
$88 \leq \text{EVRESSSoC} < 90$	0,50
$90 \leq \text{EVRESSSoC} < 92$	0,45
$92 \leq \text{EVRESSSoC} < 94$	0,40
$94 \leq \text{EVRESSSoC} < 96$	0,35
$96 \leq \text{EVRESSSoC} < 98$	0,30
$98 \leq \text{EVRESSSoC} < 100$	0,25

O valor do limite máximo de tensão suportado pelo veículo elétrico ($EV_{MaximumVoltageLimit}$ em V) e pelo EVSE ($EVSE_{MaximumVoltageLimit}$ em V) são definidos usando o mesmo método que os limites de corrente. Estes parâmetros, assim como os limites da corrente, são muito importantes pois permitem que tanto no lado do EVpi, como no lado EVSEpi, seja estabelecido um limite máximo de tensão para o carregamento. No lado do EVpi, o responsável por estabelecer o limite máximo de tensão do carregamento é o código de gestão do EVpi. Assim, depois da troca de limites máximos de tensão, o valor deste parâmetro é estabelecido pelo algoritmo representado na Figura 3.12.

```

se ( EVMaximumVoltageLimit > EVSEMaximumVoltageLimit )
    EVMaximumVoltageLimit = EVSEMaximumVoltageLimit;
senão EVMaximumVoltageLimit = EVMaximumVoltageLimit;

```

Figura 3.12 - Algoritmo do Limite Máximo de Tensão Suportado pelo EV

Outro dos parâmetros importantes deste sistema é a tensão de carregamento do veículo elétrico ($EV_{TargetVoltage}$ em V). Para encontrar o valor deste parâmetro é necessário ter em conta a técnica de carregamento na qual a bateria do veículo elétrico vai carregar. Em ambos os casos, é necessário encontrar o valor do limite máximo de tensão suportado pelo EV, obtido através do algoritmo da Figura 3.12. Na fase de carregamento lento, a tensão de carregamento do veículo elétrico é constante.

Quando a bateria do veículo elétrico está a carregar na fase de carregamento rápido/CC, o valor da tensão varia conforme o estado de carga da bateria do mesmo. Neste caso em concreto, como visto anteriormente, assume-se que a curva da tensão é aproximada a uma reta. O valor deste parâmetro nesta fase de carregamento é encontrado através da equação da reta quando resolvida em ordem à tensão de carregamento, em volt, representada pela equação 3.2. É de salientar, que os parâmetros representados a cinzento nas equações seguintes, são os parâmetros que a norma ISO 15118 permite trocar numa sessão de comunicação.

$$EV_{TargetVoltage} = 2 \times EV_{RESSoC} + 240 \quad (3.2)$$

Visto que o valor da tensão de carregamento do EV começa com um valor baixo no início da fase de carregamento rápido, é necessário ter em conta o limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE ($EVSE_{MinimumVoltageLimit}$ em V), definido através da interface homem-máquina do posto de carregamento. Quando a tensão de carregamento do veículo elétrico toma valores abaixo do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE, o valor da corrente de carregamento absorve o valor deste limite mínimo. Num caso real, se o valor da tensão pretendida pelo EV for menor que a suportada pelo EVSE, o carregamento não seria aceite. Caso fosse aceite poderia comprometer a bateria do veículo elétrico.

Em suma, o valor da tensão de carregamento do veículo elétrico é estabelecido pelo algoritmo representado na Figura 3.13.

```

se ( EVRESSoC ≥ 0 e EVRESSoC < 80 )
    EVTargetVoltage = 2*EVRESSoC+240;
se ( EVTargetVoltage < EVSEMinimumVoltageLimit )
    EVTargetVoltage = EVSEMinimumVoltageLimit;
se ( EVRESSoC ≥ 80 e EVRESSoC < 100 )
    EVTargetVoltage = EVMaximumVoltageLimit;

```

Figura 3.13 - Algoritmo da Tensão de Carregamento do EV

Depois de estabelecidos os valores do limite máximo de corrente e do limite máximo de tensão suportados pelo veículo elétrico e respetivamente segundo os algoritmos da Figura 3.10 e da Figura 3.12, pode ser estabelecido o valor do limite máximo de potência suportado pelo veículo elétrico ($EV_{MaximumPowerLimit}$ em kW) através da equação 3.3.

$$EV_{MaximumPowerLimit} = \frac{EV_{MaximumCurrentLimit} \times EV_{MaximumVoltageLimit}}{1000} \quad (3.3)$$

O valor da energia necessária para carregar o veículo elétrico ($EV_{EnergyRequest}$ em Wh) é estabelecido através da diferença entre a energia futura da bateria ($Battery_{FutureEnergy}$ em Wh) e a energia atual da bateria ($Battery_{PresentEnergy}$ em Wh), como apresentado na equação 3.4. Os valores da energia futura da bateria e da energia atual da bateria são estabelecidos respetivamente através das equações E.1 e E.2 presentes na secção E.3.

$$EV_{EnergyRequest} = Battery_{FutureEnergy} - Battery_{PresentEnergy} \quad (3.4)$$

O valor do tempo restante para o final da fase de carregamento rápido ($RemainingTime_{ToBulkSoC}$ em segundos) é estabelecido através da equação 3.5 que relaciona o valor da capacidade futura da bateria do EV ($Battery_{FutureCapacity}$ em Ah), o valor da capacidade atual da bateria do EV ($Battery_{PresentCapacity}$ em Ah) e o valor da corrente de carregamento do EV.

$$RemainingTime_{ToBulkSoC} = \frac{Battery_{FutureCapacity} - Battery_{PresentCapacity}}{EV_{TargetCurrent}} \times 3600 \quad (3.5)$$

Quanto o carregamento é realizado na fase de carregamento rápido/CC, o valor do tempo restante para o carregamento completo ($RemainingTime_{ToFullSoC}$ em segundos) é estabelecido pela soma do valor do tempo restante para o final da fase de carregamento rápido com o valor do tempo restante para o final da fase de carregamento lento/CV ($RemainingTime_{ToCVSoC}$ em segundos). Já quando o carregamento é realizado na fase de carregamento lento, o valor do tempo restante para o carregamento completo é igual ao valor do tempo restante para o final da fase de carregamento lento. Sendo que a mudança da fase de carregamento rápido para a fase de carregamento lento é dada quando o estado de carga da bateria do veículo elétrico é igual a 80%, o valor do tempo restante para o carregamento completo é estabelecido pelo seu algoritmo representado na Figura 3.14. O valor do tempo restante para o final da fase de carregamento lento é estabelecido através da equação E.5 presente na secção E.3.

```

se ( EVRESSSoC ≥ 0 e EVRESSSoC < 80 )
    RemainingTimeToFullSoC =
        RemainingTimeToBulkSoC + RemainingTimeToCVSoC;
se ( EVRESSSoC ≥ 80 e EVRESSSoC < 100)
    RemainingTimeToFullSoC = RemainingTimeToCVSoC;

```

Figura 3.14 - Algoritmo do Tempo Restante para Fim da Fase Carregamento Rápido

O valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico é introduzido pela primeira vez no sistema através da interface homem-máquina do veículo elétrico pelo utilizador. Neste caso o valor que se pretende estabelecer é o do estado de carga x tempo depois de ser carregado pela corrente de carregamento, onde x é igual ao valor do tempo do *loop* de carregamento ($Loop_{Time}$ em segundos). Assim, é estabelecido o valor do estado de carga seguinte da bateria do veículo elétrico ($Following_{SoC}$ em segundos) através da equação 3.6. Esta equação relaciona o tempo do *loop* de carregamento (5 segundos neste sistema), a capacidade total da bateria do EV ($Battery_{TotalCapacity}$ em Ah, considerou-se 235 Ah), a corrente de carregamento do veículo elétrico e o estado de carga atual da bateria do veículo elétrico.

$$Following_{SoC} = \left(\frac{Loop_{Time} \times EV_{TargetCurrent}}{Battery_{TotalCapacity} \times 3600} + EV_{RESSSoC} \right) \times 100 \quad (3.6)$$

No final de cada *loop* de carregamento, o estado de carga da bateria do EV recebe o valor do estado de carga seguinte da bateria do EV, para que no início do próximo *loop* possa ser aplicada de novo a equação 3.6. Por exemplo, neste sistema é usado um tempo de *loop* de carregamento de 5 segundos, então no início do *loop* é estabelecido o estado de carga seguinte, que está à carga com uma dada corrente de carregamento durante 5 segundo. No final do *loop*, 5 segundos depois, esse valor passa a representar o valor atual do estado de carga e não o valor do estado de carga seguinte.

3.4.3.2. MÁQUINA DE ESTADOS FINITA DO CÓDIGO DE GESTÃO DO EVPI

O código de gestão do EVpi implementa uma máquina de estados finita (FSM), constituída por oito estados, conforme o diagrama presente na Figura 3.15.

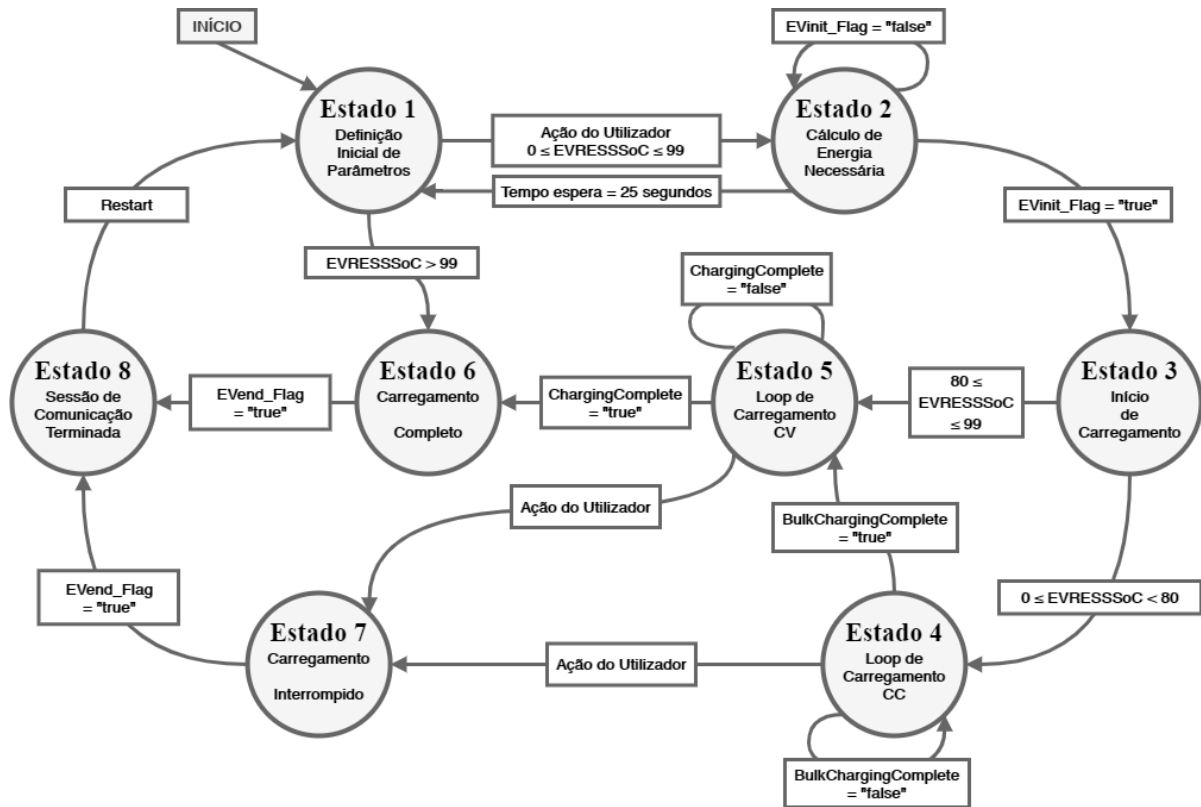


Figura 3.15 - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVpi

Os estados do código de gestão do EVpi são:

- Estado 1 – definição inicial de parâmetros;
- Estado 2 – cálculo de energia necessária;
- Estado 3 – início de carregamento;
- Estado 4 – *loop* de carregamento CC;
- Estado 5 – *loop* de carregamento CV;
- Estado 6 – carregamento completo;
- Estado 7 – carregamento interrompido;
- Estado 8 – sessão de comunicação terminada.

Cada um destes oito estados é constituído por um conjunto de tarefas desempenhadas pelo código de gestão do EVpi. De seguida são descritos os oito estados e os seus correspondentes conjuntos de tarefas.

ESTADO 1 – DEFINIÇÃO INICIAL DE PARÂMETROS

O código de gestão do EVpi é sempre iniciado no estado 1 denominado de definição inicial de parâmetros. Neste primeiro estado o utilizador começa por definir, através da HMI do EV, o valor do limite máximo de corrente (EVMaximumCurrentLimit) e o valor limite máximo de tensão (EVMaximumVoltageLimit) suportados pelo veículo elétrico. Sendo a capacidade da bateria virtual, implementada no veículo elétrico, de 235 Ah, para uma simulação aproximada à realidade, os valores definidos não devem sair dos apresentados na Tabela 3.2. O utilizador ainda pode definir com que estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) é iniciado o carregamento. O código de gestão do EVpi, neste estado, apenas é responsável por aceitar estes valores definidos a partir da interface homem-máquina do veículo elétrico. Os valores só são aceites pelo mesmo se estiverem enquadrados na gama de valores apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Gama de Valores dos Parâmetros Iniciais do EV

Gama de Valores dos Parâmetros Iniciais do EV
$0 \% \leq \text{EVRESSSoC} \leq 100 \%$
$16 \text{ A} \leq \text{EVMaximumCurrentLimit} \leq 250 \text{ A}$
$48 \text{ V} \leq \text{EVMaximumVoltageLimit} \leq 1000 \text{ V}$

Depois do utilizador dar indicação, através da HMI do EV, para o código de gestão do EVpi transitar de estado, ainda é realizada uma verificação ao valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico inserido pelo mesmo. Se o valor do estado de carga da bateria do veículo for maior ou igual a 0 e menor ou igual a 99, o código de gestão do EVpi transita do estado 1 para o estado 2. Já se o valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico for maior que 99, o código de gestão do EVpi transita do estado 1 para o estado 6.

ESTADO 2 – CÁLCULO DE ENERGIA

No estado 2, denominado de cálculo de energia, o código de gestão do EVpi começa por apagar o ficheiro log do controlador de comunicação do veículo elétrico, referente à sessão de comunicação anterior, e atualizar os valores dos indicadores de interação de início da sessão de carregamento (EVinit_Flag), de início do loop de carregamento (EVloopinit_Flag), de fim do loop de carregamento (EVloopend_Flag) e de fim da sessão de carregamento (EVend_Flag) para “false”, de forma preparar-se para receber uma nova sessão de comunicação. A principal tarefa do código de gestão do EVpi neste segundo estado consiste em calcular o valor da quantidade de energia necessária para carregar o EV (EVEnergyRequest) até um estado de

carga de bateria de 100 %. Este valor é estabelecido conforme a equação 3.4, descrita na secção 3.4.3.1. De seguida todos os parâmetros são atualizados para os seus respetivos tipos de variável e enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do veículo elétrico pelo código de gestão do EVpi. Nesta altura estará pronto para uma nova sessão de comunicação. O código de gestão do EVpi dá a ordem ao controlador de comunicação do veículo elétrico para iniciar a sessão de comunicação.

Enquanto o EVCC tenta estabelecer uma nova sessão de comunicação com o SECC, o código de gestão do EVpi solicita a lista do ficheiro de parâmetros do EV, com uma periodicidade de 1 segundo (i.e. de segundo a segundo), para verificar o valor do indicador de interação de início de sessão de comunicação (EVinit_Flag). Enquanto o valor deste indicador apresentar o valor “false” não existe mudança de estado por parte do código de gestão do EVpi.

Por sua vez, momentos antes de dar início à sessão de comunicação, o EVCC altera o valor do indicador de “false” para “true” e envia-o para a lista do ficheiro de parâmetros do veículo elétrico. Sendo a mudança de valor do indicador de interação de início de sessão de comunicação o responsável pela transição de estado do código de gestão do EVpi, este ao aceder à lista do ficheiro de parâmetros atualiza o valor do indicador de “false” para “true”, transitando do estado 2 para o estado 3.

ESTADO 3 – INÍCIO DE CARREGAMENTO

No terceiro estado, denominado de início de carregamento, o código de gestão do EVpi começa por solicitar à lista do ficheiro de parâmetros do EV os valores dos parâmetros do EVSE trocados até ao momento. Esses parâmetros são o identificador de sessão de comunicação (SessionID), o identificador único do EVSE (EVSEID), o limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit), o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit), o limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMinimumCurrentLimit) e o limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMinimumVoltageLimit).

São estabelecidos os novos valores do limite máximo de corrente suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit) através do algoritmo da Figura 3.10, do limite máximo de tensão suportado pelo EV (EVMaximumVoltageLimit) através do algoritmo da Figura 3.12, do limite máximo de potência suportado pelo EV (EVMaximumPowerLimit) através da equação 3.3, da corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent) através do algoritmo da Figura 3.11 e da tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage) através do algoritmo da Figura 3.13. De seguida todos os parâmetros são atualizados para os seus respetivos tipos de variável e

enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do veículo elétrico pelo código de gestão do EVpi.

Neste momento o EVCC está à espera de que o código de gestão do EVpi dê a ordem para avançar para a troca de mensagens V2G referentes ao *loop* de carregamento. Essa ordem é transmitida através do valor do indicador de interação de início do *loop* de carregamento (EVloopinit_Flag). Nessa altura o código de gestão do EVpi, altera o valor do indicador de interação de “false” para “true”, e de seguida, atualiza os parâmetros para os seus respetivos tipos de variável e envia-os para a lista do ficheiro de parâmetros do EV. Por sua vez, o EVCC requisita a lista do ficheiro de parâmetros e atualiza o valor do indicador para “true”, dando início à troca de mensagens referentes ao *loop* de carregamento.

Por sua vez, código de gestão do EVpi faz uma verificação do valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico (EVRESSSoC). Se o valor do estado de carga da bateria do EV for maior ou igual a zero e menor que oitenta, o estado do código do EVpi transita do estado 3 para o estado 4, já se o estado de carga da bateria do EV for maior ou igual a 80 e menor ou igual a 99, transita do estado 3 para o estado 5.

ESTADO 4 – LOOP DE CARREGAMENTO CC

No estado 4, denominado *loop* de carregamento CC, o código de gestão do EVpi estabelece os valores do tempo restante para o final da fase de carregamento rápido (RemainingTimeToBulkSoC) através da equação 3.5, do tempo restante para o carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC) através do algoritmo da Figura 3.14, da corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent) através do algoritmo da Figura 3.11, da tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage) do algoritmo da Figura 3.13 e do estado de carga seguinte da bateria do EV (FollowingSoC) através da equação 3.6. Estes parâmetros são estabelecidos, tendo em conta a técnica de carregamento CC e a duração do *loop* de carregamento, neste caso 5 segundos. Durante o *loop* de carregamento rápido, o código de gestão do EVpi atualiza os parâmetros para os seus respetivos tipos de variável e envia para a lista do ficheiro de parâmetros do EV. Assim o controlador de comunicação do veículo elétrico tem acesso a parâmetros atualizados de 5 em 5 segundo para enviar para o controlador de comunicação do equipamento de carga.

No final de cada *loop* o valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico (EVRESSSoC) absorve o valor do estado de carga seguinte da bateria do veículo elétrico e é realizada uma verificação do seu valor. Enquanto o estado de carga for menor que 80, o valor do indicador de fase de carregamento rápido (BulkChargingComplete) permanece “false”, e o

código de gestão do EVpi permanece no estado 4. Quando o estado de carga é maior ou igual a 80, o código de gestão do EVpi altera o valor do indicador de fase de carregamento rápido de “false” para “true”, e passa do estado 4 para o estado 5.

O *loop* de carregamento rápido ainda pode ser interrompido pelo utilizador com recurso à HMI do EV. Quando o utilizador interrompe o *loop* de carregamento, a interface homem-máquina do veículo elétrico informa o código de gestão do EVpi e este transita do estado 4 para o estado 7 de imediato.

ESTADO 5 – LOOP DE CARREGAMENTO CV

No estado 5, denominado de *loop* de carregamento CV, o código de gestão do EVpi encontra os valores do tempo restante para o carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC) através do algoritmo da Figura 3.14, da corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent) através do algoritmo da Figura 3.11, da tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage) através do algoritmo da Figura 3.13 e do estado de carga seguinte da bateria do EV (FollowingSoC) através da equação 3.6. Estes parâmetros são calculados, tendo em conta a técnica de carregamento CV e a duração do *loop* de carregamento, neste caso 5 segundos. Durante o *loop* de carregamento lento, o código de gestão do EVpi atualiza os parâmetros para os seus respetivos tipos de variável e envia para a lista do ficheiro de parâmetros do EV. Assim o controlador de comunicação do veículo elétrico tem acesso a parâmetros atualizados de 5 em 5 segundo para enviar para o controlador de comunicação equipamento de carga.

No final de cada *loop* o valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico (EVRESSSoC) absorve o valor do estado de carga seguinte da bateria do veículo elétrico e é realizada uma verificação do seu valor. Enquanto o estado de carga for menor ou igual a 99, o valor do indicador de carregamento completo (ChargingComplete) permanece “false”, e o código de gestão do EVpi permanece no estado 5. Quando o estado de carga é maior que 99, o código de gestão do EVpi altera o valor indicador de carregamento completo de “false” para “true”, e passa do estado 5 para o estado 7.

O *loop* de carregamento lento ainda pode ser interrompido pelo utilizador com recurso à interface homem-máquina do veículo elétrico. Quando o utilizador interrompe o *loop* de carregamento, a HMI do EV informa o código de gestão do EVpi e este transita do estado 5 para o estado 7 de imediato.

ESTADO 6 – CARREGAMENTO COMPLETO

No estado 6, denominado de carregamento completo, o código de gestão do EVpi prepara os valores da corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent) e da tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage) para o final do carregamento. Basicamente este estado é o último *loop* de 5 segundo do *loop* de carregamento. Neste ponto, os valores da EVTargetCurrent e da EVTargetVoltage são alterados para zero e o valor do indicador de interação de fim de *loop* de carregamento (EVloopend_Flag) de “false” para “true”. Em seguida todos os parâmetros são atualizados para o seu respetivo tipo de variável e enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do EV. Por sua vez, o controlador de comunicação do veículo elétrico requisita a lista do ficheiro de parâmetros e atualiza o seu valor do indicador de interação de fim de *loop* de carregamento também para “true”, dando fim à troca de mensagens V2G referentes ao *loop* de carregamento.

Por sua vez, o EVCC troca as últimas mensagens V2G com o SECC, referentes ao fim da sessão de comunicação, e quando a sessão é encerrada, altera o valor do indicador de fim de sessão de comunicação (EVend_Flag) de “false” para “true” e envia-o para a lista do ficheiro de parâmetros do EV. Por fim, o código de gestão do EVpi solicita a lista do ficheiro de parâmetros do EV, altera o seu valor do indicador de interação de fim de sessão de comunicação e transita do estado 6 para o estado 8.

ESTADO 7 – CARREGAMENTO INTERROMPIDO

No estado 7, denominado de carregamento interrompido, o código de gestão do EVpi, assim como no estado 6, altera os valores da EVTargetCurrent e da EVTargetVoltage para zero. É realizada a alteração e troca dos indicadores de interação de fim de *loop* de carregamento (EVloopend_Flag) e fim de sessão de comunicação (EVend_Flag), assim como descrito no estado 6, e transita do estado 7 para o estado 8.

A diferença entre este estado e o estado 6 é que neste estado o EV não efetua uma carga completa da sua bateria. A Informação a enviar para a interface homem-máquina do veículo elétrico também é diferente da enviada no estado 6.

ESTADO 8 – SESSÃO DE COMUNICAÇÃO TERMINADA

No estado 8, denominado de sessão de comunicação terminada, a principal tarefa do código de gestão do EVpi é atualizar todas as suas variáveis para os seus valores iniciais, e terminar processos que foram inicializados durante a sessão de comunicação anterior, de forma a que uma nova sessão de comunicação possa ser iniciada de seguida. Basicamente é feito um

restart. Depois dessa atualização, o código de gestão do EVpi aguarda 10 segundos e transita para o estado 1, ou seja, transita para o estado inicial.

3.4.4. INTERFACE HOMEM-MÁQUINA DO VEÍCULO ELÉTRICO

Nesta seção é descrito como foi implementada a interface homem máquina do veículo elétrico. O seu código fonte foi desenvolvido em linguagem de programação JAVA, com auxílio da ferramenta de interface gráfica do utilizador (*grafical user interface*, GUI) Swing do Netbeans IDE, e é gerido pelo código de gestão do EVpi. Então a HMI também implementa a mesma máquina de estados finita (FSM) que o código de gestão do EVpi (seção 3.4.3) e conforme o diagrama de estados presente na Figura 3.15. As tarefas da interface homem-máquina do EV para cada estado da FSM são descritas de seguida.

