UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS FERNANDO DA SILVA ZUCCO

ESTUDO DAS NORMAS DE RECARGA CA E CC DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

JOINVILLE
2025

MATHEUS FERNANDO DA SILVA ZUCCO

ESTUDO DAS NORMAS DE RECARGA CA E CC DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Alessandro Luiz Batschauer

JOINVILLE
2025

MATHEUS FERNANDO DA SILVA ZUCCO

ESTUDO DAS NORMAS DE RECARGA CA E CC DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Alessandro Luiz Batschauer

BANCA EXAMINADORA:

Alessandro Luiz Batschauer, Dr. Eng.
Udesc

Membros:

Alessandro Luiz Batschauer, Dr. Eng.
Udesc

Marcello Mezaroba, Dr. Eng.
Udesc

Glauco Ercico Rocha da Silva, Ms. Eng.
Udesc

Joinville, 07 de julho de 2025

Dedico este trabalho aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, e em memória de meu pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Primeiramente aos meus pais, Sidnei e Margarete, por todo o apoio e suporte fornecidos para minha formação como pessoa, estudante e profissional.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, Núcleo de Processamento de Energia Elétrica e ao nMOB pela disponibilização do equipamento utilizado para testes.

Ao renomado professor Dr. Alessandro Luiz Batschauer, pela confiança, inspiração, paciência, dedicação e apoio durante todo o processo de elaboração do trabalho.

Ao distinto professor Dr. Marcello Mezaroba, pela confiança prestada a mim com o uso do equipamento Charging Discovery System.

Ao professor Dr. Felipe Joel Zimann, que elaborou o arquivo base em Latex utilizado para a elaboração deste trabalho.

Aos estimados colegas que tive o prazer de conhecer ao longo da caminhada, em especial, José, Lucas, William, que compartilharam o ambiente de laboratório e perspectivas sobre trabalhos envolvendo veículos elétricos.

Ao digníssimo Dr. Jhon Brajhan Benites, pelo suporte prestado com o aprendizado e utilização do equipamento.

À excelentíssima namorada, Camilla, por todo apoio e compreensão durante esse período.

“Cientistas descobrem o mundo que existe;
engenheiros criam o mundo que nunca existiu.”
- Theodore Von Kármán

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso aborda a crescente necessidade de compreender e otimizar as tecnologias de recarga de veículos elétricos (EVs). O objetivo geral foi documentar e perpetuar conhecimento técnico sobre os protocolos de comunicação em corrente alternada e corrente contínua utilizados no processo de carregamento de veículos elétricos.

A metodologia envolveu a exploração de medidas de segurança e o desenvolvimento de protocolos de teste para carregadores, além da aferição da comunicação entre o EV e o Equipamento de Alimentação para Veículos Elétricos (EVSE) em situações ideais e não ideais. Os testes práticos foram realizados utilizando o equipamento *Scienlab Charging Discovery System* (CDS), da *Keysight*, capaz de emular e testar o comportamento de EVs e EVSEs. A comunicação de baixo nível (recarga ca) foi analisada com base na modulação por largura de pulso (PWM) através dos pinos piloto de controle (CP) e de proximidade (PP), em conformidade com a ABNT NBR IEC 61851-1. Para a comunicação de alto nível (recarga cc), a análise focou nos protocolos ISO 15118 e DIN SPEC 70121, que utilizam a tecnologia Power Line Communication (PLC) através da arquitetura Homeplug Green PHY (HPGP).

Palavras-chave: Veículos Elétricos. Protocolos de Comunicação. Carregamento cc. Carregamento ca. Scienlab Charging Discovery System.

ABSTRACT

This undergraduate thesis addresses the growing need to understand and optimize electric vehicle (EV) charging technologies. The main objective was to document, and preserve technical knowledge regarding the communication protocols used for alternating current (AC) and direct current (DC) charging of electric vehicles.

The methodology involved exploring safety measures and developing test protocols for chargers, as well as assessing the communication between the EV and the Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) under both ideal and non-ideal conditions. Practical tests were conducted using the Scienlab Charging Discovery System (CDS) from Keysight, which is capable of emulating and testing the behavior of EVs and EVSEs.

Low-level communication (AC charging) was analyzed based on pulse width modulation (PWM) through the control pilot (CP) and proximity pilot (PP) pins, in accordance with ABNT NBR IEC 61851-1. For high-level communication (DC charging), the analysis focused on the ISO 15118 and DIN SPEC 70121 protocols, which use Power Line Communication (PLC) technology via the HomePlug Green PHY (HPGP) architecture.

Keywords: Electric Vehicles. Communication Protocols. AC Charge. DC Charge. Scienlab Charging Discovery System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de veículos elétricos. 22
Figura 2 – Funções de um BMS. 23
Figura 3 – Diferenciação entre recargas cc e ca. 24
Figura 4 – Estação de recarga cc. 29
Figura 5 – Tipos de conectores para recarga. 31
Figura 6 – Circuito de detecção de proximidade - Circuito do Pino PP. 34
Figura 7 – Processos e estados básicos de controle. 38
Figura 8 – Circuito-piloto de comando segundo a ABNT. 41
Figura 9 – Estados de recarga - Comunicação de baixo nível. 45
Figura 10 – Estruturação das mensagens para uma recarga completa em cc. 49
Figura 11 – ISO Layers. 51
Figura 12 – Etapa 2 Conectado - t_0. 53
Figura 13 – Etapa 3 Inicialização - $t_1 \rightarrow t_2$. 54
Figura 14 – Etapa 4 Verificação do Cabo - t_3. 54
Figura 15 – Etapa 4 Verificação do Cabo - t_4. 55
Figura 16 – Etapa 5 Pré-Carga - t_5. 56
Figura 17 – Etapa 5 Pré-Carga - t_6. 56
Figura 18 – Etapa 5 Pré-Carga - t_7. 57
Figura 19 – Etapa 5 Pré-Carga - t_8. 57
Figura 20 – Etapa 6 Carga - t_9. 58
Figura 21 – Etapa 6 Carga - t_{10}. 58
Figura 22 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{11}. 59
Figura 23 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{12}. 59
Figura 24 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{13}. 59
Figura 25 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - $t_{14} \rightarrow t_{15}$. 60
Figura 26 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{16}. 60
Figura 27 – Etapa 8 Desconectado - t_{17}. 61
Figura 28 – Processo de carga de um EV 1. 62
Figura 29 – Processo de carga de um EV 2. 63
Figura 30 – *Hardware Charging Discovery System*. 64
Figura 31 – Conexão modular CDS. 65
Figura 32 – Interface do *software Charging System* analisando um teste executado. 65
Figura 33 – Configuração para testes em ca - nPEE. 68
Figura 34 – Conexão do banco de resistências para gerar sobrecarga. 69
Figura 35 – Configuração para testes em ca - Bloco J. 69
Figura 36 – Programação do teste em ca de energização 1. 73
Figura 37 – Programação do teste em ca de energização 2. 75

Figura 38 – Gráfico gerado pelo CDS - Corrente de saída da EVSE, teste de energização ca. 78
Figura 39 – Gráfico trabalhado com o *software Matlab* - Corrente de saída da EVSE, teste de energização ca. 78
Figura 40 – Gráfico trabalhado com o *software Matlab* - Detalhe da corrente de saída da EVSE, teste de energização ca. 79
Figura 41 – Teste ca - Energização - EVSE nPEE - Variáveis de controle. 80
Figura 42 – Teste ca - Energização - EVSE nPEE - Tensão e corrente durante a recarga. . 80
Figura 43 – Teste ca - Energização - EVSE nPEE - Frequência e tempos de ação PWM. . 81
Figura 44 – Teste ca - Energização - EVSE bloco J - Variáveis de controle. 81
Figura 45 – Teste ca - Energização - EVSE bloco J - Tensão e corrente durante a recarga. 82
Figura 46 – Teste ca - Energização - EVSE bloco J - Frequência e tempos de ação PWM. 83
Figura 47 – Teste ca - Resposta ao estado F - EVSE nPEE - Alterações na tensão do CP e no *Duty Cycle*. 84
Figura 48 – Teste ca - Resposta ao estado F - EVSE bloco J - Alterações na tensão do CP e no *Duty Cycle*. 84
Figura 49 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE Bloco J - Resultado direto teste. 85
Figura 50 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Tensão no CP. 85
Figura 51 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Tensão e corrente de carga. . . 86
Figura 52 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Comparação entre medições de corrente. 86
Figura 53 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Tempo de resposta à interrupção. 87
Figura 54 – Teste de Interrupção do CP AC - EVSE nPEE - Tempo de desconexão. . . . 87
Figura 55 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tempo de desconexão. 88
Figura 56 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tensão no CP. 88
Figura 57 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tensão e corrente de carga. . 89
Figura 58 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Comparação entre medições de corrente. 89
Figura 59 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tempo de resposta a interrupção. 90
Figura 60 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Tensão no CP e interrupção do PP. 92
Figura 61 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Interrupção do PP e tensão e corrente de carga. 93
Figura 62 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Interrupção e delimitação de corrente máxima. 93
Figura 63 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Tempo de resposta à interrupção. 94
Figura 64 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Tensão no CP e interrupção do PP. 94
Figura 65 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Interrupção do PP e tensão e corrente de carga. 95

Figura 66 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Interrupção do PP e delimitação de corrente máxima. 95
Figura 67 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Tempo de resposta à interrupção. 96
Figura 68 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Tempo de desconexão. . . . 96
Figura 69 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Tempo de desconexão. . . 96
Figura 70 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Tensão positiva e negativa do CP. 97
Figura 71 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Tensão e corrente de carga. . 97
Figura 72 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Resposta ao curto-circuito. . 98
Figura 73 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Delimitações máximas de corrente. 98
Figura 74 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Tensão positiva e negativa do CP. 99
Figura 75 – Teste ca - Curto-circuito do CP AC - EVSE bloco J - Tensão e corrente de carga. 99
Figura 76 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Resposta ao curto-circuito. 100
Figura 77 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Delimitações máximas de corrente. 100
Figura 78 – Teste ca - Sobrecorrente - EVSE nPEE - Tensão no CP e tensão e corrente de carga. 101
Figura 79 – Teste ca - Sobrecorrente - EVSE nPEE - Comparação de correntes e variáveis de fonte ativa. 101
Figura 80 – Curva de atuação - Disjuntor. 102
Figura 81 – Conversor Bidirecional cc-ca - 20 kW. 103
Figura 82 – Configuração para testes cc - Bloco J. 104
Figura 83 – Programação do teste em cc de energização 1. 106
Figura 84 – Programação do teste em cc de energização 2. 108
Figura 85 – Programação do teste em cc de energização 3. 110
Figura 86 – Programação do teste em cc de energização 4. 111
Figura 87 – *Loop* de requisições de corrente. 114
Figura 88 – Adição de comandos e variáveis opcionais para testes. 114
Figura 89 – Resposta do CDS ao comando adicional. 114
Figura 90 – Teste cc - Energização - Variáveis de controle. 115
Figura 91 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens pelo SLAC. 115
Figura 92 – Teste cc - Energização - Atenuação PLC. 116
Figura 93 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens iniciais. 117
Figura 94 – Teste cc - Energização - Limites de carga estabelecidos e trocados via comunicação. 118
Figura 95 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens checagem do cabo. 118

Figura 96 – Teste cc - Energização - Tensão e corrente de carga. 119
Figura 97 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens pré-carga. 119
Figura 98 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens carga. 119
Figura 99 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens final de carga. 120
Figura 100 – Teste cc - Energização - Tempos de subida e descida do PWM. 120
Figura 101 – Teste cc - Variação de corrente - Tensão e corrente de carga. 121
Figura 102 – Teste cc - Parada de Emergência - Variáveis de controle. 122
Figura 103 – Teste cc - Parada de Emergência - Tensão e corrente de carga. 123
Figura 104 – Teste cc - Parada de emergência - Troca de mensagens após chaveamento de S2 (Estado "B2"). 124
Figura 105 – Teste cc - Parada de emergência - Erro de comunicação digital, conexão interrompida (PWM 100%). 124
Figura 106 – Teste cc - Perda de Carga - Variáveis de controle. 125
Figura 107 – Teste cc - Perda de Carga - Tensão e corrente de carga. 125
Figura 108 – Teste cc - Perda de Carga - Troca de mensagens final de carga. 126
Figura 109 – Teste cc - Interrupção do CP - Variáveis de controle. 126
Figura 110 – Teste cc - Interrupção do CP - Tensão e corrente de carga. 127
Figura 111 – Teste cc - Interrupção do CP - Extinção de corrente. 128
Figura 112 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Erro troca de mensagens. 128
Figura 113 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Variáveis de controle. 129
Figura 114 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Tensão e corrente de carga. 129
Figura 115 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Extinção de Corrente. 130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças entre veículos elétricos. 22
Tabela 2 – Comparação entre carregadores de acordo com a normalização. 27
Tabela 3 – Codificação de corrente pelo PP. 34
Tabela 4 – Resumo dos estados do processo de recarga para o sistema C, conforme ordem, em uma recarga completa. 39
Tabela 5 – Legenda circuito-piloto. 42
Tabela 6 – Valores máximos de corrente de acordo com o ciclo de trabalho. 44
Tabela 7 – Tempos de subida e descida máximos recomendados para o protocolo de comunicação. 46
Tabela 8 – Etapas principais da recarga em corrente contínua. 52
Tabela 9 – Tempos de desativação da saída de tensão e corrente no teste de interrupção do CP. 91
Tabela 10 – Tempos de variação de corrente. 122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEV	Battery Electric Vehicle (Veículo Elétrico a Bateria)
BMS	Battery Management System (Sistema de gerenciamento de bateria)
BBS	Battery Swap Station (Estação de Troca de Baterias)
ca	Corrente Alternada
CAN	Controller Area Network
cc	Corrente Contínua
CCC	Controlled Current Charging (Recarga controlada por corrente)
CCS	Combined Charging System
CDS	Charging Discovery System
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
CP	Pino Piloto de Controle
CVC	Controlled Voltage Charging (Recarga controlada por tensão)
EES	Energy Storage System (Sistema de Armazenamento de Energia)
ERA	All Electric Range (Alcance Totalmente Elétrico)
EV	Electric Vehicle (Veículo Elétrico)
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment (Equipamento de Alimentação de Veículos Elétricos)
EVCC	Electric Vehicle Communication Controller (Controlador de Comunicação do Veículo Elétrico)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Veículo Elétrico a Célula de Combustível)
FR	Frenagem Regenerativa
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Veículo Elétrico Híbrido)
HMPG	Homeplug Green PHY
IEC	International Eletrotechnical Comission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
MAC	Media Access Control (Controle de Acesso ao Meio)
MCI	Motor a combustão interna
NBR	Normas Técnicas Brasileiras

nPEE	Núcleo de Processamento de Energia Elétrica
OCPP	Open Charge Point Protocol (Protocolo de Ponto de Carga Aberto)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal)
PE	Pino de Proteção Elétrica (terra)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Veículo Elétrico Híbrido Plug In)
PLC	Power Line Communication
PP	Pino Piloto de Proximidade
PWM	Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
SECC	Supply Equipament Communication Controller (Controlador de Comunicação do Equipamento de Alimentação para Veículos Elétricos)
SLAC	Signal Level Attenuation Characterization (Caracterização da Atenuação do Nível de Sinal)
SOC	State of Charge
SOH	State of Health
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão)
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UDP	User Datagram Protocol (Protocolo de Datagrama de Usuário)
V2G	Vehicle to Grid

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 MOTIVAÇÃO 18
1.2 OBJETIVO GERAL 19
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.1 CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS 20
2.1.1 Veículo Totalmente Elétrico 20
2.1.1.1 Veículo Elétrico a Bateria (BEV) 20
2.1.1.2 Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV) 21
2.1.2 Veículo Elétrico Híbrido (HEV) 21
2.1.3 Veículo Elétrico Híbrido Plug In (PHEV) 21
2.2 BATTERY MANAGEMENT SYSTEM - BMS 22
2.3 MÉTODOS DE RECARGA 23
2.4 CARREGADORES E MODOS DE RECARGA 25
2.5 PADRÕES DE CONECTORES 29
2.5.1 Tipo 1 (SAE J1772 - IEC 62196) 29
2.5.2 Tipo 2 (IEC 62196) 30
2.5.3 CCS (Combined Charging System) tipo 1 30
2.5.4 CCS (Combined Charging System) tipo 2 30
2.5.5 Conector CHAdeMO 30
2.5.6 Conector GB/T 30
2.5.7 Conector Tesla 31
2.6 NORMAS E REGULAMENTAÇÃO PARA ESTAÇÕES DE RECARGA . 31
2.6.1 ABNT NBR IEC 61851-1 32
2.6.1.1 Requisitos gerais 32
2.6.1.2 Modos de recarga 32
2.6.1.3 Funções obrigatórias 32
2.6.1.4 Anexo A 33
2.6.1.5 Anexo B 33
2.6.2 ABNT NBR IEC 61851-23 34
2.6.2.1 Funções obrigatórias 34
2.6.2.2 Tolerâncias de corrente e tensão na saída cc 36
2.6.2.3 Comunicação entre o EV e a EVSE em corrente contínua para EV 36
2.6.2.4 Anexos AA e BB 38
2.6.2.5 Anexo CC - Estação de recarga em corrente contínua para EV sistema C . . 38

2.6.3 ABNT NBR IEC 61851-24 . . . 39
3 COMUNICAÇÃO ENTRE EV E EVSE . . . 41
3.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DE BAIXO NÍVEL . . . **41**
3.1.1 Função piloto . . . 42
3.1.1.1 Ciclo de trabalho - PWM . . . **42**
3.1.1.2 Tensão de pico - PWM . . . **44**
3.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DE ALTO NÍVEL . . . **47**
3.2.1 HomePlug . . . 47
3.2.2 ISO 15118 . . . 48
3.2.3 Processo normal de carga . . . 52
4 METODOLOGIA E TESTES - RECARGA CA . . . 64
4.1 CHARGING DISCOVERY SYSTEM . . . **64**
4.2 TESTES CARREGAMENTO AC 61851-1 UTILIZANDO COMUNICAÇÃO DE BAIXO NÍVEL . . . **67**
4.3 DETALHAMENTO DO TESTE DE ENERGIZAÇÃO CA . . . **72**
5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS - TESTES CARREGAMENTO CA 77
5.1 ENERGIZAÇÃO E DESENERGIZAÇÃO . . . **79**
5.1.1 Wallbox nPEE . . . 79
5.1.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J . . . 81
5.2 ESTADO F . . . **83**
5.2.1 Wallbox nPEE . . . 83
5.2.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J . . . 84
5.3 INTERRUPÇÃO PINO PILOTO DE CONTROLE - CP . . . **85**
5.3.1 Wallbox nPEE . . . 85
5.3.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J . . . 87
5.3.3 Incoerências de aquisição . . . 90
5.4 INTERRUPÇÃO PINO DE PROXIMIDADE PP . . . **91**
5.4.1 Wallbox nPEE . . . 92
5.4.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J . . . 94
5.5 CURTO-CIRCUITO PINO PILOTO DE CONTROLE CP . . . **96**
5.5.1 Wallbox nPEE . . . 97
5.5.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J . . . 99
5.6 SOBRECORRENTE . . . **100**
5.6.1 Wallbox nPEE . . . 101
5.7 CONCLUSÃO . . . **102**
6 METODOLOGIA E TESTES - RECARGA CC . . . 103
6.1 FONTE BIDIRECIONAL . . . **103**

6.2 TESTES CARREGAMENTO DC 61851-1 E 61851-23 UTILIZANDO COMUNICAÇÃO DE ALTO NÍVEL 103
6.3 DETALHAMENTO DO TESTE DE ENERGIZAÇÃO CC 106
7 RESULTADOS EXPERIMENTAIS - TESTES CARREGAMENTO CC 113
7.1 ENERGIZAÇÃO E DESENERGIZAÇÃO 113
7.1.1 Variação de corrente 121
7.2 PARADA DE EMERGÊNCIA 122
7.3 PERDA DE CARGA 124
7.4 INTERRUPÇÃO DO CP 126
7.5 CURTO CIRCUITO DO CP 128
7.6 CONCLUSÃO 130
8 CONCLUSÃO 131
REFERÊNCIAS 132
ANEXO A – TESTE CA - ENERGIZAÇÃO 135
ANEXO B – TESTE CA - INTERRUPÇÃO DO CP 136
ANEXO C – TESTE CA - CURTO-CIRCUITO DO CP 137
ANEXO D – TESTE CA - INTERRUPÇÃO DO PP 138
ANEXO E – TESTE CA - ESTADO F 140
ANEXO F – TESTE CA - SOBRECORRENTE 141
ANEXO G – TESTE CC - ENERGIZAÇÃO 142
ANEXO H – TESTE CC - INTERRUPÇÃO DO CP 144
ANEXO I – TESTE CC - CURTO-CIRCUITO DO CP 146
ANEXO J – TESTE CC - VARIAÇÃO DE CORRENTE 148

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo elenca a motivação para elaboração deste trabalho e a contextualização do tema, bem como apresenta os objetivos gerais e específicos que almejam ser alcançados com o desenvolvimento do mesmo.

1.1 MOTIVAÇÃO

Os debates sobre a poluição do meio ambiente e mudanças climáticas se tornaram cada vez mais frequentes a partir do final do século XX, tornando impossível para as indústrias ignorarem as demandas de redução de poluentes levantadas por entidades governamentais.

Segundo a (IEA, 2023), no ano de 2023, a emissão de dióxido de carbono (CO_2) atingiu um novo recorde de 36,8 gigatoneladas, sendo o setor de transportes responsável por aproximadamente 20% deste total (7,98 gigatoneladas). Dentro do universo que compreende as emissões do setor de transportes, a locomoção rodoviária foi responsável por 72% do total (KIM; LIM; LEE, 2024).

Dentro deste contexto, uma das possíveis soluções apresentadas, ocupando um lugar de destaque, são os veículos elétricos, que apresentam uma solução capaz de reduzir drasticamente as emissões de CO2 e melhorar a qualidade do ar em áreas urbanas congestionadas. Considerando uma substituição total da frota de táxis no Brasil por veículos elétricos, pode-se atingir reduções imediatas de emissão de CO_2 entre 18% e 64%, considerando uma matriz energética mais limpa, constituída predominantemente com hidroelétricas (TEIXEIRA; SODRÉ, 2016).

Dito isso, o lançamento de inovações no setor automotivo, particularmente a popularização de veículos elétricos, surge como uma resposta direta à crescente necessidade de reduzir as emissões de gases poluentes à medida que as tecnologias de baterias avançam e a infraestrutura de recarga se expandem, a adesão aos veículos elétricos se torna mais acessível. Conforme demonstra o relatório de perspectivas globais sobre veículos elétricos de 2024 da IEA, os EVs obtiveram um aumento de 14% para 18% na participação total de vendas de novos carros.

No âmbito nacional, segundo a (ANFAVEA, 2024), houve um crescimento de 90% no número de licenciamentos para veículos elétricos em 2023 se comparados com 2022. Isto demonstra que este tipo de tecnologia está cada vez mais presente na realidade dos brasileiros.

Sem dúvidas os veículos elétricos (EVs, do inglês, electric vehicles) representam um avanço significativo na demanda de uma sociedade menos poluente e mais sustentável, porém, ainda existem alguns desafios que devem ser cumpridos para a total inserção desta tecnologia em larga escala; cabe destaque a formação de mão obra qualificada, capaz de entender e lidar com as peculiaridades deste tipo de veículo, baterias e estações de recarga. Porém, como se trata de uma tecnologia recente, com alto custo envolvido, os treinamentos e materiais para a formação de profissionais especializados são escassos, o que torna necessário, o quanto antes, o desenvolvimento, documentação e partilha dos conhecimentos obtidos para atender a inevitável nova demanda da Eletromobilidade que virá nos próximos anos.

Um dos principais tópicos necessários para um completo entendimento da tecnologia e do comportamento das estações de recarga e baterias dos veículos elétricos é o completo entendimento do processo de recarga, bem como dos protocolos de comunicação para recarga em corrente contínua (cc) e recarga em corrente alternada (ca), envolvidos no processo de carregamento, os quais são focos de estudo neste trabalho de conclusão de curso.

1.2 OBJETIVO GERAL

Visando trazer um embasamento técnico e científico a respeito de veículos elétricos e híbridos, este trabalho de conclusão de curso pretende documentar e perpetuar conhecimento técnico a respeito dos protocolos de comunicação ca e cc no processo de carregamento de um veículo elétrico, através de uma estação de recarga de alta potência e do equipamento *Scienlab Charging Discovery System*, popularmente conhecido como CDS, fabricado pela empresa *Keysight*, o qual é capaz de testar os protocolos de comunicação, além de reproduzir o comportamento de um veículo elétrico em recarga e de uma estação de recarga.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explorar os protocolos de comunicação cc e ca de um carregamento de veículo elétrico.
- Explorar as medidas de segurança envolvidas na recarga de um veículo elétrico.
- Desenvolver protocolos de teste para carregadores usados em veículos elétricos e híbridos.
- Aferir a comunicação entre veículo elétrico e estação de recarga em situações não ideais.
- Documentar e perpetuar o conhecimento obtido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica realizada, diferenciando padrões e caracterizações de veículos elétricos, porém com um foco maior nas normas brasileiras que regem a construção e desenvolvimento de estações de recarga para veículos elétricos no Brasil.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

São classificados como veículos elétricos (EVs) os automóveis que possuem um sistema de acionamento de deslocamento composto integralmente ou parcialmente por motor elétrico, os chamados híbridos.

De modo geral, esses veículos apresentam algumas vantagens quando comparados aos veículos à combustão interna, tais quais:

- Baixo custo de deslocamento no tráfego urbano.
- Baixo custo de manutenção preventiva.
- Baixa emissão de gases poluentes, principalmente CO_2
- Baixo nível de ruído e poluição sonora.
- Possibilidade de abastecimento em casa.
- Maior eficiência energética.

Os EVs podem ser divididos em três grandes categorias, sendo que estas apresentam subdivisões: Veículo Totalmente Elétrico, Veículo Elétrico Híbrido e Veículo Elétrico Híbrido Plug-in (NEOCHARGE, 2023a).

2.1.1 Veículo Totalmente Elétrico

Os veículos classificados como totalmente elétricos não possuem motor à combustão interna (MCI), apenas motores elétricos que podem receber energia de baterias ou através de células de combustível.