3.4.4.1. ESTADO 1 – DEFINIÇÃO INICIAL DE PARÂMETROS

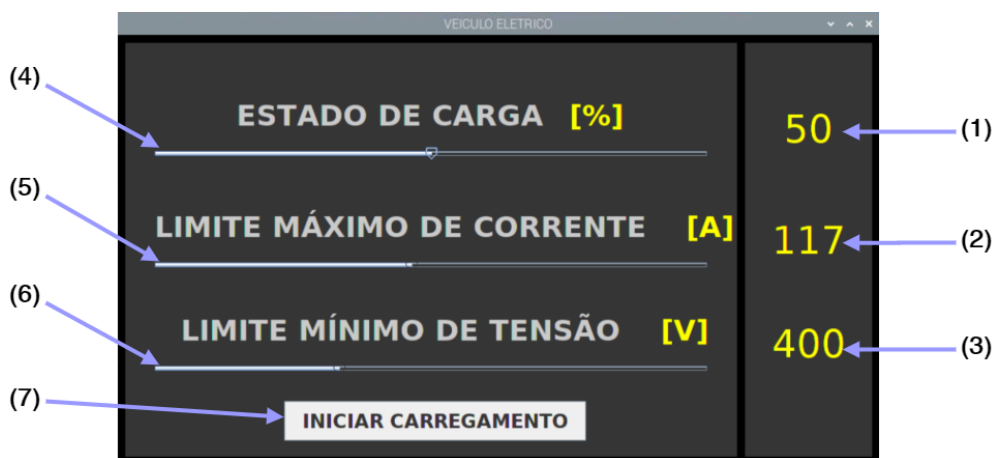


Figura 3.16 - HMI EV Definição Inicial de Parâmetros

No estado 1 do código de gestão do EVpi, denominado de definição inicial de parâmetros, a interface homem-máquina é responsável por apresentar a tela de parametrização inicial do veículo elétrico (ver Figura 3.16). Nesta tela são estabelecidos os valores do estado de carga da bateria do EV (1) (EVRESSSoC), do limite máximo de corrente suportado pelo EV (2) (EVMaximumCurrentLimit) e do limite máximo de tensão suportado pelo EV (3) (EVMaximumVoltageLimit). Estes parâmetros são estabelecidos, individualmente, através

do seu respetivo *slider* (4), (5) e (6). Cada *slider* está limitado a um intervalo de valores que podem ser consultados na Tabela 3.4, presente na secção 3.4.3.2.

Assim que definidos os parâmetros iniciais, o botão (7) “iniciar carregamento”, é responsável pelo envio da informação para o código de gestão do EVpi. Então, assim que o botão for pressionado, a informação definida através da HMI é enviada para o código de gestão do EVpi, onde é processada.

3.4.4.2. ESTADOS 2 E 3 – CÁLCULO DE ENERGIA E INÍCIO DE CARREGAMENTO



Figura 3.17 - HMI EV Cálculo de Energia e Início de Carregamento

Nos estados 2 e 3 do código de gestão do EVpi, respetivamente denominados de cálculo de energia e de início de carregamento, a interface homem-máquina apresenta uma nova tela, a tela de carregamento do veículo elétrico (ver Figura 3.17). Esta tela é usada para todos os estados menos o primeiro. Nesta tela é possível observar informação relativa ao carregamento, assim como informação relativa à sessão de comunicação. Nestes estados apenas são apresentadas algumas informações como o valor do estado de carga da bateria do EV (1) (EVRESSSoC), o mesmo estado de carga representado numa barra de progresso (2), a barra de informação da tela de carregamento do EV (3) e o identificador único do controlador de comunicação do veículo elétrico (4) (EVCCID).

A tela de carregamento da interface homem-máquina do veículo elétrico, neste estado apresenta um fundo preto, e a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “a iniciar carregamento...”.

3.4.4.3. ESTADOS 4 E 5 – LOOPS DE CARREGAMENTO CC E CV



Figura 3.18 - HMI EV Loops de Carregamento CC e CV

Nos estados 4 e 5 do código de gestão do EVpi, respetivamente denominados de *loop* de carregamento rápido e de *loop* de carregamento lento, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta, na sua tela de carregamento, a informação relativa ao carregamento e sessão de comunicação que estão a ser executados no sistema. Esta informação atualiza na HMI do EV de 5 em 5 segundos. Nestes estados são apresentadas as restantes informações da tela de carregamento como é possível observar na Figura 3.18, sendo elas o tempo restante para o carregamento completo da bateria do EV (1) (RemainingTimeToFullSoC) apresentado no formato horas-minutos (hh:mm), a corrente de carregamento do veículo elétrico (2) (EVTargetCurrent), a tensão de carregamento do veículo elétrico (3) (EVTargetVoltage), o identificador único do equipamento de carga do veículo elétrico (4) (EVSEID) e o identificador da sessão de comunicação (5) (SessionID).

A tela de carregamento da interface homem-máquina do veículo elétrico, nestes estados apresenta um fundo azul, e a sua barra de informação apresenta a mensagem “em carregamento...”, como é possível observar na Figura 3.18.

Durante estes modos, o utilizador pode solicitar a paragem do carregamento através da HMI do EV. Para tal, o utilizador pressiona o botão (6) “parar”, e a interface homem-máquina do veículo elétrico informa o código de gestão do EVpi que foi solicitada uma paragem de carregamento. Enquanto o código de gestão do EV não proceder ao corte de energia a barra de informação de estado da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “a parar...”. Este botão só está disponível na HMI do EV durante o *loop* de carregamento, sendo ele rápido ou lento.

Existem pequenas diferenças de apresentação entre o estado 4 e o estado 5. Sendo o quarto estado do código de gestão do EVpi representado pelo *loop* de carregamento rápido (técnica de carregamento CC), o valor do estado de carga da bateria do EV apresentado na HMI do mesmo varia entre os 0 % e 79 %, e o valor da corrente de carregamento do EV mantém-se constante no seu valor máximo (representação A da Figura 3.18). Já no quinto estado do código de gestão do EVpi representado pelo *loop* de carregamento lento (técnica de carregamento CV), o valor do EVRESSSoC apresentado na HMI do EV varia entre os 80 % e 99 %, e o valor da tensão de carregamento do EV mantém-se constante no seu valor máximo. Ainda no *loop* de carregamento lento, o valor do tempo restante para carregamento completo é escondido quando o estado de carga da bateria do EV atinge os 99 %. O exemplo de *loop* de carregamento lento pode ser observado na representação B da Figura 3.18, junto de uma solicitação de paragem.

3.4.4.4. ESTADO 6 – CARREGAMENTO COMPLETO



Figura 3.19 - HMI EV Carregamento Completo

No estado 6 do código de gestão do EVpi, denominado de carregamento completo, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta na sua tela de carregamento um fundo verde, que representa o carregamento completo da bateria do veículo elétrico. Como é possível observar na Figura 3.19, o valor do estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) é apresentado a 100 %, assim como a sua respetiva barra de progresso está totalmente cheia. Ainda neste estado, a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “carregamento completo!”, o valor do tempo restante para o carregamento

completo permanece escondido e os valores da corrente e tensão de carregamento do EV são apresentados a 0.

3.4.4.5. ESTADO 7 – CARREGAMENTO INTERROMPIDO



Figura 3.20 - HMI EV Carregamento Interrompido

No estado 7 do código de gestão do EVpi, denominado de carregamento interrompido, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta na sua tela de carregamento um fundo vermelho, que referente ao carregamento interrompido pelo utilizador, sem carregamento completo da bateria do veículo elétrico. Como é possível observar na Figura 3.20, o estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) é apresentado com o valor atual em que o carregamento foi interrompido, assim como a sua respetiva barra de progresso. Ainda neste estado, a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “carregamento interrompido!”, o valor do tempo restante para carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC) é escondido e os valores da corrente (EVTargetCurrent) e da tensão (EVTargetVoltage) de carregamento do EV são apresentados a 0.

3.4.4.6. ESTADO 8 – SESSÃO DE COMUNICAÇÃO TERMINADA

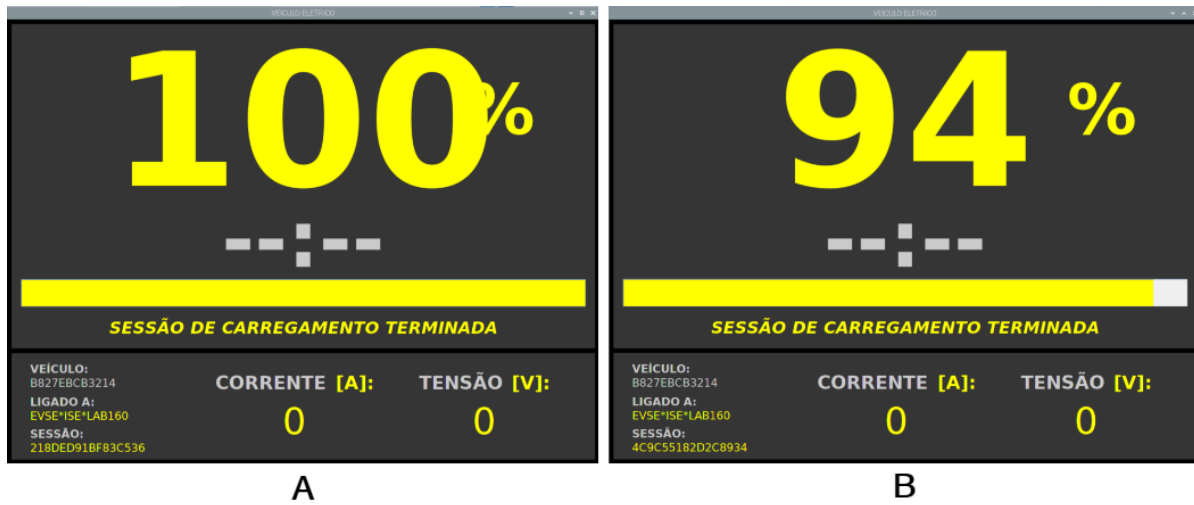


Figura 3.21 - HMI EV Sessão de Comunicação Terminada

No estado 8 do código de gestão do EVpi, denominado de sessão de comunicação terminada, a interface homem-máquina do veículo elétrico apresenta na sua tela de carregamento um fundo preto, referente ao final da sessão de comunicação. A sessão de comunicação pode ser terminada de duas formas: por carregamento completo da bateria do EV (estado 6), ou por interrupção de carregamento (estado 7). Quando a sessão de comunicação é terminada através de carregamento completo da bateria do EV, o estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) apresenta o valor 100 % e a sua barra de progresso está cheia como é possível observar na representação A da Figura 3.21.

Já quando a sessão de comunicação é terminada através da interface homem-máquina do EV pelo utilizador, o estado de carga da bateria do EV apresenta o valor com o qual a paragem foi solicitada, assim como a sua barra de progresso, como é possível observar na representação B da Figura 3.21. Ainda neste estado, a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “sessão de carregamento terminada”. A tela de carregamento da interface homem-máquina do veículo elétrico no estado 8 do código de gestão do EVpi tem uma duração de 10 segundos de apresentação. Essa duração refere-se à transição do código do oitavo estado para o estado inicial, e consequentemente o regresso à tela de definição de parâmetros.

3.5. EVSEPI

De modo a desenvolver o EVSEpi foram implementados os quatro sub-blocos brevemente descritos na arquitetura deste sistema de comunicação (secção 3.2), sendo eles o controlador de comunicação do equipamento de carga, o código de gestão do EVSEpi, o ficheiro de parâmetros do posto e a interface homem-máquina do posto. As secções seguintes descrevem esses quatro sub-blocos.

3.5.1. CONTROLADOR DE COMUNICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE CARGA

O controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC), assim como o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC), foi implementado a partir da biblioteca *open-source* RISE V2G. O seu objetivo é somente de trocar informação acerca do carregamento EV, através de mensagens V2G, com o EVCC. O controlador de comunicação do equipamento de carga utiliza a mesma solução como a descrita na secção 3.4.1, mas aplicada ao posto de carregamento. Ou seja, cada vez que o SECC acede a um parâmetro dos escolhidos, em vez de aceder diretamente ao valor de uma variável no seu código fonte, obtém o valor a partir de uma linha de registo do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento. Neste caso, esse valor é atualizado, de cinco em cinco segundos, pelo código de gestão do EVSEpi.

De todos os parâmetros para carregamento DC que o SECC permite manipular, foram escolhidos os seguintes para a troca e atualização dinâmica no sistema implementado: (1) o identificador de sessão de comunicação (SessionID), (2) o identificador único do EVSE (EVSEID), (3) a marca temporal do EVSE (EVSETimeStamp), (4) o limite máximo de corrente suportado EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit), (5) o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit), (6) o limite máximo de potência suportado pelo EVSE (EVSEMaximumPowerLimit), (7) o limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMinimumCurrentLimit), (8) o limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMinimumVoltageLimit), (9) a corrente de carregamento do EVSE (EVSEPresentCurrent) e (10) a tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage).

3.5.2. FICHEIRO DE PARÂMETROS DO POSTO DE CARREGAMENTO

O ficheiro de parâmetros do posto de carregamento tem como principal objetivo servir de intermediário entre o código de gestão do EVSEpi e o controlador de comunicação do equipamento de carga. Este ficheiro guarda os parâmetros que são trocados numa lista, onde cada parâmetro ocupa uma posição predefinida, de acordo com a representação feita na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Lista do Ficheiro de Parâmetros do Posto de Carregamento

Lista do Ficheiro de Parâmetros do Posto de Carregamento				
Posição	Parâmetro	Unidade	Tipo	Grupo
1	EVSEMaximumVoltageLimit	V	Short	ISO 15118
2	EVSEMinimumVoltageLimit	V	Short	ISO 15118
3	EVSEMaximumCurrentLimit	A	Short	ISO 15118
4	EVSEMinimumCurrentLimit	A	Short	ISO 15118
5	EVSEMaximumPowerLimit	kW	Short	ISO 15118
6	EVSEPresentVoltage	V	Short	ISO 15118
7	EVSEPresentCurrent	A	Short	ISO 15118
8	SessionID	-	String	ISO 15118
9	EVSEID	-	String	ISO 15118
10	EVSETimeStamp	s	Long	ISO 15118
11	EVCCID	-	String	ISO 15118
12	EVRESSSoC	%	Byte	ISO 15118
13	RemainingTimeToFullSoC	s	Short	ISO 15118
14	EVMMaximumVoltageLimit	V	Short	ISO 15118
15	EVMMaximumCurrentLimit	A	Short	ISO 15118
16	EVSEinit_Flag	-	Boolean	Ind. de Interação
17	EVSEloop_Flag	-	Boolean	Ind. de Interação
18	EVSEend_Flag	-	Boolean	Ind. de Interação

Estes parâmetros, assim como os da lista do ficheiro de parâmetros do veículo elétrico, têm a sua respetiva unidade, tipo e grupo. Sendo o ficheiro de texto ASCII, todos os parâmetros quando guardados no ficheiro são convertidos do seu tipo de variável para o tipo *String*, e quando lidos a partir do ficheiro são convertidos do tipo de variável *String* para o seu tipo. Estas conversões acontecem no código de gestão do EVSEpi e no controlador de comunicação do equipamento de carga. O algoritmo de escalonamento de tarefas descrito na secção 3.3 permite evitar colisões de acesso ao ficheiro.

Os últimos três parâmetros representados na Tabela 3.5, pertencem ao grupo denominado de indicadores de interação. Foram introduzidos nos códigos fonte para servir como indicadores de interação locais entre o controlador de comunicação do equipamento de carga e o médulo do EVSEpi. Permitem troca de informação sobre: (1) o início da sessão de comunicação (EVSEinit_Flag), (2) o *loop* de carregamento (EVSEloop_Flag) e (3) o final do carregamento (EVSEend_Flag). Estes indicadores são do tipo booleano, logo, só podem adquirir dois valores “true” ou “false” (verdadeiro ou falso), sendo o seu valor inicial sempre “false”. Têm um papel importante no sincronismo do código de gestão do EVSEpi com o controlador de comunicação do equipamento de carga.

3.5.3. CÓDIGO DE GESTÃO DO EVSEPI

O código de gestão do EVSEpi é o coração do mesmo, pois é nele que são geridas todas informações enviadas e recebidas pela interface homem-máquina do posto de carregamento, assim como as sessões de comunicação em conjunto com o controlador de comunicação do equipamento de carga. Este código foi desenvolvido na linguagem de programação JAVA, e implementa uma máquina de estados finita (FSM), assim como o código de gestão do EVpi. A implementação da máquina de estados finita do código de gestão do EVSEpi é descrita na secção 3.5.3.2.

O seu principal objetivo é gerir o processo de carregamento do posto. Para tal, é necessário ter acesso aos valores limites de tensão e corrente. Estes limites são disponibilizados pelo operador do posto de carregamento, através da interface homem-máquina do posto. Numa situação real estes valores têm em conta os valores permitidos pela rede elétrica, ou pelo banco de baterias (no caso de não existir ligação à rede elétrica). O código de gestão do EVSEpi também é responsável por calcular a energia transferida ao longo de cada carregamento e aplicar a devida tarifa, assim como por enviar a informação relativa aos carregamentos efetuados para um servidor de dados IoT.

De seguida é descrito como são estabelecidos os valores dos limites do posto de carregamento e outros parâmetros importantes, de forma a dinamizá-los quando trocados no sistema de comunicação.

No lado do EVSEpi, o responsável por estabelecer o limite máximo de corrente do carregamento é o código de gestão do EVSEpi. Para tal, o código compara os limites máximos de corrente do EVSE ($EVSE_{MaximumCurrentLimit}$ em A) e do EV ($EV_{MaximumCurrentLimit}$ em

A) fornecidos através das respetivas HMI. O valor do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE, depois da troca de parâmetros, é estabelecido através do algoritmo da Figura 3.22.

```

se ( EVMaximumCurrentLimit > EVSEMaximumCurrentLimit )
    EVSEMaximumCurrentLimit = EVSEMaximumCurrentLimit;
senão EVSEMaximumCurrentLimit = EVMaximumCurrentLimit;

```

Figura 3.22 - Algoritmo do Limite Máximo de Corrente do Suportado pelo EVSE

O valor da corrente de carregamento do EVSE ($EVSE_{PresentCurrent}$ em A) adota o valor da corrente de carregamento do veículo elétrico ($EV_{TargetCurrent}$ em A), como é possível verificar na equação 3.7. O valor da corrente de carregamento do EV é estabelecido através do algoritmo da Figura 3.11, descrito na secção 3.4.3.1.

$$EVSE_{PresentCurrent} = EV_{TargetCurrent} \quad (3.7)$$

No lado do EVSEpi, o responsável por estabelecer o limite máximo de tensão do carregamento é o código de gestão do EVSEpi. Para tal, o código compara os limites máximos de tensão do EVSE ($EVSE_{MaximumVoltageLimit}$ em V) e do EV ($EV_{MaximumVoltageLimit}$ em V) fornecidos através das respetivas HMI. O valor do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE, depois da troca de parâmetros, é estabelecido através do algoritmo da Figura 3.23.

```

se ( EVMaximumVoltageLimit > EVSEMaximumVoltageLimit )
    EVSEMaximumVoltageLimit = EVSEMaximumVoltageLimit;
senão EVSEMaximumVoltageLimit = EVMaximumVoltageLimit;

```

Figura 3.23 - Algoritmo do Limite Máximo de Tensão do Suportado pelo EVSE

O valor da tensão de carregamento do EVSE ($EVSE_{PresentVoltage}$ em V) adota o valor da tensão de carregamento do veículo elétrico ($EV_{TargetVoltage}$ em V), como é possível verificar na equação 3.8. O valor da tensão de carregamento do EV é estabelecido através do algoritmo da Figura 3.13, descrito na secção 3.4.3.1.

$$EVSE_{PresentVoltage} = EV_{TargetVoltage} \quad (3.8)$$

Depois de estabelecidos os valores do limite máximo de corrente e do limite máximo de tensão suportados pelo EVSE respetivamente segundo os algoritmos da Figura 3.22 e da

Figura 3.23, pode ser estabelecido o valor do limite máximo de potência suportado pelo EVSE ($EVSE_{MaximumPowerLimit}$ em kW) através da equação 3.9.

$$EVSE_{MaximumPowerLimit} = \frac{EVSE_{MaximumCurrentLimit} \times EVSE_{MaximumVoltageLimit}}{1000} \quad (3.9)$$

O valor da potência de carregamento do EVSE ($EVSE_{PresentPower}$ em kW) é estabelecido através do produto do valor da corrente de carregamento do EVSE com o valor da tensão de carregamento do EVSE como é possível verificar na equação 3.10. É de referir que o $EVSE_{PresentPower}$ não é um parâmetro do protocolo de comunicação da norma ISO 15118.

$$EVSE_{PresentPower} = \frac{EVSE_{PresentCurrent} \times EVSE_{PresentVoltage}}{1000} \quad (3.10)$$

O valor da energia elétrica transferida durante o *loop* de carregamento ($Loop_{Energy}$ em kWh) é estabelecido através do produto da corrente de carregamento do EVSE, com a tensão de carregamento do EVSE e o tempo de duração do *loop* de carregamento ($LoopTime$) como é possível verificar na equação 3.11.

$$Loop_{Energy} = \frac{EVSE_{PresentCurrent} \times EVSE_{PresentVoltage} \times LoopTime}{3600 \times 1000} \quad (3.11)$$

O valor da energia elétrica transferida durante o carregamento ($Charge_{Energy}$ em kWh) é obtido através do somatório do valor da energia transferida durante o *loop* de carregamento, desde o início do carregamento (n° de loops = 0), até ao último *loop* de carregamento em este valor for solicitado (n° de loops) como é possível verificar na equação 3.12.

$$Charge_{Energy} = \sum_{n^\circ \text{ loops}=0}^{n^\circ \text{ loops}} (Loop_{Energy}) \quad (3.12)$$

Para o cálculo de tarifas, foi utilizado como suporte os preços tabelados pela Galp [35]. As tarifas praticadas pela Galp são do tipo tri-horária de ciclo diário, onde o utilizador paga a energia elétrica com três preços distintos, e onde cada preço corresponde a um período horário. Esses três períodos horários são denominados de: (1) horas de vazio, no qual a energia elétrica tem um custo mais reduzido, (2) horas de ponta, no qual a energia elétrica tem o custo mais elevado, e (3) horas cheias, onde a energia elétrica tem um custo intermédio entre os períodos de horas de vazio e horas de ponta.

Na Tabela 3.6 é possível observar os custos de energia elétrica por kWh praticados pela Galp, referentes a cada um desses períodos.

Tabela 3.6 - Tarifas Aplicadas

Tarifa tri-horária (€/kWh)		
Vazio	Cheias	Ponta
0,1575	0,2289	0,2377

Sendo esta tarifa de ciclo diário, os seus períodos são agregados ao longo de um dia do ano. Existem dois ciclos diários, em que o essa agregação é realizada de modo diferente, o ciclo diário de inverno e o ciclo diário de verão, como é possível observar na Figura 3.24. O ciclo diário de inverno começa no último domingo de outubro e o ciclo diário de verão começa no último domingo de março.

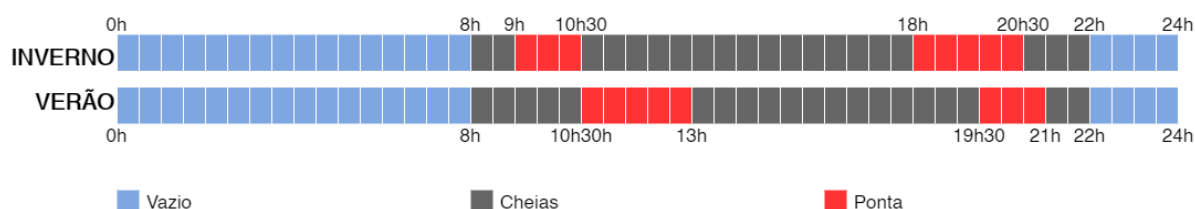


Figura 3.24 - Ciclo Diário da Tarifa

O código de gestão do EVSEpi implementa estas tarifas e para estabelecer o valor do custo da energia elétrica transferida durante o *loop* de carregamento ($Energy_{Cost}$ em €), relaciona o valor da energia elétrica transferida durante o *loop* de carregamento com o valor da tarifa no período horário ($Tariff_{PeriodCost}$ em €/kWh) no momento do respetivo *loop* de carregamento, como é possível verificar na equação 3.13.

$$Energy_{Cost} = Loop_{Energy} \times Tariff_{PeriodCost} \quad (3.13)$$

O valor do custo da energia elétrica transferida durante o carregamento ($Charge_{EnergyCost}$ em €) é estabelecido através do somatório do valor do custo de energia transferida durante o *loop* de carregamento, desde o início do carregamento (n° de loops = 0), até ao último *loop* de carregamento em este valor for solicitado (n° de loops) como é possível verificar na equação 3.14.

$$Charge_{EnergyCost} = \sum_{n^{\circ} \text{ loops} = 0}^{n^{\circ} \text{ loops}} (Energy_{Cost}) \quad (3.14)$$

3.5.3.1. SERVIDOR DE DADOS IOT

Neste sistema a informação relativa a cada carregamento é enviada para um servidor de dados IoT, através do código de gestão do EVSEpi. O servidor IoT usado para guardar os dados é Emoncms. O Emoncms é uma aplicação web, de código aberto, especialmente desenvolvido para a monitorização de informação relacionada com a energia elétrica, com a temperatura e com outra informação ambiental. Através deste servidor, é possível gerar gráfico de visualização dos parâmetros de carregamento ao longo do tempo. Estes gráficos temporais são extremamente importantes para o operador do posto de carregamento (CPO), pois através deles pode acompanhar todas as informações, que estiveram, e estão a ser processadas no posto de carregamento.

A monitorização de informação relativa ao carregamento aqui mencionada, refere-se à monitorização dos parâmetros usados no sistema de comunicação, nomeadamente (1) a corrente de carregamento do EVSE (EVSEPresentCurrent), (2) o limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit) resultante do algoritmo da Figura 3.22, (3) o limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMinimumCurrentLimit), (4) a tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage), (5) o limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit) resultante do algoritmo da Figura 3.23, (6) o limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMinimumVoltageLimit), (7) a potência de carregamento do EVSE (EVSEPower), (8) o limite máximo de potência do EVSE (EVSEMaximumPowerLimit), (9) o estado de carga da bateria do veículo elétrico (EVRESSSoC), (10) energia transferida durante o carregamento (ChargeEnergy), (11) o custo da energia transferida durante o carregamento (ChargeEnergyCost) e (12) o período horário da tarifa (TariffPeriod).

O último parâmetro, o período horário da tarifa, diz respeito às horas de vazio, horas cheias e horas de ponta. Sendo que o servidor de dados Emoncms apenas recebe valores numéricos, cada um desses períodos horários é representado por um indicador numérico. O indicador 1 corresponde ao período horário de horas de vazio, o indicador 2 corresponde ao período horário de horas cheias e o indicador 3 corresponde ao período horário de horas de ponta.

3.5.3.2. MÁQUINA DE ESTADOS FINITA DO CÓDIGO DE GESTÃO DO EVSEPI

O código de gestão do EVSEpi implementa uma máquina de estados finita (FSM), constituída por cinco estados, conforme o diagrama presente na Figura 3.25.

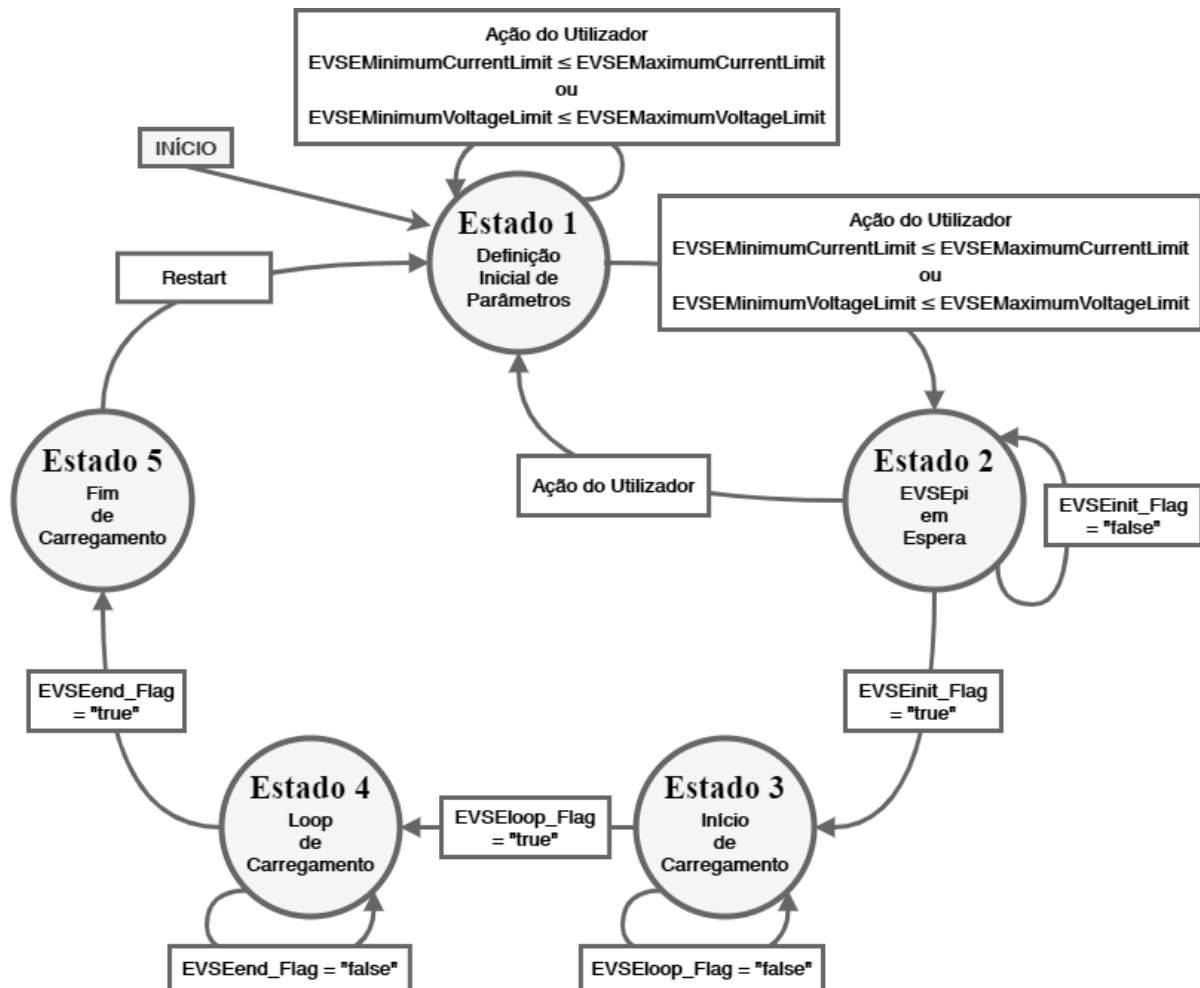


Figura 3.25 - Diagrama de Estados do Código de Gestão do EVSEpi

Os estados do código de gestão do EVSEpi são:

- Estado 1 – definição inicial de parâmetros;
- Estado 2 – EVSEpi em espera;
- Estado 3 – início de carregamento;
- Estado 4 – *loop* de carregamento;
- Estado 5 – fim de carregamento.

Cada um destes cinco estados é constituído por um conjunto de tarefas desempenhadas pelo código de gestão do EVSEpi. De seguida são descritos os cinco estados e os seus correspondentes conjuntos de tarefas.

ESTADO 1 – DEFINIÇÃO INICIAL DE PARÂMETROS

O código de gestão do EVSEpi é sempre iniciado no estado 1 denominado de definição inicial de parâmetros. Neste primeiro estado o operador do posto de carregamento começa por definir, através da interface homem-máquina do posto, o valor do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit), o valor do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMinimumCurrentLimit), o valor do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit) e o valor do limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMinimumVoltageLimit). O código de gestão do EVSEpi, neste estado, é responsável por aceitar estes valores definidos a partir da HMI do posto de carregamento. Os valores só são aceites pelo mesmo se estiverem enquadrados na gama de valores apresentada na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Gama de Valores dos Parâmetros Iniciais do EVSE

Gama de Valores dos Parâmetros Iniciais do EVSE
$16 \text{ A} \leq \text{EVSEMaximumCurrentLimit} \leq 250 \text{ A}$
$2 \text{ A} \leq \text{EVSEMinimumCurrentLimit} \leq 32 \text{ A}$
$48 \text{ V} \leq \text{EVSEMaximumVoltageLimit} \leq 1000 \text{ V}$
$45 \text{ V} \leq \text{EVSEMinimumVoltageLimit} \leq 240 \text{ V}$

Depois do utilizador dar indicação, através da interface homem-máquina do posto, para o código de gestão do EVSEpi transitar de estado, ainda é realizada uma verificação aos valores dos limites inseridos pelo mesmo. Sempre que o valor do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE for maior ou igual ao valor do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE ou o valor do limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE for maior ou igual ao valor do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE, o EVCCpi permanece no primeiro estado e solicita de nova definição inicial de parâmetros ao utilizador. Se o valor do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE for menor que o valor do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE e o valor do limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE for menor que o valor do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE, o EVSEpi transita do estado 1 para o estado 2.

ESTADO 2 – EVSEPI EM ESPERA

No estado 2, denominado de EVSEpi em espera, o código de gestão do EVSEpi começa por apagar o ficheiro log do controlador de comunicação do equipamento de carga, referente à sessão de comunicação anterior, e atualizar os valores dos indicadores de interação de início

de sessão de comunicação (EVSEinit_Flag), de início de loop de carregamento (EVSEloop_Flag) e de final de carregamento (EVSEend_Flag) para “false”, de forma preparar-se para receber uma nova sessão de comunicação. De seguida todos os parâmetros são atualizados para os seus respetivos tipos de variável e enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento pelo código de gestão do EVSEpi. Então o código de gestão do EVSEpi dá a ordem ao SECC para iniciar a espera por comunicação da parte do EVCC.

Enquanto o SECC aguarda por estabelecer uma nova sessão de comunicação com o EVCC, o código de gestão do EVSEpi solicita a lista do ficheiro de parâmetros do posto, de segundo a segundo, para verificar o valor do indicador de interação de início de sessão de comunicação. Enquanto o valor deste indicador apresentar o valor “false” não existe mudança de estado por parte do código de gestão do EVSEpi.

Por sua vez, momentos antes de dar início à sessão de comunicação, o SECC altera o seu valor do indicador de “false” para “true” e envia-o para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento. Sendo a mudança de valor do indicador de interação de início de sessão de comunicação do posto o responsável pela transição de estado do código de gestão do EVSEpi, este ao aceder à lista do ficheiro de parâmetros e atualizar o seu valor do indicador de “false” para “true”, transitando do estado 2 para o estado 3.

Sendo que o código de gestão do EVSEpi pode estar no segundo estado por tempo indeterminado (no caso de não haver uma nova sessão de comunicação), o utilizador tem a opção de fazer com que o código volte ao estado inicial. Enquanto o código estiver no segundo estado, o utilizador pode parar a espera por nova sessão de comunicação através da interface homem-máquina do posto. Por sua vez, o código de gestão do EVSEpi recebe a informação da HMI do posto e transita do estado 2 para o estado 1.

ESTADO 3 – INÍCIO DE CARREGAMENTO

No terceiro estado, denominado de início de carregamento, o código de gestão do EVSEpi começa por solicitar à lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento os valores dos parâmetros do EV trocados até ao momento. Esses parâmetros são o identificador único do controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCCID), o limite máximo de corrente suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit) e o limite máximo de tensão suportado pelo EV (EVMaximumVoltageLimit).

São encontrados os novos valores do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit) através do algoritmo da Figura 3.22, do limite máximo de

tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit) através do algoritmo da Figura 3.23 e do limite máximo de potência suportado pelo EVSE (EVSEMaximumPowerLimit) através da equação 3.9. É encontrado ainda o período horário da tarifa (TariffPeriod), assim como o seu custo (TariffPeriodCost). De seguida todos os parâmetros são atualizados para os seus respetivos tipos de variável e enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento pelo código de gestão do EVSEpi. Neste momento, o código de gestão do EVSEpi também envia a informação de início de carregamento para o servidor de dados IoT.

O código de gestão do EVSEpi solicita a lista do ficheiro de parâmetros do posto, de segundo a segundo, para verificar o valor do indicador de interação de início de *loop* de carregamento. Enquanto o valor deste indicador apresentar o valor “false” não existe mudança de estado por parte do código de gestão do EVSEpi.

Por sua vez, momentos antes de dar início à troca de mensagens V2G com o EVCC referentes ao *loop* de carregamento, o SECC altera o valor do indicador de “false” para “true” e envia-o para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento. Sendo a mudança de valor do indicador de interação de início de *loop* de carregamento o responsável pela transição de estado do código de gestão do EVSEpi, este ao aceder à lista do ficheiro de parâmetros e atualizar o seu valor do indicador de “false” para “true”, transitando do estado 3 para o estado 4.

ESTADO 4 – LOOP DE CARREGAMENTO

No estado 4, denominado *loop* de carregamento, o código de gestão do EVSEpi obtém, através do controlador de comunicação do equipamento de carga, os parâmetros do tempo restante para o carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC), da corrente de carregamento do EV (EVTargetCurrent), da tensão de carregamento do EV (EVTargetVoltage) e do estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC). Em seguida, o código estabelece os valores da corrente de carregamento do EVSE (EVSEPresentCurrent) através da equação 3.7, da tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage) através da equação 3.8, da potência de carregamento do EVSE (EVSEPresentPower) através da equação 3.10, da energia elétrica transferida durante o carregamento (ChargeEnergy) através da equação 3.12, e do custo da energia elétrica transferida durante o carregamento (ChargeEnergyCost) através da equação 3.14. Estes parâmetros são calculados, a duração do *loop* de carregamento, neste caso 5 segundos. De seguida todos os parâmetros são atualizados para os seus respetivos tipos de variável e enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento pelo código de gestão do EVSEpi.

Durante o *loop* de carregamento, o código de gestão do EVSEpi também atualiza os parâmetros para os seus respetivos tipos de variável e envia para a lista do ficheiro de parâmetros do EV. Assim o controlador de comunicação do equipamento de carga tem acesso a parâmetros atualizados de 5 em 5 segundo para enviar para o controlador de comunicação do veículo de carga.

No final de cada *loop* de carregamento o código de gestão do EVSEpi solicita a lista do ficheiro de parâmetros do posto, para verificar o valor do indicador de interação de final de carregamento. Enquanto o valor deste indicador apresentar o valor “false” não existe mudança de estado por parte do código de gestão do EVSEpi.

Por sua vez, momentos antes de terminar a sessão de comunicação, o SECC altera o seu valor do indicador de “false” para “true” e envia-o para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento. Sendo a mudança de valor do indicador de interação de final de carregamento o responsável pela transição de estado do código de gestão do EVSEpi, este ao aceder à lista do ficheiro de parâmetros e atualizar o seu valor do indicador de “false” para “true”, transitando do estado 4 para o estado 5.

No estado 4, o código de gestão do EVSEpi ainda é responsável por enviar a informação relativa ao carregamento para o servidor de dados IoT. Esta informação é enviada com uma periodicidade de 1 em 1 minuto, ou seja, de 12 em 12 *loops* de carregamento.

ESTADO 5 – FIM DE CARREGAMENTO

No estado 5, denominado de fim de carregamento, o código de gestão do EVSEpi começa por encontrar os novos valores da corrente de carregamento do EVSE (EVSEPresentCurrent), da tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage) e da potência de carregamento do EVSE (EVSEPresentPower) para o final do carregamento. Neste caso o novo valor destes parâmetros será zero. De seguida, ligação entre o controlador de comunicação do equipamento de carga e o controlador de comunicação do veículo elétrico termina, e todos os parâmetros são atualizados para os seus respetivos tipos de variável e enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do posto de carregamento pelo código de gestão do EVSEpi. Desta forma, o código de gestão do EVSEpi está pronto para uma nova sessão de carregamento.

Ainda são encontrados os valores finais da energia elétrica transferida durante o carregamento (ChargeEnergy), e do custo da energia elétrica transferida durante o carregamento (ChargeEnergyCost), que embora não sejam enviados para a lista do ficheiro de parâmetros do posto, são enviados para o servidor de dados IoT, em conjunto com o resto dos parâmetros como descrito na secção 3.5.3.1.

Posto isto, o código de gestão do EVSEpi é atualiza todas as suas variáveis para os seus valores iniciais, e terminar os processos que foram inicializados durante a sessão de comunicação anterior, de forma a que uma nova sessão de comunicação possa ser iniciada em seguida. Basicamente é feito um *restart*. Depois dessa atualização, o código de gestão do EVSEpi aguarda 10 segundo e transita para o estado 1, ou seja, transita para o seu estado inicial.

3.5.4. INTERFACE HOMEM-MÁQUINA DO POSTO DE CARREGAMENTO

Nesta secção é descrito como foi implementada a interface homem máquina do posto de carregamento. O seu código fonte foi desenvolvido em linguagem de programação JAVA, com auxílio da ferramenta de interface gráfica do utilizador (*grafical user interface*, GUI) Swing do Netbeans IDE, e é gerido pelo código de gestão do EVSEpi. Então, esta HMI implementa a mesma máquina de estados finita (FSM) que o código de gestão do EVSEpi (secção 3.4.3) e conforme o diagrama de estados presente na Figura 3.25. As tarefas da interface homem-máquina do posto de carregamento para cada estado da FSM são descritas de seguida.

3.5.4.1. ESTADO 1 – DEFINIÇÃO INICIAL DE PARÂMETROS



Figura 3.26 - HMI EVSE Definição Inicial de Parâmetros

No estado 1 do código de gestão do EVSEpi, denominado de definição inicial de parâmetros, a interface homem-máquina é responsável por apresentar a tela de parametrização

inicial do posto de carregamento (Figura 3.26). Nesta tela são estabelecidos os valores do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (1) (EVSEMaximumCurrentLimit), do limite mínimo de corrente suportado pelo EVSE (2) (EVSEMinimumCurrentLimit), do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (3) (EVSEMaximumVoltageLimit) e do limite mínimo de tensão suportado pelo EVSE (4) (EVSEMinimumVoltageLimit). Estes parâmetros são estabelecidos, individualmente, através do seu respetivo *slider* (5), (6), (7) e (8). Cada *slider* está limitado a um intervalo de valores que podem ser consultados na Tabela 3.7, presente na secção 3.5.3.2.

Assim que definidos os parâmetros iniciais, o botão (9) “iniciar EVSE”, é responsável pelo envio da informação para o código de gestão do EVSEpi, e conseqüente início de espera do SECC por uma comunicação vinda pela parte do EVCC. Então, assim que o botão “iniciar EVSE” for pressionado, a informação definida através da interface homem-máquina do posto é enviada para o código de gestão do EVSEpi, onde é processada.

3.5.4.2. ESTADO 2 – EVSEPI EM ESPERA



Figura 3.27 - HMI EVSE EVSEpi em Espera

No estado 2 do código de gestão do EVSEpi, denominado de EVSEpi em espera, a interface homem-máquina apresenta uma nova tela, a tela de carregamento do posto (ver Figura 3.27). Esta tela é usada para todos os estados menos o primeiro. Embora esta tela apresente informação relativa ao carregamento e à sessão de comunicação, neste segundo estado a comunicação entre o SECC e o EVCC ainda não está estabelecida. Então, o código de gestão do EVSEpi apenas disponibiliza a informação da barra de informação de estado da tela de

carregamento do EV (1) e do identificador único do equipamento de carga do veículo elétrico (2) (EVSEID).

Enquanto não é estabelecida uma nova sessão de comunicação entre os controladores de comunicação, o utilizador ainda tem a opção de definir novos limites de tensão e corrente. Ao pressionar o botão (3) “parar EVSE”, o utilizador faz com que o código de gestão do EVSEpi transite para o estado 1, onde podem ser definidos esses limites de novo.

A tela de carregamento da interface homem-máquina do posto de carregamento, neste estado apresenta um fundo preto, e a barra de informação da tela de carregamento do EV apresenta a mensagem “aguardando veículo...”.

3.5.4.3. ESTADO 3 – INÍCIO DE CARREGAMENTO



Figura 3.28 - HMI EVSE Início de Carregamento

No estado 3 do código de gestão do EVSEpi, denominado de início de carregamento, o controlador de comunicação do equipamento de carga já estabeleceu uma sessão de comunicação com o controlador de comunicação do veículo elétrico.

Em termos de apresentação, este estado apenas difere do segundo na mensagem da barra de informação da tela de carregamento. Neste estado a barra de informação apresenta a mensagem “a iniciar carregamento...” como é possível observar na Figura 3.28.

3.5.4.4. ESTADO 4 – LOOP DE CARREGAMENTO



Figura 3.29 - HMI EVSE Loop de Carregamento

Nos estados 4 do código de gestão do EVSEpi, denominado de *loop* de carregamento, a interface homem-máquina do posto apresenta, na sua tela de carregamento, a informação relativa ao carregamento e sessão de comunicação que estão a ser executados no sistema. Esta informação é atualizada na interface homem-máquina do posto de carregamento de 5 em 5 segundos. Neste estado são apresentadas as restantes informações da tela de carregamento como é possível observar na Figura 3.29, sendo elas o estado de carga da bateria do EV (1) (EVRESSSoC), o mesmo estado de carga representado numa barra de progresso (2), o tempo restante para o carregamento completo da bateria do EV (3) (RemainingTimeToFullSoC) apresentado no formato horas-minutos (hh:mm), a corrente de carregamento do EVSE (4) (EVSEPresentCurrent), a tensão de carregamento do EVSE (5) (EVSEPresentVoltage), o identificador único do controlador de comunicação do veículo elétrico (6) (EVCCID), o identificador da sessão de comunicação (7) (SessionID), a energia elétrica transferida durante o carregamento (8) (ChargeEnergy) e o custo da energia elétrica transferida durante o carregamento (9) (ChargeEnergyCost).

A tela de carregamento da interface homem-máquina do posto de carregamento, neste estado apresenta um fundo azul, e a sua barra de informação apresenta a mensagem “em carregamento...”, como é possível observar na representação A da Figura 3.29. Ainda no *loop* de carregamento, o valor do tempo restante para carregamento completo é escondido quando o estado de carga da bateria do EV atinge os 99 % com é possível observar na representação B da Figura 3.29.

3.5.4.5. ESTADO 5 – FIM DE CARREGAMENTO

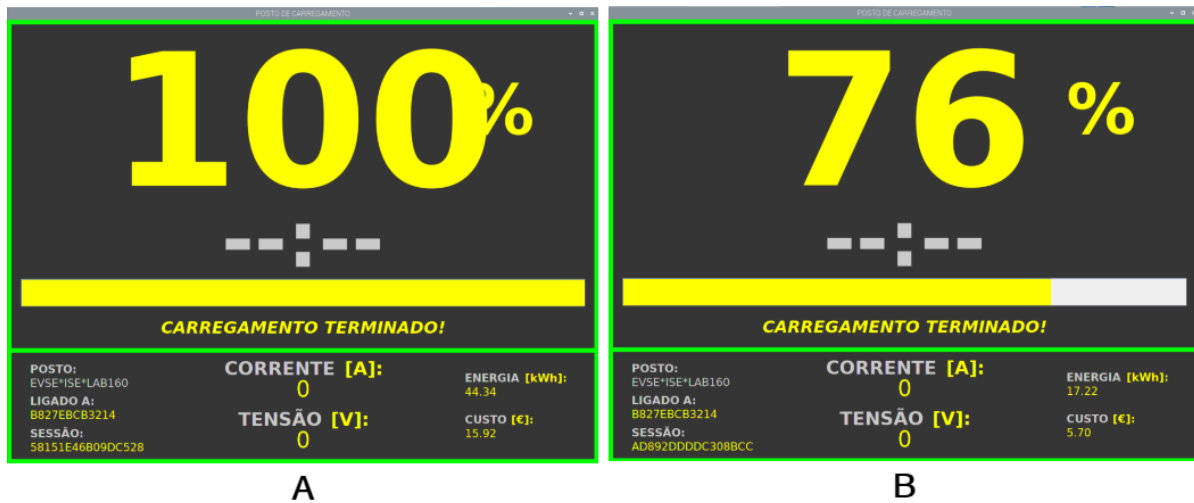


Figura 3.30 - HMI EVSE Fim de Carregamento

No estado 5 do código de gestão do EVSEpi, denominado de fim de carregamento, a interface homem-máquina do posto apresenta na sua tela de carregamento um fundo verde, que representa o carregamento terminado da bateria do veículo elétrico.

Como é possível observar na Figura 3.30, a barra de informação da tela de carregamento do posto apresenta a mensagem “carregamento terminado!” e o valor do tempo restante para o carregamento completo (RemainingTimeToFullSoC) é escondido, pois já não é relevante neste estado. Os parâmetros corrente (EVSEPresentCurrent) e tensão (EVSEPresentVoltage) de carregamento do posto também são apresentados, mas desta vez com o valor 0. O valor do estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) é apresentado a 100 %, no caso em que o veículo elétrico é carregado totalmente, como é possível observar na representação A da Figura 3.30. Havendo uma interrupção de carregamento por parte do utilizador, através da interface homem-máquina do veículo elétrico, o estado da carga da bateria do EV é representado com o valor que o carregamento for interrompido. Este segundo caso é possível observar na representação B da Figura 3.30.

A tela de carregamento da interface homem-máquina do posto no estado 5 do código de gestão do EVpi tem uma duração de 10 segundos de apresentação. Essa duração refere-se à transição do código do quinto estado para o estado inicial, e conseqüentemente o regresso à tela de definição de parâmetros.