2.1.1.1 Veículo Elétrico a Bateria (BEV)

O veículo elétrico a bateria possui um sistema de armazenamento de energia que se dá através de baterias de grande porte, com alta capacidade de armazenamento de energia, que alimentam o motor elétrico. A bateria pode ser recarregada através da frenagem regenerativa (FR), ou através de uma estação de recarga externa. Os BEV não emitem nenhum gás poluente durante a condução, até porque não possuem escapamento.

Seu princípio de funcionamento, se dá através da conversão da eletricidade em corrente contínua (cc), proveniente da bateria, para corrente alternada (ca), acionando assim o motor, ou os motores, do veículo. Quando o acelerador é pressionado, um sinal é enviado ao controlador, desta forma o controlador ajusta a velocidade do veículo alterando a amplitude e a frequência da tensão do inversor para o motor. Se os freios são acionados ou o carro elétrico desacelerar, o motor se transforma em alternador e produz energia, que é enviada para ser armazenada novamente na bateria.

Os principais componentes dos BEVs são: o motor elétrico, bateria (robusta), inversor, módulo de controle e *battery management system* (BMS) (EAMRIT, 2023).

2.1.1.2 Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV)

Os veículos elétricos a célula de combustível combinam hidrogênio e oxigênio para produzir eletricidade que alimenta o motor elétrico. Como o acionamento do motor se dá totalmente por eletricidade, esses carros são considerados veículos totalmente elétricos, apesar de sua autonomia e a forma de reabastecimento serem semelhantes a um veículo convencional (NEOCHARGE, 2023a).

A energia elétrica que aciona o motor elétrico pode vir diretamente da célula de energia (energia química), não havendo real necessidade para uma bateria, embora esta seja frequentemente utilizada nesse tipo de veículo.

Os FCEV normalmente possuem os mesmos componentes que os BEVs, além de células a combustível e tanques de armazenamento de hidrogênio.

2.1.2 Veículo Elétrico Híbrido (HEV)

O veículo elétrico híbrido possui tanto motor a combustão interna, quanto motor elétrico e bateria; sua única forma de abastecimento é semelhante à de um veículo unicamente a combustão interna, ou seja, é realizada através da inserção de gasolina/álcool no tanque de combustível (não possui conector ou entrada para recarga externa da bateria). Desta forma, a recarga da bateria se dá principalmente através da frenagem regenerativa, e que após carregada, permite acionamento do motor elétrico, compelindo uma maior economia de combustível (NEOCHARGE, 2023a).

O HEV possui como característica principal a possibilidade de acionamento da transmissão pelo motor a combustão interna e pelo motor elétrico ocorrendo ao mesmo tempo. Possui como principais componentes o motor a combustão, motor elétrico, *pack* de baterias (com controlador e inversor), tanque de combustível e módulo de controle (EAMRIT, 2023).

2.1.3 Veículo Elétrico Híbrido Plug In (PHEV)

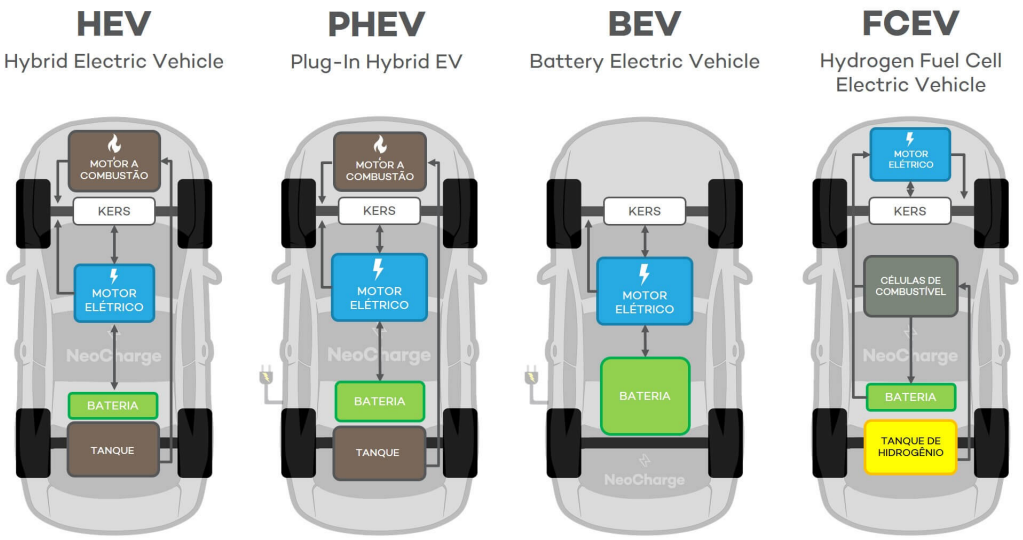
O veículo elétrico híbrido *plug in* apresenta uma topologia semelhante aos HEVs, porém apresentando uma bateria com maior capacidade de energia e potência, compelindo uma maior autonomia pelo motor elétrico ao veículo. Devido ao incremento nas baterias, este tipo de veículo

apresenta a possibilidade de ser carregado através de recargas externas e funcionamento do veículo em modo “100 % elétrico”, ou seja, a bateria e o motor elétrico fornecem toda a energia do carro, não sendo necessário a utilização do motor a combustão (NEOCHARGE, 2023a).

Seu princípio de funcionamento se dá através do acionamento em modo totalmente elétrico até que a bateria se esgote (ou se altere para modo combustão). Caso a bateria descarregue, o motor a combustão assume o controle e o veículo funciona como um híbrido convencional, não *plug-in*. Os principais componentes dos PHEVs são: o motor a combustão, motor elétrico, bateria (robusta), inversor, tanque de combustível, módulo de controle e BMS (EAMRIT, 2023).

A Figura 1 e a Tabela 1 ilustram a diferença entre os EVs apresentada.

Figura 1 – Tipos de veículos elétricos.



Fonte: (NEOCHARGE, 2023a).

Tabela 1 – Diferenças entre veículos elétricos.

Referência	Bateria	Fonte de Energia	Acionamento	Ex. Modelo
BEV	20-100 kWh	Rede Elétrica/ FR	Elétrico	Tesla Model S
FCEV	1-2 kWh	Cél. combustível	Elétrico	Toyota Mirai
HEV	1-2 kWh	Combustível / FR	MCI / Elétrico	Toyota Prius
PHEV	6-20kWh	Combustível / Rede Elétrica / FR	MCI / Elétrico	BMW I8

Fonte: (NEOCHARGE, 2023a)

2.2 BATTERY MANAGEMENT SYSTEM - BMS

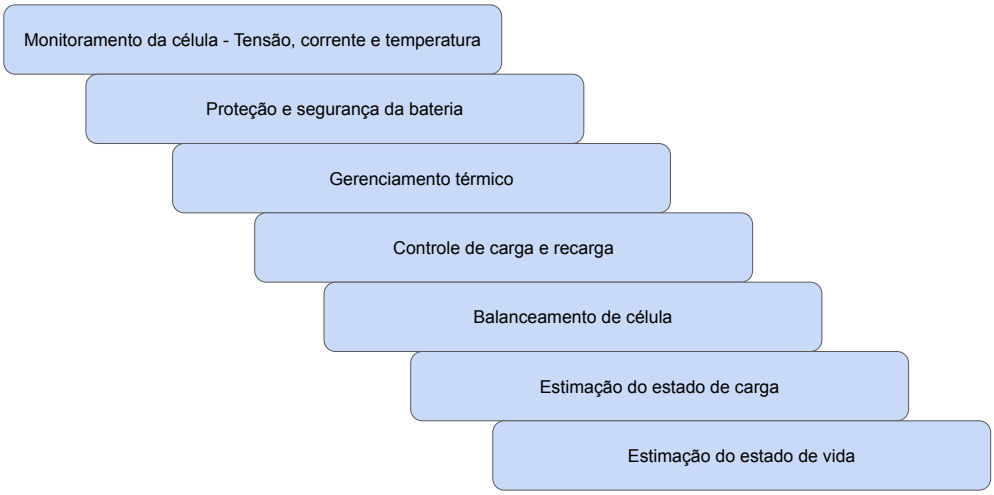
O sistema de gerenciamento das baterias, BMS, é um componente essencial do *pack* de baterias, devendo obter todas as informações do veículo e do pack para garantir uma operação segura e otimizar o desempenho das baterias (RECH, 2022).

Além da função principal de proteção da bateria, um BMS deve estimar o status da bateria para prever a quantidade real de energia que ainda pode ser fornecida à carga. Esta é uma tarefa bastante desafiadora, pois o desempenho da bateria em termos de capacidade útil, e resistência interna, varia ao longo do tempo (BRANDL et al., 2012).

As medidas de corrente, tensão e temperatura da bateria são as principais entradas de um sistema gerenciamento eletrônico de bateria (BRANDL et al., 2012).

Se projetado corretamente, o BMS não só realiza a proteção e manejo adequado das células de bateria, como também prolonga a vida útil da mesma, corrigindo o desbalanceamento de carga e tensão entre as células. A Figura 2 ilustra as variadas funções pertinentes aos BMS.

Figura 2 – Funções de um BMS.



Fonte: Adaptado de (RAHIMI-EICHI et al., 2013).

O gerenciamento de recarga e descarga é crucial para corrigir o problema de desbalanceamento de células citado anteriormente, visto que cada bateria possui um número específico de recarga e descarga.

O BMS usualmente precisa se comunicar com todo veículo, para receber e fornecer informações. Atualmente o protocolo de comunicação CAN (*Controller Area Network*) é um dos padrões mais utilizados para aplicações automotivas (RECH, 2022).

2.3 MÉTODOS DE RECARGA

Segundo (SHAHED; RASHID, 2024), existem 3 possíveis maneiras de se carregar um veículo elétrico: recarga condutiva, recarga indutiva e estação de troca de bateria (*Battery Swap Station* - BSS).

A primeira possibilidade, o carregamento condutivo, é a tecnologia mais predominante no mercado, possuindo infraestrutura e soluções bem estabelecidas; este tipo de recarga se

caracteriza pela conexão física do veículo a uma fonte de energia, o que possibilita a transferência de energia para o veículo.

Pode-se destacar que este método reduz perdas na rede, mantém a tensão do sistema, evita sobrecarga da rede, fornece energia ativa e pode até fazer uso de a bateria do veículo para compensar a energia reativa presente na rede elétrica. (SHAHED; RASHID, 2024).

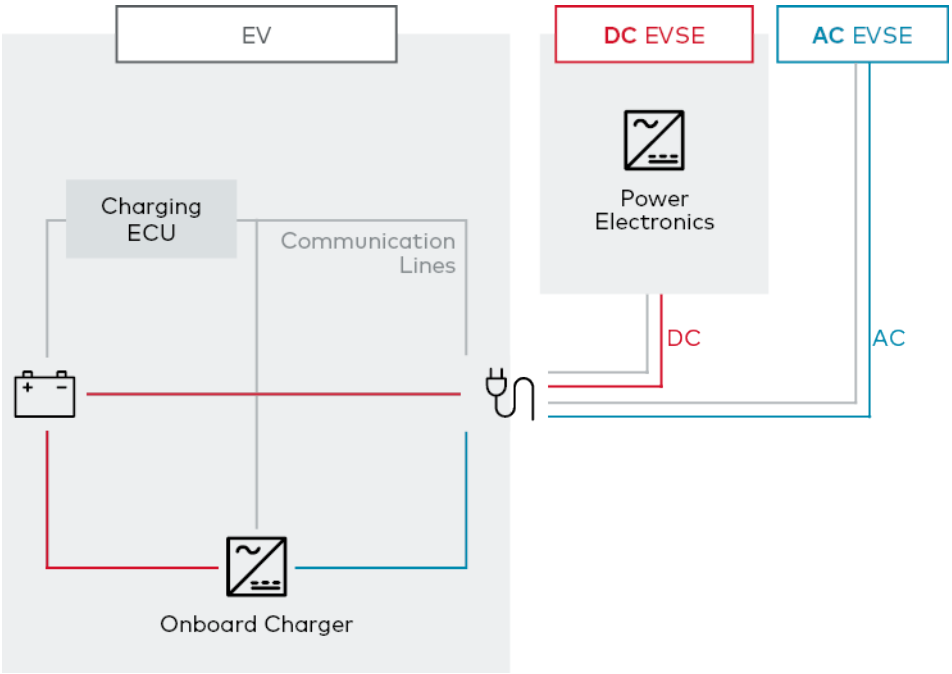
A energia primária presente na rede elétrica é disponibilizada em corrente alternada (ca) pela concessionária, por isso deve passar por um processo de retificação antes de ser entregue à bateria. Isto pode ocorrer fora do veículo (*off-board*), através de uma estação de recarga para veículos elétricos (EVSE), que gera uma corrente contínua (cc) aplicada diretamente na bateria, ou, a retificação pode ocorrer dentro do veículo elétrico, de forma embarcada (*on-board*), caracterizando-se como uma recarga ca.

Os carregadores integrados (*on-board*) são mais populares no mercado atual, entretanto, as estações de carregamento rápido (*off-board*) estão se integrando ao mercado rapidamente. (BOMMANA et al., 2023).

Conforme afirma (BOMMANA et al., 2023), as estações de recarga rápida cc possuem um custo de implementação maior, devido a necessidade de componentes eletrônicos mais robustos, porém, estas oferecem alguns benefícios, como por exemplo, carregamento mais rápido e seguro, comunicação própria entre fornecedores e consumidores de energia para recarga e até um melhor gerenciamento de bateria (operando em conjunto com o BMS interno ao veículo). Além disso, EVs próprios para recarga em cc costumam ser mais leves (devido a não possuírem os carregadores *on-board*).

A Figura 3 apresenta esta diferenciação entre recargas cc e ca (*on-board e off-board*).

Figura 3 – Diferenciação entre recargas cc e ca.



Fonte: (VECTOR, 2023).

2.4 CARREGADORES E MODOS DE RECARGA

Segundo (FALVO et al., 2014), os carregadores para EVs representam um papel fundamental para o desenvolvimento da mobilidade elétrica no mundo. Um bom carregador deve ser eficiente e confiável, com alta densidade de potência, baixo custo, baixo volume e baixo peso.

O nível de potência do carregador é o principal parâmetro que influencia no tempo de carregamento, custo e efeito na rede elétrica (FALVO et al., 2014). Devido à isto, os carregadores e estações de carga são classificados, principalmente, de acordo com nível de potência.

Conforme (FALVO et al., 2014), é possível realizar a divisão desses carregadores em três partes de acordo com o nível de potência:

- Carregador de Carga Lenta e Potência Normal

  Esses carregadores possuem uma potência máxima instalada de até 3,7 kW, para recarga em ca (uma fase, corrente máxima de aproximadamente 16 A), seu uso normalmente é doméstico ou em parques para recargas de longo período.

- Carregador de Carga Rápida e Potência Média

  Possuindo uma potência instalada que pode variar de 3,7 kW a 22 kW, recargas em ca, podendo ser monofásicos ou trifásicos (a depender da potência), esses carregadores são usados em estações de carga públicas e privadas.

- Carregador de Carga Rápida e Potência Alta

  Classificados como os carregadores de mais alta potência, possuindo potência instalada superior a 22 kW, podendo ser carregadores ca ou cc. Utilizados principalmente em centros públicos de recarga para cargas rápidas.

A normalização brasileira (ABNT NBR IEC 61851 e 62196), a qual se baseia no padrão adotado na Europa (IEC 61851 e 62196), realiza uma divisão dos carregadores com base no tipo de energia recebida (ca 1ϕ, ca 3ϕ e cc), nível de tensão, a presença do fio de proteção (terra) e linhas de controle, e por fim, a localização do carregador. Essa classificação acarreta em 4 modos diferentes para realizar a carga do EV.

Modo 1 O modo de recarga 1 permite a conexão do EV a uma tomada padrão em uma rede de alimentação em corrente alternada, utilizando cabo e plugue não equipados com função piloto ou contato auxiliar. Não possuindo proteção contra choques elétricos por um dispositivo de corrente residual.

Se trata, basicamente, de uma carga ca lenta, sem padronizações, como não conta com proteções para choques elétricos, foi proibida e descontinuada em vários países.

Modo 2 O modo de recarga 2 permite a conexão do EV a uma tomada normalizada de uma rede de alimentação em corrente alternada utilizando um sistema de alimentação em corrente

alternada, contendo cabo e plugue equipados com função piloto e sistemas de proteção contra os choques elétricos. O sistema de alimentação destinado a este modo deve possuir condutor de aterramento de proteção.

Similar ao modo 1, porém utiliza um soquete com a presença do condutor de proteção e piloto, como o tempo de carregamento associado a este modo é alto, normalmente é categorizado como uso doméstico, e compõe em grande parte os carregadores adquiridos junto a certos EVs (compra conjunta, como um carregador de celular).

Modo 3 O modo de recarga 3 permite a conexão do EV ao sistema de alimentação para EV (EVSE) em corrente alternada, com localização fixa e permanentemente conectado a uma rede de alimentação em corrente alternada, possuindo cabo e plugue equipados com função piloto e sistemas de proteção contra os choques elétricos. O sistema de alimentação destinado a este modo deve possuir condutor de aterramento de proteção.

Este modo de carga já se utiliza de soquetes específicos para carga, podendo esta ser lenta ou rápida, e que, possuem condutores de proteção e pino piloto. Usualmente utilizado em ambientes específicos, devido a necessidade de uma instalação dedicada.

Modo 4 O modo de recarga 4 se destaca por possuir o carregamento em cc, através de um sistema de alimentação externo ao veículo (a EVSE podendo ser alimentada por ca ou cc), possibilitando a recarga de veículos que não possuem o carregador *on-board*. O sistema de alimentação possui função-piloto de comando que se estende até o EV. Deve possuir condutor de aterramento de proteção.

Caracterizado pela recarga rápida em cc, de uso em centros públicos ou privados, com uma potência elevada.

Partindo para a normalização norte americana, a Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE) realizou sua padronização através da normativa SAE-J1772, criada em 1996 e atualizada conforme as novas demandas. Esta normativa realiza uma divisão baseada somente na potência instalada conforme abaixo.

- AC Nível 1: Tomada elétrica padrão para fornecer potência máxima de 1,9 kW (120 V ca e 16 A, 1ϕ), retificação interna ao veículo (*On-board*).
- AC Nível 2: Tomada elétrica padrão para fornecer potência máxima de 19,2 kW (240 V ca e 80 A, 2ϕ), retificação interna ao veículo (*On-board*). Este nível de carregamento opera com duas fases (de um sistema trifásico), ao invés de uma fase e neutro.
- DC Nível 1: Carregador externo capaz de prover até 40 kW (500 V cc e 80 A), retificação externa ao veículo (*Off-board*).
- DC Nível 2: Carregador externo capaz de prover até 100 kW (500 V cc e 200 A), retificação externa ao veículo (*Off-board*).

Outra normativa que cabe destaque é a GB/T-20234, que padroniza as infraestruturas de recarga e veículos elétricos na China. Embora a China inicialmente tenha adotado o padrão europeu, o uso de seu próprio padrão vem sendo promovido e difundido dentro do país e continente asiático (SANGUESA et al., 2021).

A norma chinesa, GB/T-20234, apresenta uma classificação similar à norte americana, realizando sua divisão com base na potência instalada. Assim sendo, ela apresenta três diferentes níveis para os carregadores.

- Carregamento AC 1ϕ - Carregamento em ca, com 250 V e corrente de 32 A (totalizando 8 kW).
- Carregamento AC 3ϕ - Carregamento em ca, com 440 V, podendo apresentar uma corrente de até 63 A (totalizando 27,7 kW).
- Carregamento DC - Carregador externo para recarga em cc com capacidade de fornecer até 250 kW (1000 V cc e 250 A).

A Tabela 2 resume as diferenças entre os carregadores de acordo com as normas apresentadas.

Tabela 2 – Comparação entre carregadores de acordo com a normalização.

Classificação	Norma	Fases	Tensão Máx.	Corrente Máx.	Potência Máx.
Modo 1	ABNT NBR IEC 61851\62196	1ϕ	230-240 V	16 A	3,8 kW
Modo 1	ABNT NBR IEC 61851\62196	3ϕ	480 V	16 A	7,6 kW
Modo 2	ABNT NBR IEC 61851\62196	1ϕ	230-240 V	32 A	7,6 kW
Modo 2	ABNT NBR IEC 61851\62196	3ϕ	480 V	32 A	15,3 kW
Modo 3	ABNT NBR IEC 61851\62196	1ϕ	230-240 V	32-250 A	60 kW
Modo 3	ABNT NBR IEC 61851\62196	3ϕ	480 V	32-250 A	120 kW
Modo 4	ABNT NBR IEC 61851\62196	—	600-1000 V	250-400 A	400 kW
AC Nível 1	SAE-J1772	1ϕ	120 V	16 A	1,9 kW
AC Nível 2	SAE-J1772	2ϕ	240 V	80 A	19,2 kW
DC Nível 1	SAE-J1772	—	200-500 V	80 A	40 kW
DC Nível 2	SAE-J1772	—	200-500 V	200 A	100 kW
Carga AC	GB/T-20234	1ϕ	250 V	32 A	8 kW
Carga AC	GB/T-20234	3ϕ	440 V	63 A	27,7 kW
Carga DC	GB/T-20234	—	750-1000 V	250 A	250 kW

Adaptado de (SANGUESA et al., 2021)

Cabe ressalva de que, a norma ABNT NBR IEC 61851-1, que apresenta os modos de recarga, limita a transferência de corrente para o máximo de 80 A (modo 3), divergindo do valor máximo apresentado pela ABNT NBR IEC 62196-1, que delimita este valor como sendo no máximo 250 A.

É possível ainda destacar os carregadores da *Tesla Company*, que apesar de não ser uma norma internacional propriamente dita, possui pontos próprios de recarga rápida, chamados de *Supercharger Stations*, os quais realizam uma recarga em cc e utilizam sistema próprio, com a maior parte de suas patentes liberadas. Embora tenham um capacidade de carregamento máxima

de 145 kWh, esses carregadores estão atualmente limitados a 120 kWh, o que permite carregar metade da bateria de um *Model S* em apenas 20 minutos, ou 80% em meia hora (SANGUESA et al., 2021).

Existe ainda a possibilidade de classificar os carregadores de acordo com o uso comercial (englobando local de uso, custo, tempo, acesso e posse do carregador), com isto, pode-se dividir em:

- Carregador Portátil

  Este tipo de carregador pode muitas vezes ser entendido como um simples adaptador, capaz de ser conectado em tomadas normatizadas de um país ou região, que adapta esta tomada local para a conexão em um EV. É caracterizado justamente por ser compacto e móvel, e devido a isto, alguns modelos sofrem de limitações de potência, entregando menos energia e consequentemente levando mais tempo para finalizar uma recarga completa.

- *Wallbox*

  Como o próprio nome sugere, este tipo de carregador é projetado para ser instalado em paredes ou totens, geralmente são fixos, porém sua estrutura permite uma realocação se necessária. Segundo (NEOCHARGE, 2023b), esses carregadores são mais seguros que os carregadores portáteis, pois possuem proteções internas, bem como uma instalação elétrica dedicada, comumente encontrado com potência variando de 3,7 kW a 22 kW em ca.

- Carregador Comercial

  O carregador comercial é similar ao carregador *Wallbox*, porém acabam apresentando maior robustez e um número maior de saídas para o carregamento, possibilitando recargas múltiplas, o que impacta na sua utilização, sendo alocado em recintos e centros comerciais.

- Estação de recarga rápida cc

  Estes carregadores rápidos, também conhecidos como eletropostos, *Fast Charge DC* ou carregadores ultrarrápidos, são os mais potentes existentes em uso e conseguem realizar a recarga da bateria de um veículo elétrico em poucos minutos, sendo ideais para postos de serviço e abastecimento, rodovias e frotistas (NEOCHARGE, 2023b).

  São projetados com circuitos retificadores integrados, que possibilitam a transferência de energia em cc para o veículo, mas ainda assim em muitos casos apresentam uma outra saída para recarga em ca. Como consequência de sua recarga em cc, o mesmo também pode ser caracterizado através do modo de recarga 4.

  Em ca, a estação fornece energia a uma potência de 40 kW a 60 kW, enquanto em cc, a potência chega a 400 kW, ficando limitado à potência máxima de recarga do próprio carro.

Por conta desta alta potência o veículo é carregado em pouco tempo (NEOCHARGE, 2023b).

Assim como os carregadores comercias, são instalados em grandes centros, porém devido ao seu alto valor de instalação, são alocados em pontos específicos, os quais são levantados principalmente com base no fluxo de veículos. A Figura 4 ilustra uma estação de recarga rápida cc.

Figura 4 – Estação de recarga cc.



Fonte: (NEOCHARGE, 2023b).

2.5 PADRÕES DE CONECTORES

Existem diversos padrões adotados e normalizados ao redor do mundo para os plugues e tomadas utilizados em EVs. A seguir, os mesmos são abordados (de maneira breve) e diferenciados.

2.5.1 Tipo 1 (SAE J1772 - IEC 62196)

O plugue de tipo 1 é projetado para carregamento em rede monofásica (voltado para uma recarga residencial), é predominante na América do Norte. Este plugue foi inicialmente padronizado pela norma SAE-J1772 (americana), porém foi adaptado e aceito na Europa através da IEC 62196-2(SANGUESA et al., 2021).

Esse tipo de plug pode fornecer até 19,2 kW (80 A e 240 V em ca) (RAFF et al., 2019).

2.5.2 Tipo 2 (IEC 62196)

O plugue do tipo 2 foi projetado para substituir o plugue do tipo 1 e conseguir entregar uma maior potência na recarga. Pode ser utilizado em sistemas trifásicos, mas não se restringe aos mesmos, caso o processo de recarga seja monofásico os pinos L2 e L3 (presentes na Figura 5) não são utilizados. Os conectores deste tipo, por norma, conseguem fornecer até 120 kW de potência (400 V e 250 A), porém usualmente se encontram até 43 kW.

2.5.3 CCS (Combined Charging System) tipo 1

Este conector pode ser entendido como uma variação do tipo 1, porém com dois pinos extras que possibilitam uma recarga em corrente continua, além da recarga por corrente alternada. O conector CCS1 é predominante na América do Norte, assim como o conector tipo 1, possibilitando variar o modo de carga de acordo com a necessidade, caso o usuário opte pela recarga em cc, sua comunicação de alto nível se dá através de *Power Line Communication* - PLC, já se optar pela recarga em ca, somente será utilizada a comunicação de baixo nível. (VECTOR, 2023).