4. TESTES E AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DE CARGA

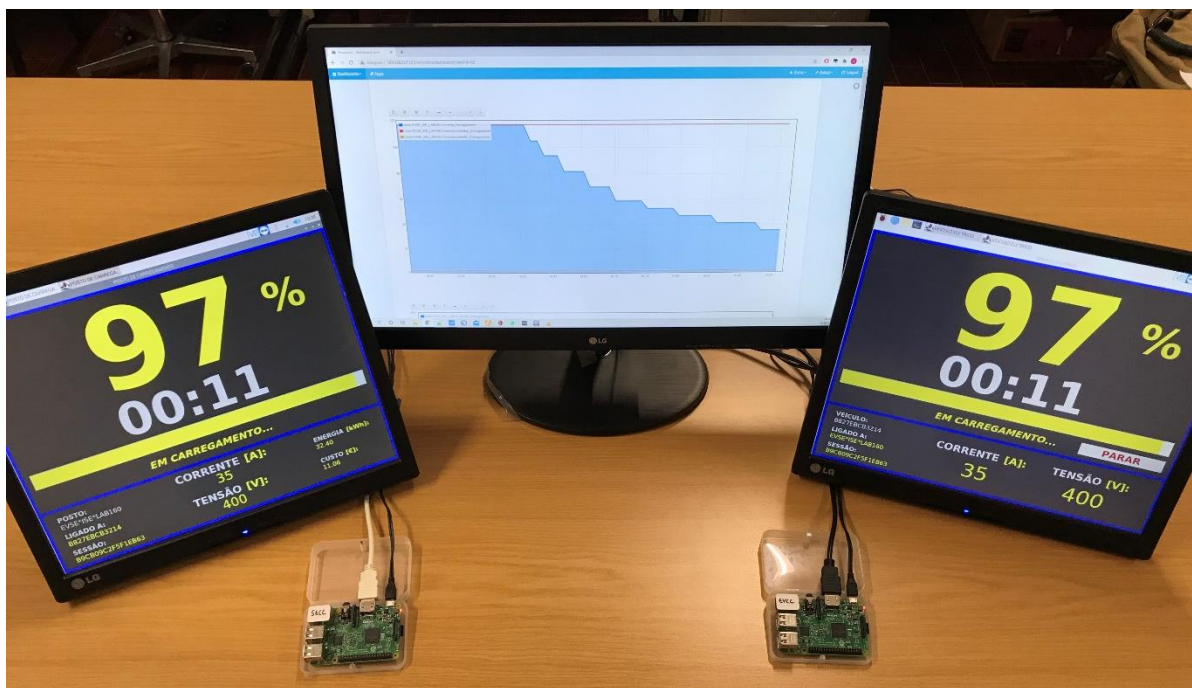


Figura 4.1 - Sistema de Comunicação de Carga

Neste capítulo são realizados os testes de carregamento ao sistema de comunicação de carga implementado. Este sistema está representado na Figura 4.1. No lado esquerdo desta figura é apresentada a interface homem-máquina do posto de carregamento, e um pouco mais abaixo o microcomputador (EVSEpi) responsável por executar o código de gestão do EVSEpi e o código fonte do controlador de comunicação do equipamento de carga. No lado direito da figura é apresentada a interface homem-máquina do veículo elétrico. Um pouco mais abaixo o microcontrolador (EVpi) responsável por executar o código de gestão do EVpi e o código fonte do controlador de comunicação do veículo elétrico. Os ecrãs onde estão apresentadas as respetivas HMI são tácteis, logo tanto o utilizador do EV, como o operador do posto de carregamento podem interagir com os mesmos. Ao centro da figura ainda é apresentada a *dashboard* desenvolvida no servidor de dados IoT (Emoncms) para a visualização de informação referente ao carregamento. A *dashboard* corresponde à página *web* onde são apresentadas as informações, neste caso em formato de gráficos, que o servidor de dados IoT recebe através do posto de carregamento.

Os testes realizados têm como objetivo demonstrar que o funcionamento deste sistema corresponde ao descrito no Capítulo 3. Para tal foram demonstrados vários casos de teste em

que o sistema se comporta de diferentes maneiras. Esses casos são baseados nos parâmetros iniciais do posto de carregamento, nos parâmetros iniciais do veículo elétrico e no período horário. Todos os casos são testados tendo em conta os parâmetros de carregamento da bateria virtual do EV, descritos na Tabela 3.2 na secção 3.4.3.1. Sendo assim, o valor do limite máximo de corrente suportado pelo EV (EVMaximumCurrentLimit) considera-se 117 A para todos os casos, assim como o valor do limite máximo de tensão suportado pelo EV (EVMaximumVoltageLimit) se considera ser 400 V. Desta forma, o único parâmetro variável no início da sessão na interface homem-máquina do EV é o estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC)

Os resultados destas emulações são baseados em gráficos temporais gerados no servidor de dados IoT, com informação de carregamento proveniente do veículo elétrico e do posto de carregamento. Esta informação é enviada com uma periodicidade de 1 minuto (i.e. de minuto a minuto), o que permite observar o dinamismo dos parâmetros do protocolo de comunicação da ISO 15118 ao longo da emulação do carregamento.

4.1. CASO DE TESTE 1

No primeiro caso de teste é realizada uma emulação do carregamento nas condições ideais para a bateria virtual. Assim, foram introduzidos os parâmetros iniciais da Tabela 4.1 através das interfaces homem-máquina do veículo elétrico e do posto de carregamento. Os valores dos parâmetros introduzidos não comprometem o carregamento da bateria do EV, pois o EVSE consegue satisfazer os 117 A e os 400 V necessários. Este teste teve início no período horário de horas de ponta.

Tabela 4.1 - Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 1

Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 1	
Parâmetros Iniciais do Posto de Carregamento	
EVSEMaximumCurrentLimit	125 A
EVSEMinimumCurrentLimit	2 A
EVSEMaximumVoltageLimit	400 V
EVSEMinimumVoltageLimit	120 V
Parâmetros Iniciais do Veículo Elétrico	
EVRESSSoC	10 %

RESULTADOS

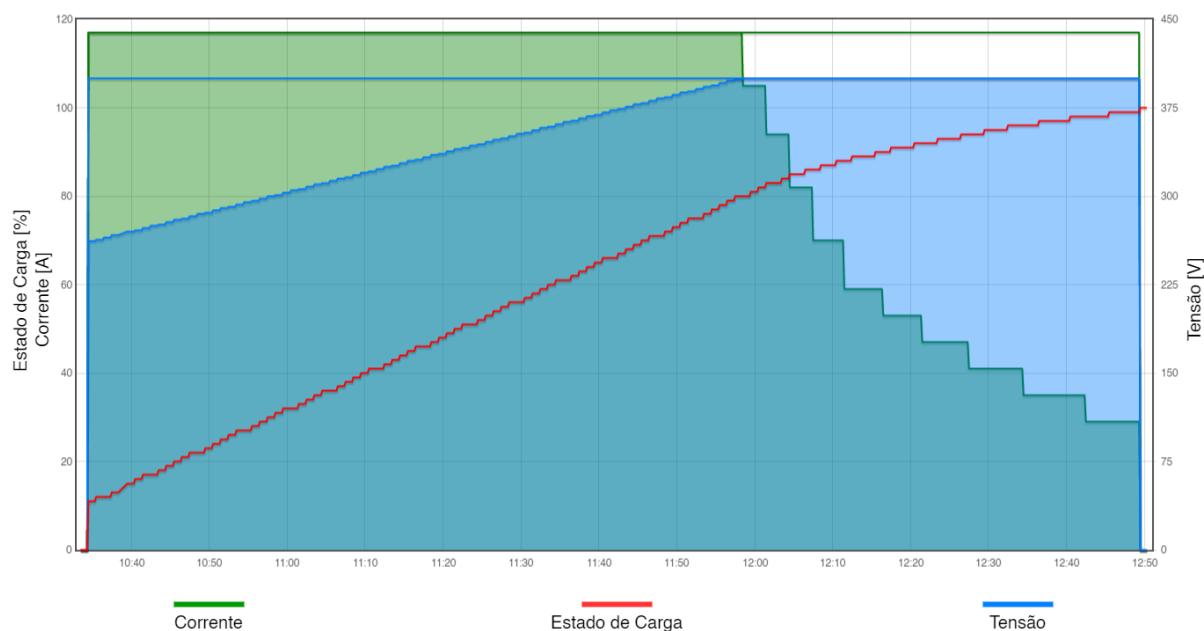


Figura 4.2 - Gráfico Temporal de Carregamento do Teste 1

Na Figura 4.2 está representado o gráfico temporal de carregamento tal como obtido na plataforma de dados IoT, para este caso, onde estão representados os valores da corrente de carregamento do EVSE (EVSEPresentCurrent), da tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage) e do estado de carga da bateria do EV (EVRESSoC). Neste gráfico estão ainda representados os valores do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE (EVSEMaximumCurrentLimit) e do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE (EVSEMaximumVoltageLimit), ambos depois de estabelecer limites de carregamento com o EV, respetivamente pelos algoritmos da Figura 3.22 e da Figura 3.23.

Analisando o gráfico ao detalhe é possível observar que numa primeira fase em que o estado de carga da bateria do EV vai dos 10% até aos 80%, a corrente de carregamento é igual ao valor do seu limite máximo (117 A), e a tensão de carregamento cresce até chegar ao valor do seu limite máximo (400 V) quando o estado de carga é 80%. Numa segunda fase do carregamento a partir dos 80% do estado de carga é possível observar que a tensão de carregamento se mantém constante, mas a corrente inicia uma descida controlada até ao final do carregamento. Esta primeira e segunda fase referem-se, respetivamente, à fase de carregamento rápido realizado pela técnica CC e à fase de carregamento lento realizado pela técnica CV. Através do gráfico também é possível concluir que na fase de carregamento lento, o valor do estado de carga da bateria do EV demora mais tempo a atingir o seu valor máximo, neste caso 100%.

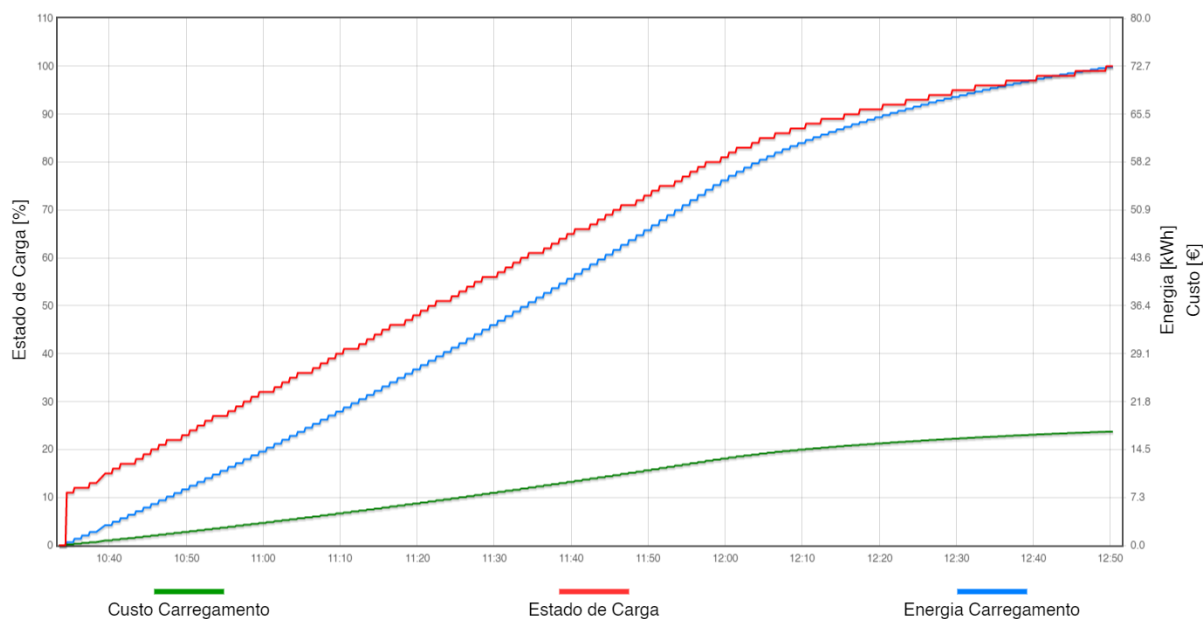


Figura 4.3 - Gráfico Temporal do Custo de Carregamento do Teste 1

Na Figura 4.3 está representado o gráfico temporal do custo de carregamento, também obtido através do servidor de dados IoT, onde estão representadas as curvas da energia transferida durante o carregamento (ChargeEnergy), do estado de carga da bateria do EV (EVRESSSoC) e do custo da energia transferida durante o carregamento (ChargeEnergyCost).

O veículo elétrico inicia a emulação de carga, com um estado de carga de 10%, por volta das 10 horas e 34 minutos e termina a mesma, com um estado de carga de 100%, por volta das 12 horas e 49 minutos. Durante estas 2 horas e 15 minutos o veículo elétrico carregou 90% da sua bateria. Ainda através deste segundo gráfico é possível observar que foram transferidos cerca de 72,7 kWh durante o período de carregamento. Sendo que a capacidade nominal da bateria foi considerada 82 kWh, foram transferidos 72,7 kWh de 82 kWh.

Esta emulação foi realizada num período horário no qual a energia elétrica tem o seu custo mais elevado (horas de ponta), assim os 72,7 kWh transferidos da rede elétrica para a bateria do EV resultam num custo de carregamento de 17,30 € segundo o tarifário aplicado no posto.

4.2. CASO DE TESTE 2

No segundo caso de teste é realizada uma emulação do carregamento também nas condições ideais para a bateria virtual. Assim, foram introduzidos os mesmos parâmetros iniciais da Tabela 4.1. Este teste teve início no período horário de horas de vazio.

RESULTADOS

Os valores da corrente de carregamento do EVSE (EVSEPresentCurrent), da tensão de carregamento do EVSE (EVSEPresentVoltage) e do estado de carga da bateria do EV (EVRESSoC) para este caso seguem o mesmo gráfico temporal de carregamento do caso 1 (Figura 4.2). Assim, retiram-se as mesmas conclusões que no caso 1 em relação ao gráfico de carregamento.

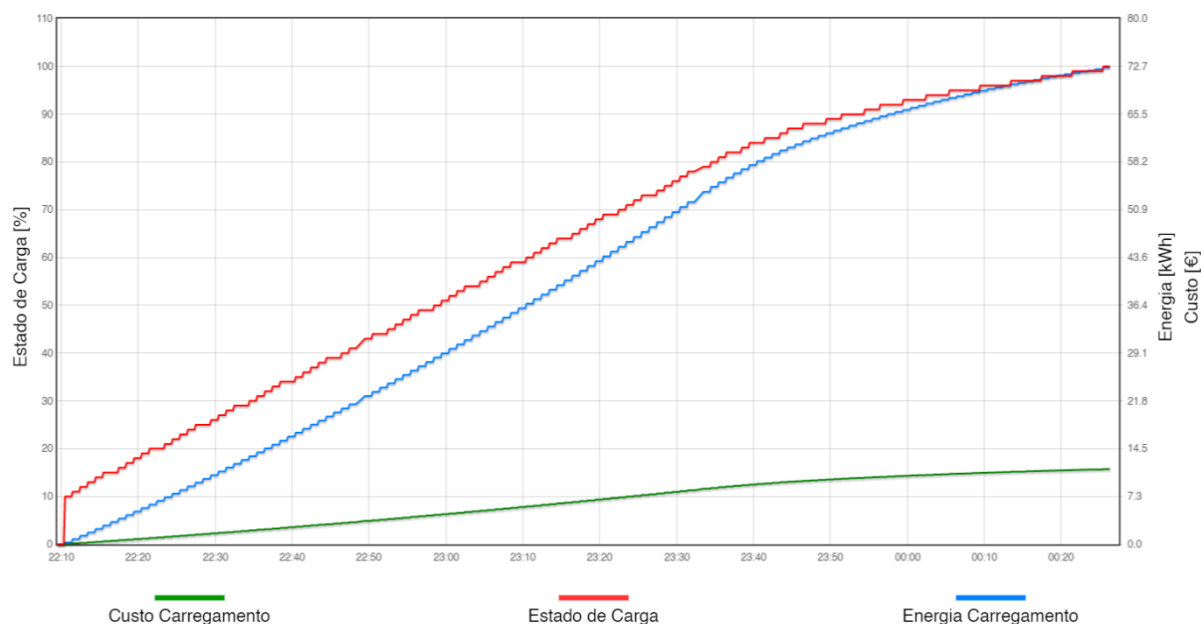


Figura 4.4 - Gráfico Temporal do Custo de Carregamento do Teste 2

A única diferença deste segundo caso para o primeiro é o período horário em que este foi iniciado. Neste caso, o veículo elétrico inicia a emulação de carga da sua bateria, com um estado de 10%, por volta das 22 horas e 10 minutos e termina a mesma, com um estado de carga de 100%, por volta das 00 horas e 25 minutos. Assim, durante as mesmas 2 horas e 15 minutos que o caso 1, o veículo elétrico carregou 90% da sua bateria virtual.

Na Figura 4.4 está representado o gráfico temporal de custo de carregamento para este segundo caso. Segundo gráfico é possível observar foram transferidos cerca de 72,7 kWh durante o período de carregamento, sendo o mesmo valor que no caso anterior.

A emulação de carregamento para o segundo teste foi realizada num período horário no qual a energia elétrica tem o seu custo mais baixo (horas de vazio), assim estes 72,7 kWh transferidos da rede elétrica para a bateria do EV resultam num custo de carregamento de 11,40 € segundo o tarifário aplicado no posto.

Neste teste é possível concluir que ao realizar emulações de carregamentos similares (caso 1 e 2) em períodos horários diferentes, o sistema aplica corretamente os diferentes preços de

tarifas como descrito na secção 3.5.3.2. Também é possível concluir que para dois carregamentos similares o sistema mantém a congruência e apresenta os mesmos valores de tempo de carregamento e de energia elétrica transferida.

4.3. CASO DE TESTE 3

No terceiro caso de teste é realizada uma emulação do carregamento em que as condições não são as ideais para o carregamento da bateria virtual (i.e. não permitem disponibilizar a corrente solicitada pelo EVCC). Foram introduzidos os parâmetros iniciais da Tabela 4.2 através das interfaces homem-máquina do veículo elétrico e do posto de carregamento. Neste caso o EVSE não consegue satisfazer os 117 A solicitados para o carregamento da bateria, então a emulação do carregamento é realizada a 80 A. Este teste teve início no período horário de horas de ponta.

Tabela 4.2 - Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 3

Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 3	
Parâmetros Iniciais do Posto de Carregamento	
EVSEMaximumCurrentLimit	80 A
EVSEMinimumCurrentLimit	2 A
EVSEMaximumVoltageLimit	400 V
EVSEMinimumVoltageLimit	120 V
Parâmetros Iniciais do Veículo Elétrico	
EVRESSoC	15 %

RESULTADOS

Na Figura 4.5 está representado o gráfico temporal de carregamento para este caso, tal como obtido na plataforma de dados IoT. Ao analisar o gráfico é possível observar que na fase de carregamento rápido a corrente de carregamento é igual ao valor do limite máximo aplicado pelo EVSE (80 A), e a tensão de carregamento cresce até chegar ao valor do seu limite máximo (400 V). Na fase de carregamento lento é possível observar que a tensão de carregamento se mantém constante, mas a corrente inicia uma descida controlada até ao final do carregamento.

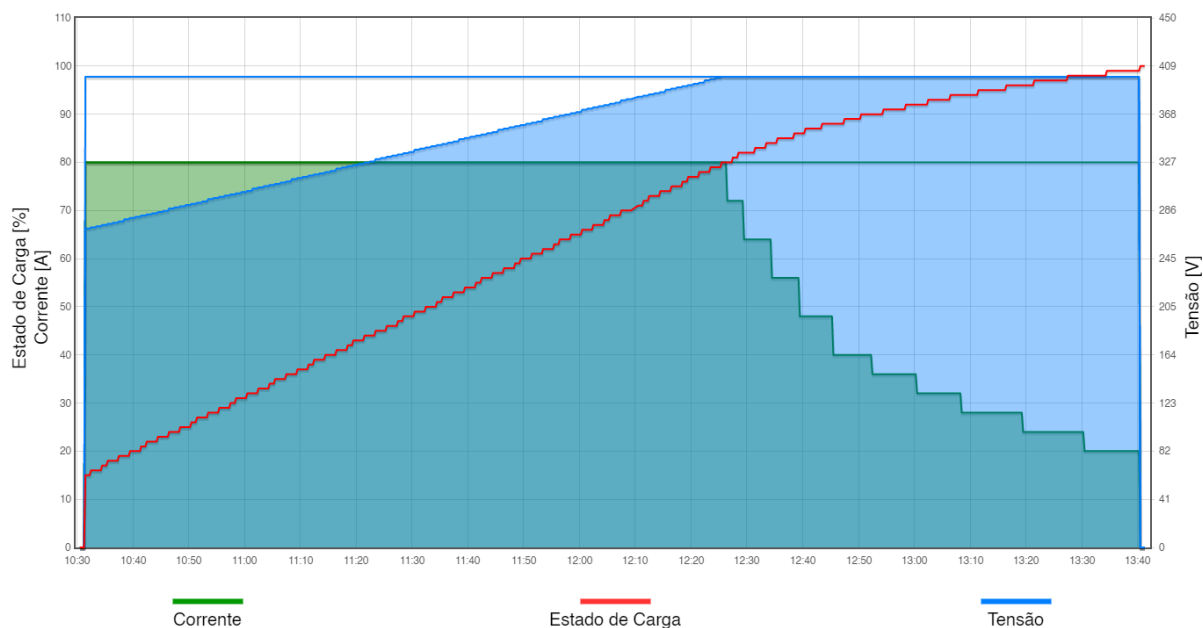


Figura 4.5 - Gráfico Temporal de Carregamento do Teste 3

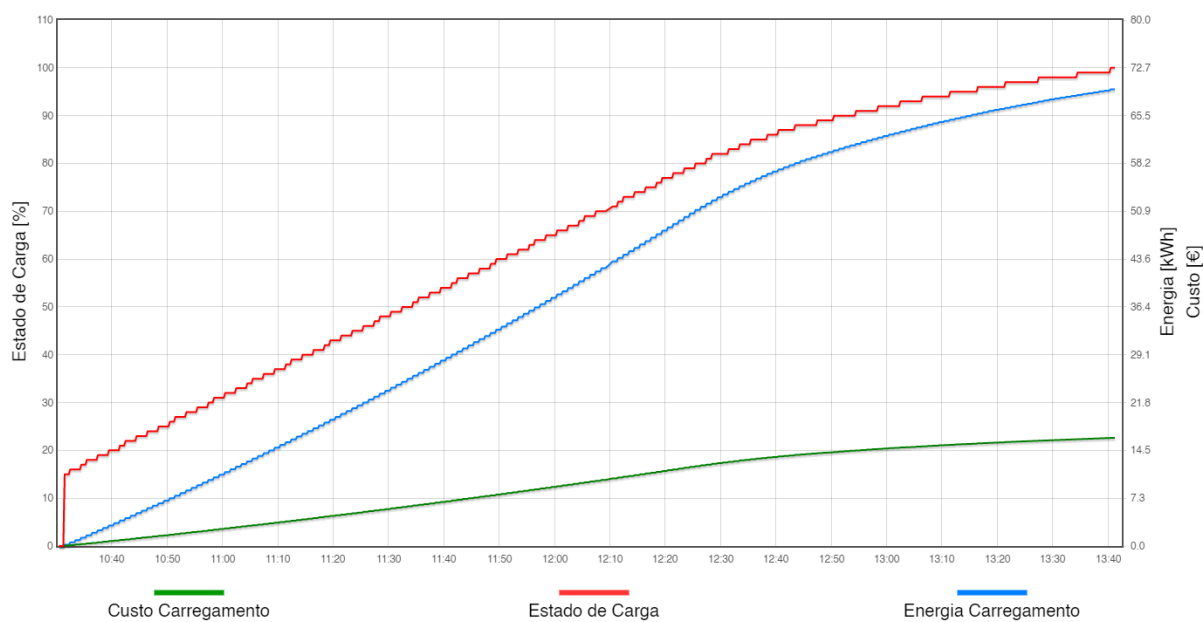


Figura 4.6 - Gráfico Temporal de Custo de Carregamento do Teste 3

Na Figura 4.6 está representado o gráfico temporal do custo de carregamento para este terceiro caso. Neste caso, veículo elétrico inicia a emulação de carga, com um estado de carga de 15%, por volta das 10 horas e 31 minutos e termina a mesma, com um estado de carga de 100%, por volta das 13 horas e 40 minutos. Durante estas 3 horas e 9 minutos o veículo elétrico carregou 85% da sua bateria. Ainda através deste segundo gráfico é possível observar que foram transferidos cerca de 69,5 kWh durante o período de carregamento.

Esta emulação foi realizada num período horário no qual a energia elétrica tem o seu custo mais elevado (horas de ponta), assim os 69,5 kWh transferidos da rede elétrica para a bateria do EV resultam num custo de carregamento de 16,50 € segundo o tarifário aplicado no posto.

Com este teste foi possível verificar que quando existe uma limitação na corrente de carga, o sistema adapta-se aumentando o tempo de carregamento para conseguir concluir a carregamento completo da bateria.

4.4. CASO DE TESTE 4

No quarto caso de teste é realizada uma emulação do carregamento em que as condições, como no terceiro caso, não permitem disponibilizar a corrente solicitada pelo EVCC. Foram introduzidos os parâmetros iniciais da Tabela 4.3 através das interfaces homem-máquina do veículo elétrico e do posto de carregamento. Neste caso o EVSE também não consegue satisfazer os 117 A solicitados para o carregamento da bateria do EV, sendo a emulação do carregamento realizada com um limite de corrente de 32 A.

Tabela 4.3 - Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 4

Parâmetros Iniciais do Caso de Teste 4	
Parâmetros Iniciais do Posto de Carregamento	
EVSEMaximumCurrentLimit	32 A
EVSEMinimumCurrentLimit	2 A
EVSEMaximumVoltageLimit	400 V
EVSEMinimumVoltageLimit	120 V
Parâmetros Iniciais do Veículo Elétrico	
EVRESSoC	15 %

RESULTADOS

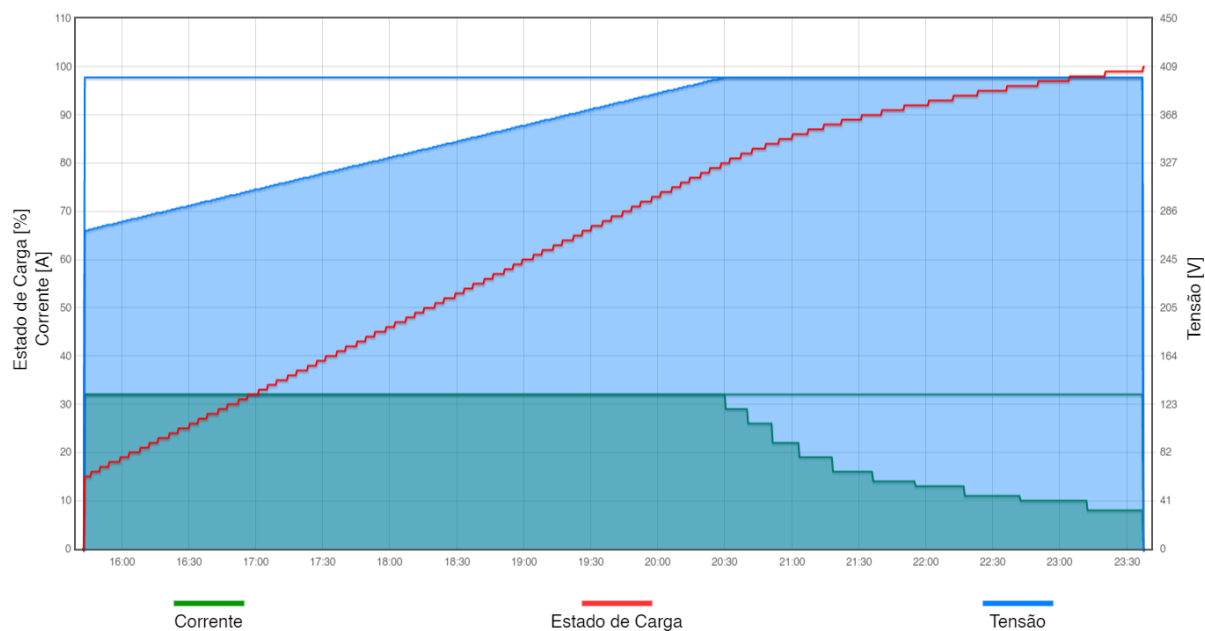


Figura 4.7 - Gráfico Temporal de Carregamento do Teste 4

Na Figura 4.7 está representado o gráfico temporal de carregamento para este quarto caso, tal como obtido na plataforma de dados IoT. Ao analisar o gráfico é possível observar que na fase de carregamento rápido a corrente de carregamento é igual ao valor do limite máximo aplicado pelo EVSE (32 A), e a tensão de carregamento cresce até chegar ao valor do seu limite máximo (400 V). Na fase de carregamento lento é possível observar que a tensão de carregamento se mantém constante, mas a corrente inicia uma descida controlada até ao final do carregamento.

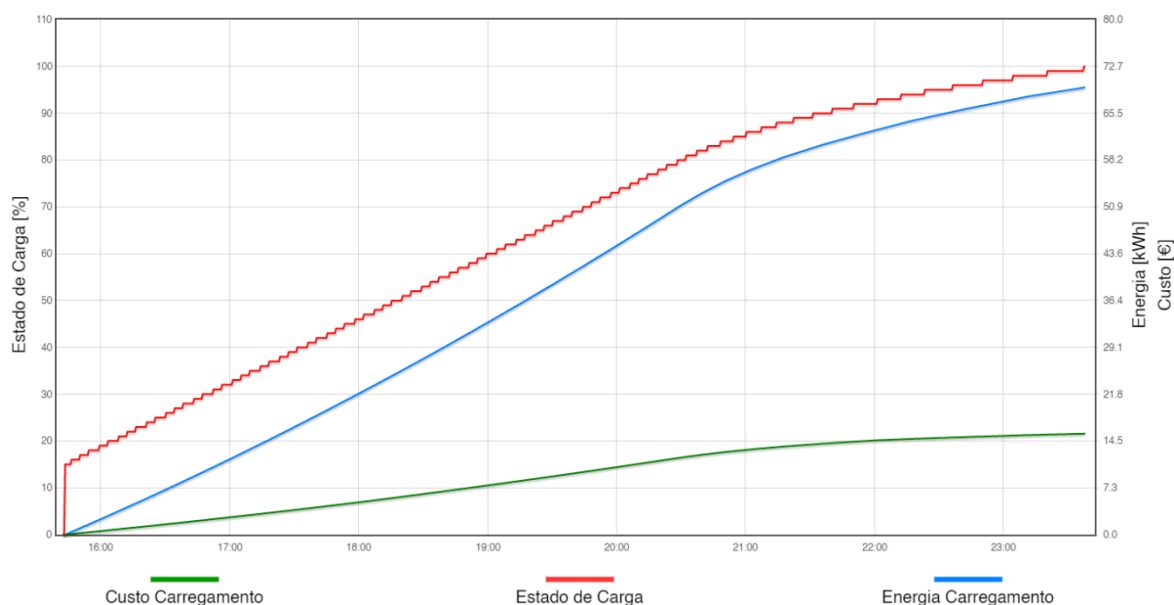


Figura 4.8 - Gráfico Temporal de Custo de Carregamento do Teste 4

O gráfico temporal do custo de carregamento para o quarto caso está representado na Figura 4.8. Neste caso, veículo elétrico inicia a emulação de carga, com um estado de carga de 15%, por volta das 15 horas e 43 minutos e termina a mesma, com um estado de carga de 100%, por volta das 23 horas e 37 minutos. Durante estas 7 horas e 54 minutos o veículo elétrico carregou 85% da sua bateria. Ainda através deste segundo gráfico do terceiro caso, é possível observar que foram transferidos cerca de 69,5 kWh durante o período de carregamento.

Esta emulação foi realizada num período horário no qual a energia elétrica varia o seu custo entre os três períodos (horas de vazio, horas cheias e horas de ponta). Assim, os 69,5 kWh transferidos da rede elétrica para a bateria do EV resultam num custo de carregamento de 15,70 € segundo o tarifário aplicado no posto.

Com este quarto teste foi possível verificar, assim como no terceiro, que quando existe uma limitação na corrente de carga, o sistema adapta-se aumentando o tempo de carregamento para conseguir concluir a carregamento completo da bateria.

4.5. AVALIAÇÃO CONJUNTA

Nesta secção foi realizada a avaliação conjunta aos quatro casos de teste realizados ao sistema de carga. Tendo em conta os gráficos temporais de carregamento dos casos analisados, pode-se verificar que o comportamento dos valores da corrente e da tensão de carregamento do sistema seguem o comportamento descrito na aproximação da estratégia de carga CC-CV descrita na Figura 3.9 presente na secção 3.4.3.1.

O sistema estabelece o mesmo tempo de carregamento para emulações de carregamento idênticas (caso 1 e 2). Tendo sido desprezados alguns fatores influenciadores como, por exemplo a temperatura de carregamento da bateria, o comportamento do sistema quanto a este aspeto é o esperado, pois os parâmetros iniciais de carregamento são iguais e não são disponibilizados como recurso mais fatores que poderiam vir a desequilibrar o valor do tempo [33].

Por outro lado, é fundamental ter em conta o tempo da emulação do carregamento. Supondo que um carregamento real, que venha a implementar este sistema dure cerca de 8 horas, a troca de mensagens terá que manter-se durante esse período de carregamento. No quarto caso é demonstrado uma emulação de carregamento durante cerca de 8 horas, sendo os gráficos obtidos nesse teste gerados pelo servidor de dados IoT. O código de gestão do EVSEpi é o

responsável por enviar a informação para o servidor, podendo-se concluir que do início ao fim desta emulação de carregamento (de 8 horas de duração), a comunicação se manteve estável. Conclui-se então que o sistema consegue manter a comunicação através de mensagens V2G, no mínimo, durante um carregamento de 8 horas.

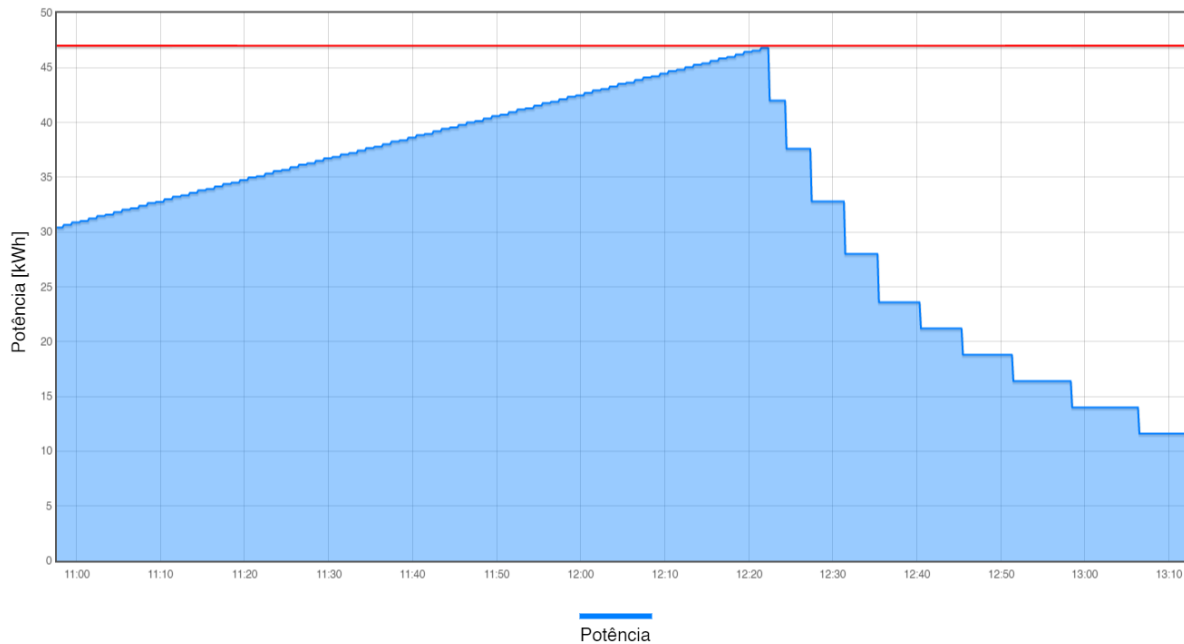


Figura 4.9 - Gráfico Temporal da Potência de Carregamento

Na Figura 4.9 está representado o gráfico temporal onde é possível observar o comportamento da potência de carregamento do EVSE (EVSEPresentPower, em kW) durante um carregamento emulado pelo sistema. Ainda é possível observar neste gráfico o limite máximo de potência do EVSE (EVSEMaximumPowerLimit, em kW) representado a vermelho. Tendo em conta a curva do gráfico temporal de potência e sabendo que a bateria virtual, descrita na secção 3.4.3.1, tem uma capacidade nominal de 82 kWh, os valores da energia transferida durante as emulações de carregamento nos casos de teste comportam-se como esperado.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste capítulo são abordadas as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido ao longo Tese, assim como algumas propostas do mesmo âmbito, que serão desenvolvidas no futuro.

5.1. CONCLUSÕES

Ao longo do trabalho desenvolvido nesta Tese foram estudadas algumas das normas associadas ao carregamento de veículos elétrico, nomeadamente as normas IEC 61851, IEC 62196 e ISO 15118. No entanto, sendo o principal foco deste trabalho a comunicação entre os veículos elétricos e posto de carregamento, foi destacada a norma ISO 15118. Esta norma permite a troca dinâmica de parâmetros de carregamento, entre o controlador de comunicação do veículo elétrico e controlador de comunicação do equipamento de carga, que suportam, entre outras funcionalidades, o *smart charging*. Neste âmbito foi escolhida a biblioteca *open-source* RISE V2G, porque implementa o protocolo de comunicação, através das mensagens V2G, descritas nesta norma.

A referida biblioteca permite a troca de mensagens V2G que contêm os parâmetros de carga, mas requer o desenvolvimento de módulos adicionais que executem a interface com uma bateria, a interface homem-máquina, e a gestão do carregamento no seu todo.

De modo a desenvolver um sistema que consiga emular um carregamento, houve a necessidade de implementar um sistema de gestão de baterias virtual que fornecesse dinamismo à troca desses parâmetros de carga. Para o desenvolvimento do sistema de gestão de baterias foram implementadas as técnicas de carregamento para baterias de íões de lítio CC e CV, aproximando assim o comportamento dos parâmetros trocados neste sistema com os parâmetros trocados num carregamento real.

De forma a revelar o dinamismo destes parâmetros de carregamento, durante a emulação, houve necessidade em desenvolver interfaces homem-máquina. Estas interfaces foram desenvolvidas tanto para o posto de carregamento, como para o veículo elétrico, com o objetivo de apresentar este dinamismo em tempo real.

Os resultados obtidos nos casos de testes revelam como o sistema se ajusta, através da comunicação por mensagens V2G, quando existem limitações pela parte da rede. Neste

contexto, e tendo sido este trabalho desenvolvido no âmbito do projeto TTUES, estes ajustes são cruciais para a implementação de postos de carregamento que integram energia de geração.

Pondo este cenário, os postos de carregamento poderiam comunicar ao veículo elétrico qual o limite de potência a que este poderia carregar a sua bateria. O valor deste limite variaria consoante a energia gerada através dos seus painéis fotovoltaicos ou da energia armazenada nas suas baterias.

5.2. TRABALHO FUTURO

A comunicação segundo a norma ISO 15118 será importante para o sistema de carregamento entre veículos elétricos e posto de carregamento, que se pretende desenvolver no âmbito do projeto TTUES. Assim, ao sistema desenvolvido nesta tese, serão feitas adaptações de acordo com os objetivos deste projeto.

Será adicionado o modo de transferência de energia em corrente alternada, assim como o mecanismo de renegociação de parâmetros de carregamento. Este mecanismo irá permitir que o controlador de comunicação do veículo elétrico e o controlador de comunicação do equipamento de carga voltem a trocar os parâmetros iniciais, fazendo com que o sistema se ajuste sempre que necessário. Neste contexto será estudado ao pormenor o agendamento de carga, que a comunicação através desta norma permite realizar, e se possível a sua implementação no sistema. Deste modo, poderá ainda ser implementado um algoritmo de gestão de carga no sistema.

Posteriormente, sendo que este sistema é composto por dois módulos principais (EVpi e EVSEpi), será realizada a migração do EVpi para um veículo elétrico, e do EVSEpi para um posto de carregamento integrando energia de geração. Passando assim a controlar um sistema real de carregamento.

Com a publicação da parte 20 da norma ISO 15118 (ISO 15118-20) agendada para breve, será criada uma versão 2.0 da biblioteca RISE V2G com as especificações desta parte da norma, que permite a transferência bidirecional de energia (V2G e G2V) [36].

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

- [1] International Energy Agency (IEA), “Global EV Outlook 2019.” 2019.
- [2] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, and P. M. R. Almeida, “Integration of electric vehicles in the electric power system,” *Proc. IEEE*, 2011.
- [3] P. Richardson, D. Flynn, and A. Keane, “Optimal charging of electric vehicles in low-voltage distribution systems,” *IEEE Trans. Power Syst.*, 2012.
- [4] J. De Hoog *et al.*, “Electric vehicle charging and grid constraints: Comparing distributed and centralized approaches,” in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2013.
- [5] Diário da Republica n.º 206/2019 Série I (2019-10-25), “Decreto-Lei n.º 162/2019.” Portugal, 2019.
- [6] V2G CLARITY, “Communication Protocols for Electric Vehicle Charging - Meet ISO 15118-20.” 2019.
- [7] F. Coimbra, “Integração de Veículos Elétricos em Redes Isoladas - O Caso da Ilha das Flores.” 2010.
- [8] M. Multin, “ISO 15118 Manual Excerpt.” 2018.
- [9] International Electrotechnical Commission (IEC), “International Electrotechnical Commission.” [Online]. Available: <https://www.iec.ch/>. [Accessed: 05-Oct-2020].
- [10] International Organization for Standardization (ISO), “International Organization for Standardization.” [Online]. Available: <https://www.iso.org/home.html>. [Accessed: 05-Oct-2020].
- [11] A. Bahrami, “EV Charging Definitions, Models, Levels, Communication Protocols and Applied Standards,” 2020.
- [12] V. Schwarzer and R. Ghorbani, “Current State-of-the-Art of EV Chargers,” 2015.
- [13] V2G CLARITY, “What Is ISO 15118?,” 2019. [Online]. Available: <https://v2g-clarity.com/knowledgebase/what-is-iso-15118/>. [Accessed: 02-Mar-2020].
- [14] Society of Automotive Engineers of Japan, “Industry Standards.” 2014.
- [15] N. El Sayed, “A Prototypical Implementation of an ISO-15118-Based Wireless Vehicle to Grid Communication for Authentication over Decoupled Technologies.” 2019.
- [16] S.-H. Ju, I.-H. Lee, S.-H. Song, and H.-S. Seo, “Communication Interoperability between Ev Charging Infrastructure and Grid,” *Int. J. Eng. Technol.*, 2018.
- [17] PowerUP, “V2G Conformance Test Specifications.” 2012.
- [18] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15118-1:2019.” 2019.
- [19] Open Charge Alliance, “OCPP 1.X - RFC ISO/IEC 15118.” 2016.
- [20] Fraunhofer Institute for Secure Information Technology, “Security Module for the Electric Vehicle Charging System.” 2019.
- [21] V2G CLARITY, “The Basics of Plug & Charge,” 2019. [Online]. Available: <https://v2g-clarity.com/knowledgebase/basics-of-plug-and-charge/>. [Accessed: 11-

- Sep-2020].
- [22] V2G CLARITY, “RISE V2G.” [Online]. Available: <https://github.com/V2GClarity/RISE-V2G>.
 - [23] Oracle, “Class LocalDateTime.” [Online]. Available: <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/time/LocalDateTime.html>. [Accessed: 11-Sep-2020].
 - [24] BatteryUniversity, “How to Monitor a Battery.” [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_monitor_a_battery. [Accessed: 11-Sep-2020].
 - [25] V. Pop, H. J. Bergveld, D. Danilov, P. P. L. Regtien, and P. H. L. Notten, *Battery Management Systems. Accurate State-of-Charge Indication for Battery-Powered Applications*. 2008.
 - [26] Tesla Battery Module Controller, “EVTX Monitor/Controller For Tesla Model S Battery Modules.” 2017.
 - [27] KeepPower, “High-end Li-ion Rechargeable Cells.” .
 - [28] Panasonic, “NCR18650B.” .
 - [29] F. Baronti, R. Di Rienzo, N. Papazafirooulos, R. Roncella, and R. Saletti, “Investigation of series-parallel connections of multi-module batteries for electrified vehicles,” in *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC 2014*, 2014.
 - [30] BatteryUniversity, “What Is The C Rate.” [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate. [Accessed: 11-Sep-2020].
 - [31] BatteryUniversity, “Charging Lithium Ion Batteries.” [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries. [Accessed: 11-Sep-2020].
 - [32] ElectronicsNotes, “Li-ion Lithium Ion Battery Charging.” [Online]. Available: https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/battery-technology/li-ion-lithium-ion-charging.php. [Accessed: 11-Sep-2020].
 - [33] X. Wu, C. Hu, J. Du, and J. Sun, “Multistage CC-CV Charge Method for Li-Ion Battery,” *Math. Probl. Eng.*, 2015.
 - [34] D. Rampazo, “Ampère hora ou Watt hora,” 2019. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/ampère-hora-ou-watt-danilo-rampazo>. [Accessed: 11-Sep-2020].
 - [35] Wattson, “Postos de Carregamento Rápidos da Prio.e Batem a Concorrência.” [Online]. Available: <https://www.wattson.pt/2018/10/22/postos-de-carregamento-rapidos-da-prio-e-batem-concorrencia/>. [Accessed: 15-Sep-2020].
 - [36] V2G CLARITY, “The New Features and Timeline for ISO 15118-20,” 2020. [Online]. Available: <https://v2g-clarity.com/blog/new-features-and-timeline-for-iso15118-20/>. [Accessed: 15-Sep-2020].
 - [37] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 61851-1:2017.” 2017.
 - [38] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 61851-21-1:2017.” 2017.
 - [39] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 61851-21-2:2018.” 2018.

- [40] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 61851-23:2014.” 2014.
- [41] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 61851-24:2014.” 2014.
- [42] D. Hanauer, “Mode 2 Charging—Testing and Certification for International Market Access.” 2018.
- [43] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 62196-1:2014.” 2014.
- [44] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 62196-2:2016.” 2016.
- [45] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 62196-3:2014.” 2014.
- [46] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC TS 62196-3-1,” 2020.
- [47] International Electrotechnical Commission (IEC), “SC 23H Work programme.” [Online]. Available: https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:0::::FSP_ORG_ID:1426. [Accessed: 12-Mar-2020].
- [48] International Electrotechnical Commission (IEC), “IEC 62196-2:2011.” 2011.
- [49] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15118-2:2014.” 2014.
- [50] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15118-3:2015.” 2015.
- [51] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15118-4:2018.” 2018.
- [52] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15118-5:2018.” 2018.
- [53] International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15118-8:2018.” 2018.
- [54] J. Valente, “Soluções avançadas de controlo do processo de carga de EVs,” 2017.
- [55] Apache, “Log4j.” [Online]. Available: <https://logging.apache.org/log4j/2.x/>. [Accessed: 15-Sep-2020].

APÊNDICES

A. DETALHES DA NORMA IEC 61851

Para compreensão de alguns dos conceitos abordados ao longo da dissertação, descrevem-se aqui a constituição da norma IEC 61851, assim como os seus modos de carregamento condutivo.

A.1. CONSTITUIÇÃO DA NORMA IEC 61851

A norma IEC 61851 é constituída por cinco partes como é possível observar na Tabela A.1, que são descritas brevemente nesta secção.

Tabela A.1- Partes da Norma IEC 61851

Partes da norma IEC 61851
IEC 61851-1 <i>General requirements</i>
IEC 61851-21-1 <i>Electric vehicle on-board charger EMC requirements for conductive connection to an AC/DC supply</i>
IEC 61851-21-2 <i>Electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply – EMC requirements for off-board electric vehicle charging systems</i>
IEC 61851-23 <i>DC electric vehicle charging station</i>
IEC 61851-24 <i>Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging</i>

Intitulada de “*general requirements*”, a parte 1 desta norma (IEC 61851-1) fornece os requisitos gerais para o fornecimento de energia elétrica a veículos elétricos, e aborda aspetos como as características e condições operacionais do EVSE, as especificações de ligação entre o EVSE e o EV e os requisitos de segurança elétrica para o EVSE. Tendo em conta estes aspetos, esta parte da norma classifica o carregamento condutivo do EV em quatro modos como pode ser observado na secção A.2 [37].

A parte 21-1 desta norma (IEC 61851-21-1), intitulada de “*electric vehicle on-board charger EMC requirements for conductive connection to an AC/DC supply*”, juntamente com a parte 1 (IEC 61851-1), fornece os requisitos de compatibilidade eletromagnética

(*electromagnetic compatibility*, EMC) para ligação condutiva de um veículo elétrico a uma fonte AC ou DC, e é aplicado apenas a unidades de carregamento de bordo (*on-board*, OBC) do EV [38].

A parte 21-2 desta norma (IEC 61851-21-2), intitulada “electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply – EMC requirements for off-board electric vehicle charging systems”, define os requisitos EMC para quaisquer componentes fora de borda (*off-board*) ou equipamentos desses sistemas usados para fornecimento ou carregamento de veículos elétricos com energia elétrica por transferência de potência condutiva (*conductive power transfer*, CPT). Este documento abrange o equipamento de carregamento externo para os quatro modos descritos na parte 1 (IEC 61851-1) [39].

A parte 23 desta norma (IEC 61851-23), intitulada “*DC electric vehicle charging station*”, juntamente com a parte 1 (IEC 61851-1), fornece os requisitos gerais para o controlo de comunicação entre postos de carregamento DC e o veículo elétrico, para ligação condutiva [40].

Por último, a parte 24 desta norma (IEC 61851-24), intitulada “*digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging*”, juntamente com a parte 23 (IEC 61851-23), fornece as especificações de aplicação da comunicação digital entre o posto de carregamento DC e um veículo elétrico para controlo de carregamento condutivo DC [41].

A.2. MODOS DE CARREGAMENTO CONDUTIVO

Segundo a parte 1 da norma (IEC 61851-1), são descritos quatro modos de carregamento condutivo.

O modo 1 (carregamento lento através de tomadas normais de residência) consiste no processo de carregamento lento, onde o veículo elétrico é ligado à rede elétrica através de uma tomada doméstica não dedicada. Os conectores não possuem quaisquer pinos de controlo, não existindo assim comunicação entre o EV e a rede [12], [42]. Para melhor compreensão é possível observar a Figura A.1. As informações referentes à tensão máxima, corrente de pico, potência máxima e segurança referentes ao modo 1 constam da Tabela A.2.