O CCS, ou CCS1, possibilita uma transferência de potência de 75 kW (600 V em cc e 125 A em cc) (RECH, 2022).

2.5.4 CCS (Combined Charging System) tipo 2

O conector CCS tipo 2 pode ser aplicável para recargas em ca (tipo 2) e em cc. Sendo entendido como uma variação do tipo 2, e apresentando como incremento do CCS 1, este conector é o conector padrão da Europa, possibilitando uma transferência de potência de 200 kW (1.000 V e 200 A em cc) (RECH, 2022).

2.5.5 Conector CHAdeMO

O conector CHAdeMO é um conector de recarga rápida em corrente contínua utilizado e desenvolvido no Japão. Sua comunicação avançada se dá através do protocolo CAN, inicialmente foi desenvolvido para operar até 62,5 kW (500 V e 125 A),porém o novo conector denominado CHAdeMO 2.0 pode chegar até a 400 kW (1.000 V em cc e 400 A em cc) (RAFF et al., 2019).

2.5.6 Conector GB/T

O conector GB/T apresenta duas possíveis variações, ambos projetados, e predominantemente utilizados, na China. A primeira é denominada GB/T 20234-2, ou AC GB/T, é padronizada para uma recarga em corrente alternada, com potência de até 27,7 kW (440V, 63A), apesar de seu formato ser similar ao conector tipo 2, os mesmos não são compatíveis fisicamente, isso pois os conectores fêmea se encontram no veículo elétrico, diferente do padrão adotado no plug europeu.

A outra variação, para recargas rápidas em cc, é denominada GB/T 20234 DC, ou DC GB/T, assim como seu complementar é empregado predominantemente na china, sua comunicação avançada se dá através do protocolo CAN e apresenta uma capacidade máxima de transferência de potência de 250 kW (1.000 V em cc e 250 A em cc) (SANGUESA et al., 2021).

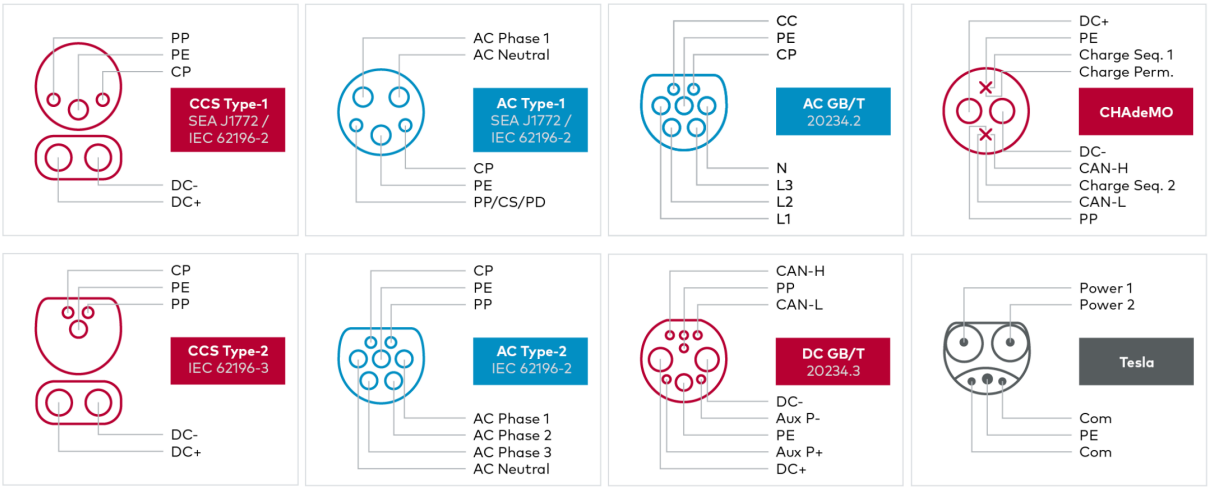
2.5.7 Conector Tesla

A Tesla tem seu próprio padrão de conector para seus veículos, que é projetado para recarregar os veículos tanto em cc, como ca, utilizando o mesmo conector, podendo suportar cargas de até 150 kW (NEOCHARGE, 2023c).

Cabe ressalva que, devido a diretiva 2014/94/EU da união europeia, os veículos da marca Tesla vendidos em território europeu, possuem, na maioria dos casos, a interface de conexão CCS2 (VECTOR, 2023).

A Figura 5 ilustra os padrões de conexões para EVs. Sendo que, devido a implementação da norma Europeia, o mais comum no Brasil são os conectores referenciados ao tipo 2, embora, devido a influência da marca Tesla, seu conector segue se popularizando em território nacional.

Figura 5 – Tipos de conectores para recarga.



Fonte: Adaptado de (VECTOR, 2023).

2.6 NORMAS E REGULAMENTAÇÃO PARA ESTAÇÕES DE RECARGA

Conforme já apresentado, a norma que regulamenta as estações de recarga para veículos elétricos no Brasil é a ABNT NBR IEC 61851 – Sistemas de Recarga Condutiva Para Veículos Elétricos, elaborada pela *International Eletrotechnical Comission* (IEC) e incorporada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para uso em território brasileiro. Cabe ressalva de que esta norma possui diversas partes e que nem todas são apresentadas pois estão fora do escopo deste trabalho de conclusão de curso.

2.6.1 ABNT NBR IEC 61851-1

A ABNT NBR IEC 61851-1 apresenta os requisitos gerais para sistemas de recarga, obrigatoriedades na construção física, no *hardware* e no *software*; bem como caracterizações entre sistemas de alimentação, modos e tipos de recarga. Compreende os requisitos relativos aos sistemas de alimentação em corrente alternada para EVs, e elenca alguns pontos para sistemas de alimentação em corrente contínua para EVs.

A seguir são apresentados alguns dos tópicos apresentados na norma e que são compreendidos como necessários para melhor entendimento dos protocolos de comunicação envolvidos na recarga de EV.

2.6.1.1 Requisitos gerais

O sistema de alimentação para EV deve ser construído de modo que seja possível realizar a conexão de um EV, garantindo a transferência de energia com segurança e com um elevado nível de desempenho.

2.6.1.2 Modos de recarga

Conforme abordado previamente neste capítulo, existem subdivisões para os modos de recarga de um VE, e estas são apresentadas nesta norma.

Apesar de não estar plenamente salientado na norma, é perceptível que o modo de recarga 1 é o mais simples e o que possui menos requisitos de segurança, devido a isso, ele não é muito utilizado e em alguns países, até mesmo proibido (embora a norma reconheça sua existência).

O modo de recarga 2 já apresenta protocolos de comunicação e segurança que garantem um funcionamento mais seguro e adequado, tanto para o carro quanto para o usuário. Devido a facilidade de instalação (conexão a uma tomada normatizada do país), é usualmente empregado como uma espécie de carregador portátil ou de emergência.

Os modos 3 e 4 são de longe os mais utilizados, modo 3 se apresenta possuindo um maior cunho residencial que o modo 4, porém ambos são muito utilizados em postos de recarga e grandes centros comerciais; o modo 3 acaba sendo muito utilizado nas estruturas *Wallbox*, e o modo 4, para estruturas comerciais de recarga rápida.

2.6.1.3 Funções obrigatórias

O sistema de alimentação para EV deve assegurar as seguintes funções obrigatórias para os modos de recarga 2, 3 e 4.

- Verificação contínua da continuidade do condutor de proteção

  A Verificação contínua da continuidade do condutor de proteção é realizada através do circuito de pino piloto de controle (CP), caso ocorra alguma falha relacionada à abertura

ou curto circuito do mesmo, uma rápida desenergização por parte da EVSE deve ser realizada.

- Verificação de que o EV está corretamente conectado ao sistema de alimentação para EV

  O sistema de alimentação para EV deve ser capaz de determinar que o veículo está corretamente conectado ao sistema de alimentação para EV.

- Energização do EV

  A EVSE deve garantir a correta energização do EV, somente após constatação e implementação do CP.

- Desenergização do EV

  A EVSE deve conseguir realizar a desenergização do EV de forma segura.

- Corrente admissível máxima

  Um meio deve ser previsto para informar o EV do valor da corrente máxima que é permitido consumir.

Entre várias imposições normativas, vale destacar a obrigatoriedade do dispositivo de proteção à corrente residual, isolando o uso do modo 1 no Brasil, para proteção contra choques elétricos. Além disso, impõe a restrição do uso de adaptadores somente com EVSEs de tomada fixa, carregadores para modo 3 e 4.

2.6.1.4 Anexo A

O Anexo A estabelece a configuração do circuito do CP, bem como possibilidades de implementação, restrições e indicações. Isso será discutido posteriormente no capítulo 03.

2.6.1.5 Anexo B

O anexo B trata da implementação do circuito do pino de proximidade (PP), sua principal função é identificar a presença do cabo de recarga conectado ao veículo, realizar um travamento do EV, além de informar à EVSE a capacidade de corrente do cabo, garantindo a segurança elétrica e a compatibilidade do carregamento.

A codificação da corrente pelo pino PP é realizada com a associação de resistores, sendo esses resistores conectado entre o PP e o condutor de proteção (PE). A Tabela 3 expõe a correspondência entre correntes e resistências.

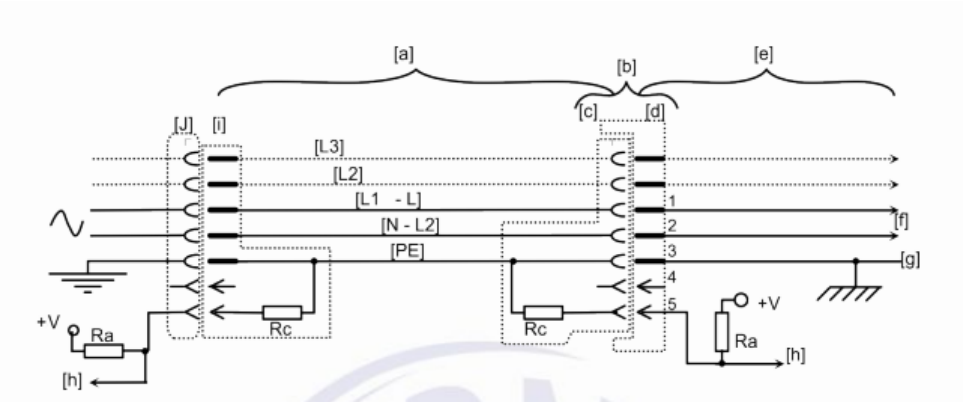
Tabela 3 – Codificação de corrente pelo PP.

Corrente nominal do cabo	Resistência entre PP e PE
13 A	1500 Ω
20 A	680 Ω
32 A	220 Ω
63 A	100 Ω

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2021a)

O registro máximo de corrente permissível ao cabo é de interesse do EV e da EVSE, portanto, ambos realizam esta verificação, conforme ilustrado pela Figura 6, onde em "J"se apresenta a tomada fixa da EVSE e em "b"o conjunto conector para EV.

Figura 6 – Circuito de detecção de proximidade - Circuito do Pino PP.



Fonte: (ABNT, 2021a).

2.6.2 ABNT NBR IEC 61851-23

A norma IEC 61851-23 fornece diretrizes técnicas para garantir a segurança, comunicação interoperabilidade e eficiência da EVSE (Estação de recarga), que fornece energia em corrente contínua para os EVs através do modo de recarga 4.

2.6.2.1 Funções obrigatórias

A seguir se encontram as funções, que devem ser fornecidas por um sistema de recarga em corrente contínua (cc).

- Verificar se o veículo está conectado corretamente

  Similar à apresentada na parte 1 da norma, garante a conexão entre EV e EVSE

- Verificar a continuidade do condutor de aterramento

  Similar a apresentada na parte 1 da norma, porém com delimitações temporais diferentes, e diferenciação entre sistemas isolados e não isolados.

- Energização do sistema

  A EVSE deve garantir a correta energização do EV.

- Desenergização do sistema

  Assim como na parte 1, a EVSE deve ser capaz de desenergizar o sistema com segurança, mesmo em casos de falha.

- Alimentação em cc para o EV

  A estação de recarga em corrente contínua para VE deve fornecer tensão e corrente contínua para a bateria do veículo de acordo com o controle da função de controle de recarga.

- Medição da correte e da tensão

  A EVSE deve realizar medições cíclicas de corrente e tensão.

- Retenção/liberação do conjunto conector do EV

  Um mecanismo para trava e liberação do conector deve ser implementado.

- Travamento do conjunto conector do EV

  O mecanismo de trava deve atuar, e impossibilitar a desconexão do plugue se a tensão nos terminais cc forem superiores a 60 V.

- Avaliação de compatibilidade

  Este tipo de recarga exige uma comunicação mais apurada, e a EVSE e o EV devem ser compatíveis nos seus protocolos de comunicação.

- Ensaio de isolamento antes da recarga

  A EVSE deve confirmar a resistência de isolamento entre o seu circuito de saída cc e o condutor de proteção, que deve estar conectado ao chassi do veículo.

- Proteção contra sobretensões na bateria

  Deve haver medidas de proteção da bateria do EV, durante a recarga, em caso de sobretensão, deve ser iniciada uma parada de emergência.

- Verificação da tensão no plugue conector do EV

  Realização de medições cíclicas utilizadas na trava do conector com o EV.

- Integridade da alimentação do circuito de controle

  Em caso de falhas graves, somente a alimentação de potência deve ser desconectada, mantendo a alimentação referente ao controle e comunicação da EVSE.

- Ensaio de curto-circuito antes da recarga

  A norma não disponibiliza detalhes sobre a implementação desta funcionalidade.

- Paralisação da recarga por iniciativa do usuário

  A EVSE deve permitir o encerramento da recarga por iniciativa do usuário.

- Proteção de sobrecarga para os condutores paralelos

  Medida de segurança, que visa realizar o correto balanceamento de corrente de potência nos casos em que o cabo utiliza condutores em paralelo.

- Proteção contra sobretensão temporária

  As EVSEs devem garantir um nível máximo de tensão de saída, a depender do seu próprio limite, as estações de 500 V não devem possuir tensões de saída maiores que 550 V durante mais que 5 s. Até 1000 V, a restrição se dá na mesma faixa temporal, porém limitada a 110% da tensão limite.

- Parada de emergência

  A EVSE deve prever um mecanismo de diminuição controlada de tensão e/ou corrente em casos de anomalia.

2.6.2.2 Tolerâncias de corrente e tensão na saída cc

Em um primeiro momento, a norma estabelece limitações de corrente para a recarga controlada por corrente em $\pm$ 2,5 A para valores de corrente total abaixo de 50 A, e $\pm$ 5% para valores acima de 50 A. Já para a recarga controlada por tensão, a tolerância é de $\pm$ 2% do valor nominal de tensão.

A norma ainda estabelece o comportamento da rampa de subida de corrente, com uma taxa mínima de 20 A/s e de interrupção de corrente (em condições normais) de no mínimo 100 A/s.

2.6.2.3 Comunicação entre o EV e a EVSE em corrente contínua para EV

Como os EV são equipados com diversas baterias de diferentes tecnologias, cabe ao veículo gerenciar o processo de recarga, assegurando assim que uma EVSE possa atender aos mais variados veículos através de um bom sistema de comunicação.

A comunicação entre a EVSE e o EV pode ser realizada através de uma comunicação básica e uma comunicação de alto nível (digital). Sendo que, as etapas chaves do processo de controle de recarga (início, fim, parada de emergência, etc.), devem ser gerenciadas pela comunicação básica, através da troca de sinais no circuito do pino piloto de controle instalado na estação de recarga; já as etapas que envolvem parâmetros de controle devem ser realizadas através da comunicação digital (CAN ou PLC).

O processo total de controle e estado de recarga, Figura 9, deve ser constituído de três etapas:

1. Processo antes do início da recarga (inicialização)

   Em um primeiro momento o EV e a EVSE realizam uma troca de informações sobre características e limitações operacionais, como por exemplo tensão limite da bateria, corrente de recarga máxima, etc. Deve ocorrer também a verificação de conexão entre a EVSE e o EV, e compatibilidade, sendo que se não houver compatibilidade, o processo de recarga não deve prosseguir para ao próxima etapa. Após a verificação de compatibilidade ser assegurada, a estação de recarga deve travar o conjunto conector do EV e realizar o ensaio de isolamento.

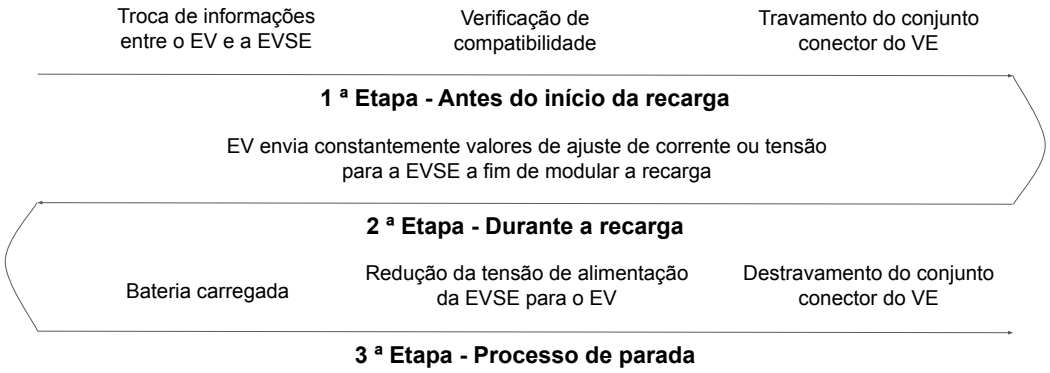
2. Processo durante a recarga (transferência de energia)

   Durante este processo o EV se mantém enviando valores de ajuste de corrente ou tensão de recarga para a estação afim de modular e controlar a recarga (recarga de corrente controlada - CCC ou recarga de tensão controlada - CVC respectivamente).

3. Processo de parada

   Em situações normais, a parada deve ocorrer quando a capacidade da bateria do veículo atingir certo limite ou quando o processo for interrompido pelo usuário. Já a parada de emergência deve ocorrer de acordo com a situação de defeito. Quando o veículo noticiar o fim da parada para a EVSE, a mesma deve reduzir a zero a corrente de recarga; após a tensão do plugue fixo do EV atingir o nível de segurança (usualmente abaixo de 60 V em cc) a tomada pode ser destravada pela EVSE e o usuário pode retirar a tomada móvel do veículo.

Figura 7 – Processos e estados básicos de controle.



Fonte: Autor, (2025).

2.6.2.4 Anexos AA e BB

A norma dispõe de três sistemas diferentes de conexão (Anexo AA, BB e CC), o sistema AA por exemplo, se refere ao conector CHAdeMO. Todavia, esses conectores não são estudados neste trabalho de conclusão de curso.

2.6.2.5 Anexo CC - Estação de recarga em corrente contínua para EV sistema C

A estação de recarga em corrente contínua para EV do sistema C, também denominada de sistema de recarga combinado, diz respeito aos conectores tipo CCS 1 e 2. Sua comunicação digital é realizada através do protocolo PLC e a comunicação básica se dá através de pinos piloto e proximidade, estando de acordo com a ABNT NBR IEC 61851-1 e a SAE J1772. A Tabela 4 apresenta os estados do processo de recarga.

Tabela 4 – Resumo dos estados do processo de recarga para o sistema C, conforme ordem, em uma recarga completa.

Estados da Recarga	Definição
t_0	A tomada móvel do EV é inserida no pluge fixo, alterando o estado do CP
$t_0 \rightarrow t_1$	A comunicação de alto nível (PLC) inicia
$t_0 \rightarrow t_1$	Verifica-se a tensão de saída cc, caso exceder o valor de 60V, a recarga é interrompida
t_1	O EV envia seus limites máximos de tensão e corrente
$t_1 \rightarrow t_2$	O EV trava a tomada móvel no seu plugue fixo
$t_1 \rightarrow t_2$	Verificação do isolamento interno
t_2	EV muda o estado da recarga para "C", sinalizando que está pronto ("ready")
$t_2 \rightarrow t_3$	Verificação do cabo e isolamento do sistema continuamente
t_3	Finalização da verificação inicial do isolamento
$t_3 \rightarrow t_4$	A EVSE indica o estado válido
t_4	EVSE passa para o estado pronto ("ready")
t_5	Inicialização da pré-carga (EV solicitando corrente inferior a 2A e a tenão requerida)
$t_5 \rightarrow t_6$	A EVSE adapta a tensão de saída e corrente para os valores requisitados
t_6	A tensão disponibilizada atinge a requerida
t_7	EV fecha o seu contator interno
$t_7 \rightarrow t_8$	EV solicita o fornecimento de potência para a EVSE
t_8	EV estabelece o valor da corrente para transferência de energia
$t_8 \rightarrow t_9$	EVSE adapta o valor de corrente e tensão para os requeridos
t_9	A corrente de saída atinge o valor especificado
$t_9 \rightarrow$	EVSE adapta continuamente as solicitações de tensão e corrente do EV
t_{10}	EV reduz a solicitação de corrente para completar a transferência
$t_{10} \rightarrow t_{11}$	EVSE atende a solicitação e reduz a corrente (necessário ser inferior a 1A)
t_{11}	EV solicita a EVSE para desativar a saída de energia
$t_{11} \rightarrow t_{12}$	EV abre seu contator interno
t_{12}	EVSE desativa a saída de energia e abre seus contatores
t_{13}	A EVSE indica a desativação da saída em até 2s
t_{14}	EV muda o estado do CP
$t_{14} \rightarrow t_{15}$	EV inicia o monitoramento do seu isolamento
t_{15}	EV destrava a tomada móvel (se e somente se a tensão de alimentação estiver abaixo de 60V)
$t_{15} \rightarrow t_{16}$	EVSE prossegue com o monitoramento de isolamento
t_{16}	Solicitação de parada de carga finaliza a comunicação digital
t_{17}	Ocorre a desconexão da tomada móvel do veículo, alterando o estado do CP

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2020)

Este trabalho possui um foco maior na estrutura de recarga de sistema C, isto pois o Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) é dotado de uma estação de recarga com esse sistema (o qual será utilizado para testes que são apresentados futuramente neste trabalho).

Além do fluxo de carga apresentado, o anexo estabelece novos limites e tolerâncias para alguns pontos já apresentados previamente pela norma ($\pm$ 150 mA até 5 A, $\pm$ 1,5 A até 50 A e $\pm$ 3 % superior a 50 A).

Estabelece também limites temporais mais rígidos para duas falhas em específico: interrupção do pino CP e interrupção do pino PP. Em ambos os casos o limite para desconexão é de 30 ms.

2.6.3 ABNT NBR IEC 61851-24

A ABNT NBR IEC 61851-24 estabelece as diretrizes para a comunicação digital envolvendo sistemas de recarga cc A e C, através de duas arquiteturas principais baseadas nos

protocolos CAN (sistema A) e *Homeplug Green PHY* (sistema C, sobre a linha-piloto de controle).

A fim de que o processo de recarga seja concluído corretamente, a norma específica que as seguintes informações sejam trocadas entre o EV e a EVSE na comunicação digital.

a1	Demanda de corrente para recarga CCC
a2	Demanda de tensão para recarga CVC
a3	Tensão nominal máxima da EVSE para recarga em cc
a4	Corrente nominal máxima da EVSE para recarga em cc
b1	Protocolo de comunicação
b2	Tensão limite máxima do EV
b3	Corrente-limite mínima do VE (Somente CVC)
c	Resultado do ensaio de isolamento
d	Ensaio de curto-circuito antes da recarga
e	Paralisação da recarga pelo usuário
g	Perda da comunicação digital
h1	Confirmação de zero de corrente
h2	Detecção da soldagem de contatos

3 COMUNICAÇÃO ENTRE EV E EVSE

Neste capítulo é abordada a estrutura de comunicação envolvida nas recargas ca e cc referentes aos modos 2, 3 e 4, condizentes com os carregadores Tipo 1, Tipo 2, CCS1 e CCS2.

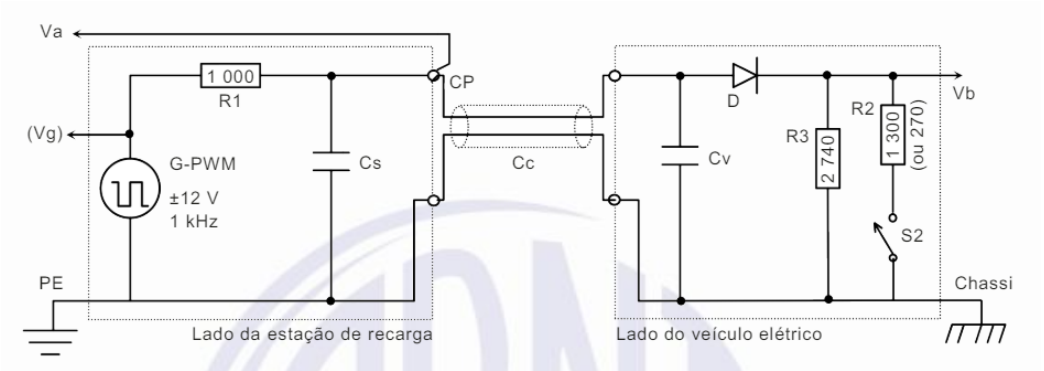
3.1 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DE BAIXO NÍVEL

A comunicação de baixo nível se dá inteiramente através do controle e modulação do sinal pertinente ao pino piloto. Os parâmetros indicados pela ABNT NBR 61851-1 são escolhidos para garantir a interoperabilidade com os sistemas projetados de acordo com a SAE J1772 (regulamentação norte americana).

A comunicação de baixo nível, como já citado, é responsável por controlar os parâmetros básicos da recarga do EV (início, fim, parada de emergência, etc.), e é controlada através da interação do EV com a EVSE, porém, para comunicação de baixo nível, verifica-se que a EVSE toma a frente no controle da recarga. Isso ocorre pois esta é quem determina os limites de operação, não sendo necessário a verificação integral de compatibilidade por parte do veículo, que ocorre somente na comunicação de alto nível.

A Figura 8 representa o circuito-piloto de comando típico de acordo com a ABNT NBR 61851-1 e a Tabela 5 apresenta a legenda e os valores típicos dos componentes presentes no circuito.

Figura 8 – Circuito-piloto de comando segundo a ABNT.



Fonte: (ABNT, 2021a).

Tabela 5 – Legenda circuito-piloto.

Símbolo	Legenda	Valor Nominal
Cc	Capacitância do Cabo de Conexão	Máx 1500 [pF]
Cs	Capacitância EVSE (filtro)	300 à 1600 [pF]
Cv	Capacitância de entrada (filtro)EV	Máx 2400 [pF]
CP	Contato do fio-piloto	—
D	Diodo de entrada	—
G-PWM	Gerador PWM	1 kHz
PE	Condutor de proteção (terra)	—
R1	Resistor equivalente da fonte	1000 [Ω]
R2.1	Resistor comutado para EVs sem ventilação	1300 [Ω]
R2.2	Resistor comutado para EVs com ventilação	270 [Ω]
R3	Resistência permanente EV	2740 [Ω]
S2	Chave de comutação recarga	—
Va	Tensão do fio-piloto	Conf. Estado de Recarga.
Vd	Queda de tensão no diodo	0,7 V

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2021a)

É notável a apresentação de R2 com dois valores diferentes, isso pois, apesar de não ser representado na imagem do circuito, o mesmo se caracteriza por dois valores diferentes, que interferem em possíveis estados de recarga, e indicam se há ou não a necessidade de ventilação forçada para a recarga.

O circuito típico apresentado pode ser divido entre o lado da EVSE e o lado do EV, desta forma pode-se identificar que o lado da estação de recarga conta com um gerador para modulação por largura de pulso (PWM), com frequência de 1 kHz, que é a base da comunicação. O PWM interage com o conjunto de resistências do lado do EV, que conforme chaveamento, alteram o valor de pico da modulação e consequentemente ditam o estado do processo de carregamento. É importante notar que no lado do EV tem-se a presença de um diodo, cuja função é bloquear a passagem de corrente negativa, ou seja, para o EV é fornecido somente o ciclo positivo do PWM.

3.1.1 Função piloto

Todo o funcionamento da comunicação em baixo nível pode ser tratado por dois parâmetros principais, o ciclo de trabalho do PWM e a tensão de pico do PWM, sendo que a EVSE é responsável pelo primeiro parâmetro e o EV pelo segundo.

3.1.1.1 Ciclo de trabalho - PWM

Como citado anteriormente, a EVSE atua e delimita a corrente disponível para recarga através do ciclo de trabalho do PWM. Além disso, dentro da variação do ciclo de trabalho é realizada a divisão do protocolo para recargas em ca, e recargas em cc (requerendo comunicação avançada).

A ABNT NBR 61851-1 e a Tabela 6 retratam os diferentes intervalos para o ciclo de trabalho (DC) do PWM presente na EVSE, sendo eles:

DC=0% Quando o ciclo de trabalho se encontra em 0%, tem-se um valor constante medido na tensão de pico (-12 V), que indica alguma falha presente na EVSE.

D<3% Faixa restrita a alguma possível inoperabilidade, desta forma, não disponibiliza corrente para recarga.

3%<D<7% Faixa estabelecida para comunicação digital, ou seja, durante recargas de modo 4 (cc), o PWM se mantém nesse ciclo, e as informações pertinentes a corrente são informadas pela comunicação avançada (caso esta faixa esteja atuante em uma recarga de modo 3, a mesma implica no valor de 0 A disponível pela EVSE).

7%<D<8% Neste intervalo a EVSE não disponibiliza nenhuma corrente para recarga, pois, esta faixa de ciclo se faz presente para isolar a comunicação digital, implicando em uma maior robustez ao protocolo.

8%<D<10% Esta faixa delimita uma corrente máxima de 6 A para a recarga de EVs nos modos 2 e 3, dito isso, pode-se verificar que todos os equipamentos para recarga de EVs que utilizam esse protocolo de comunicação, devem, obrigatoriamente, ser capazes de fornecer ao menos 6 A.

10%<D<85% Para este intervalo, a corrente máxima disponibilizada pela EVSE se da através da equação (1), que corresponde a uma equação linear.

85%<D<96% Esta faixa de valores segue uma regra similar a faixa anterior, porém sua equação para disponibilidade de corrente é diferente, e acaba por ser mais inclinada, a mesma se dá através da equação (2).

96%<D<97% Esta faixa de ciclo de trabalho indica o maior valor, permitido pela norma, que pode ser utilizado para uma recarga em ca, 80 A.

D>97% Esta faixa de valores para o ciclo de trabalho disponibiliza uma corrente igual a 0 A, pois também se caracteriza como uma faixa para indicar inoperabilidade e isolamento da faixa anterior (96 a 97%)

$$I_{Amax} = D \cdot 0,6 \tag{1}$$

$$I_{Amax} = (D - 64) \cdot 2,5 \tag{2}$$

Tabela 6 – Valores máximos de corrente de acordo com o ciclo de trabalho.

Ciclo de trabalho	**Corrente máxima**
Menor que 3%	0 A
Entre 3% e 7%	Comunicação digital
Entre 7% e 8%	0 A
Entre 8% e 10%	6 A
Entre 10% e 85%	$D \cdot 0,6$ A
Entre 85% e 96%	$(D-64) \cdot 2,5$ A
Entre 96% e 97%	80 A
Maior que 97%	0 A

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2021a)

3.1.1.2 Tensão de pico - PWM

O funcionamento e segregação dos estados de recarga se dão através da leitura de tensão presente no pino-piloto, e a mesma se dá através da logica abaixo.

Em um primeiro momento, estágio "A", onde não há a conexão do EV a EVSE, o resistor de 1 kΩ se encontra conectado apenas ao capacitor de filtro da EVSE, portanto a leitura de V_a se dá com a respectiva tensão de pico interna do gerador, no caso +12 V (11,3 V se considerar a queda de tensão no diodo).

Ao conectar-se o EV ao EVSE, estágio "B", tem-se a alteração do valor de V_a devido à queda de tensão presente no resistor R3, logo:

$$V_a = V_g \cdot \frac{R3}{R1+R3} = 12 \cdot \frac{2740}{1000+2740} = 12 \cdot 0,74 = 8,79V \approx 9V \tag{3}$$

O estágio "B", apenas indica que houve a conexão do EV a uma EVSE, mas não que sua recarga está habilitada por parte do mesmo, essa condição é conferida aos estados "C" e "D", que surgem com a comutação da chave S2 e conexão do resistor R2.

A título de exemplificação, considera-se que o veículo iniciou o processo de carga sem ventilação, mas que antes de concluir a recarga, a ventilação se fez necessária; logo, após o estado "B", o veículo caminha para o estado "C", com a conexão do resistor R2.1 (1300 Ω) ao circuito, assim tem-se o seguinte resistor equivalente do lado do EV e a seguinte queda de tensão:

$$R_{eq1} = \frac{R2 \cdot R3}{R3+R2} = \frac{2740 \cdot 1300}{2740+1300} = 881,68\,\Omega \tag{4}$$

$$V_{a1} = V_g \cdot \frac{R_eq1}{R1+R_eq1} = 12 \cdot \frac{881,68}{1000+881,68} = 5,62V \approx 6V \tag{5}$$

A partir do momento em que a ventilação se fez necessária, ocorre o chaveamento de R2.2 e a saída do resistor R2.1, com isso tem-se:

$$R_{eq2} = \frac{R2 \cdot R3}{R3 + R2} = \frac{2740 \cdot 270}{2740 + 270} = 245,78\,\Omega \tag{6}$$

$$V_{a2} = V_g \cdot \frac{R_e q2}{R1 + R_e q2} = 12 \cdot \frac{245,78}{1000 + 245,78} = 2,37V \approx 3V \tag{7}$$

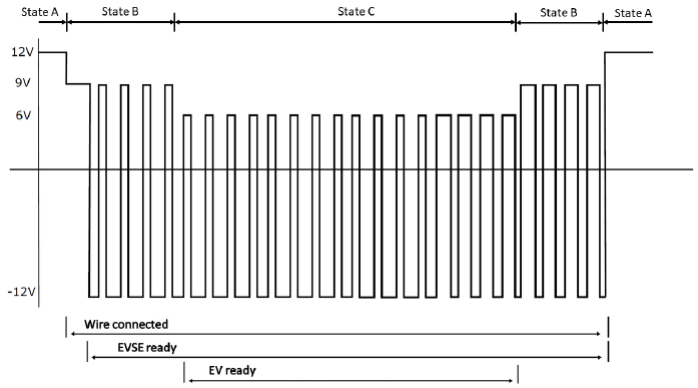
Os estados citados acima ("A", "B", "C" e "D"), ainda podem ser subdivididos em mais dois estados, correspondendo aos estados com índice "x1" e "x2", sendo esta diferenciação referente a liberação de energia da EVSE, ou seja, mesmo que a atenuação da tensão V $_a$ se encontre em 3 V ou 6 V, ainda é necessário a disponibilidade de consumo por parte da EVSE, e conforme já explicitado, isso ocorre através do controle do ciclo de trabalho do PWM. Desta forma, a recarga para do EV só ocorre nos estados "C2" e "D2".

Além dos estados apresentados, existem outros dois estados possíveis e que sinalizam situações não ideais e erros/falhas localizadas.

O estado "E" indica um curto-circuito entre o pino piloto e o fio de proteção, ou seja, a tensão V_a neste caso é reduzida a 0 V. Já o estado "F" é caracterizado pela presença de -12 V em V_a, o que sinaliza alguma falha na EVSE, como por exemplo a quebra ou desconexão de algum componente interno.

A Figura 9 indica os possíveis estados durante o processo de recarga, conforme o valor presente em V_a.

Figura 9 – Estados de recarga - Comunicação de baixo nível.



Fonte: (BECKHOFF, 2025).

A norma apresenta restrições para garantir o correto funcionamento e padronização do circuito do CP, como por exemplo, a restrição dos tempos de subida e descida do PWM em cada estado, neste caso os tempos de subida (10% a 90% do valor nominal do estado) e descida (90% a 10% do valor nominal do estado) devem respeitar os limites impostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Tempos de subida e descida máximos recomendados para o protocolo de comunicação.

Estado	Tempo de subida	Tempo de descida
B%	10 μs	13 μs
C%	7 μs	13 μs
D%	5 μs	13 μs

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2021a)

Cada estado está delimitado dentro de uma faixa de tensão específica, para todos os estados estabeleceu-se limites de $\pm$ 1 V, ou seja, para o estado "C" (padrão 9 V), qualquer valor entre 8 V e 10 V é válido.

A transição entre estados não é altamente restritiva, sendo que uma mudança brusca para os estados "A", "E" e "F" é permitida em qualquer passo da carga.

Após uma mudança de estado "C1" ou "D1", para "C2" ou "D2", a energização deve ocorrer em até 3 s. A desenergização com mudança para o estado "B", possui limitação de 100 ms para ocorrer, já se ocorrer somente o retorno ao estado "x1", isso deve ocorrer em até 3 s.

Ao ser implementado corretamente este protocolo (tendo como base o circuito e as relações apresentadas), é possível alcançar todos os pontos obrigatórios para uma EVSE funcionando em ca, conforme disposto abaixo e presente na ABNT NBR 61851-1.

- Verificação contínua da continuidade do condutor de proteção

  Isto foi alcançado através da leitura precisa e padronizada das formas de onda no PWM, pois com o cabo de aterramento rompido, ocorre uma interferência no pino piloto, advinda do circuito para travamento através do pino de proximidade.

- Verificação de que o EV está corretamente conectado ao sistema de alimentação para EV

  Isso ocorre devido a dois fatores: tensão positiva do CP (abaixo de 12 V) e leitura de tensão negativa do PWM, que garante a presença do diodo bloqueando a corrente no sentido negativo, assegurando que não há nenhuma falha ou fuga de corrente.

- Energização do EV e Desenergização do EV

  Concluídos através da estrutura e diferenciação dos estágios de recarga (A, B, C, D, E e F), que contemplam a passagem de corrente e consequentemente a energização / desenergização do EV.

- Corrente admissível máxima

  Essa limitação é compreendida através do controle do ciclo de trabalho, conforme já explicitado.

3.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DE ALTO NÍVEL

A comunicação de alto nível para sistemas tipo CCS1 e CCS2 envolve diferentes etapas e recorre ao uso da tecnologia para modulação PLC, através da arquitetura do *Homeplug Green PHY* (HPGP), já a troca de informações pode ser baseada em duas diferentes normalizações, a ISO 15118 e a DIN SPEC 70121. Devido a isto, antes de exemplificar o processo de recarga, é necessária uma rápida contextualização sobre estes protocolos.

3.2.1 HomePlug

O HPGP atua como a principal padronização para comunicação digital em recargas de veículos elétricos Tipo 1, Tipo 2, CCS1 e CCS2. Este protocolo foi desenvolvido para aplicações de baixa potência e alta eficiência energética, tendo sido baseado no seu antecessor, *HomePlug AV*. Este protocolo utiliza a infraestrutura elétrica existente para transmitir dados, realizando uma modulação em alta frequência, a partir de um sinal elétrico de frequência inferior, o que por sua vez, possibilita, se desejado, a integração de veículos elétricos com redes inteligentes (*smart grids*).

O protocolo utiliza da multiplexação por divisão de frequências ortogonais (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), aliado a esquemas variáveis de modulação. Sua modulação pode ser realizada dentro de uma ampla faixa de frequência (2 MHZ a 30 MHz). Além disso é compatível com protocolos baseados em TCP/IP, o que viabiliza, se desejável, a coleta e compartilhamento de dados de recarga, bem como interação com servidores (possibilidade de atuar em conjunto com os protocolos de controle para consumo e venda de recarga por meio da EVSE, como por exemplo o *Open Charge Point Protocol* - OCCP). A transmissão de dados ocorre de maneira criptografada, garantindo uma maior segurança para o protocolo quando o mesmo está conectado a alguma rede.

É importante destacar que a modulação via PLC ocorre sobre a mesma linha da modulação PWM, isso é possível devido a diferença de operação das frequências de modulação (PWM ocorre em 1 kHz e o PLC entre 2 MHz a 30 MHz), para que isso ocorra, são utilizados circuitos de acoplamento e isolação de frequência através de filtros.

Uma característica importante e que deve ser implementada juntamente com este protocolo, é a complementação via SLAC (*Signal Level Attenuation Characterization*); este trabalha em conjunto com o HPGP, conforme definido na especificação do mesmo, garantindo uma comunicação confiável e eficiente entre os EVs e as EVSEs. O SLAC é fundamental para o processo de autenticação e emparelhamento entre esses dispositivos, caso corriqueiro em carácter comercial (mais de um veículo utilizando a estação).

O protocolo SLAC garante uma conexão física entre o EV e a EVSE, operando na camada 2 (referencia ISO / OSI - enlace de dados). O SLAC mede a atenuação entre dois módulos de comunicação PLC para garantir que a comunicação ocorra apenas entre o EV e a EVSE fisicamente conectados. Durante a execução do procedimento, os módulos que apresentam

a menor atenuação são considerados fisicamente conectados. Em cenários onde vários EVs estão conectados a estações de recarga próximas, pode ocorrer diafonia (interferência entre conexões), para evitar esse problema, uma EVSE responderá a solicitações SLAC apenas se estiver conectada a um EV no Estado B e seu módulo PLC ainda não estiver vinculado a outro módulo, indicando um estado não pareado. De maneira simplificada tem-se:

1 Medição dos níveis de atenuação em diferentes caminhos do sinal.

2 Identificação dos módulos PLC que apresentam a menor atenuação.

3 Estabelecimento da conexão EV/EVSE, confirmando que os módulos estão fisicamente conectados.

4 A EVSE responderá às solicitações de associação SLAC apenas se esta estiver no Estado B, pronta para se comunicar com um EV conectado, ou o módulo do EV não estiver previamente emparelhado com outro módulo PLC.

Isso garante um processo de associação robusto e evita incompatibilidades de comunicação entre EVs e EVSEs vizinhos. Além disso, o SLAC pode vir a monitorar continuamente a qualidade do canal durante a recarga, ajustando parâmetros conforme necessário para manter a estabilidade da comunicação.

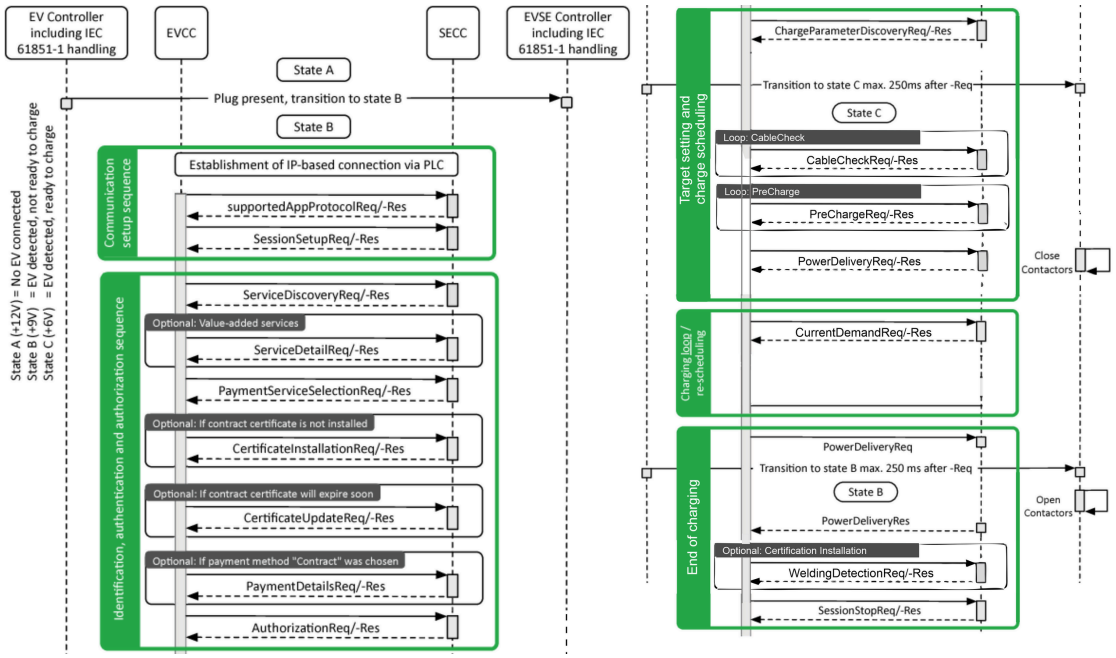
3.2.2 ISO 15118

Após a conexão e troca de dados ser estabelecida pelo HPGP, a negociação dos parâmetros de recarga, bem como a interação com a rede, se dá através do protocolo presente na ISO 15118. É neste estágio que são trocadas informações referentes a limites de potência e corrente, estado de carga da bateria, etc.

A troca de informações ocorre entre um módulo presente na EVSE, chamado de *Supply Equipament Communication Controller* - SECC e o outro no EV, denominado *Electric Vehicle Communication Controller* - EVCC. A operação desses dois componentes em conjunto, garante uma eficiente troca de informações.

Uma estruturação de mensagens envolve um processo de pareamento, autenticação, demanda e entrega, que pode ser melhor visualizado através da Figura 10.

Figura 10 – Estruturação das mensagens para uma recarga completa em cc.



Fonte: Adaptado de (TYPHOON, 2025)

Segundo (TYPHOON, 2025), pode-se realizar a divisão das mensagens em 5 grupos:

1. Configuração da Comunicação

    - *SupportedAppProtocolRequest* - O EV e a EVSE utilizam esse par de mensagens (requisição-resposta) para acordar sobre qual protocolo será utilizado (ISO ou DIN).
    - *SessionSetupRequest* - Usada para atribuir um ID único à sessão de comunicação. Com isto a sessão pode ser pausada e retomada posteriormente.

2. Identificação, Autenticação e Autorização

    - *Service Discovery* - O EV solicita os serviços disponíveis da EVSE (Ex: carga ca, carga cc, mecanismos de identificação, etc).
    - *PaymentServiceSelection* - Parâmetro associado ao acerto e cobrança pelos serviços que serão realizados.
    - *CertificateInstallation* - Para modo Plug&Charge, nele o EV deve possuir um certificado digital válido (implementação opcional).
    - *CertificateUpdate* - Para modo Plug&Charge, caso o certificado esteja para expirar, o EV pode solicitar uma atualização automática(implementação opcional).
    - *PaymentDetails* - Para modo Plug&Charge, o EV apresenta seu certificado à estação para autenticação e autorização(implementação opcional).

- *Authorization* - Método adicional de verificação e prevenção a ataques.

3. Agendamento de recarga

   - *ChargeParameterDiscovery* - EV e a EVSE trocam informações sobre limites de tensão/corrente, energia necessária e horário de saída.
   - *CableCheck* - Verificação do cabo para segurança do carregamento cc.
   - *PreCharge* - Ajusta a tensão da estação à tensão da bateria do EV, com corrente limitada ao no máximo 2 A.
   - *PowerDelivery* - Início do fornecimento de energia após confirmação da estação. O EV envia perfil de carga e a estação responde se a energia estará disponível.

4. *Loop* de recarga

   - *CurrentDemand* - Ajustes cíclicos de corrente/tensão requisitadas pelo EV.

5. Fim de recarga

   - *PowerDelivery* - Pedido de encerramento da recarga e transferência de energia.
   - *WeldingDetection* - Opcional, utilizado para verificar se não houve uma solda indesejada entre os cabos(implementação opcional).
   - *SessionStop* - Finalização da sessão de carga.

A ISO 15118 pode ser analisada em relação ao modelo de camadas OSI (*Open Systems Interconnection*), permitindo uma compreensão mais profunda de como as mensagens são estruturadas e transmitidas ao longo da comunicação através de diferentes camadas.

1. Física

   A camada física, já detalhada anteriormente, é estruturada através de PLC e do HPGP, utilizando o pino piloto de controle (CP).

2. Enlace de Dados

   Esta camada é responsável pela organização dos bits em quadros estruturados para garantir a entrega confiável de dados, isso é realizado pelo HPGP através de controle de acesso ao meio (MAC) e mecanismos de correção de erro.

3. Rede

   Para garantir a roteabilidade e endereçamento entre os módulos de comunicação, a ISO 15118 se baseia no protocolos de IP (*Internet Protocol* - IPv6). Durante a recarga, o veículo recebe um endereço de IP temporário atribuído pela EVSE, permitindo a troca de mensagens.

4. Transporte

   Para garantir a troca de mensagens, o protocolo é baseado em TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*).

5. Sessão

   Nesta camada, a conexão entre os módulos é estabelecida e mantida durante a recarga, incluindo características para V2G.

6. Apresentação

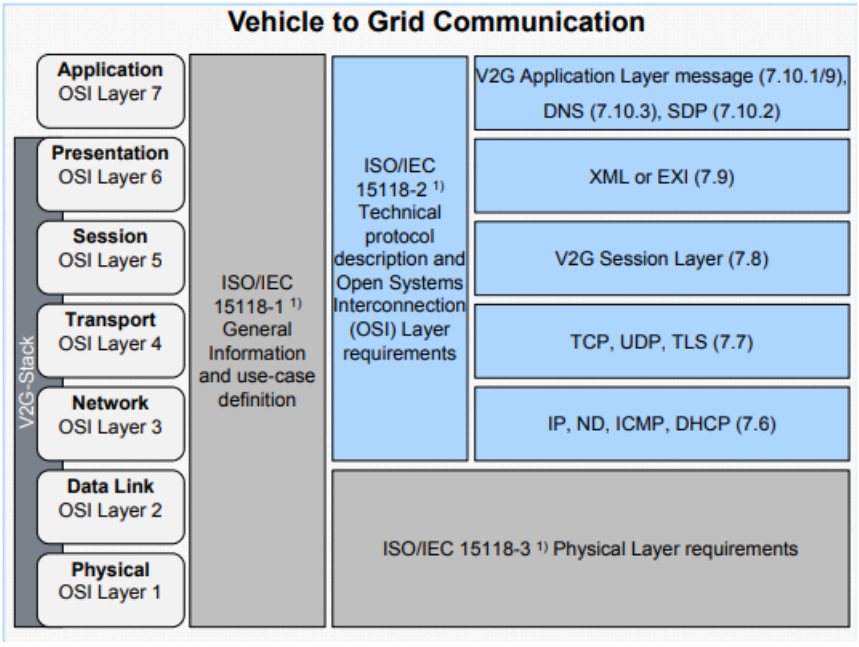
   A estruturação das mensagens é realizada através de XML ou *Extensible Markup Language*.

7. Aplicação

   Nesta camada, a lógica de comunicação é estabelecida, e a troca de mensagens (estruturadas na camada anterior) ocorre.

A Figura 11, apresenta a estruturação deste protocolo e a definição de camadas do modelo OSI.

Figura 11 – ISO Layers.



Fonte: (CHARIN, 2015)

Além da ISO 15118, algumas EVSEs implementam em conjunto o protocolo de dados DIN SPEC 70121, o qual se apresenta como uma alternativa mais simples e menos robusta, porém mais barata, rápida e de fácil implementação. Em contrapartida não apresenta características de conexão integradas com a rede (V2G), gerenciamento inteligente de recarga, protocolo de segurança *Transport Line Security* (TLS) e Plug & Charge. Os dois protocolos são muito similares,

com a estruturação de mensagens seguindo o mesmo padrão, porém, não são equivalentes, o que significa que um EVCC que possui somente a implementação DIN, não consegue se comunicar com uma SECC que possui somente implementação ISO.

3.2.3 Processo normal de carga

Nesta seção, é abordado um processo de carga, concluído com sucesso e sem interrupções, para exemplificar e ilustrar como ocorre a comunicação e a recarga como um todo.

Com base nas sequências temporais apresentadas no capítulo anterior, Tabela 4, é possível realizar a divisão em 8 etapas:

Tabela 8 – Etapas principais da recarga em corrente contínua.

Etapas	**Resumo**
Cabo Desconectado (*Unmated*)	Estado inicial onde não há conexão física entre o EV e a EVSE.
Cabo Conectado (*Mated*)	O cabo de carregamento está conectado, e a comunicação preliminar começa pelas linhas CP e PP.
Inicialização (*Initialize*)	O sistema realiza testes de diagnóstico e isolamento para garantir um carregamento seguro.
Verificação do Cabo (*Cable Check*)	Garante que o cabo está íntegro e pronto para o carregamento em alta tensão.
Pré-Carga (*Pré-Charge*)	A EVSE aumenta gradualmente a tensão para adequá-la à bateria do EV.
Carga (*Charge*)	A fase principal do carregamento, onde a energia cc em alta tensão é fornecida para a bateria do EV.
Desligamento Progressivo (*Power Down*)	O processo de carregamento é finalizado gradualmente para permitir uma desconexão segura.
Cabo Desconectado (*Unmated*)	Estado final, permitindo a remoção segura do cabo de carregamento.

Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Durante toda a sessão de carregamento, várias funções de segurança são monitoradas, incluindo: monitoramento de tensão, temperatura e aterramento de proteção (PE - *Protective Earth*)

Entrando em detalhes para cada etapa do processo e nas sequências temporais tem-se:

1. Desconectado - Antes de t_0

   O cabo não foi conectado, não há nenhuma conexão física entre o EV e a EVSE.

2. Conectado - t_0

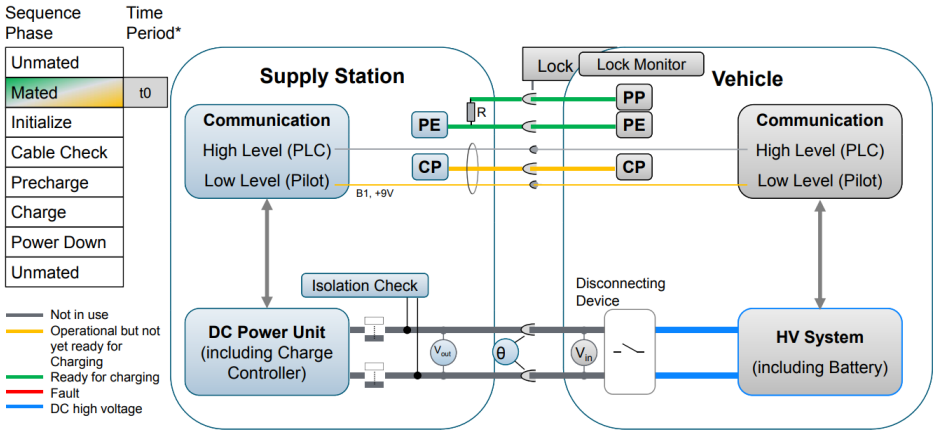
   No tempo t_0, o sistema CCS está na etapa conectado, logo o EV correspondente ao estado "B1", onde a tensão no CP variou de 12 V e agora está em 9 V. Esta fase serve para verificar a integridade mecânica e preparar o sistema para as verificações de segurança.

   - O cabo de carregamento está fisicamente conectado à entrada do veículo, iniciando a comunicação pelo CP.

- O PP detecta a conexão (através da checagem de resistência associada à este pino), verifica a presença do plugue e garante que este esteja trancado para evitar desconexões acidentais.
- A linha de aterramento PE está ativa, garantindo uma conexão segura.
- Os contatores cc tanto no EVSE quanto no EV permanecem abertos, ou seja, não há fluxo de energia no circuito de potência.

No diagrama: A linha CP aparece em amarelo, indicando que está operacional, mas ainda não pronta para a transferência de energia; A linha PP em verde confirma a conexão física entre EV e EVSE; As linhas DC+ e DC- estão em cinza, indicando que não estão energizadas.

Figura 12 – Etapa 2 Conectado - t_0.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

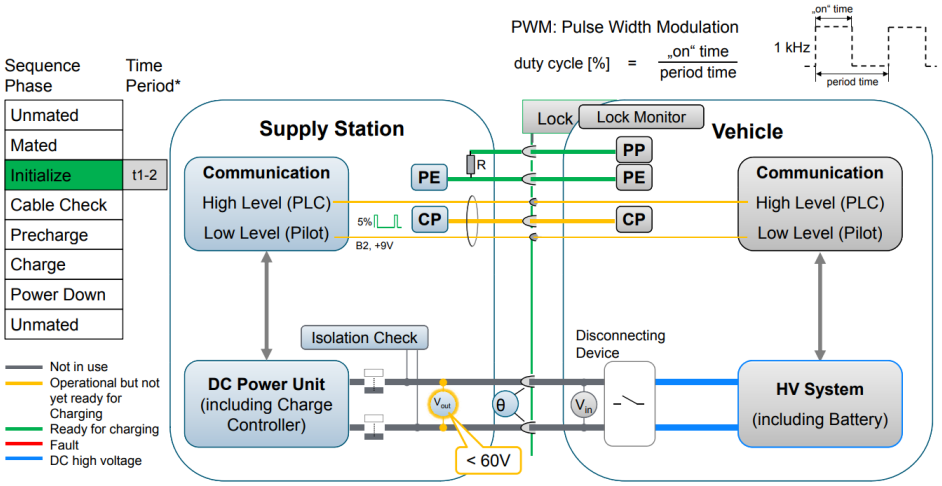
3. Inicialização - $t_1 \rightarrow t_2$

Entre os tempos t_1 e t_2, o CCS já se encontra na etapa "inicializado", consequentemente o EV está no estado "B2", ou seja a tensão em CP permanece em 9 V porém agora o sinal PWM está ativo e em 5% de *duty cycle*. Nesta fase:

- É estabelecida a comunicação básica entre o EVSE e o EV, indicando prontidão para os testes.
- O teste de isolação verifica se há falhas ou correntes de fuga antes da transferência de energia.
- Os contatores cc ainda estão abertos, e a tensão nas linhas DC+ e DC- é monitorada para garantir que permaneça abaixo de 60 V (tensão segura).
- Começa a ocorrer troca de informações como limites de operação e parâmetros de carga.

- Caso a tensão nas linhas DC for superior a 60 V, ou uma incompatibilidade de carga (EV e EVSE) seja verificada, a EVSE encerra o procedimento de carga.
- O mecanismo de trava impede a desconexão do plugue.

Figura 13 – Etapa 3 Inicialização - $t_1 \rightarrow t_2$.

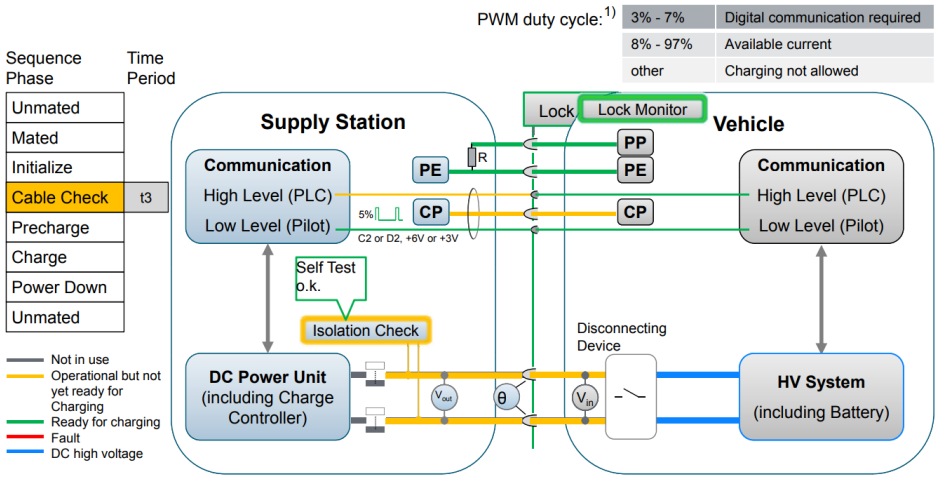


Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

4. Verificação do Cabo - t_3 e t_4

No tempo t_3, a sequência de carregamento entra no Estado "C2" ou "D2" (ventilação necessária), portanto o nível de tensão no pino CP se estabelece em 6 V ou 3 V, mantendo o *duty cycle* em 5%, indicando assim que o EV está pronto para recarga. O teste de isolação garante que não há falhas de isolação elétrica, além disso, o mecanismo de trava e o PP confirmam que o plugue está seguro e que o cabo suporta a corrente necessária.

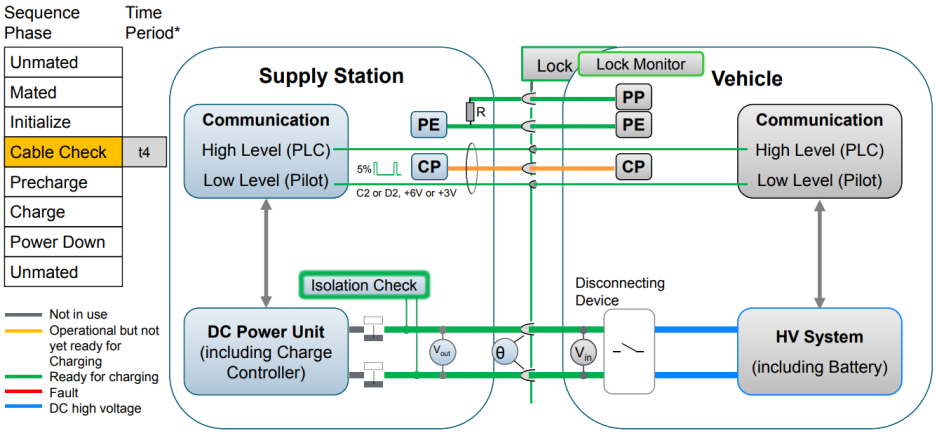
Figura 14 – Etapa 4 Verificação do Cabo - t_3.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Após a confirmação de que a resistência de isolação do sistema é superior a 100 kΩ passa-se para o período t_4, onde a EVSE indica que está pronta para começar a pré-carga.

Figura 15 – Etapa 4 Verificação do Cabo - t_4.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

5. Pré-Carga - t_5, t_6, t_7 e t_8

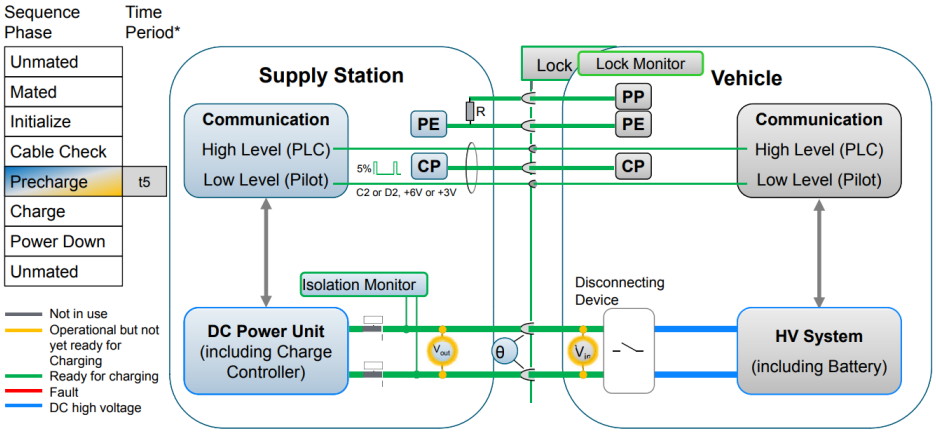
   No tempo t_5, a EVSE fecha seu conector de alta tensão; a sequência de carregamento ainda está no Estado "C2" (ou "D2"), e o EV envia um pedido de pré-carga ao EVSE, este pedido inclui: a tensão cc solicitada, equivalente à tensão da bateria do EV e a corrente cc solicitada, limitada a 2 A para evitar picos de corrente (inrush).

   O EVSE responde aumentando gradualmente sua tensão de saída V_{out}, alinhando-se com a tensão interna V_{in} do EV.

   No diagrama: as linhas DC+ e DC- do EVSE ficam verdes, indicando que estão prontas para carregar, porém no EV, as mesmas linhas ficam azuis, indicando presença de alta tensão (conexão com a bateria), mas sem fluxo de corrente.

   Durante o processo, o teste de isolação continua operando de maneira continua, bem como o mecanismo de trava.

Figura 16 – Etapa 5 Pré-Carga - t_5.

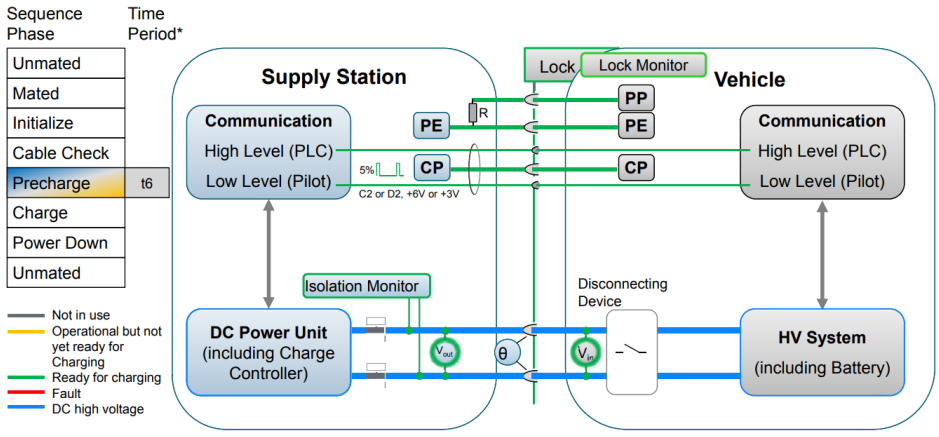


Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

O instante t_5 é caracterizado pela EVSE ajustando os valores de tensão requisitados. Em t_7, após a verificação de que a diferença entre os níveis de tensão é inferior a 20 V, o contator interno do EV é fechado, estabelecendo conexão elétrica.

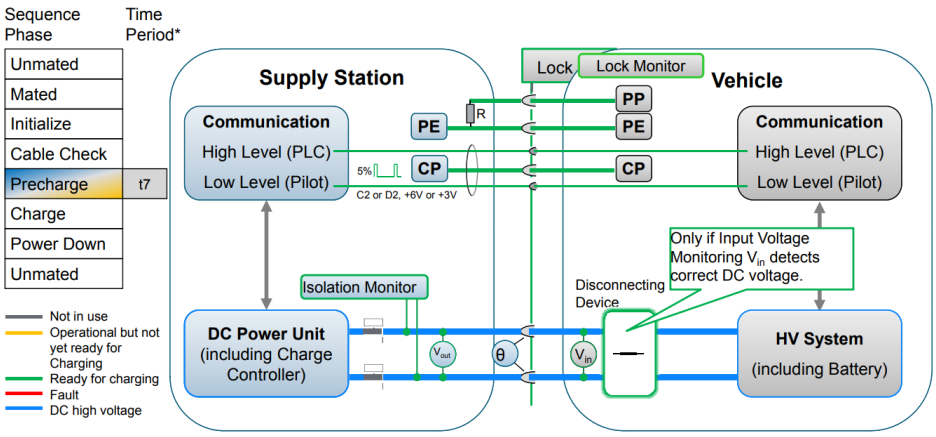
Com a conexão elétrica estabelecida, em t_8, o EV envia um pedido de fornecimento de energia para a EVSE, com a confirmação da EVSE, o EV define a corrente cc para iniciar a transferência de efetiva de energia.

Figura 17 – Etapa 5 Pré-Carga - t_6.



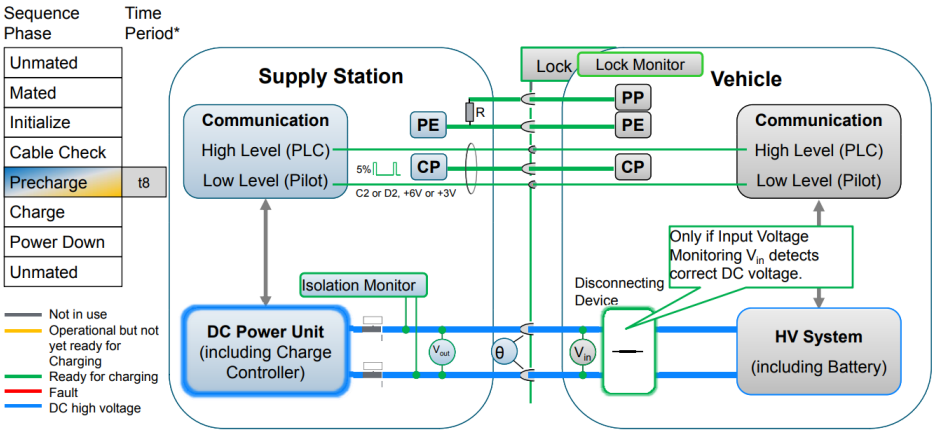
Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Figura 18 – Etapa 5 Pré-Carga - t_7.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Figura 19 – Etapa 5 Pré-Carga - t_8.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

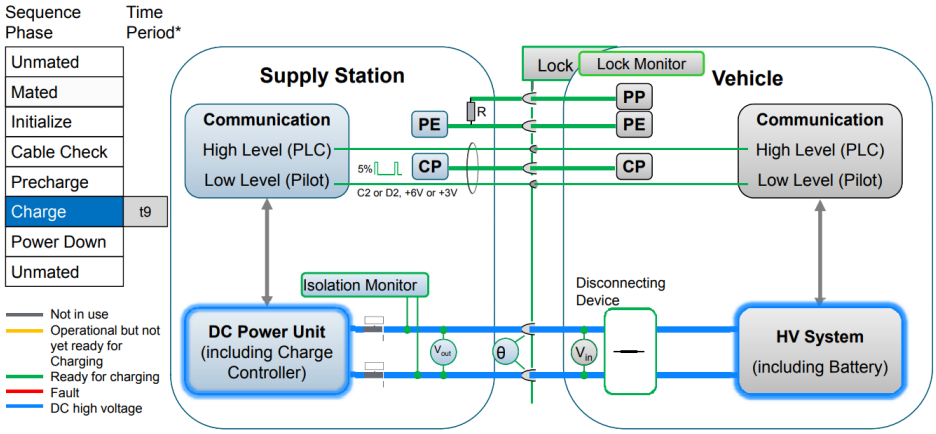
6. Carga - t_9 e t_{10}

Durante o ciclo referente ao período t_9 o EV inicia um ciclo de solicitações com valores de tensão e corrente, o EVSE por sua vez responde ajustando os valores de tensão e corrente na saída. Durante toda a etapa ocorrem monitoramentos de segurança para tensão, corrente, isolação, temperatura e a trava do EV.

Em t_{10} o EV reduz os valores de corrente que são requisitados afim de completar a transferência de energia e garantir um desligamento seguro, neste momento, os ajustes de corrente advindos da EVSE ocorrem com um pequeno atraso, essa etapa só se conclui quando o valor de corrente detectado é inferior a 1 A.

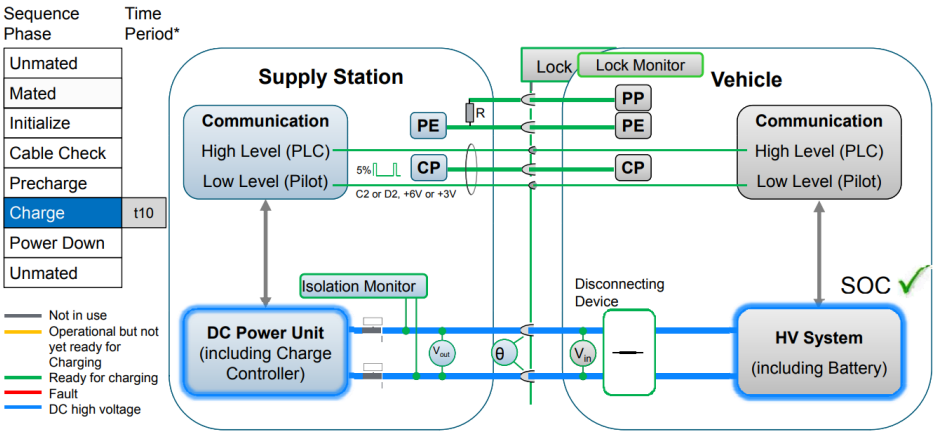
No diagrama: as linhas DC+ e DC- permanecem azuis, indicando operação de alta tensão ativa, enquanto as linhas CP e PP seguem verdes, garantindo a comunicação e monitoramento contínuos.

Figura 20 – Etapa 6 Carga - t_9.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Figura 21 – Etapa 6 Carga - t_{10}.



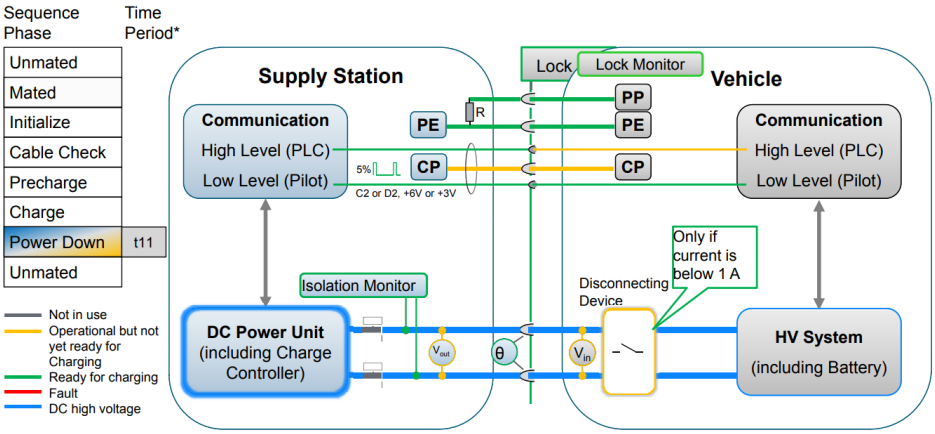
Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

7. Desligamento Progressivo - t_{11}, t_{12}, t_{13}, $t_{14} \rightarrow t_{15}$ e t_{16}

   No tempo t_{11}, ao garantir que a corrente está abaixo de 1 A, o EV abre seu contator interno e envia um comando ao EVSE para desativar a saída de energia, logo em seguida, em t_{12}, o EVSE desativa sua saída cc, abrindo seus contatos internos e assim isolando as linhas DC+ e DC-, desenergizando o sistema. Finalmente, em t_{13}, a EVSE envia o código de status "*not ready*", sinalizando que desativou a saída de energia.

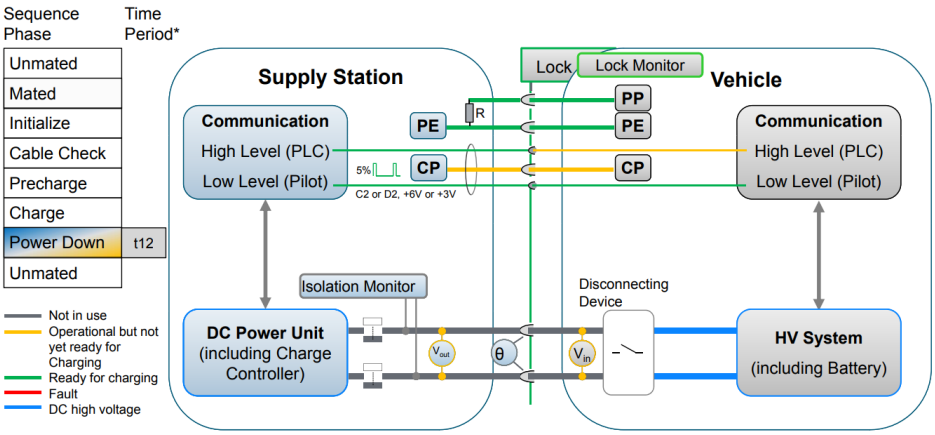
   No diagrama: as linhas DC+ e DC- voltam para um estado não energizado e as linhas CP e PP seguem ativas para monitoramento do sistema e garantir um desligamento seguro.

Figura 22 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{11}.



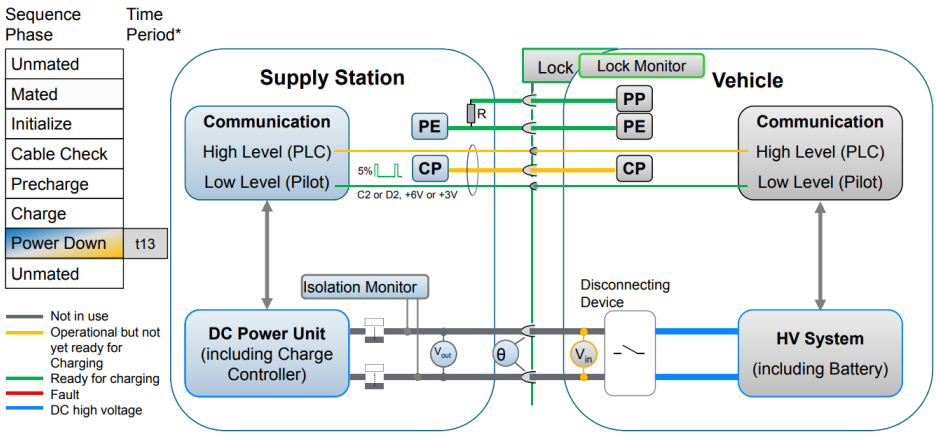
Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Figura 23 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{12}.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Figura 24 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{13}.

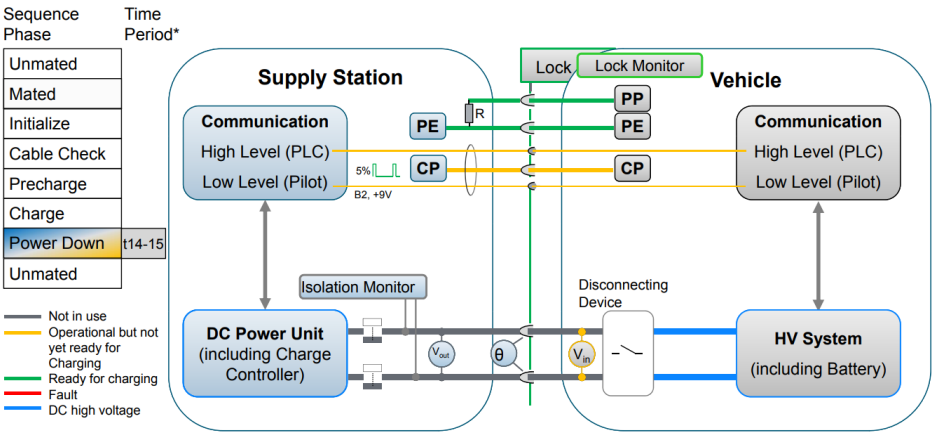


Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

A transição de $t_{14} \rightarrow t_{15}$ ocorre durante a troca do estado do EV, este retorna para "B", sinalizando que não precisa mais de energia. Nesta etapa pode ocorrer um teste para verificar se os contatos do EV não sofreram avaria (ou estão soldados), afim de garantir que os contatos estão plenamente abertos. No tempo t_{16}, o EV destrava o conector após confirmar que a tensão caiu abaixo de 60 V ou que a energia residual é menor que 0,2 J, garantindo uma desconexão segura.