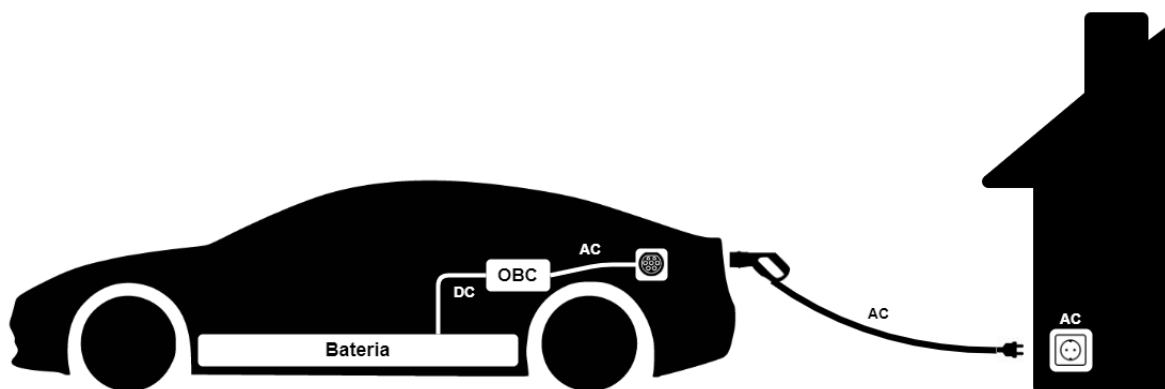


Figura A.1 - Modo de Carregamento Condutivo 1

Tabela A.2 - Modo de Carregamento Condutivo 1

Tensão máxima	250 V, AC monofásica 480 V, AC trifásica
Corrente de pico	16 A
Potência máxima	13,3 kW
Segurança	Dispositivos de proteção contra tensões e correntes AC; Ligação à terra.

No modo 2 (carregamento lento através de tomadas normais de residência, com proteção no cabo), tal como no modo 1, o processo de carregamento é do tipo lento e o veículo elétrico é ligado à rede elétrica através de uma tomada doméstica não dedicada. Neste segundo modo, no entanto, a ligação é assegurada por um cabo que contém uma caixa de controlo embutida. A caixa de controlo, está localizada na ficha ou a 30 cm da mesma. Esta caixa garante, principalmente, que a corrente só flui através do cabo se houver ligação à terra e que só há passagem da mesma quando o cabo estiver efetivamente ligado ao EV. Pode também permitir a definição da corrente de carregamento, assim como monitorizar a temperatura do mesmo. O conector no lado do EV, possui pinos de controlo, porém, a ficha no outro extremo não. A sinalização dos pinos de controlo é inserida pelo sistema de controlo embutido no cabo de carga [12], [42]. Para melhor compreensão é possível observar a Figura A.2. As informações referentes à tensão máxima, corrente de pico, potência máxima e segurança referentes ao modo 2 constam da Tabela A.3.

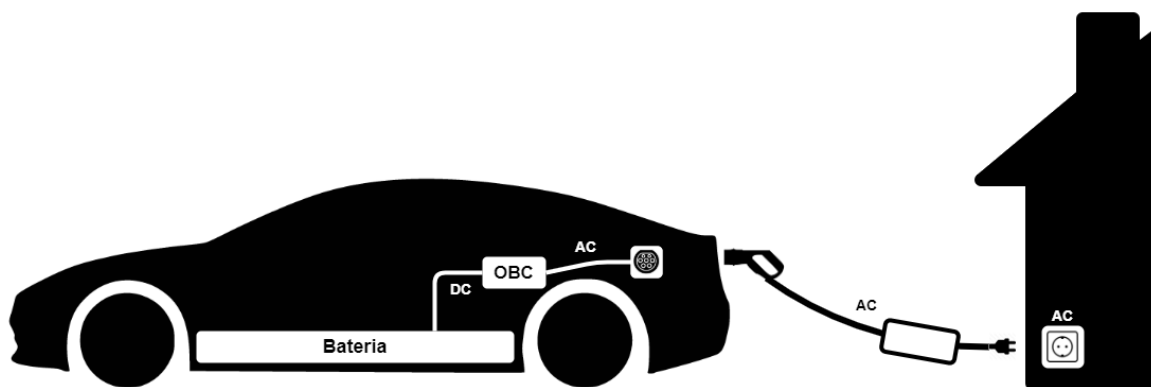


Figura A.2 - Modo de Carregamento Condutivo 2

Tabela A.3 - Modo de Carregamento Condutivo 2

Tensão máxima	250 V, AC monofásica 480 V, AC trifásica
Corrente de pico	32 A
Potência máxima	26,6 kW
Segurança	Pino de controlo entre EV e caixa de controlo; Dispositivos de proteção contra tensões e correntes AC; Ligação à terra.

No modo 3 (carregamento lento ou rápido com tomada específica e funções de proteção e controlo) o veículo elétrico é ligado à rede elétrica por intermédio de um EVSE, totalmente dedicado ao carregamento EV. Neste modo, o conector e a ficha possuem ambos pinos de sinalização, denominados *control pilot* (CP) e *proximity pilot* (PP). Estes pinos permitem que o EV e o EVSE comuniquem de forma a executarem funções como a verificação de conectividade, integridade do condutor de ligação à terra e seleção da corrente de carregamento. O carregamento rápido é possível se as características do EV o permitirem [12], [42]. Para melhor compreensão é possível observar a Figura A.3. As informações referentes à tensão máxima, corrente de pico, potência máxima e segurança referentes a este modo constam da Tabela A.4.

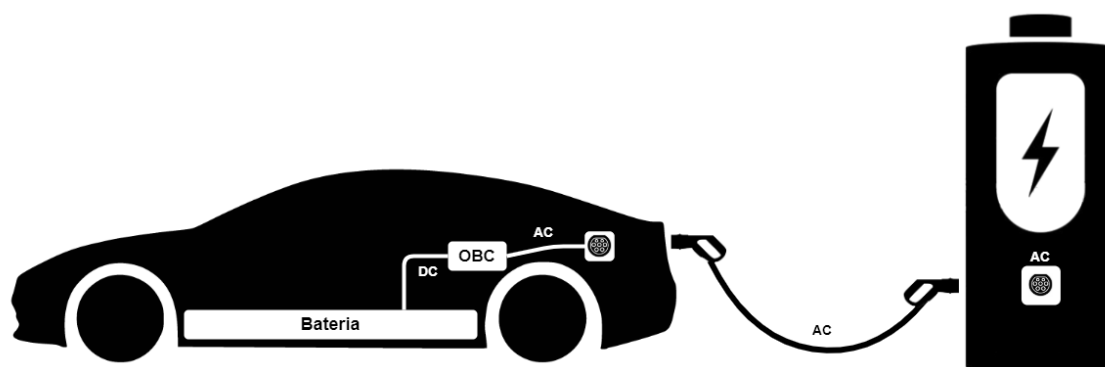


Figura A.3 - Modo de Carregamento Condutivo 3

Tabela A.4 - Modo de Carregamento Condutivo 3

Tensão máxima	250 V, AC monofásica 480 V, AC trifásica
Corrente de pico	70 A, monofásico (configuração Type 2) 63 A, trifásico (configuração Type 2 e Type 3c)
Potência máxima	52,4 kW (configuração Type 2)
Segurança	Pinos de controlo e sinal entre EV e o EVSE; Dispositivos de proteção contra tensões e correntes AC; Ligação à terra.

O modo 4 (carregamento rápido DC com carregador externo) utiliza um carregador DC presente no EVSE, para fornecer corrente diretamente para a bateria do EV, sem passar pelo seu carregador de bordo (*on-board charger*, OBC). O modo 4 pode carregar um EV num espaço de tempo relativamente curto, pois utiliza potências elevadas. Normalmente o cabo na extremidade do posto de carregamento encontra-se embutido no mesmo para uma maior segurança. Já na extremidade do EV, o cabo possui um conetor definido na norma IEC 62196-3, mais especificamente na parte 3 (IEC 62196-3). Neste modo também são usados pinos de sinalização (CP e PP) [12], [42]. Para melhor compreensão é possível observar a Figura A.4. As informações referentes à tensão máxima, corrente de pico, potência máxima e segurança referentes ao modo 4 constam da Tabela A.5.

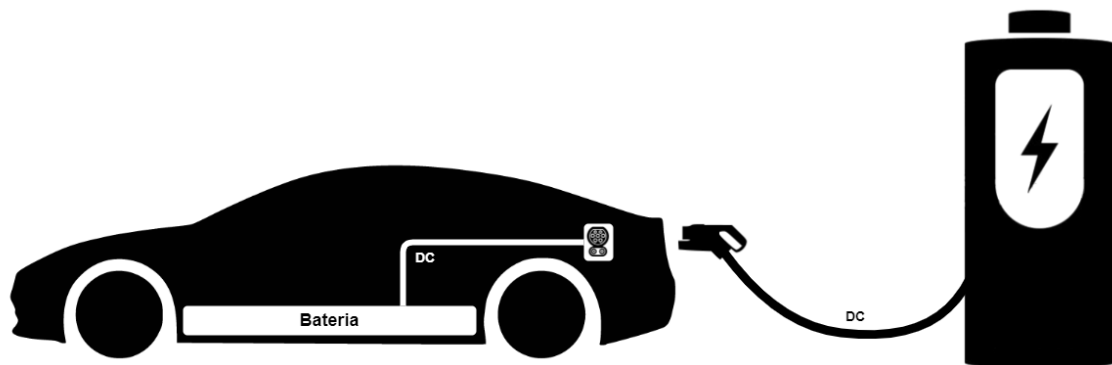


Figura A.4 - Modo de Carregamento Condutivo 4

Tabela A.5 - Modo de Carregamento Condutivo 4

Tensão máxima	600 V, DC (configuração BB) 1000 V, DC (configuração FF)
Corrente de pico	250 A (configuração BB) 200 A (configuração FF)
Potência máxima	200 kW (configuração FF)
Segurança	Pinos de controlo e sinal entre EV e o EVSE; Dispositivos de proteção contra tensões e correntes AC e DC; Ligação à terra.

B. DETALHES DA NORMA IEC 62196

Para compreensão de alguns dos conceitos abordados ao longo da dissertação, descrevem-se aqui a constituição da norma IEC 62196, assim como as suas configurações para carregamento AC e DC.

B.1. CONSTITUIÇÃO DA NORMA IEC 62196

Esta norma, baseada na norma IEC 61851, está dividida em seis partes, como é possível observar na Tabela B.1. Nesta secção é feita uma breve descrição de cada uma dessas partes da norma.

Tabela B.1 - Partes da Norma IEC 62196

Partes da norma IEC 62196
IEC 62196-1 <i>General requirements</i>
IEC 62196-2 <i>Dimensional compatibility requirements for AC pin and contact-tube accessories</i>
IEC 62196-3 <i>Dimensional compatibility and interchangeability requirements for DC and AC/DC pin and contact-tube vehicle couplers</i>
IEC TS 62196-3-1 <i>Vehicle connector, vehicle inlet and cable assembly for DC charging intended to be used with a thermal management system</i>
IEC 62196-4 <i>Dimensional compatibility and interchangeability requirements for DC pin and contact-tube accessories for class II or class III applications</i>
IEC 62196-6 <i>Dimensional compatibility requirements for DC pin and contact-tube vehicle couplers for DC EV supply equipment where protection relies on electrical separation</i>

Intitulada de “*general requirements*”, a parte 1 desta norma (IEC 62196-1) descreve a interface entre o veículo elétrico e o posto de carregamento. Descreve também os requisitos mecânicos e elétricos gerais, assim como os testes, para as fichas, tomadas, conetores e entradas do veículo cujo destino é o carregamento EV. A terceira, e atual, edição da IEC 62196-1 foi lançada em 2014 com a adição da descrição geral da “interface combinada”, denominada Combined Charging System (CCS) [43].

A parte 2 desta norma (IEC 62196-2), intitulada de “*dimensional compatibility requirements for AC pin and contact-tube accessories*”, estende a parte 1 (IEC 62196-1) e

descreve os modelos específicos (agrupados em configurações) de fichas, tomadas, conetores e entradas de veículos que devem ser usados para o carregamento AC de veículos elétricos nos modos 1, 2 e 3, conforme está descrito na parte 1 da norma IEC 61851 (IEC 61851-1). Esta parte da norma encontra-se na segunda edição, lançada em 2016, com a introdução opcional de obturadores para a configuração Tipo 2 [44].

A parte 3 desta norma (IEC 62196-3) , intitulada “*dimensional compatibility and interchangeability requirements for DC and AC/DC pin and contact-tube vehicle couplers*”, estende a IEC 62196-1 e descreve os modelos específicos de conetores e entradas de veículos que devem ser usados para o carregamento DC de veículos elétricos no modo 4, conforme está descrito nas partes 1 e 23 da norma (IEC 61851-1 e IEC 61851-23). Os modelos específicos estão agrupados em várias configurações, onde todas consistem em conetores e entradas de veículos [45].

A parte 3-1 desta norma (IEC TS 62196-3-1), intitulada “*vehicle connector, vehicle inlet and cable assembly for DC charging intended to be used with a thermal management system*”, consiste numa especificação técnica que descreve como os acopladores dos veículos, de acordo com a parte 3 da norma (IEC 62196-3) (relativa ao carregamento DC), podem ser usados com cabos que contenham gestão térmica. A gestão térmica utiliza sensores térmicos e ajusta a corrente de forma a limitar o aumento de temperatura do conjunto de cabos. Foi publicada em março de 2020 [46].

A parte 4 desta norma (IEC 62196-4), intitulada “*dimensional compatibility and interchangeability requirements for DC pin and contact-tube accessories for class II or class III applications*”, estenderá a IEC 62196-1 e descreverá os modelos específicos de fichas, tomadas e acopladores de veículos que devem ser usados para carregamento DC através de circuitos especificados na parte 3 da norma (IEC 61851-3). A publicação deste documento está prevista para setembro de 2020 [47].

Por último, a parte 6 desta norma (IEC 62196-6), intitulada “*dimensional compatibility requirements for DC pin and contact-tube vehicle couplers for DC EV supply equipment where protection relies on electrical separation*”, irá estender a parte 1 da norma (IEC 62196-1) e descreverá os modelos específicos de fichas, tomadas e acopladores de veículos que devem ser usados para carregamento DC através de circuitos especificados na parte 23-2 da norma IEC 61851 (IEC 61851-23-2). Este documento está em estado de preparação e está prevista a sua publicação em março de 2021 [47].

B.2. CONFIGURAÇÕES PARA CARREGAMENTO AC

As configurações para carregamento em corrente alternada, conforme a IEC 62196-2, descrevem os modelos específicos de fichas, tomadas, conectores e entradas de veículos para o carregamento AC de veículos elétricos nos modos 1, 2 e 3, descritos na IEC 61851-1. As figuras referentes a estas configurações podem ser consultadas, com algum detalhe, na Tabela B.2. De seguida são descritas, de forma resumida, as três configurações para carregamento AC, intituladas Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3.

A configuração do Tipo 1 (Figura B.1) é usada para acopladores de veículos monofásicos. O conector desta configuração é conhecido por “conector Yazaki” ou “conector J1772”, pois o seu design original foi concebido pelo fabricante Yazaki e publicado pela primeira vez na norma SAE J1772. Os conectores do Tipo 1 contêm cinco pinos: fase (L), neutro (N), terra (PE), *proximity pilot* (PP) e *control pilot* (CP), em que os dois últimos pinos são de sinalização, de acordo com a IEC 61851-2001 / SAE J1772-2001. Estes acopladores estão classificados para 250 V monofásicos a 32 A [12], [42], [44], [48].

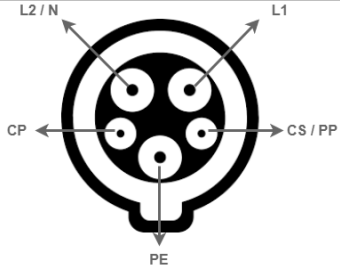
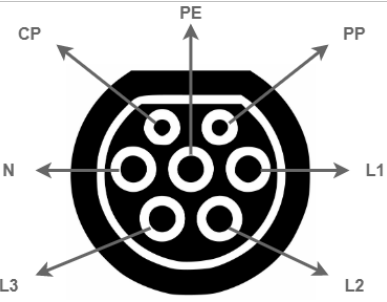
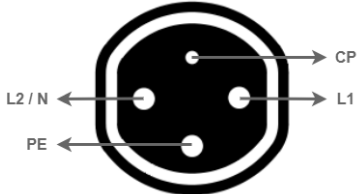
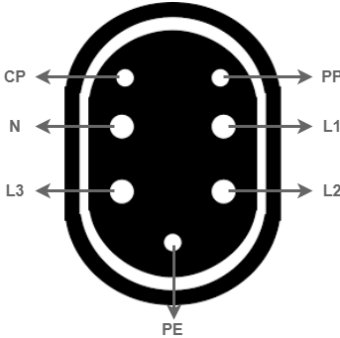
A configuração do Tipo 2 (Figura B.2) consiste numa ficha e tomada que suportam carregamento no modo 3, conforme descrito na norma IEC 61851-1, e um acoplador de veículo que suporta o carregamento nos modos 2 e 3. Também conhecido por “conector Mennekes”, este conector foi desenvolvido devido pelo fabricante Mennekes, baseado nos conectores trifásicos IEC 60309, que usam pinos adicionais.

Os conectores deste tipo contêm sete pinos: fase 1 (L1), fase 2 (L2), fase 3 (L3), neutro (N), terra (PE), *proximity pilot* (PP) e *control pilot* (CP), em que os dois últimos são pinos de sinal de acordo com a IEC 61851-2001 / SAE J1772-2001. Estes conectores podem ser usados em sistemas monofásicos ou trifásicos, e são classificados para 63 A no sistema trifásico e 70 A no sistema monofásico. Na União Europeia, a regulamentação exige que todas as estações de carregamento AC públicas estejam equipadas com uma tomada ou conector Tipo 2 [12], [42], [44], [48]. Na China, a norma chinesa GB/T 20234.2 descreve um modelo muito semelhante a esta configuração.

A configuração do Tipo 3 consiste em três grupos compostos por: fichas, tomadas e acopladores de veículos, monofásicos e trifásicos com obturadores. A EV Plug Alliance propôs dois conectores Tipo 3 diferentes, o 3a e o 3c. Os conectores Tipo 3 são conhecidos como “conectores Scame”, devido ao seu design original ter sido desenvolvido pelo fabricante italiano Scame. O Tipo 3a (Figura B.3) é a derivação do conector Scame para veículos elétricos leves (bicicletas e motos elétricas), para carregamento AC monofásico. Os conectores Tipo 3a

contêm, normalmente, 4 pinos: fase (L), neutro (N), terra (PE) e opcionalmente *control pilot* (CP). O Tipo 3c (Figura B.4) foi concebido para carregamento AC trifásico e incorpora ao todo no seu conector sete pinos: fase 1 (L1), fase 2 (L2), fase 3 (L3), neutro (N), terra (PE), *proximity pilot* (PP) e *control pilot* (CP). Esta configuração suporta carregamentos monofásicos até 32 A ou 16 A (sem CP) e carregamentos trifásicos até 63 A. Os obturadores presentes nas fichas, tomadas e acopladores de veículos, fornecem proteção contra os contactos diretos com os pinos [12], [42], [44], [48].

Tabela B.2 - Configurações para Carregamento AC [42]

<p style="text-align: center;">Configuração Type 1</p> <p>Conhecido por: “conector Yazaki” ou “conector J1772”</p> <p>Tensão máxima: 250 V, monofásica</p> <p>Corrente de pico: 32 A</p> <p>Potência máxima: 8 kW</p> <p>Sinalização / Comunicação: CP e PP/CS</p>	 <p style="text-align: center;">Figura B.1 - Configuração Type 1</p>
<p style="text-align: center;">Configuração Type 2</p> <p>Conhecido por: “conector Mennekes”</p> <p>Tensão máxima: 250 V, monofásica / 480 V, trifásica</p> <p>Corrente de pico: 70 A, monofásica / 63 A, trifásica</p> <p>Potência máxima: 17.5 kW, monofásica / 52.4 kW, trifásica</p> <p>Sinalização / Comunicação: CP e PP</p>	 <p style="text-align: center;">Figura B.2 - Configuração Type 2</p>
<p style="text-align: center;">Configuração Type 3</p> <p>Conhecido por: “conector Scame monofásico”</p> <p>Tensão máxima: 250 V, monofásica</p> <p>Corrente de pico: 32 A (c/ CP) / 16 A (s/ CP), monofásica</p> <p>Potência máxima: 8 kW / 4 kW, monofásica</p> <p>Sinalização / Comunicação: CP (opcional)</p> <p>Conhecido por: “conector Scame trifásico”</p> <p>Tensão máxima: 480 V, trifásica</p> <p>Corrente de pico: 63 A, trifásica</p> <p>Potência máxima: 52.4 kW, trifásica</p> <p>Sinalização / Comunicação: CP e PP</p>	 <p style="text-align: center;">Figura B.3 - Configuração Type 3a</p>  <p style="text-align: center;">Figura B.4 - Configuração Type 3c</p>

B.3. CONFIGURAÇÕES PARA CARREGAMENTO DC

As configurações para carregamento em corrente contínua, conforme a IEC 62196-3, descrevem os modelos específicos de acopladores de veículos para o carregamento DC de veículos elétricos no modo 4, descrito na IEC 61851-1. As figuras referentes a estas configurações podem ser consultadas, com algum detalhe, na Tabela B.3. De seguida são descritas, de forma resumida, as seis configurações para carregamento DC, intituladas AA, BB, CC, DD, EE e FF.

O conector da configuração AA (Figura B.5) é conhecido como “conector CHAdeMO”, porque foi desenvolvido e usado pela organização CHAdeMO. O design original deste conector foi publicado pela primeira vez na norma Japonesa JEVS G105-1993. O acoplador desta configuração é usado no carregamento DC que implemente o Sistema A de acordo com a norma 61851-23 e comunicação CAN de acordo com a norma IEC 61851-24 Anexo A. Esta configuração é usada maioritariamente no Japão.

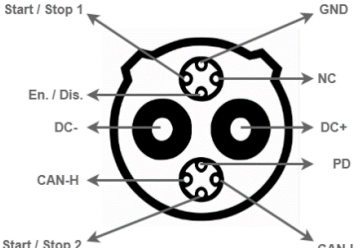
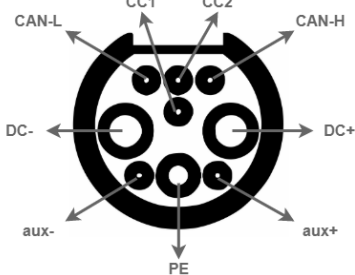
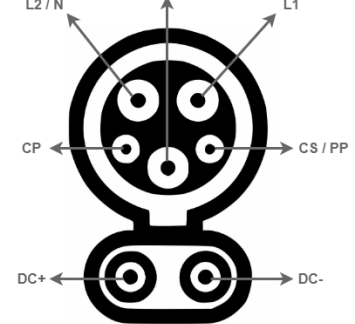
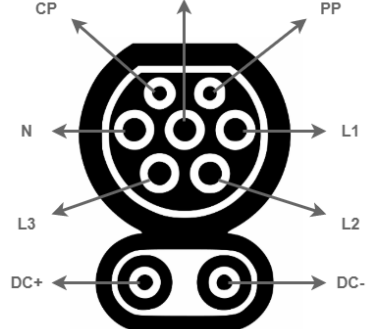
A configuração BB (Figura B.6) é usada em estações de carregamento DC que implementam o Sistema B de acordo com a IEC 61851-23 e comunicação CAN de acordo com a IEC 61851-24 Anexo B. É usada principalmente na China, onde a mesma solução técnica é descrita pela norma GB / T 20234.3.

O conector da configuração EE (Figura B.7) é conhecido por “conector CCS 1” ou “conector Combo 1”, é usada no Sistema de Carregamento Combinado (CCS) e estende o acoplador Tipo 1. Esta configuração é usada nas estações de carregamento DC que implementam o Sistema C de acordo com a norma IEC 61851-23 e comunicação PLC de acordo com a norma IEC 61851-24 Anexo C e ISO 15118-3. É usada principalmente nos EUA, onde a mesma solução é descrita pela norma SAE J1772.

O conector da configuração FF (Figura B.8) é conhecido por “conector CCS 2” ou “conector Combo 2”, é usada no Sistema de Carregamento Combinado (CCS) e estende o acoplador Tipo 2. Esta configuração, tal como a EE, é usada nas estações de carregamento DC que implementam o Sistema C de acordo com a norma IEC 61851-23 e a comunicação PLC de acordo com a norma IEC 61851-24 Anexo C e a ISO 15118-3. Na União Europeia, a regulamentação exige que todas as estações de carregamento DC públicas estejam equipadas com um conector de configuração FF.

Já as configurações CC e DD estão reservadas para uso futuro [42], [45].