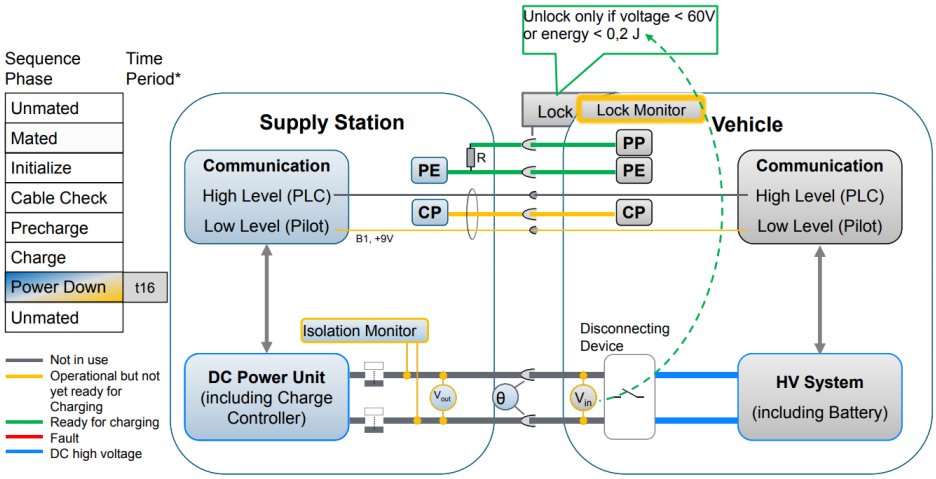
A sessão termina quando o EV envia uma mensagem de encerramento, finalizando a comunicação PLC e permitindo que o usuário remova o cabo de recarga.

Figura 25 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - $t_{14} \rightarrow t_{15}$.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

Figura 26 – Etapa 7 Desligamento Progressivo - t_{16}.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

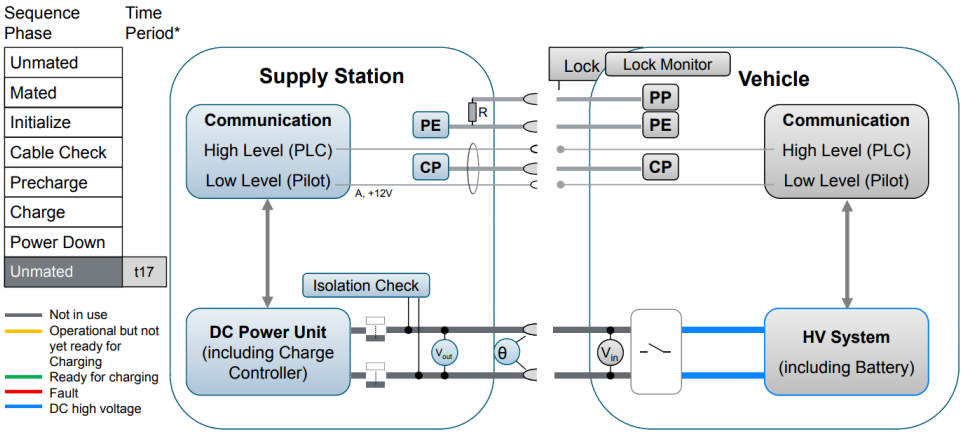
8. Desconectado - t_{17}

O último período do processo, ocorre em t_{17}, nele o EV e EVSE completam o processo de desconexão, com EVSE desativando sua saída cc e liberando o mecanismo de trava,

permitindo que o usuário remova o conector, com isso, o estado do CP muda de "B" para "A", indicando que nenhum veículo está conectado. Assim toda a comunicação PLC é encerrada, bem como qualquer monitoramento de isolação.

O sistema agora está desenergizado, garantindo segurança total para o usuário e prontidão para a próxima sessão de carregamento.

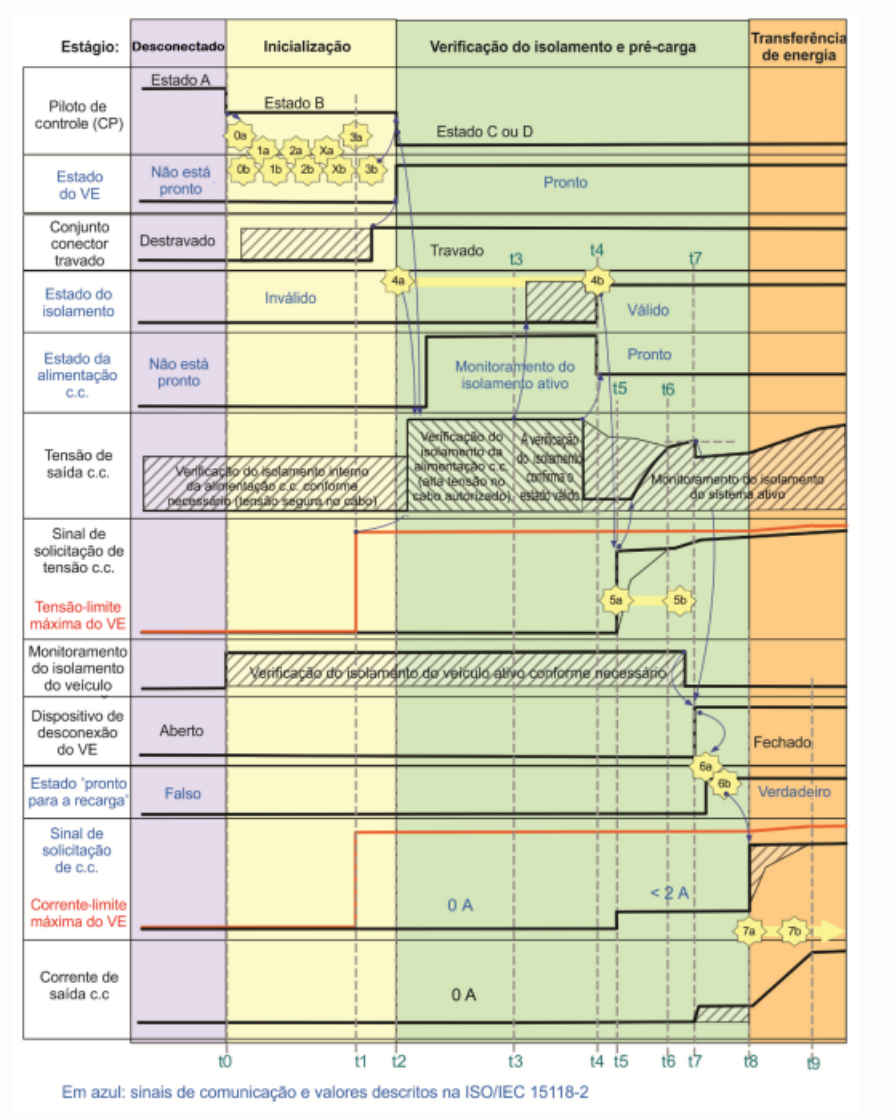
Figura 27 – Etapa 8 Desconectado - t_{17}.



Fonte: Adaptado de (CHARIN, 2015)

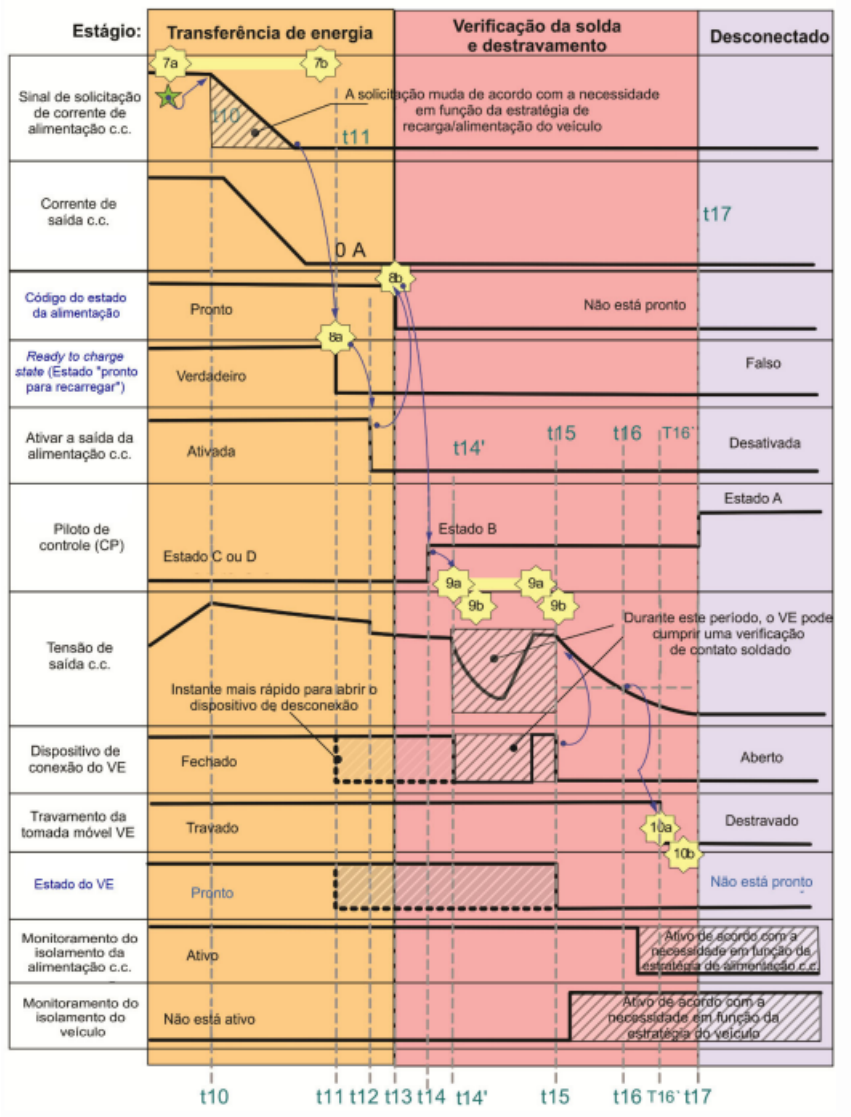
As Figuras 28 e 29 ilustram o comportamento da recarga de forma gráfica, conforme os pontos destacados anteriormente.

Figura 28 – Processo de carga de um EV 1.



Fonte: (ABNT, 2020)

Figura 29 – Processo de carga de um EV 2.



Fonte: (ABNT, 2020)

4 METODOLOGIA E TESTES - RECARGA CA

Este capítulo pretende abordar a metodologia utilizada para realização dos testes para recarga em corrente alternada, carregador *On-Board*, e o protocolo de ensaio proposto para análise destes carregadores.

4.1 CHARGING DISCOVERY SYSTEM

Conforme mencionado no capítulo 1, o equipamento utilizado para realização dos testes é o CDS (*Charging Discovery System*), o sistema engloba *software* (apenas *Charging Discovery*) e *hardware*, sendo necessário ambos para realização de testes, emulações e operação de sistemas recarga de veículos elétricos. O seu conceito central reside na capacidade de emular o comportamento de veículos elétricos, de estações de recarga, ler e interpretar a comunicação entre um EV e uma EVSE, emular falhas de comunicação, bem como executar rotinas de teste programadas.

Figura 30 – *Hardware Charging Discovery System*.



Fonte: Autor, (2025).

O *hardware* possui característica modular, Figura 31, tanto para sua entrada, quanto saída, possuindo cabos com diferentes plugues, para abranger o maior número possíveis de estações e veículos.

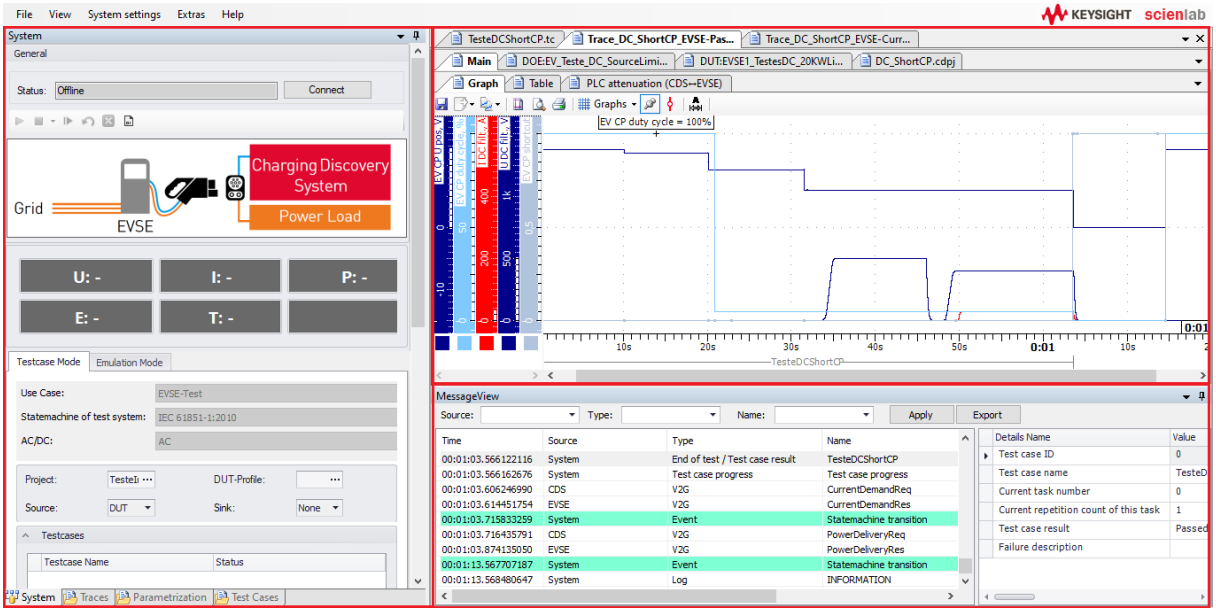
Figura 31 – Conexão modular CDS.



Fonte: Autor, (2025).

Através da interface, Figura 32, por meio de um computador, permite configurar testes, visualizar dados elétricos e mensagens trocadas durante uma recarga, além disso pode gerir perfis de estações de recarga e de veículos elétricos para simulação. Além de testar sequências normais, o CDS pode ser utilizado para verificar a resposta de EVs e EVSE em situações não ideais.

Figura 32 – Interface do *software Charging System* analisando um teste executado.



Fonte: Autor, (2025).

Conforme demonstra a Figura 32, pode-se realizar a divisão da interface do CDS em três

telas principais: a primeira (que se encontra no lado esquerdo), apresenta o menu lateral, nele visualiza-se e configura-se o modo de operação (emulação ou teste), informações sobre o *status* da conexão entre o CDS e o computador, variáveis de carga durante teste ou emulação (corrente, tensão, potência), seleção de projetos e seleção de testes, a segunda (canto direito superior), expõe os gráficos, com diferentes variáveis, envolvidos na recarga (teste ou emulação direta), e por fim, a terceira divisão (canto direito inferior), apresenta as mensagens trocadas durante a recarga, bem como as mensagens indicadas pelo *software* durante a recarga (alerta de troca de estado, alerta de falha crítica, etc).

A lógica de programação dos testes é relativamente básica e muito similar a diversas outras utilizadas em *softwares* de engenharia (C, C#, *Matlab*, etc.). A lista de comandos e funções possíveis é relativamente extensa, porém a estrutura da programação é feita de maneira linear, similar a arquiteturas de Microprocessadores *Assembly*, podendo apresentar blocos principais de *Step*, *Loop* e *If*.

O *Step* compreende um conjunto com três partes diferentes, a primeira é denominada *Action*, uma ação a ser executada pelo equipamento através de um comando, seja uma alteração no estado da recarga, abertura ou fechamento de contatos, criação de variáveis, etc. Além disso, o bloco possui em sequência duas condições, uma condição de sucesso *Pass Condition*, sendo atendida corresponde a passagem para o próximo comando (*Step, If, Loop*), e uma de falha, *Fail Condition*, que representa uma falha no teste, encerrando o mesmo. As três condições não possuem um intertravamento, ou seja, um Step pode ser definido por apenas uma dessas partes, sem a presença das outras.

O bloco *Loop* representa a entrada em uma ação repetitiva de comandos, que somente é interrompida com uma condição de quebra, ou extrapolando um tempo pré definido de operação.

Por fim, o *If* é um simples condicional, que quando atendido pode levar o software a executar um novo ramo específico de blocos.

Além disso, pode-se fazer uso de tabelas e parâmetros configuráveis, afim de trazer um maior dinamismo aos testes, por exemplo, atribuindo um valor para alguma variável de acordo com colunas da tabela, trocando o valor constantemente.

Durante a realização dos testes, e contato com o equipamento, algumas situações foram percebidas.

A primeira delas diz respeito aos limites de operação impostos ao criar um teste; para a realização dos testes, é necessário a criação de perfis (EV e EVSE), configuráveis com valores limitantes de corrente, potência e tensão, além de valores de desligamento para as mesmas variáveis, por exemplo, pode-se associar a corrente máxima permitida a um EV de 5 A, e desligamento de 10 A, fazendo com que caso a recarga alcance o limiar de 10 A, o teste seja interrompido.

Porém, os limites designados para a EVSE (em um teste de EVSE), são ignorados, pois mantêm-se os limites físicos apresentados pela própria estação através do *duty cycle* e resistência no PP. Apenas o controle de desligamento é respeitado.

A segunda situação diz respeito a limitação conjunta de valores, ao configurar um EV por exemplo, pode-se limitar sua corrente a 10 A, tensão da bateria a 400 V, e potência a 3 kW, com isso, ao emular uma recarga controlada por corrente, CCC, a corrente imposta ao EV seria de 7,5 A (correspondente a corrente necessária para 3 kW com 400 V).

Em terceiro ponto, e complementando o primeiro, ao realizar o teste de uma EVSE ou EV, somente consegue-se controlar os aspectos referentes ao dispositivo complementar (Ex: teste de EVSE, somente controla-se variáveis do EV), apesar do código ser aceito pelo *software*, o mesmo não realiza nenhuma mudança no dispositivo sobre teste.

4.2 TESTES CARREGAMENTO AC 61851-1 UTILIZANDO COMUNICAÇÃO DE BAIXO NÍVEL

Os testes propostos e realizados contam com um banco de resistências de 6 x 56 Ω, cada resistência com potência máxima de 1 kW, para simular a carga e garantir o fluxo de energia, além disso, para o teste de sobrecarga, é utilizado um segundo banco de resistências de 6 x 15 Ω, também com potências máximas de 1 kW para cada resistência.

O banco de resistores principal é arquitetado para alocar três pares de resistências em paralelo, gerando assim três resistências equivalentes de 26 Ω, que são conectadas em "Y", com seus neutros conectados.

Os testes em ca são realizados em duas EVSEs diferentes, uma *Wallbox* dentro do Núcleo de Processamento de Energia Elétrica (nPEE), modelo "WEMOB-P-023-W-R-1T2", no bloco E, e a outra na saída de recarga lenta da estação de recarga, modelo "WEMOB-S-060-W-E-4G-R-H-1T2-1CS2-1CH", do bloco J. As estações possuem potências de saída de 23 kW (Máx. 32 A) e 42 kW (Máx. 63 A). As Figuras 33 e 35 detalham o arranjo de testes utilizado, e a Figura 34 apresenta o arranjo de resistências para o teste de sobrecarga.

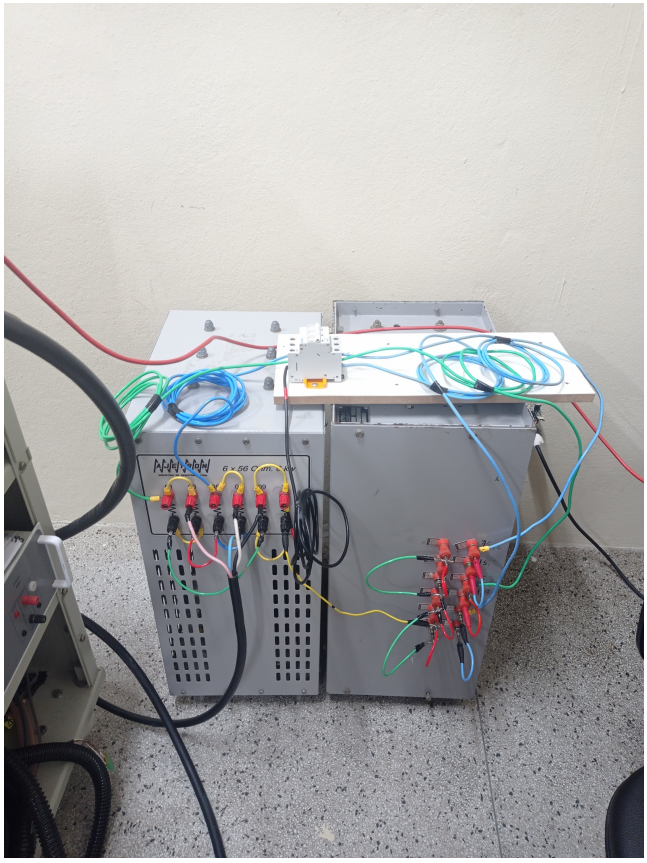
Figura 33 – Configuração para testes em ca - nPEE.



Fonte: Autor, (2025).

Os resistores utilizados adicionalmente no teste de sobrecarga são configurados da mesma maneira, resultando em três resistências equivalentes de 7,5 Ω, que são chaveadas com o auxílio de um disjuntor (50 A, curva C), e conectados em paralelo com as resistências de 26 Ω, gerando assim, três pares com resistência de 5,82 Ω.

Figura 34 – Conexão do banco de resistências para gerar sobrecarga.



Fonte: Autor, (2025).

Figura 35 – Configuração para testes em ca - Bloco J.



Fonte: Autor, (2025).

Ressalta-se que alguns limites temporais são impostos aos testes, limites presentes na

norma (troca de estados por exemplo) e limites criados que garantem uma rápida operação para os testes (não presentes em norma, como por exemplo, tempo limite de 5 segundos para diversas situações de falha).

Além disso, a norma não especifica o que seria uma tensão e corrente não operantes, neste caso, são definido os valores de 50 V e 1 A. Esses valores são configurados para as variáveis *ILACTIVE* e *ULACTIVE*, corrente e tensão respectivamente, as quais são utilizadas em diversos testes para validar a energização e desenergização. Essas variáveis são mais seguras pois realizam medições a cada 1 ms, e somente constatam como ativo ou inativo, ao constatarem 3 amostras do valor (3 ms), agindo como um filtro para as medições.

Os testes realizados são os mesmos para ambas as estações, diferenciando-se única e exclusivamente, pelo *Step* 2, onde para o bloco J, é considerado como condição de passagem o estado "A2", diferente do nPEE é o estado "A1", isso se deu pois, empiricamente, percebeu-se que a EVSE do bloco J realiza o chaveamento do PWM já neste estado, e com o código base do nPEE, não saia do *Step* 2.

Os seguintes testes, que se encontram nos Anexos, são realizados para averiguar a comunicação de baixo nível envolvendo o pino piloto:

- Energização

  O teste de energização visa cumprir os requisitos obrigatórios de segura, e eficiente, energização e desenergização de um EV, adicionalmente, este teste é o único que trabalha com o estado de carga em "D" (ventilação necessária). Isto é realizado para avaliar se há alguma mudança no comportamento da estação quando um veículo que necessita de ventilação está carregando.

- Ensaio de interrupção e curto circuito do condutor de proteção

  Este ensaio se baseia no item A.4.8 da NBR IEC 61851 e se caracteriza pela interrupção do condutor de proteção, ocasionando uma falha na leitura do pino piloto. Conforme aponta o item 6.3.1.1 a verificação continua do condutor de proteção é uma função obrigatória para este protocolo de comunicação, e o item 6.3.1.2 estabelece que o sistema de alimentação para VE deve desconectar a alimentação ao VE em:

  - Perda da continuidade elétrica do condutor de proteção (ou seja, circuito-piloto de comando aberto), em menos de 100 ms
  - Incapacidade de verificar a continuidade do condutor de proteção (por exemplo, curto-circuito entre o fio-piloto e o condutor de proteção), em menos de 3 s.

  Com isso, dois testes distintos são criados, respeitando os limites de abertura de alimentação de cada um, o primeiro gerando a interrupção do pino-piloto e segundo realizando o curto-circuito entre o mesmo e o terra.

A estrutura do teste é simples, o veículo inicia um processo de carga, e a falha é inserida ainda em estágio de recarga. Além disso, pode-se destacar que todos os testes de falha para a comunicação de baixo nível seguiram o mesmo padrão (início de recarga e imposição de falha).

- Interrupção do pino de proximidade

  O teste de interrupção do pino piloto não possui um tópico específico na norma, porém representa uma falha crítica envolvendo o sistema de comunicação, isto pois o mesmo possui duas funções: é responsável pela trava de segurança do veículo, e também é responsável pela configuração da corrente máxima envolvida na recarga.

  Por interpretação da norma e da funcionalidade atribuída a este pino, é compreensível a seguinte hipótese: sua falta acarretaria na abertura do sistema de alimentação, conforme sequência 2.2 da tabela A.6. (tomada móvel desconectada).

  A detecção de proximidade e codificação máxima de corrente pelo cabo, se dá de forma simultânea, ou seja, tanto a estação, quanto o veículo, devem realizar a leitura máxima de corrente presente no cabo.

  Utilizando o CDS, é possível emular a interrupção desse pino, e verificar se a EVSE tem uma mudança de comportamento.

  Empiricamente, se verificou que a corrente de recarga descia para 0 A, e com isso, realizaram-se três diferentes testes, o primeiro apenas com a interrupção do pino, o segundo com a interrupção do pino, retornando ao estado "C" (passando pelo estado "B"), e por fim com a interrupção do pino, retornando ao estado "C" (sem passar pelo estado "B"). No anexo consta a versão com passagem por "B", porém para o primeiro teste as passagens por "B" e "C" não ocorreram e os *steps* foram retirados, já para o retorno somente em "C", os *steps* referentes a passagem por "B" foram retirados.

- Resposta ao estado F

  Conforme a norma, o estado F é intencionalmente definido como uma condição de falta por parte da estação de recarga, ou seja, não é dependente do veículo, apenas da estação, podendo sinalizar por exemplo que uma manutenção no sistema pode ser necessária.