Tabela B.3 - Configurações para Carregamento DC [42]

<p>Configuração AA</p> <p>Conhecido por: “conector CHAdeMO”</p> <p>Tensão máxima: 600 V</p> <p>Corrente de pico: 200 A</p> <p>Potência máxima: 120 kW</p> <p>Sinalização / Comunicação: Start/Stop 1, Enable/Disable, NC, PD, CAN-H, CAN-L e Start/Stop 2</p>	 <p>Figura B.5 - Configuração AA</p>
<p>Configuração BB</p> <p>Conhecido por: “conector GB/T 20234.3”</p> <p>Tensão máxima: 600 V</p> <p>Corrente de pico: 250 A</p> <p>Potência máxima: 150 kW</p> <p>Sinalização / Comunicação: CAN-H, CAN-L, CC1, CC2, aux- e aux+</p>	 <p>Figura B.6 - Configuração BB</p>
<p>Configuração CC</p> <p>Esta configuração está reservada para uso futuro.</p>	
<p>Configuração DD</p> <p>Esta configuração está reservada para uso futuro.</p>	
<p>Configuração EE</p> <p>Conhecido por: “conector CCS 1” ou “conector Combo 1”</p> <p>Tensão máxima: 600 V</p> <p>Corrente de pico: 200 A</p> <p>Potência máxima: 120 kW</p> <p>Sinalização / Comunicação: CP e PP/CS</p>	 <p>Figura B.7 - Configuração EE</p>
<p>Configuração FF</p> <p>Conhecido por: “conector CCS 2” ou “conector Combo 2”</p> <p>Tensão máxima: 1000 V</p> <p>Corrente de pico: 200 A</p> <p>Potência máxima: 200 kW</p> <p>Sinalização / Comunicação: CP e PP</p>	 <p>Figura B.8 - Configuração FF</p>

C. DETALHES DA NORMA ISO 15118

Para compreensão de alguns dos conceitos abordados ao longo da dissertação, descrevem-se aqui a constituição da norma ISO 15118. Ainda são apresentados os casos de uso da norma, assim como os esquemas exemplo de trocas de mensagens V2G para o carregamento AC e carregamento DC.

C.1. CONSTITUIÇÃO DA NORMA ISO 15118

A ISO 15118 está dividida em oito partes, como é possível observar na Tabela C.1, e nesta secção é realizada uma breve descrição de cada uma destas parte.

Tabela C.1 - Partes da Norma ISO 15118

Partes da norma ISO 15118
ISO 15118-1 <i>General information and use-case definition</i>
ISO 15118-2 <i>Network and application protocol requirements</i>
ISO 15118-3 <i>Physical and data link layer requirements</i>
ISO 15118-4 <i>Network and application protocol conformance test</i>
ISO 15118-5 <i>Physical and data link layer conformance test</i>
ISO 15118-8 <i>Physical layer and data link layer requirements for wireless communication</i>
ISO 15118-9 <i>Physical and data link layer conformance test for wireless communication</i>
ISO 15118-20 <i>2nd generation network and application protocol requirements</i>

Intitulada de “*general information and use-case definition*”, a parte 1 desta norma (ISO 15118-1) descreve a intenção da norma e explica os seus objetivos gerais, ao definir termos e casos de uso (*use cases*). Esta parte da norma encontra-se na segunda edição, que foi publicada em 2019 [13], [18].

A parte 2 desta norma (ISO 15118-2), intitulada de “*network and application protocol requirements*”, é considerada o núcleo da norma, pois define todas as mensagens e requisitos técnicos que são necessários para implementar e realizar os casos de uso definidos na parte 1 da norma (ISO 15118-1). Esta parte da norma foi publicada em 2014 [13], [49].

A parte 3 desta norma (ISO 15118-3), intitulada “*physical and data link layer requirements*”, define a comunicação de baixo nível (*low level communication*, LLC) que inclui as camadas de ligação de dados e camada física do modelo OSI. São estas camadas de nível mais baixo que suportam o estabelecimento da comunicação de alto nível (HLC) descrita na parte 2 da norma (ISO 15118-2). Nesta terceira parte ainda é abordada como a PLC é usada para modular as informações digitais no pino CP, especificadas na também na parte 2 da norma (ISO 15118-2), assim como também é descrito o mecanismo SLAC. Esta parte da norma foi publicada em 2015 [13], [50].

A parte 4 desta norma (ISO 15118-4), intitulada “*network and application protocol conformance test*”, define os testes de conformidade da parte 2 da norma (ISO 15118-2), que consiste num conjunto de regras que descrevem se uma determinada entrada de dados é válida em relação aos próprios dados e estado atual do sistema que está a ser testado (EV ou posto de carregamento). Esta parte da norma foi publicada 2018 [13], [51].

A parte 5 desta norma (ISO 15118-5), intitulada “*physical and data link layer conformance test*”, relata os testes de conformidade da parte 3 da norma (ISO 15118-3) e foi publicada em 2018 [13], [52].

A parte 8 desta norma (ISO 15118-8), intitulada “*physical layer and data link layer requirements for wireless communication*”, permanece separada como a parte que descreve os requisitos técnicos para a comunicação sem cabos, nas camadas física e de ligação de dados , usando a tecnologia Wi-Fi IEEE 802.11n. Foi publicada em 2018 [13], [53].

A parte 9 desta norma (ISO 15118-9), intitulada “*physical and data link layer conformance test for wireless communication*”, irá fornecer os testes de conformidade para os casos de uso da parte da norma (ISO 15118-8) e completar a lista atual de testes de conformidade necessários para a comunicação com e sem fios. Contudo, ainda não tem data de publicação anunciada [13].

Por fim, a parte 20 desta norma (ISO 15118-20), intitulada “*2nd generation network and application protocol requirements*”, é uma versão atualizada da parte 2 da norma (ISO 15118-2), com recursos adicionais como a transferência de potência sem fios (*wireless power transfer*, WPT), a transferência de potência bidirecional (*bidirectional power transfer*, BPT) e o dispositivo de conexão automática (*automated connection device*, ACD). A parte 20 da norma (ISO 15118-20) não será compatível com a parte 2 da norma (ISO 15118-2), ou seja, um veículo elétrico que comunique via ISO 15118-2 não será capaz de carregar num posto de carregamento que só suporta a ISO 15118-20, e vice versa. Esta parte da norma tem publicação planeada para o final de 2020 [6], [13].

C.2. CASOS DE USO

Os casos de uso (*use cases*) da ISO 15118 definem as interações, entre os vários atores (primários e secundários), e as diversas etapas do processo de carregamento, com o objetivo de este ser concluído sem anomalias. Os casos de uso estão definidos na ISO 15118-1 e são classificados, conforme o processo de carga, em 8 grupos como apresentado na Tabela C.2.

Tabela C.2 - Grupos de Casos de Uso da ISO 15118

Grupo	Definição
A	<i>Start of Charging Process</i>
B	<i>Communication Setup</i>
C	<i>Certificate Handling</i>
D	<i>Identification, Authentication and Authorization</i>
E	<i>Target Settings and Charge Scheduling</i>
F	<i>Charge Controlling and Re-scheduling</i>
G	<i>Value-Added Services</i>
H	<i>End of Charging Process</i>

Para cada grupo de casos de uso existem vários elementos que o complementam. De seguida são brevemente apresentados todos os elementos referentes a cada grupo.

O grupo A (*Start of Charging Process*), diz respeito às soluções de início do processo de carregamento está dividido em dois casos de uso (ver Tabela C.3). O caso de uso A1 (*Begin of charging process with forced High Level Communication*) representa o início do processo de carregamento AC ou DC (modo 3 ou modo 4) através de comunicação de alto nível forçada, cobrindo o sinal PWM (sinalização IEC 61851-1) com um *duty cycle* de 5 %. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

O segundo caso de uso deste grupo, o A2 (*Begin of charging process with concurrent IEC 61851-1 & High Level Communication*), representa o início do processo de carregamento AC (modo 3) através de comunicação de alto nível em simultâneo com a sinalização da IEC 61851-1. O veículo elétrico começa o carregamento através do protocolo de sinalização IEC 61851, contudo a HLC pode ser iniciada a qualquer momento. Se a HLC for iniciada, o carregamento será gerido pelas mensagens HLC, e se a qualquer momento a comunicação falhar, o carregamento volta a ser gerido pelo protocolo de sinalização IEC 61851.

Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

Tabela C.3 - Casos de Uso A (Start of Charging Process)

A - Start of Charging Process	
A1	<i>Begin of charging process with forced high level communication</i>
A2	<i>Begin of charging process with concurrent IEC 61851-1 and high level communication</i>

O grupo B (*Communication Setup*), diz respeito às soluções de configuração de comunicação. Contém apenas um caso de uso (ver Tabela C.4), o B1 (*EVCC / SECC communication setup*), que representa a configuração da comunicação entre o controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) e o controlador de comunicação do equipamento de carga (SECC), estabelecendo esta comunicação e a sua correta associação. Os atores primários deste caso de uso são o EVCC e o SECC.

Tabela C.4 - Casos de Uso B (Communication Setup)

B - Communication Setup	
B1	<i>EVCC / SECC communication setup</i>

O grupo C (*Certificate Handling*), diz respeito às soluções de manipulação de certificados. Contém dois casos de uso (ver Tabela C.5). O caso de uso C1 (*Certificate update*) representa a atualização dos certificados, substituindo um certificado caducado ou inválido, no EV, por um certificado novo e válido através de um ator secundário. Os atores primários deste caso de uso são o EVCC e o SECC. Já os atores secundários são a central de intercâmbio de operadores de mobilidade elétrica (*e-mobility operator clearing house*, EMOCH), o operador de frota (*fleet operator*, FO) e o operador de mobilidade elétrica (*e-mobility operator*, EMO).

O caso de uso C2 (*Certificate installation*) representa a instalação dos certificados, instalando um novo certificado no EV, através de um ator secundário. Os atores primários deste caso de uso são o EVCC e o SECC. Já os atores secundários são a EMOCH, o FO e o EMO.

Tabela C.5 - Casos de Uso C (Certificate Handling)

C - Certificate Handling	
C1	<i>Certificate update</i>
C2	<i>Certificate installation</i>

O grupo D (*Identification, Authentication and Authorization*), diz respeito às soluções de identificação, autenticação e autorização. Contém quatro casos de uso (ver Tabela C.6). O primeiro caso de uso, D1 (*Authorization using Contract Certificates performed at the EVSE*),

representa a autorização, com recurso a certificados de contrato, realizada no EVSE, verificando a validade do contrato através de um conjunto de mensagens da ISO 15118-2 no EVSE. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC, o SECC e o HMI. Já os atores secundários são a central de intercâmbio de operadores de mobilidade elétrica (EMOCH) e o operador de mobilidade elétrica (EMO).

O caso D2 (*Authorization using Contract Certificates performed with help of SA*), representa a autorização, com recurso a certificados de contrato, realizada com auxílio de um ator secundário (*secondary actor*, SA), verificando a validade do contrato através de um conjunto de mensagens da ISO 15118-2 provenientes de um SA. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC, o SECC e o HMI. Já os atores secundários são a EMOCH e o EMO.

O terceiro caso, o D3 (*Authorization at EVSE using external credentials performed at the EVSE*), representa a autorização no EVSE, com recurso a credenciais externas, realizada no EVSE. Os atores primários deste caso de uso são o utilizador, o EVSE, o SECC e o HMI. Já os atores secundários são a EMOCH e o EMO.

O último caso de uso do grupo D, o D4 (*Authorization at EVSE using external credentials performed with help of SA*), representa a autorização no EVSE, com recurso a credenciais externas, realizada com auxílio de um SA. Os atores primários deste caso de uso são o utilizador, o EVSE, o SECC e o HMI. Já os atores secundários são a EMOCH e o EMO.

Tabela C.6 - Casos de Uso D (Identification, Authentication and Authorization)

D - Identification, Authentication and Authorization	
D1	<i>Authorization using contract certificates performed at the EVSE</i>
D2	<i>Authorization using contract certificates performed with help of SA</i>
D3	<i>Authorization at EVSE using external credentials performed at the EVSE</i>
D4	<i>Authorization at EVSE using external credentials performed with help of SA</i>

O grupo E (*Target Settings and Charge Scheduling*), diz respeito às soluções de configurações e agendamento de carregamento. Contém cinco casos de uso (ver Tabela C.7). O primeiro caso, o E1 (*AC charging with load leveling based on High Level Communication*), representa o carregamento AC com escalonamento de carga baseado na comunicação de alto nível, ajustando dinamicamente a corrente máxima do EV dentro dos limites da instalação local. Os atores primários deste caso de uso são o utilizador, o EVSE e o SECC.

O caso de uso E2 (*Optimized charging with scheduling to secondary actor*), representa o carregamento otimizado com agendamento através de um ator secundário (SA), ajustando

dinamicamente a potência máxima do EV. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC. Já os atores secundários são a central de intercâmbio de demanda (*demand clearing house*, DCH) e o operador de mobilidade elétrica (EMO).

O terceiro caso de uso, o E3 (*Optimized charging with scheduling at EV*), representa o carregamento otimizado com agendamento através do EV, ajustando dinamicamente a potência máxima do EV. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC. Já os atores secundários são o DCH e o EMO.

O caso E4 (*DC charging with load leveling based on High Level Communication*) representa o carregamento DC com escalonamento de carga baseado na comunicação de alto nível, ajustando dinamicamente a potência máxima do EV dentro dos limites da instalação local. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

Por último, o caso de uso E5 (*Resume to Authorized Charge Schedule*), representa a retomada do agendamento autorizado do carregamento, reiniciando o horário do carregamento que estava suspenso. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

Tabela C.7 - Casos de Uso E (Target Settings and Charge Scheduling)

E - Target Settings and Charge Scheduling	
E1	<i>AC charging with load leveling based on high level communication</i>
E2	<i>Optimized charging with scheduling to secondary actor</i>
E3	<i>Optimized charging with scheduling at EV</i>
E4	<i>DC charging with load leveling based on high level communication</i>
E5	<i>Resume to authorized charge schedule</i>

O grupo F (*Charge Controlling and Re-scheduling*), diz respeito às soluções de controlo e reagendamento de carregamento. Contém seis casos de uso (ver Tabela C.8). O primeiro caso de uso, o F0 (*Charging loop*), representa o *loop* de carregamento, continuando com o processo de carregamento até que as condições de sucesso sejam atingidas e permitam a faturação da energia usada para o carregamento. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

O caso F1 (*Charging loop with metering information Exchange*) representa o *loop* de carregamento com leitura da medição, continuando com o processo de carregamento até que as condições de sucesso sejam atingidas e permitam a faturação da energia usada para o carregamento. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

Já o caso F2 (*Charging loop with interrupt from the SECC*) representa o *loop* de carregamento com interrupção através do SECC, continuando com o processo de

carregamento até que o SECC o interrompa. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

O caso de uso F3 (*Charging loop with interrupt from the EVCC or user*) representa o *loop* de carregamento com interrupção através do EVCC ou do utilizador, continuando com o processo de carregamento até que o EVCC, ou o utilizador, o interrompa. Os atores primários deste caso de uso são o utilizador, o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

O caso F4 (*Reactive power compensation*) representa a compensação de potência reativa, oferecendo suporte ao EVSE através do EV de forma a reduzir a potência reativa na rede elétrica. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC.

O último caso do grupo F, o F5 (*Vehicle to grid support*), representa o suporte para V2G, fornecendo energia de volta para a rede elétrica através do EV. Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC e o SECC. Já os atores secundários são o operador do sistema de distribuição (*distribution system operator, DSO*), a central de intercâmbio de demanda (DCH) e a central de intercâmbio de operadores de mobilidade elétrica (EMOCH).

Tabela C.8 - Casos de Uso F (Charge Controlling and Re-scheduling)

F - Charge Controlling and Re-scheduling	
F0	<i>Charging loop</i>
F1	<i>Charging loop with metering information exchange</i>
F2	<i>Charging loop with interrupt from the SECC</i>
F3	<i>Charging loop with interrupt from the EVCC or user</i>
F4	<i>Reactive power compensation</i>
F5	<i>Vehicle to grid support</i>

O grupo G (*Value-Added Services*), diz respeito às soluções de serviços de valor acrescentados. Contém dois casos de uso (ver Tabela C.9). O primeiro caso de uso deste grupo, o G1 (*Value added services*), representa os serviços de valor acrescentado, trocando informações entre o EVCC e o SECC acerca dos serviços opcionais, que podem ligar ao domínio da rede local (EVSE) ou à Internet usando protocolos IP.

O último caso, o G2 (*Charging details*) representa o fornecimento de informações acerca do processo de carregamento atual ao utilizador ou a um ator secundário (SA). Os atores primários deste caso de uso são o EV, o EVSE, o EVCC, o SECC e o HMI.

Tabela C.9 - Casos de Uso G (Value-Added Services)

G - Value-Added Services	
G1	<i>Value added services</i>
G2	<i>Charging details</i>

O grupo H (*End of Charging Process*), o último grupo dos casos de uso da ISO 15118, e referente às soluções de final do processo de carregamento, contém apenas um caso de uso (ver Tabela C.10). O único caso de uso deste grupo, o H1 (*End of charging process*), representa o fim do processo de carregamento, dando como terminado o carregamento do EV de forma segura, enquanto é trocada informação relevante para futuros carregamentos. Os atores primários deste caso de uso são o utilizador, o EV, o EVSE, o EVCC, o SECC e o HMI [16], [54].

Tabela C.10 - Casos de Uso H (End of Charging Process)

H - End of Charging Process	
H1	<i>End of charging process</i>

C.3. ESQUEMAS EXEMPLO DE CARREGAMENTO AC E DC

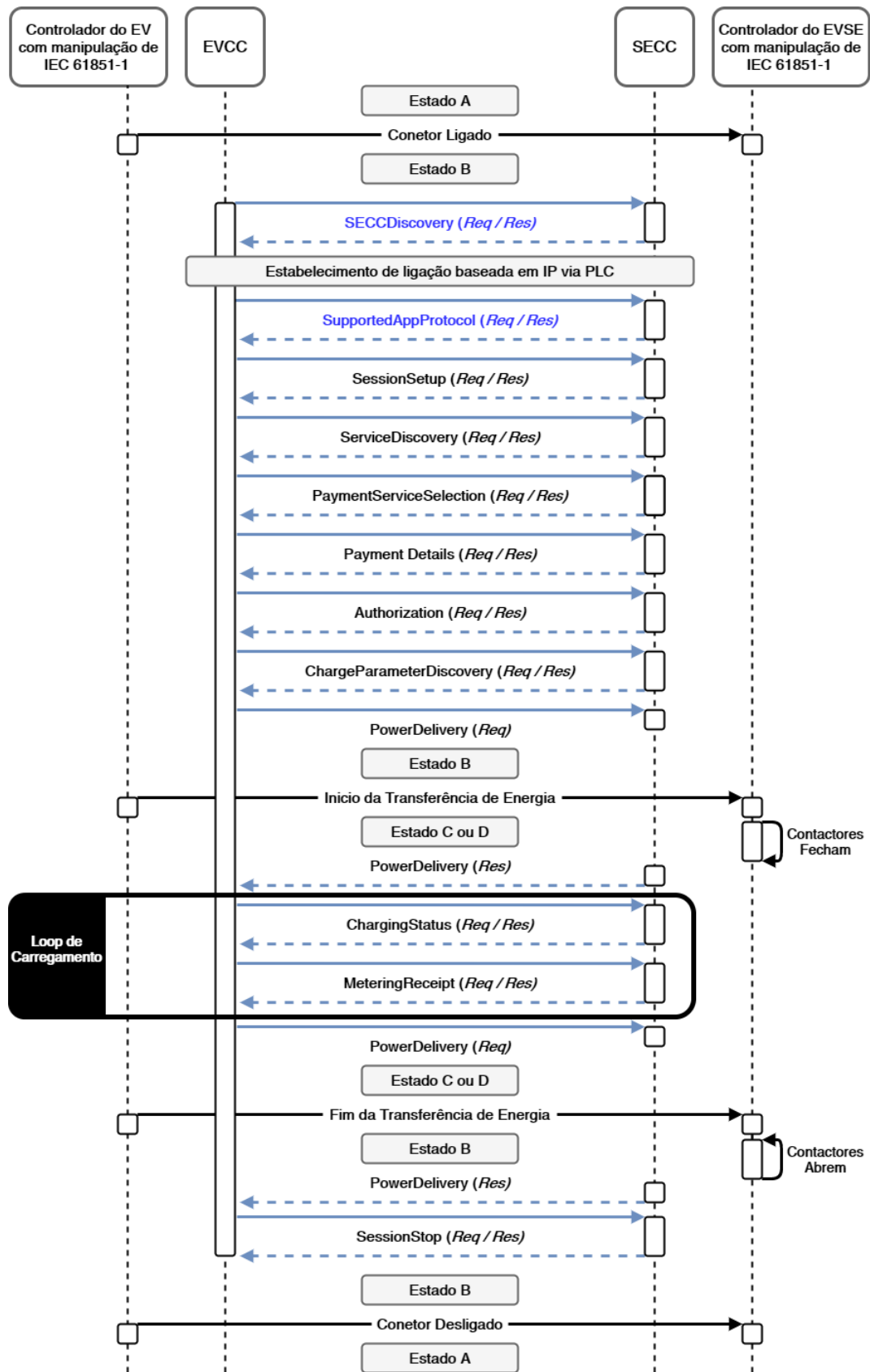


Figura C.1 - Esquema Exemplo de Carregamento AC e PnC [17]

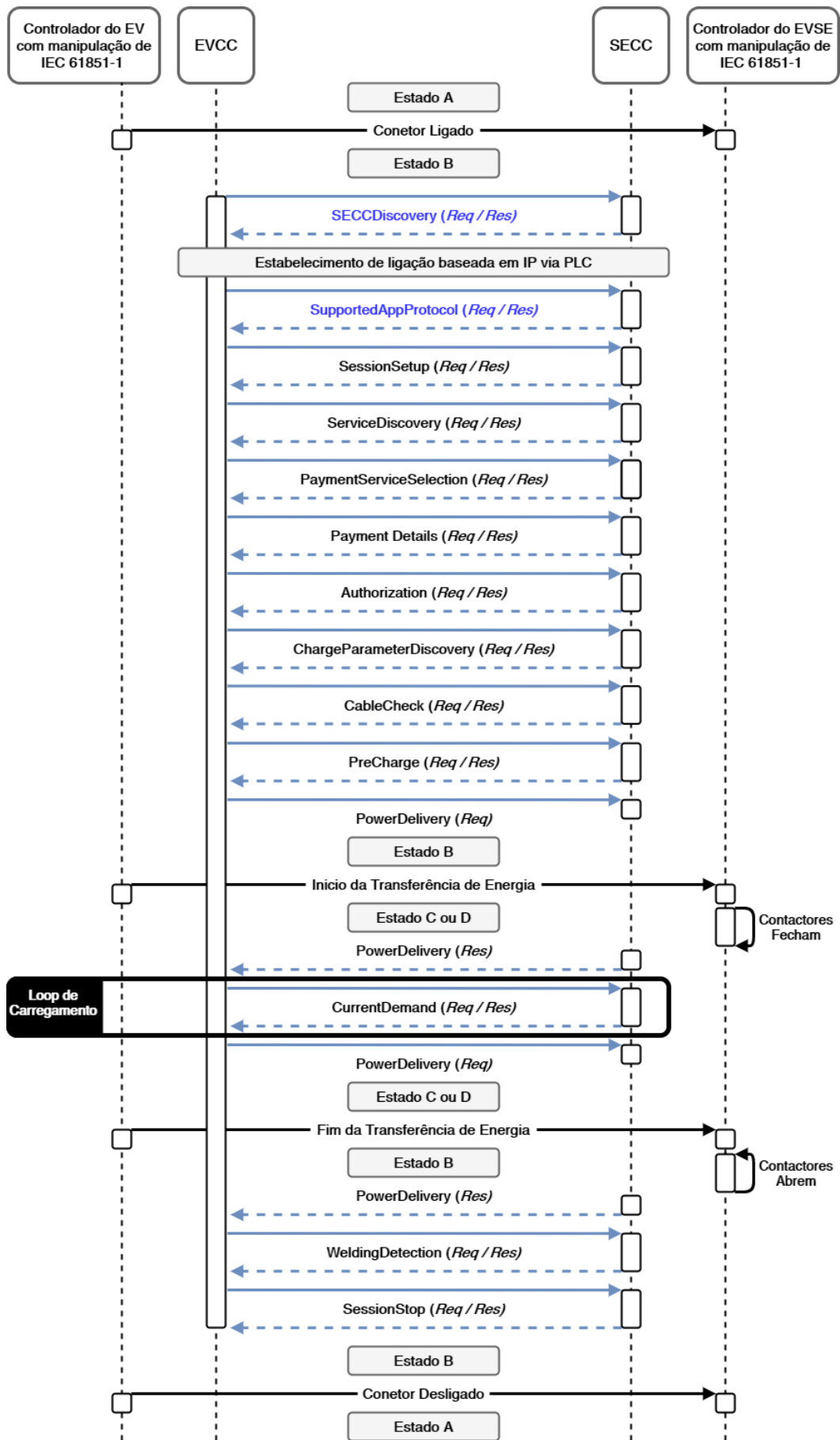


Figura C.2 - Esquema Exemplo de Carregamento DC e PnC [17]

D. DETALHES DA BIBLIOTECA RISE V2G

Ao estudar o código fonte da biblioteca foram identificados os parâmetros de carregamento mais relevantes para o caso em estudo, trocados numa sessão de comunicação de acordo com a norma ISO 15118. Estes parâmetros são descritos nas próximas secções divididos em quatro grupos, sendo eles: (1) os parâmetros do veículo elétrico para carregamento AC (secção D.1), (2) os parâmetros do posto para carregamento AC (secção D.2), (3) os parâmetros do veículo elétrico para carregamento DC (secção D.3) e (4) os parâmetros do posto para carregamento DC (secção D.4).