  Ao entrar neste estado, as restrições temporais são relativamente baixas, basicamente a EVSE deve destravar a tomada móvel dentro de no máximo 30 segundos. Além disso, após a mudança para o estado "F", a estação pode optar por migrar para um estado de segurança sem transferência de energia (estados "x1" - PWM desativado, tensão constante) após 300 ms.

  Como isto parte da estação, o CDS não é capaz de emular o estado diretamente, porém, verificou-se na EVSE do nPEE que caso a estação passe muito tempo em algum estado "x2" sem transferência de energia, a mesma pode vir a entrar no estado F, pois mesmo

com a liberação não há carga, e com isso a EVSE deve verificar novamente se o veículo está conectado. Com isso um teste é gerado para deixar a estação no estado "B2" durante pelo menos 40 segundos, e com isso avaliar a resposta do sistema.

- Sobrecarga

  Este ensaio é montado afim de analisar como o sistema responderia na situação em que a corrente extrapolasse o valor máximo admissível. Diferente dos outros testes, este não pode ser realizado somente pelo CDS, isso pois, devido ao arranjo para teste do protocolo de baixa comunicação, não foi possível realizar o controle da corrente (fornecida pela fonte e consumida pela carga).

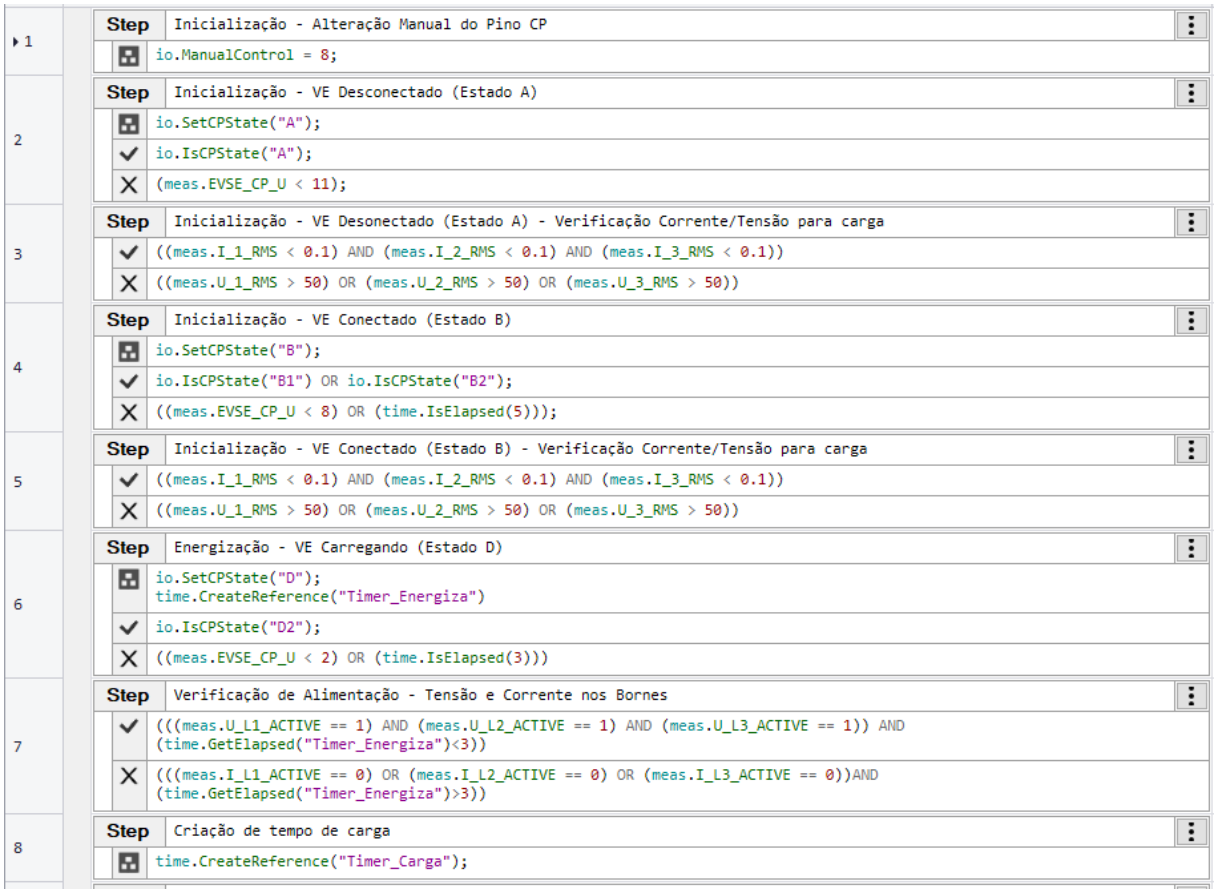
  Assim como já especificado, este teste é realizado com um chaveamento manual de um disjuntor para conexão de um banco de resistências, e após isso, se observou o comportamento.

4.3 DETALHAMENTO DO TESTE DE ENERGIZAÇÃO CA

Esta seção busca apresentar em maiores detalhes a programação envolvida no teste de energização, afim de ilustrar o funcionamento do mesmo, isto é realizado somente para o teste de energização, a programação dos demais testes se encontra nos Anexos.

A Figura 36 ilustra o início do teste, onde pode-se visualizar os *steps* 1 à 8.

Figura 36 – Programação do teste em ca de energização 1.



Fonte: Autor, (2025).

A lógica por trás de cada *step* segue abaixo.

- 1 - *Step*

  Neste passo apenas é realizada a alteração de uma variável de controle do CDS, que possibilita realizar a alteração do estado associado a recarga através do nível de tensão no CP.

- 2 - *Step*

  Inicialização do processo de recarga, configurando o estado de recarga para "A", onde não há conexão da EVSE com o EV, além disso, o requisito para prosseguir para o próximo passo é a confirmação de que o processo se encontra no estado "A", já a condição de encerramento do teste se dá ao verificar que o nível de tensão no CP se encontra inferior a 11 V, configurando uma situação de conexão.

- 3 - *Step*

  Apenas realiza uma verificação de que tanto a corrente, quanto a tensão de carga, não estão operando e se encontram em níveis seguros. Isso é realizado com a condicional de

passagem confirmando a corrente nas três fases é inferior à 0.1 A, e como condicional de encerramento de teste, se a tensão em qualquer uma das fases for superior a 50 V.

- 4 - *Step*

  Similar ao primeiro *step*, opera uma mudança de estado no CP, verificando se a mesma é realizada como condição para seguimento do teste, e como condição de falha realiza o monitoramento do nível de tensão no CP, bem como delimita um tempo máximo de 5 s para que isso ocorra (está limitação temporal não está especificada em norma, mas é utilizada como garantia de agilidade do CDS à mudança de Estado).

- 5 - *Step*

  Similar ao *step* 3, verifica se há alguma energização presente e encerra o teste caso isso ocorra.

- 6 - *Step*

  Neste passo, ocorre a mudança do estado para o nível "D", bem como a criação de uma referência temporal denominada "Timer_Energiza", utilizada posteriormente.

  Assim como o primeiro passo, este incorpora a verificação de que a recarga se encontra no estado desejado para prosseguir com o teste, e encerra o teste caso verifique uma tensão inferior à desejada no CP, além de limitar o tempo para essa transição para 3 s (este limite temporal é estabelecido com base na normativa).

- 7 - *Step*

  Este *step* opera confirmando que a energização ocorreu, através do registro das três fases ativas (neste teste a variável de tensão ativa está definida conforme o padrão do CDS, 60 V), e encerra o teste caso verifique que não há a presença de uma corrente ativa (para este teste, a variável de corrente ativa está definida como o padrão do CDS, 1 A).

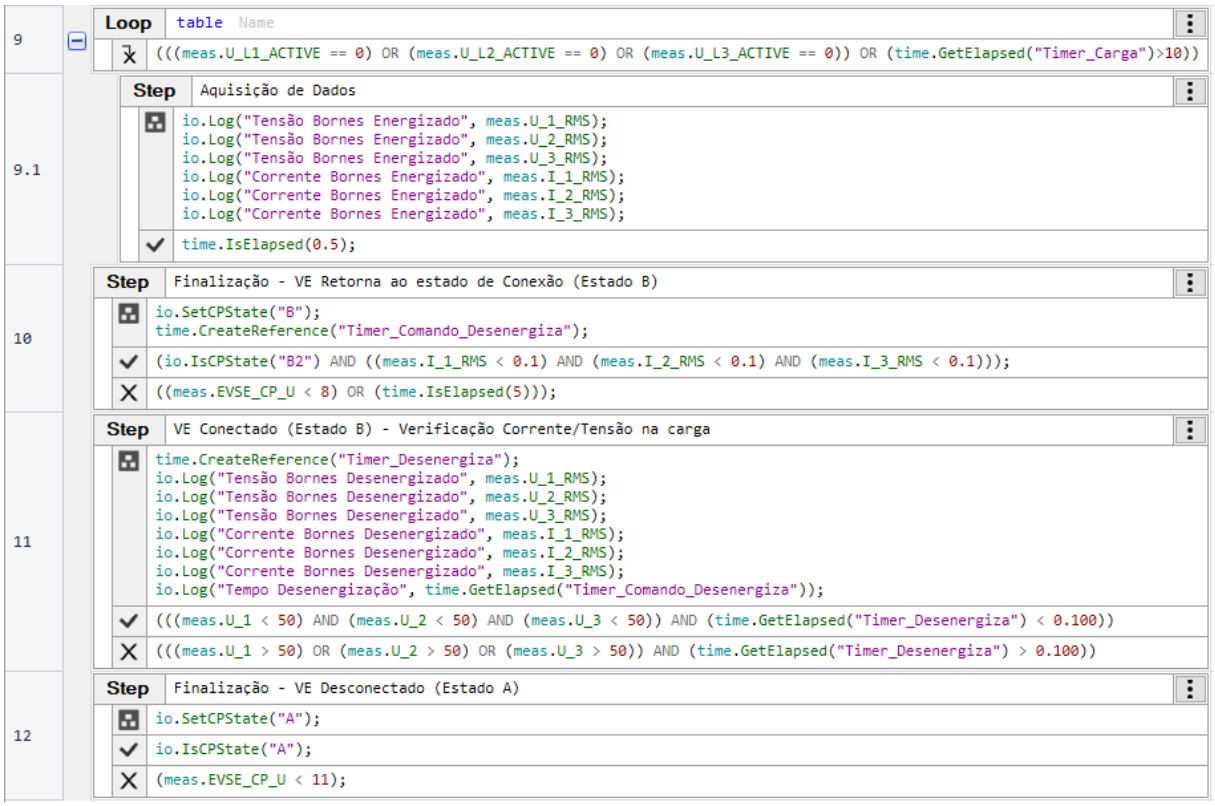
  Não obstante, este passo impõe como requisito de passagem ou finalização temporal o tempo passado após a criação da referência temporal "Timer_Energiza", garantindo que a energização ocorra dentro do que está delimitado na ABNT NBR IEC 61851-1.

- 8 - *Step*

  Este passo apenas cria uma referência temporal que será utilizada posteriormente para delimitar o tempo de carga.

A Figura 37 apresenta a etapa final do teste de energização.

Figura 37 – Programação do teste em ca de energização 2.



Fonte: Autor, (2025).

A lógica por detrás da etapa final de programação do teste se dá por:

- 9 - *Loop*

  Cria-se um *loop* de repetição (garantindo um certo tempo de transferência de energia), que só será encerrado caso detecte que alguma das fases não esteja mais fornecendo tensão, ou caso passe 10 segundos após a criação da referência temporal do *step* 8.

- 9.1 - *Step*

  Passo dentro do *loop* onde realiza-se a aquisição de dados de tensão e correntes eficazes do processo de carga. Esta metodologia de aquisição aponta os valores registrados no *Log* de saída de testes do *software* do CDS.

- 10 - *Step*

  Este passo simula o encerramento do processo de transferência de energia, retornando o estado da recarga para "B"e aplicando as verificações igualmente ao *step* 4. Além de criar uma referência temporal para posteriormente assegurar em quanto tempo está transição para "B"ocorreu.

- 11 - *Step*

Neste passo ocorre o registro dos valores de corrente e tensão desenergizados, bem como o tempo necessário para a transição ao estado "B", através da referência temporal criada no passo anterior.

Também realiza-se a verificação de que a desenergização ocorreu no tempo delimitado pela norma (0.100 ms), caso perceba-se que a tensão ainda esteja presente acima de 50 V após 0.100 ms, o teste é encerrado e categorizado como falha.

- 12 - *Step*

  Último *step* do teste, finaliza a recarga e retorna ao estado "A", sem conexão entre o EV e o EVSE.

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS - TESTES CARREGAMENTO CA

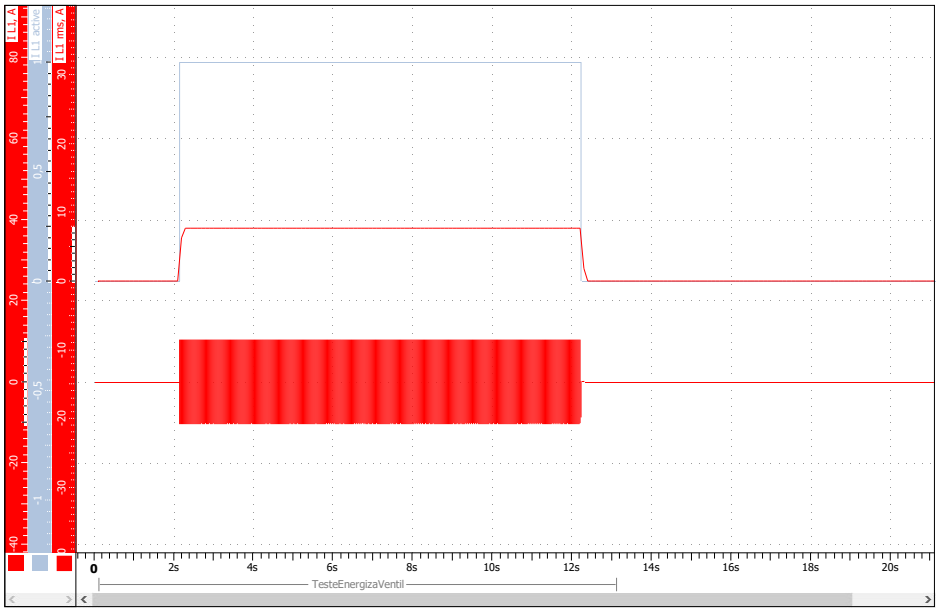
Este capítulo busca apresentar os resultados obtidos para os testes de recarga *on-board* (ca), realizados através do equipamento CDS, enfatizando resultados esperados, introduzindo distúrbios e elucidando o comportamento esperado.

Afim de reunir uma base dados experimentais robustas são utilizadas duas EVSEs diferentes, ambas disponíveis no Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC, sendo estas a *Wallbox* WEMOB presente no nPEE e a saída de carga lenta da estação "*Fast Charging* WEMOB" presente no bloco J.

O resultado de cada teste está elencado logo a seguir, sendo que, todas as estações testadas são trifásicas, porém somente são apresentadas as curvas de tensão e corrente de carga em uma das fases (Fase L1).

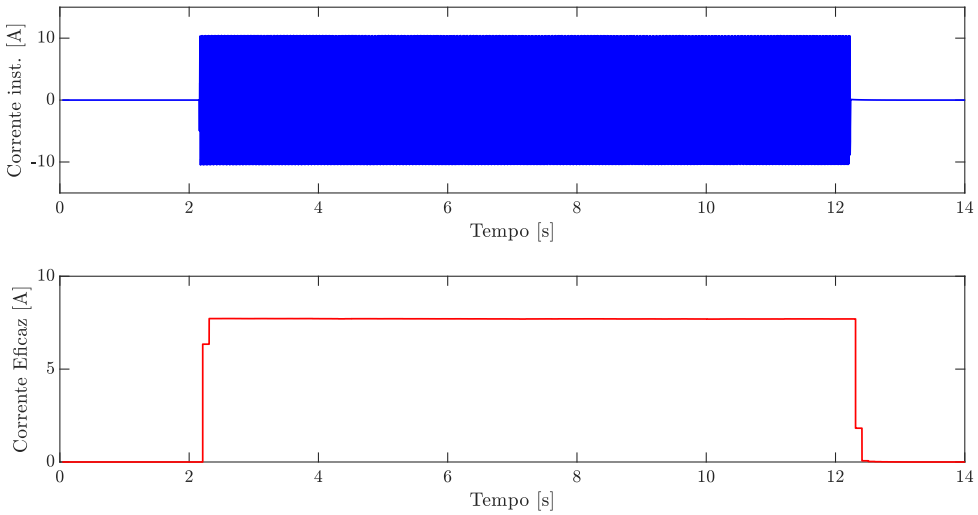
Com o intuito de tornar a visualização melhor, bem como o entendimento dos dados obtidos, fez-se o uso do *software* "*Matlab*", permitindo manobrar e construir os gráficos necessários. Para comparação e documentação, a disposição e *layout* dos gráficos advindos do próprio *software* "*Charging Discovery*" estão apresentados na Figura 38, já o mesmo gráfico retrabalhado com o *Matlab* está nas Figuras 39 e 40. Os gráficos escolhidos para representação são advindos do teste de energização, e demonstram o comportamento de carga em corrente alternada, bem como seu valor RMS (por escolha, são demonstrados somente os valores RMS nos gráficos subsequentes, isso pois, o comportamento ca já foi visualizado).

Figura 38 – Gráfico gerado pelo CDS - Corrente de saída da EVSE, teste de energização ca.



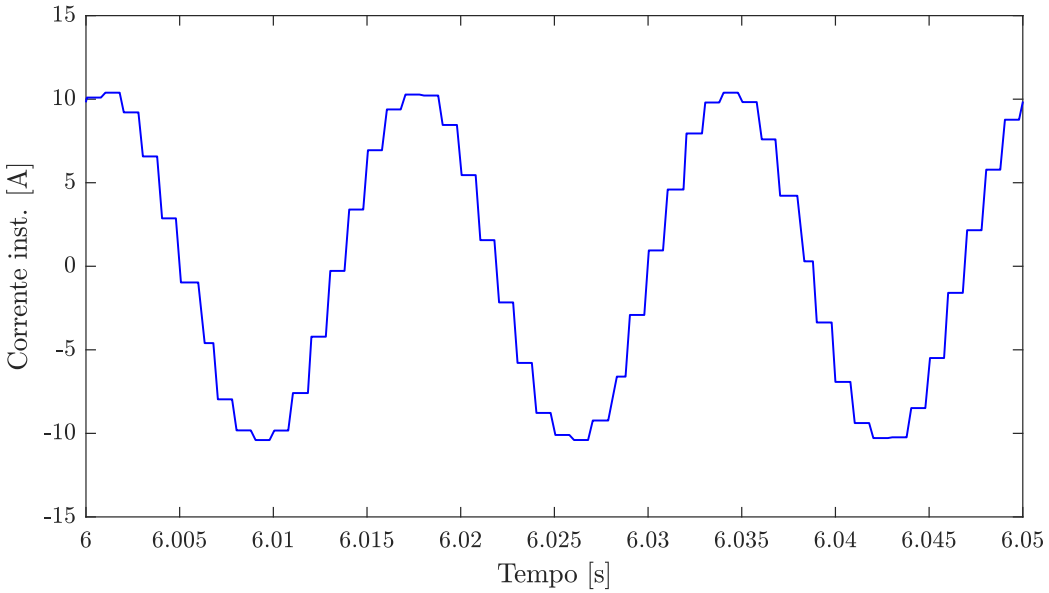
Fonte: Autor, (2025).

Figura 39 – Gráfico trabalhado com o *software Matlab* - Corrente de saída da EVSE, teste de energização ca.



Fonte: Autor, (2025).

Figura 40 – Gráfico trabalhado com o *software Matlab* - Detalhe da corrente de saída da EVSE, teste de energização ca.



Fonte: Autor, (2025).

É perceptível que os gráficos trabalhados ilustram e facilitam a visualização das variáveis de interesse de estudo e análise. Não obstante, há de se destacar a facilidade de alteração de escalas nativas do próprio CDS, que acaba por gerar uma fluidez maior no momento de realização dos testes, facilitando em uma primeira revisão de erros.

Também é importante perceber no gráfico do CDS, referente a Figura 38 em cinza, a presença da variável "*IL1ACTIVE*", que é utilizada em alguns testes para verificar se a fonte estava fornecendo ou não corrente (há uma variável recíproca para tensão).

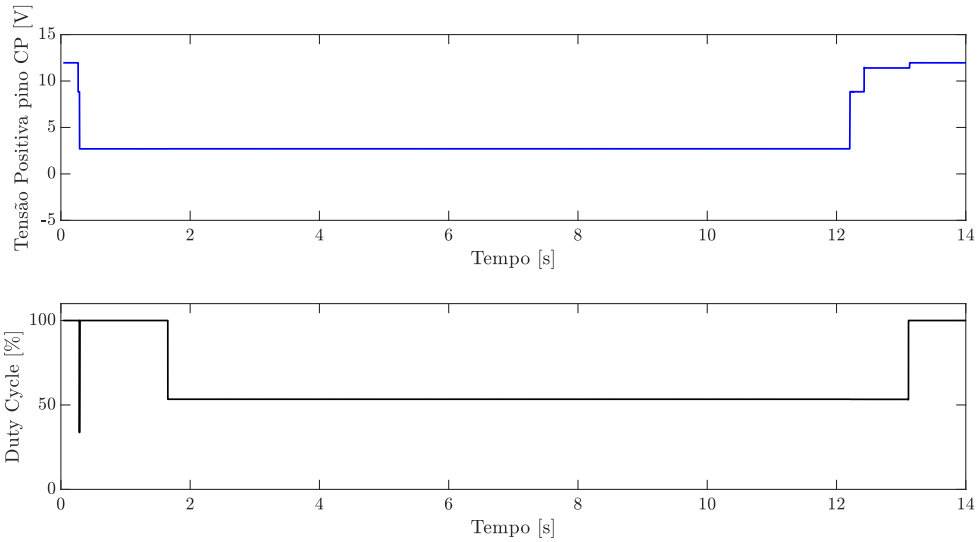
5.1 ENERGIZAÇÃO E DESENERGIZAÇÃO

Conforme especificado no capítulo anterior, este teste realiza um simples procedimento de energização e desenergização do EV, afim de visualizar se há uma mudança de comportamento por parte da estação, este teste em específico é realizado para carga entrando no estado D, onde a ventilação por parte do EV é necessária, porém não foi verificado nenhum comportamento divergente dos demais por parte da EVSE.

5.1.1 Wallbox nPEE

A EVSE é capaz de realizar a energização e desenergização do veículo através do controle de estados e limitação de corrente pelo PWM, conforme Figuras 41 e 42. Além disso, conforme a Figura 43, cumpre com os requisitos de modulação de frequência e limitação temporal para a modulação (Conforme apresentado na Tabela 7).

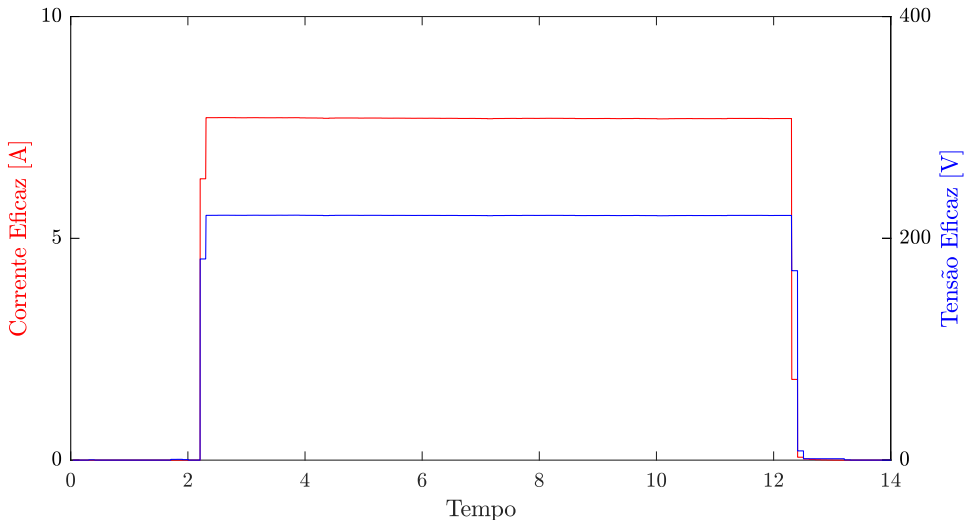
Figura 41 – Teste ca - Energização - EVSE nPEE - Variáveis de controle.



Fonte: Autor, (2025).

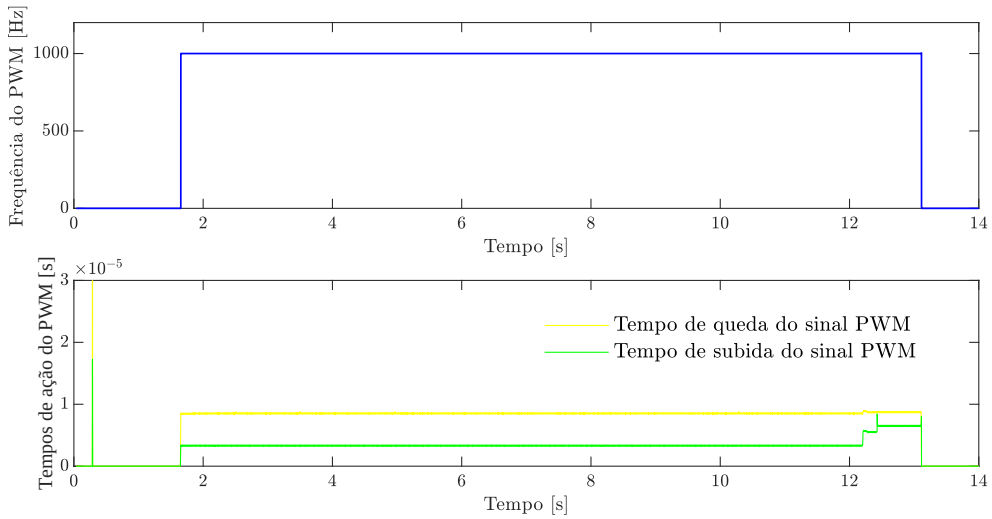
Neste gráfico, presente na Figura 41, pode-se perceber a ação de controle inicial em dois tempos muito próximos (mudança do estado "A" para "B", em aproximadamente 275 ms após o início do teste, e a mudança de "B" para "D", em 295 ms); já o controle de parada de carga, se fez também em dois tempos, porém com uma lentidão mais perceptível. Nota-se que a liberação de corrente (alteração estado "x1" para "x2"), ocorreu cerca de 1,3 s após a entrada no estado de carga "D" (condizente com a limitação máxima de 3 s), além disso, quando ocorreu o chaveamento para o estado D, nota-se um pequeno ruído e uma queda rápida do PWM, porém que se corrigiu dentro 1 ms (1 ciclo do PWM). O *duty cycle* do PWM, que expõe a corrente máxima permitida pela EVSE, estava em 53,4 %, correspondendo a 32,04 A.