D.1. PARÂMETROS DO VEÍCULO ELÉTRICO PARA CARREGAMENTO AC

A biblioteca RISE V2G permite que os parâmetros apresentados na Tabela D.1 sejam disponibilizados pelo veículo elétrico para carregamento em corrente alternada.

Tabela D.1 - Parâmetros do Veículo Elétrico para Carregamento AC

Nome	Unidade	Tipo
EVCCID	-	String (12 bytes)
EAmount	Wh	Short (2 bytes)
EVMaXVoltage	V	Short (2 bytes)
EVMaXCurrent	A	Short (2 bytes)
EVMiNCurrent	A	Short (2 bytes)

O EVCCID diz respeito ao identificador único do controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) e na biblioteca assume o valor do endereço MAC do dispositivo usado para fazer o controlo de comunicação do veículo elétrico. É transmitido na mensagem de solicitação V2G SessionSetupReq.

O EAmount diz respeito ao valor da energia solicitada pelo veículo elétrico para carregamento AC e é transmitido na mensagem de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq.

O EVMaXVoltage diz respeito ao valor da tensão máxima limite suportada pelo veículo elétrico para carregamento AC e é transmitido na mensagem de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq.

O EVMaxCurrent diz respeito ao valor da corrente máxima limite suportada pelo veículo elétrico para carregamento AC e é transmitido na mensagem de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq.

O EVMinCurrent diz respeito ao valor da corrente mínima limite suportada pelo veículo elétrico para carregamento AC e é transmitido na mensagem de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq.

D.2. PARÂMETROS DO POSTO PARA CARREGAMENTO AC

A biblioteca RISE V2G permite que os parâmetros apresentados na Tabela D.2 sejam disponibilizados pelo posto para carregamento em corrente alternada.

Tabela D.2 - Parâmetros do Posto para Carregamento AC

Nome	Unidade	Tipo
SessionID	-	String (16 bytes)
EVSEID	-	String (13 bytes)
EVSETimeStamp	s	Long (8 bytes)
EVSENominalVoltage	V	Short (2 bytes)
EVSEMaxCurrent	A	Short (2 bytes)

O SessionID diz respeito ao identificador da sessão de comunicação e na biblioteca é gerado aleatoriamente através de um *array* com 8 bytes que depois é convertido para hexadecimal. Por exemplo, é gerado o *array* [201 202 211 251 230 30 103 134], depois esse *array* é convertido para hexadecimal [C9 CA D3 FB E6 1E 67 86] que por fim é convertido para uma *string* “C9CAD3FBE61E6786”. Cada sessão de comunicação deve ter o seu respectivo identificador. Este parâmetro é transmitido no cabeçalho de todas as mensagens V2G.

O EVSEID diz respeito ao identificador único do EVSE e é transmitido na mensagem de resposta V2G SessionSetupRes. Cada EVSE deverá ter o seu respectivo identificador.

O EVSETimeStamp diz respeito ao valor da marca temporal do início da sessão de comunicação e na biblioteca o valor deste parâmetro é gerado através da função System.currentTimeMillis() que retornar o valor em milissegundos desde 1 de janeiro de 1970. Este valor está dividido por 1000 de forma a ser apresentado em segundos. Este parâmetro é transmitido nas mensagens de resposta V2G SessionSetupRes e PaymentDetailsRes.

O EVSENominalVoltage diz respeito ao valor da tensão nominal do EVSE para carregamento AC e é transmitido na mensagem de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes.

O EVSEMaxCurrent diz respeito ao valor da corrente máxima limite suportada pelo EVSE para carregamento AC e é transmitido na mensagem de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes.

D.3. PARÂMETROS DO VEÍCULO ELÉTRICO PARA CARREGAMENTO DC

A biblioteca RISE V2G permite que os parâmetros apresentados na Tabela D.3 sejam disponibilizados pelo veículo elétrico para carregamento em corrente contínua.

Tabela D.3 - Parâmetros do Veículo Elétrico para Carregamento DC

Nome	Unidade	Tipo
EVCCID	-	String (12 bytes)
EVMaximumCurrentLimit	A	Short (2 bytes)
EVMaximumVoltageLimit	V	Short (2 bytes)
EVMaximumPowerLimit	kW	Short (2 bytes)
EVEnergyRequest	Wh	Short (2 bytes)
EVRESSSOC	%	Byte (2 bytes)
EVTargetCurrent	A	Short (2 bytes)
EVTargetVoltage	V	Short (2 bytes)
RemainingTimeToBulkSOC	s	Short (2 bytes)
RemainingTimeToFullSOC	s	Short (2 bytes)
BulkChargingComplete	-	Boolean (1 bit)
ChargingComplete	-	Boolean (1 bit)

O EVCCID diz respeito ao identificador único do controlador de comunicação do veículo elétrico (EVCC) e na biblioteca assume o valor do endereço MAC do dispositivo usado para fazer o controlo de comunicação do veículo elétrico. É transmitido na mensagem de solicitação V2G SessionSetupReq.

O EVMaximumCurrentLimit diz respeito ao valor do limite máximo de corrente suportado pelo veículo elétrico para carregamento DC e é transmitido nas mensagens de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq e CurrentDemandReq.

O EVMaximumVoltageLimit diz respeito ao valor do limite máximo de tensão suportado pelo veículo elétrico para carregamento DC e é transmitido nas mensagens de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq e CurrentDemandReq.

O EVMaximumPowerLimit diz respeito ao valor do limite máximo de potência suportado pelo veículo elétrico para carregamento DC e é transmitido na mensagem de solicitação V2G CurrentDemandReq.

O EVEnergyRequest diz respeito ao valor da energia solicitada pelo veículo elétrico para carregamento DC e é transmitido na mensagem de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq.

O EVRESSSoC diz respeito ao valor do estado de carga da bateria do veículo elétrico e é transmitido dentro do estado do veículo elétrico para carregamento DC (DC_EVStatus) nas mensagens de solicitação V2G ChargeParameterDiscoveryReq, PowerDeliveryReq, CableCheckReq, PreChargeReq, CurrentDemandReq e WeldingDetectionReq.

O EVTargetCurrent diz respeito ao valor da corrente que o veículo elétrico pretende que o EVSE carregue a sua bateria e é transmitido nas mensagens de solicitação V2G PreChargeReq e CurrentDemandReq. O posto de carregamento quando recebe este parâmetro ajusta o valor da corrente de carregamento do EVSE para este valor.

O EVTargetVoltage diz respeito ao valor da tensão que o veículo elétrico pretende que o EVSE carregue a sua bateria e é transmitido nas mensagens de solicitação V2G PreChargeReq e CurrentDemandReq. O posto de carregamento quando recebe este parâmetro ajusta o valor da tensão de carregamento do EVSE para este valor.

O RemainingTimeToBulkSoC diz respeito ao valor do tempo restante para o final da fase de carregamento rápido da bateria do veículo elétrico e é transmitido na mensagem de solicitação V2G CurrentDemandReq. A fase de carregamento rápido da bateria do veículo elétrico, também conhecida como técnica de carregamento de corrente constante (*constant current*, CC), vai até cerca de 80 % do estado de carga da bateria. Os outros 20 % são carregados em fase lenta, ou técnica de carregamento de tensão constante (*constant voltage*, CV).

O RemainingTimeToFullSoC diz respeito ao valor do tempo restante para o carregamento completo da bateria do veículo elétrico e é transmitido na mensagem de solicitação V2G CurrentDemandReq.

O BulkChargingComplete diz respeito ao indicador de fase de carregamento rápido terminado e é transmitido na mensagem de solicitação V2G CurrentDemandReq.

Por fim, o ChargingComplete diz respeito ao indicador de carregamento completo e é transmitido na mensagem de solicitação V2G CurrentDemandReq.

D.4. PARÂMETROS DO POSTO PARA CARREGAMENTO DC

A biblioteca RISE V2G permite que os parâmetros apresentados na Tabela D.4 sejam disponibilizados pelo posto para carregamento em corrente contínua.

Tabela D.4 - Parâmetros do Posto para Carregamento DC

Nome	Unidade	Tipo
SessionID	-	String (16 bytes)
EVSEID	-	String (13 bytes)
EVSETimeStamp	s	Long (8 bytes)
EVSEMaximumCurrentLimit	A	Short (2 bytes)
EVSEMaximumVoltageLimit	V	Short (2 bytes)
EVSEMaximumPowerLimit	kW	Short (2 bytes)
EVSEMinimumCurrentLimit	A	Short (2 bytes)
EVSEMinimumVoltageLimit	V	Short (2 bytes)
EVSEPresentCurrent	A	Short (2 bytes)
EVSEPresentVoltage	V	Short (2 bytes)

O SessionID diz respeito ao identificador da sessão de comunicação e na biblioteca é gerado aleatoriamente através de um *array* com 8 bytes que depois é convertido para hexadecimal. Por exemplo, é gerado o *array* [201 202 211 251 230 30 103 134], depois esse *array* é convertido para hexadecimal [C9 CA D3 FB E6 1E 67 86] que por fim é convertido para uma *string* “C9CAD3FBE61E6786”. Cada sessão de comunicação deve ter o seu respectivo identificador. Este parâmetro é transmitido no cabeçalho de todas as mensagens V2G.

O EVSEID diz respeito ao identificador único do EVSE e é transmitido na mensagem de resposta V2G SessionSetupRes. Cada EVSE deverá ter o seu respectivo identificador.

O EVSETimeStamp diz respeito ao valor da marca temporal do início da sessão de comunicação e na biblioteca o valor deste parâmetro é gerado através da função System.currentTimeMillis() que retornar o valor em milissegundos desde 1 de janeiro de 1970. Este valor está dividido por 1000 de forma a ser apresentado em segundos. Este parâmetro é transmitido nas mensagens de resposta V2G SessionSetupRes e PaymentDetailsRes.

O EVSEMaximumCurrentLimit diz respeito ao valor do limite máximo de corrente suportado pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido nas mensagens de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes e CurrentDemandRes.

O EVSEMaximumVoltageLimit diz respeito ao valor do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido nas mensagens de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes e CurrentDemandRes.

O EVSEMaximumPowerLimit diz respeito ao valor do limite máximo de tensão suportado pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido nas mensagens de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes e CurrentDemandRes.

O EVSEMinimumCurrentLimit diz respeito ao valor da corrente mínima limite suportada pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido na mensagem de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes.

O EVSEMinimumVoltageLimit diz respeito ao valor da tensão mínima limite suportada pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido na mensagem de resposta V2G ChargeParameterDiscoveryRes.

O EVSEPresentCurrent diz respeito ao valor da corrente debitada pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido na mensagem de resposta V2G CurrentDemandRes. Este parâmetro assume o valor do EVTargetCurrent transmitido pelo veículo elétrico ao posto de carregamento.

O EVSEPresentVoltage diz respeito ao valor da tensão debitada pelo EVSE para carregamento DC e é transmitido na mensagem de resposta V2G CurrentDemandRes. Este parâmetro assume o valor do EVTargetVoltage transmitido pelo veículo elétrico ao posto de carregamento.

E. DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

E.1. FLUXOGRAMA DE MENSAGENS V2G DO SISTEMA

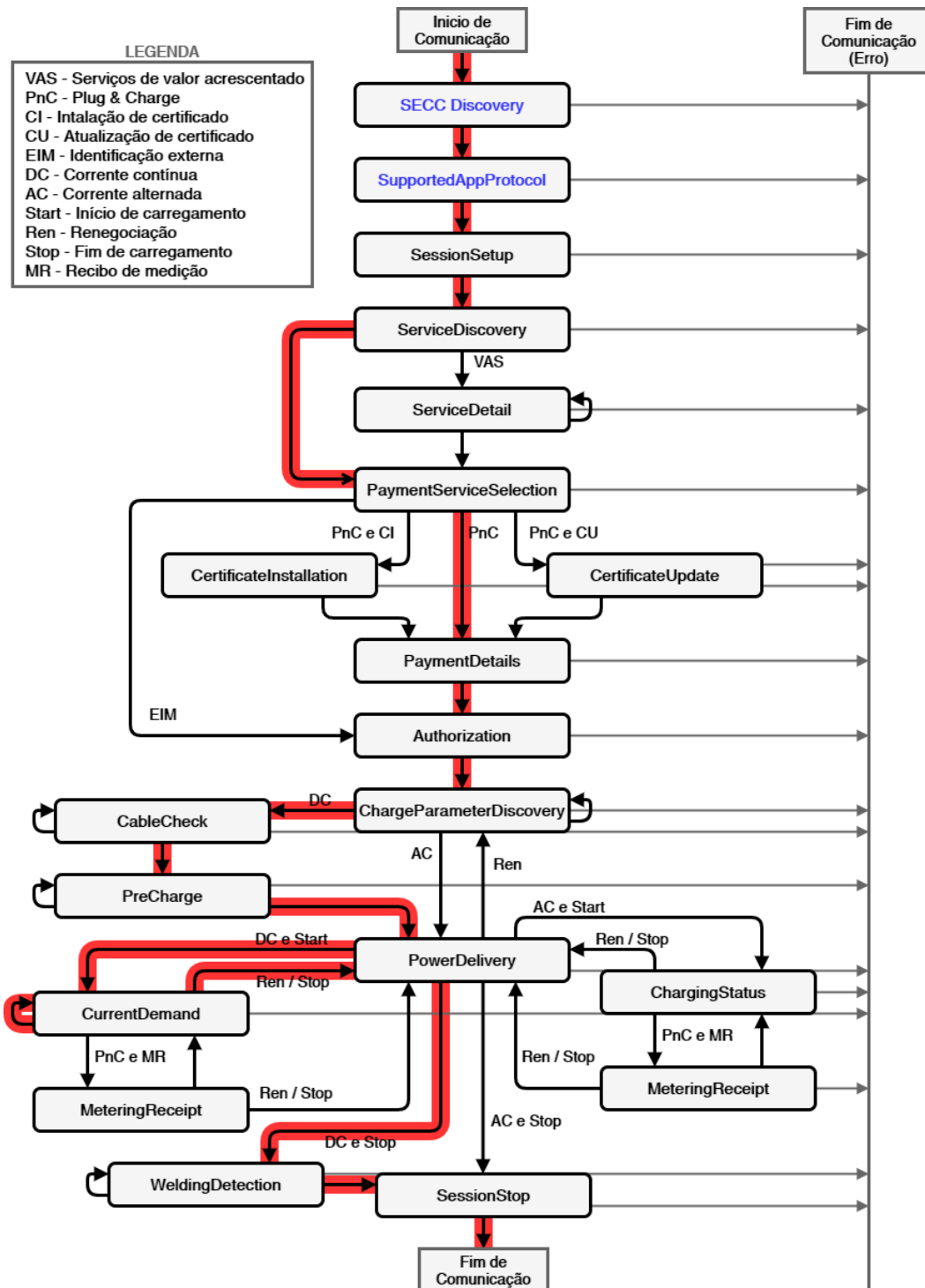


Figura E.1 - Fluxograma de Mensagens V2G do Sistema de Comunicação

E.2. FICHEIRO LOG

O ficheiro log consiste num ficheiro American Standard Code for Information Interchange (ASCII) que guarda os registos com as ocorrências relativas à execução do software. Neste sistema em particular, o ficheiro log serve para guardar os registos de ocorrências referente às trocas de informação de carregamento dos respetivos controladores de comunicação, implementados através da biblioteca *open-source* RISE V2G. A biblioteca gera automaticamente o conteúdo que existe neste ficheiro através de um *software open-source*, utilizado na linguagem de programação JAVA, denominado de Log4j [55]. Mas apenas apresenta esse conteúdo na linha de comandos, através do código fonte do Log4j. Então foi realizada uma alteração ao código fonte do Log4j de forma a que esse conteúdo seja guardado num ficheiro, ao invés de apresentado na linha de comandos. Desta forma a informação é guardada e pode ser acedida numa futura consulta. Este ficheiro guarda todas as mensagens trocadas com sua respetiva representação XML, assim como os estados de comunicação dos controladores de comunicação e os estados de carregamento conforme a norma IEC 61851 (Tabela 2.2), referentes à última sessão de comunicação. Toda esta informação é guardada com a sua respetiva data e hora de transmissão como é possível observar na Figura E.2 referente ao controlador de comunicação do veículo elétrico. O ficheiro Log do SECC tem a particularidade de guardar também o IP da placa de rede do EVCC, ao qual está ligado como é possível observar na Figura E.3.

```
2020-08-12T13:26:00,380 DEBUG [Thread-1] WaitForChargeParameterDiscoveryRes: Preparing to send CableCheckReq
2020-08-12T13:26:00,380 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: XML representation of CableCheckReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5='
2020-08-12T13:26:00,381 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: EXI encoded CableCheckReq: 80980215D797FA85850B6D1031001100
2020-08-12T13:26:00,381 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: Base64 encoded CableCheckReq: gJgCFdeX+oWFC20QMQRAAA==
2020-08-12T13:26:00,381 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message sent
2020-08-12T13:26:00,381 DEBUG [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForCableCheckRes
2020-08-12T13:26:00,387 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Length of V2GTP payload in bytes according to V2GTP header: 19
2020-08-12T13:26:00,387 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2020-08-12T13:26:00,387 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: Received EXI stream: 80980215D797FA85850B6D104000000204000
2020-08-12T13:26:00,390 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: XML representation of CableCheckRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5='
2020-08-12T13:26:01,812 DEBUG [Thread-1] WaitForCableCheckRes: CableCheckRes received
2020-08-12T13:26:01,813 DEBUG [Thread-1] WaitForCableCheckRes: EVSEProcessing was set to FINISHED
2020-08-12T13:26:01,817 DEBUG [Thread-1] WaitForCableCheckRes: Preparing to send PreChargeReq
2020-08-12T13:26:01,829 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: XML representation of PreChargeReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5='
2020-08-12T13:26:01,833 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: EXI encoded PreChargeReq: 80980215D797FA85850B6D1171001101881200i
2020-08-12T13:26:01,835 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: Base64 encoded PreChargeReq: gJgCFdeX+oWFC20RCQARAYgSAGBhg6gA
2020-08-12T13:26:01,841 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message sent
2020-08-12T13:26:01,842 DEBUG [Thread-1] V2GCommunicationSessionEVCC: New state is WaitForPreChargeRes
2020-08-12T13:26:01,854 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Length of V2GTP payload in bytes according to V2GTP header: 23
2020-08-12T13:26:01,854 DEBUG [Thread-1] TLSClient: Message received
2020-08-12T13:26:01,854 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: Received EXI stream: 80980215D797FA85850B6D1180000002040C409003i
2020-08-12T13:26:01,863 DEBUG [Thread-1] EXIficientCodec: XML representation of PreChargeRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5='
2020-08-12T13:26:01,864 DEBUG [Thread-1] WaitForPreChargeRes: PreChargeRes received
```

Figura E.2 - Ficheiro Log do EVCC

```

2020-08-12T13:26:00,361 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] V2GCommunicationSessionSECC: New state is WaitForCableCheckReq
2020-08-12T13:26:00,381 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] ConnectionHandler: Length of V2GTP payload in bytes according t
2020-08-12T13:26:00,382 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] ConnectionHandler: Message received
2020-08-12T13:26:00,382 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: Received EXI stream: 80980215D797FA85850B6D10:
2020-08-12T13:26:00,383 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: XML representation of CableCheckReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="http://www.w3.org/200
2020-08-12T13:26:00,385 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] WaitForCableCheckReq: CableCheckReq received
2020-08-12T13:26:00,385 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] WaitForCableCheckReq: Preparing to send CableCheckRes
2020-08-12T13:26:00,385 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: XML representation of CableCheckRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="http://www.w3.org/200
2020-08-12T13:26:00,386 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: EXI encoded CableCheckRes: 80980215D797FA85850
2020-08-12T13:26:00,386 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: Base64 encoded CableCheckRes: gJgCFdEx+oWFC20Q
2020-08-12T13:26:00,387 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] ConnectionHandler: Message sent
2020-08-12T13:26:00,387 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] V2GCommunicationSessionSECC: New state is WaitForPreChargeReq
2020-08-12T13:26:00,836 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] ConnectionHandler: Length of V2GTP payload in bytes according t
2020-08-12T13:26:01,836 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] ConnectionHandler: Message received
2020-08-12T13:26:01,836 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: Received EXI stream: 80980215D797FA85850B6D11:
2020-08-12T13:26:01,840 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: XML representation of PreChargeReq:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="http://www.w3.org/200
2020-08-12T13:26:01,841 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] WaitForPreChargeReq: PreChargeReq received
2020-08-12T13:26:01,842 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] WaitForPreChargeReq: Preparing to send PreChargeRes
2020-08-12T13:26:01,852 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: XML representation of PreChargeRes:
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?><ns6:V2G_Message xmlns:ns6="urn:iso:15118:2:2013:MsgDef" xmlns:ns5="http://www.w3.org/200
2020-08-12T13:26:01,853 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: EXI encoded PreChargeRes: 80980215D797FA85850
2020-08-12T13:26:01,853 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] EXIfficientCodec: Base64 encoded PreChargeRes: gJgCFdEx+oWFC20Rq
2020-08-12T13:26:01,854 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] ConnectionHandler: Message sent
2020-08-12T13:26:01,854 DEBUG [ConnectionThread fe80:0:0:0:9d29:add4:a32:9cfa%23] V2GCommunicationSessionSECC: New state is ForkState

```

Figura E.3 - Ficheiro Log do SECC

Nestas mesmas figuras não é possível observar a representação XML completa das mensagens por estas serem demasiado extensas.

Este ficheiro é guardado na respetiva máquina (EVpi ou EVSEpi), mais precisamente na localização “/home/pi/EVpi/RISE-V2G/RISE-V2G-EVCC/target/logs/EVCC.log” para o EVpi e na localização “/home/pi/EVSEpi/RISE-V2G/RISE-V2G-SECC/target/logs/SECC.log”, sempre que uma nova sessão de comunicação é iniciada. Como numa sessão de comunicação são trocados milhares de mensagens e informações, o ficheiro Log anterior é sempre apagado antes de uma nova sessão de comunicação iniciar. Isto evita que o ficheiro fique extenso demais, facilitando assim o seu principal objetivo que é o *debug*, em caso de falha de um controlador de comunicação. Toda a informação disponível nas interfaces homem-máquina e no servidor de dados IoT, trocada pelos controladores de comunicação do sistema, estão presentes neste ficheiro.

E.3. FORMULÁRIO

É de salientar, que os parâmetros representados a cinzento nas fórmulas seguintes, são os parâmetros que a norma permite trocar numa sessão de comunicação.

O valor da energia futura da bateria ($Battery_{FutureEnergy}$ em Wh) é estabelecido através da equação E.1, que relaciona o estado final da bateria do EV (EV_{EndSoC} , considera-se 100%), a capacidade total da bateria do EV ($Battery_{TotalCapacity}$, considerou-se 235 Ah) e a tensão de carregamento do veículo elétrico ($EV_{TargetVoltage}$ em volts).

$$Battery_{FutureEnergy} = \frac{EV_{EndSoC}}{100} \times Battery_{TotalCapacity} \times EV_{TargetVoltage} \quad (E.1)$$

O valor da energia atual da bateria ($Battery_{PresentEnergy}$ em Wh) é estabelecido através da equação E.2, que relaciona o estado de carga da bateria do EV (EV_{RESSoC} em %), a capacidade total da bateria do EV ($Battery_{TotalCapacity}$, considerou-se 235 Ah) e a tensão de carregamento do veículo elétrico ($EV_{TargetVoltage}$ em volts).

$$Battery_{PresentEnergy} = \frac{EV_{RESSoC}}{100} \times Battery_{TotalCapacity} \times EV_{TargetVoltage} \quad (E.2)$$

O valor da capacidade futura da bateria ($Battery_{FutureCapacity}$ em Ah) é estabelecido através da equação E.3, que relaciona o estado final de carga da bateria do EV (EV_{EndSoC} , considera-se 100%) e a capacidade total da bateria do EV ($Battery_{TotalCapacity}$, considerou-se 235 Ah).

$$Battery_{FutureCapacity} = \frac{EV_{EndSoC}}{100} \times Battery_{TotalCapacity} \quad (E.3)$$

O valor da capacidade atual da bateria ($Battery_{PresentCapacity}$ em Ah) é estabelecido através da equação E.4, que relaciona o estado de carga da bateria do EV (EV_{RESSoC} em %) e a capacidade total da bateria do EV ($Battery_{TotalCapacity}$, considerou-se 235 Ah).

$$Battery_{PresentCapacity} = \frac{EV_{RESSoC}}{100} \times Battery_{TotalCapacity} \quad (E.4)$$

O valor do tempo restante para o final da fase de carregamento lento ($RemainingTime_{ToCVSoC}$ em segundos) é estabelecido através da equação E.5, que relaciona o valor da capacidade futura da bateria do EV ($Battery_{FutureCapacity}$ em Ah), o valor da capacidade atual da bateria do EV ($Battery_{PresentCapacity}$ em Ah) e o valor da corrente de carregamento do EV ($EV_{TargetCurrent}$ em V). mas neste caso, como a técnica de carregamento utilizada é CV, o valor da corrente de carregamento do EV é encontrado conforme o algoritmo da Figura 3.11 presente na secção 3.4.3.1.

$$RemainingTime_{ToCVSoC} = \frac{Battery_{FutureCapacity} - Battery_{PresentCapacity}}{EV_{TargetCurrent}} \times 3600 \quad (E.5)$$