Figura 42 – Teste ca - Energização - EVSE nPEE - Tensão e corrente durante a recarga.



Fonte: Autor, (2025).

Figura 43 – Teste ca - Energização - EVSE nPEE - Frequência e tempos de ação PWM.



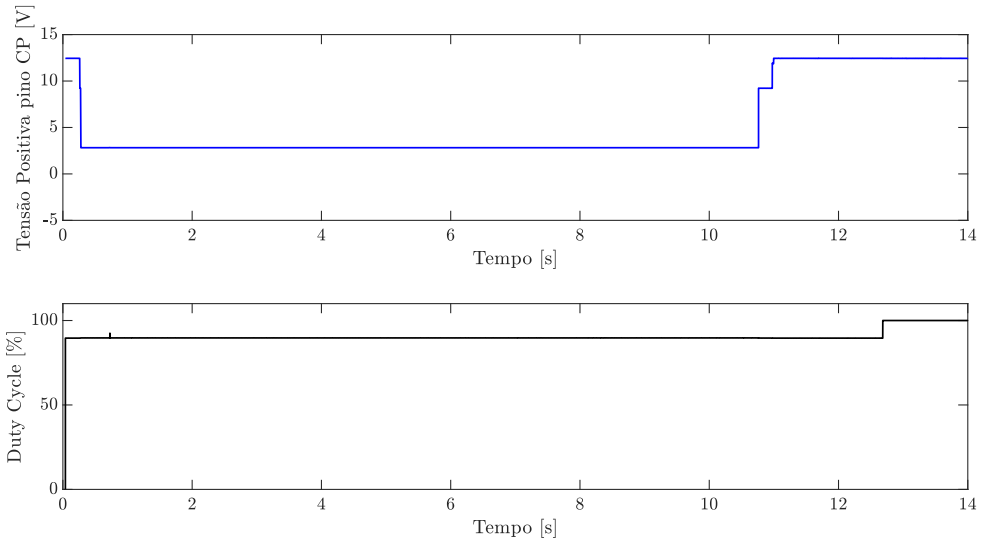
Fonte: Autor, (2025).

Pela Figura 43, nota-se a presença do ruído inicial do PWM, causado pelo chaveamento de estado, e uma variação do tempo de subida próximo ao final da carga. Ambos os tempos de subida (3,4 μs) e descida (8,4 μs) respeitaram os limites impostos pela norma.

5.1.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J

A EVSE presente no bloco J reagiu conforme o esperado, realizando a energização e desenergização da carga em corrente alternada, conforme ilustram as Figuras 44, 45 e 46.

Figura 44 – Teste ca - Energização - EVSE bloco J - Variáveis de controle.

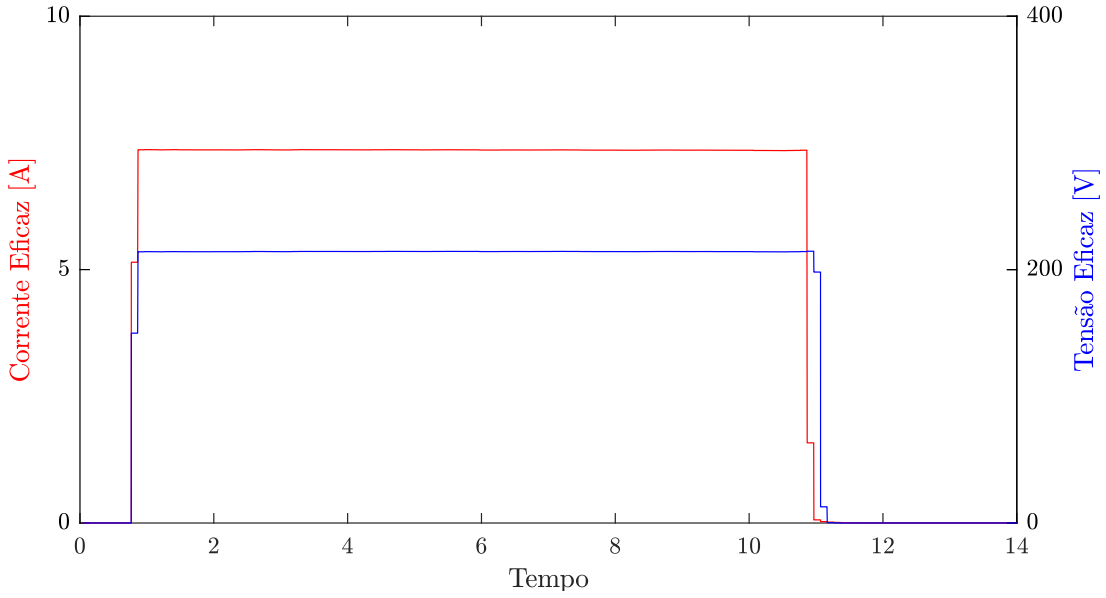


Fonte: Autor, (2025).

Conforme apresentado pela Figura 44 e pela explicação dada no capítulo anterior, a EVSE do bloco J realiza a liberação de corrente antes da EVSE do nPEE, logo no início do teste

(seu primeiro *Step*, setando o estado "A", já se encontra em "A2"), além do que, seu *duty cycle* é mais elevado que a estação do nPEE, 89,7 % (resultando em uma corrente máxima de 64,25 A), isto pois possui uma capacidade de potência superior.

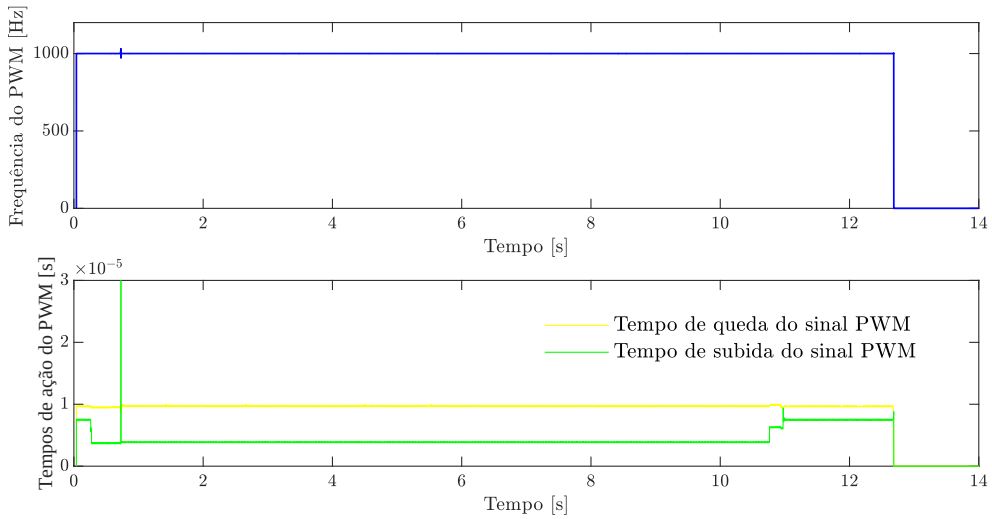
Figura 45 – Teste ca - Energização - EVSE bloco J - Tensão e corrente durante a recarga.



Fonte: Autor, (2025).

A Figura 45 apresenta o fluxo de carga (tensão e corrente) decorrentes do teste, apesar de ser difícil visualizar esta diferença, a EVSE do bloco J opera com uma tensão menor do que a do nPEE (214,3 V RMS contra 220,6 V RMS), a causa mais provável para essa diferença não se encontra nas estações de fato, e sim na rede que as alimenta, em vista de uma medição realizada com o multímetro no painel do nPEE, onde se constatou uma tensão fase-neutro superior a 220 V (cerca de 226 V). Não foi realizada a medição da tensão no painel de alimentação da estação do bloco J para comparação.

Figura 46 – Teste ca - Energização - EVSE bloco J - Frequência e tempos de ação PWM.



Fonte: Autor, (2025).

Ilustrado pela Figura 46, a mesma conduta de variação de tempos é observada na EVSE do bloco J, diferenciando somente os valores de subida (aproximadamente 4 μs) e descida (9,7 μs) do PWM.

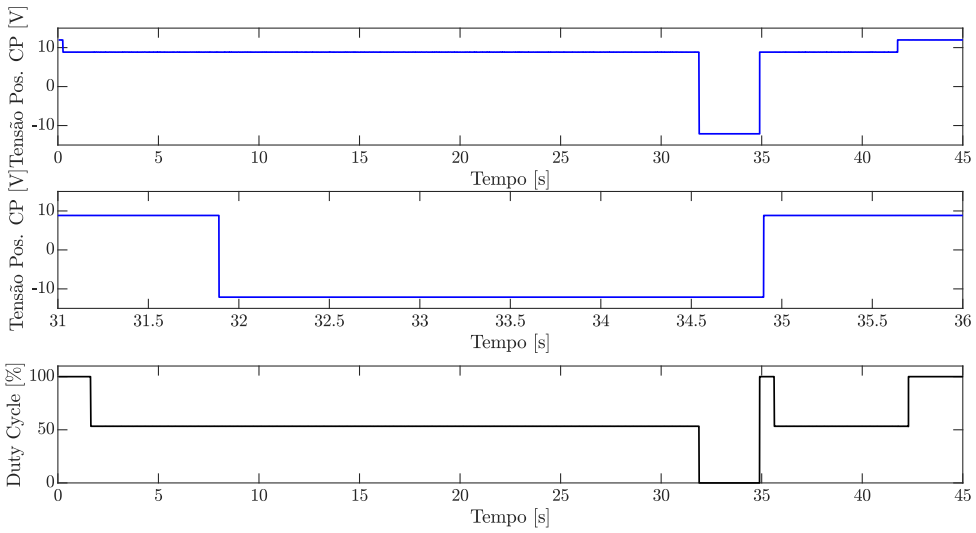
5.2 ESTADO F

Esse teste visa observar o comportamento das EVSEs ao entrar no estado "F", e conforme explicitado no capítulo anterior, isto não pode ser emulado de forma direta pelo CDS. Constatou-se um comportamento divergente por parte dos dois dispositivos em teste pois a EVSE do bloco J não apresentou a falha (entrada em "F") ao ficar um longo tempo em "B2"(para o teste da *Wallbox*, isto ocorreu com cerca de 30 segundos no estado "B2"), comportamento diferente da *Wallbox* do nPEE.

5.2.1 Wallbox nPEE

Observando a Figura 47, verifica-se uma mudança de tensão no pino CP, e no *duty cycle* do PWM, coincidentemente próxima. Ao se observar os dados tabelados (exportados pelo CDS em formato .csv), verificou-se que esta mudança ocorreu no mesmo momento, 3,0085 s após a entrada em estado F. Conforme a norma, somente a alteração para um estado "x1" estava prevista após 300 ms, portanto o comportamento da EVSE não está fora do esperado, apenas levou um tempo maior que o esperado.

Figura 47 – Teste ca - Resposta ao estado F - EVSE nPEE - Alterações na tensão do CP e no *Duty Cycle*.

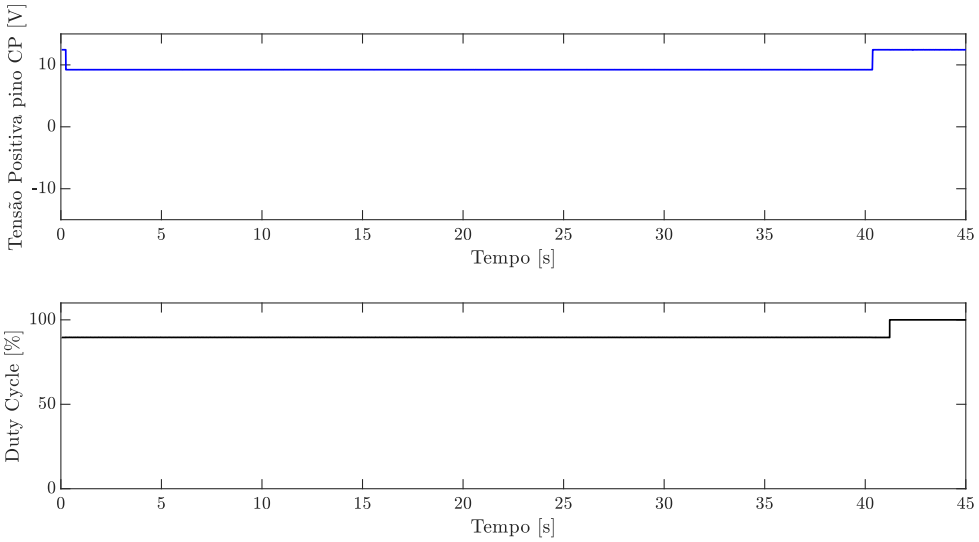


Fonte: Autor, (2025).

5.2.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J

Segundo apresentado na Figura 48, a EVSE do bloco J não entrou no estado "F", apesar de não ser o desejado, isso comprova a hipótese de que a entrada em estado "F" após um longo período de tempo se dá inteiramente pela EVSE, podendo ser descrito como uma falha da EVSE do nPEE, já que a NBR IEC 61851-1 não delimita um tempo máximo para se estar em "B2".

Figura 48 – Teste ca - Resposta ao estado F - EVSE bloco J - Alterações na tensão do CP e no *Duty Cycle*.



Fonte: Autor, (2025).

5.3 INTERRUPÇÃO PINO PILOTO DE CONTROLE - CP

Os testes de interrupção do pino CP apresentaram certa divergência com relação ao tempo de resposta, o que por sua vez impactou no sucesso e "falha" do teste por parte das EVSEs no CDS. A *Wallbox* presente no nPEE cumpriu com os requisitos e realizou a desativação da alimentação dentro do tempo estipulado (100 ms), já a saída em recarga lenta da WEMOB do bloco J não concluiu o teste com sucesso, tendo um pequeno atraso, conforme ilustra a Figura 49.

Figura 49 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE Bloco J - Resultado direto teste.

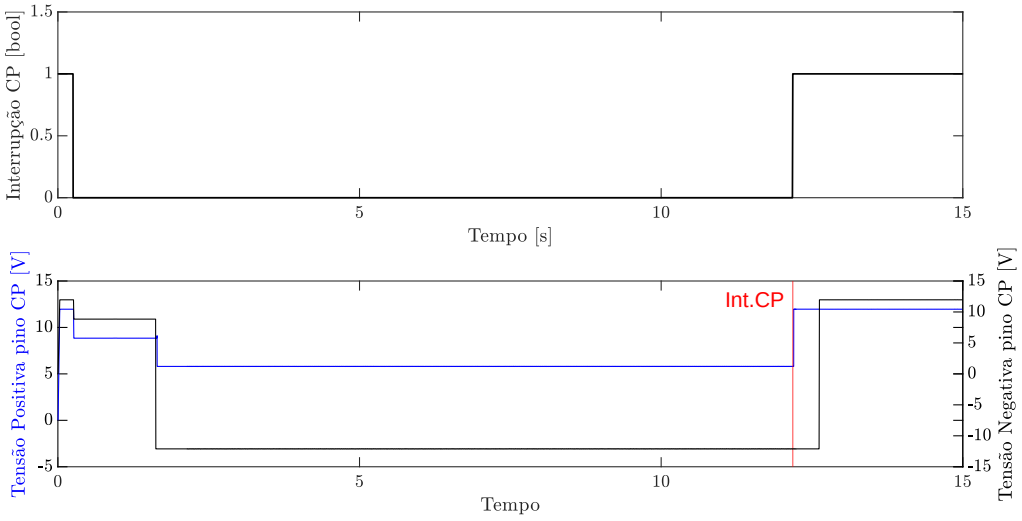
Details Name	Value
Test case ID	0
Test case name	BL_JTesteIntCP
Current task number	0
Current repetition count of this task	1
Test case result	Failed
Failure description	Step 11: [true] ([0.101000004] time.GetElapsed("Timer_CP") > 0.10000000000000001);

Fonte: Autor, (2025).

5.3.1 Wallbox nPEE

Os resultados do teste para a EVSE do nPEE estão expostos nas Figuras 50, 51, 52 e 53.

Figura 50 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Tensão no CP.

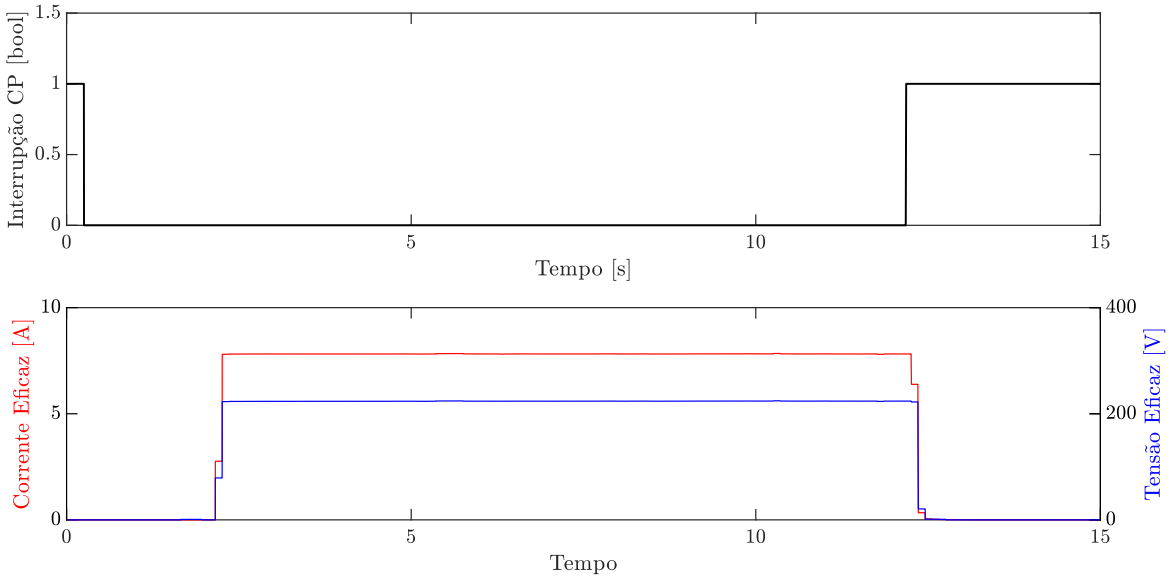


Fonte: Autor, (2025).

No gráfico presente na Figura 50, verifica-se que após a interrupção a tensão positiva do CP instantaneamente subiu para 11,96 V, correspondendo a uma desconexão, a tensão negativa não sofreu alterações até a finalização do teste, mantendo-se em 12 V.

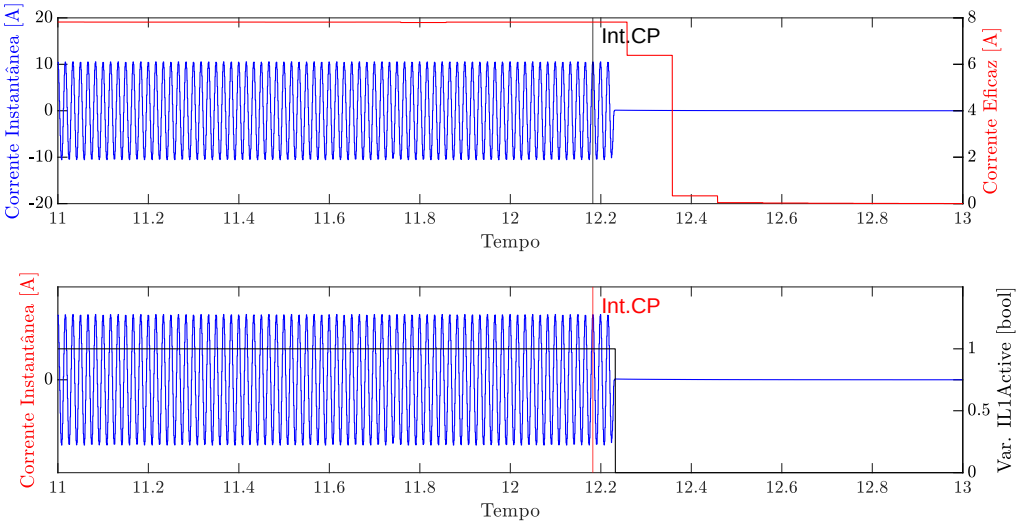
Pela Figura 51 nota-se que após a interrupção do CP ocorreu o cessamento da alimentação em ca a carga, tanto corrente quanto tensão zeraram.

Figura 51 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

Figura 52 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Comparação entre medições de corrente.



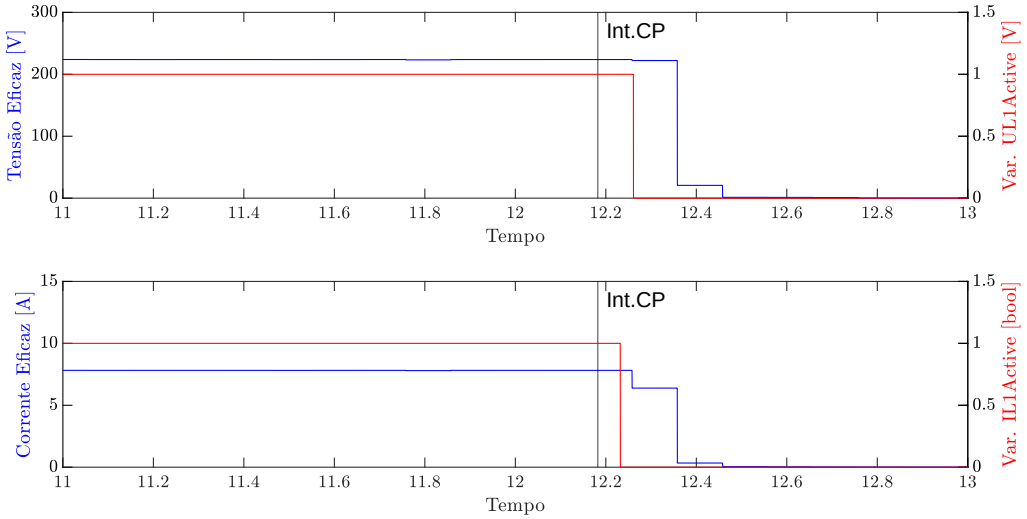
Fonte: Autor, (2025).

Através do gráfico apresentado na Figura 52 pode-se confirmar a atuação da variável de controle "*IL1ACTIVE*", e seu comportamento em comparação com a corrente instantânea e eficaz. Os tempos de resposta após a interrupção são de 175,8 ms para o valor eficaz, 49,8 ms da

variável de medição ativa, e de 46,8 ms para o valor instantâneo. Isto é o esperado, e comprova-se assim o uso da medição através de sua variável ativa, pois o atraso de 3 ms é o esperado de acordo com o funcionamento da mesma (3 amostras, uma cada 1 ms, para categorizar a medição como ativa ou inativa.

Por fim, na Figura 53 apresenta-se um comparativo entre a interrupção de corrente e tensão, sendo que, a tensão é interrompida com um atraso de 29 ms se comparada a corrente.

Figura 53 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE nPEE - Tempo de resposta à interrupção.



Fonte: Autor, (2025).

O tempo de desconexão apresentado pelo CDS (todas as tensões e correntes em estado inativo) é de 83 ms.

Figura 54 – Teste de Interrupção do CP AC - EVSE nPEE - Tempo de desconexão.

Details Name	Value
Level	4
Flags	2
Text	"Tempo de desconex\u00E3o CP:" : "0.0829999968"

Fonte: Autor, (2025).

5.3.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J

O primeiro teste realizado para interrupção do CP na estação do bloco J não foi bem sucedido. O tempo limite imposto pela norma (100 ms) é atingido antes da desconexão ocorrer.

O teste final realizado teve um acréscimo do tempo limite, foi de 100 ms para 106 ms (menor tempo em que o CDS aprovou o teste com um resultado positivo), embora o tempo real de desconexão apresentado seja de 101 ms (realizou-se outros testes com tempos entre 100 e 106 ms, inclusive um teste com 101 ms e o mesmo havia falhado).

Figura 55 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tempo de desconexão.

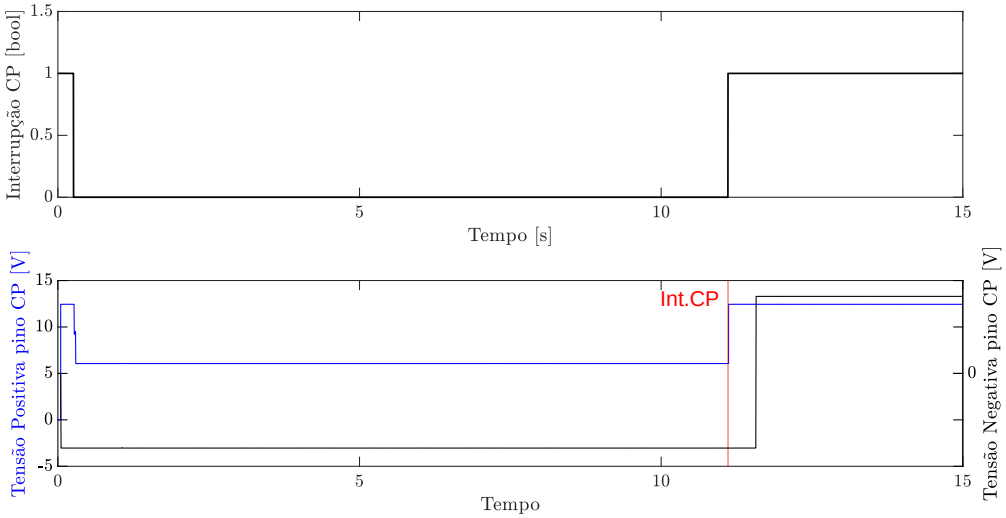
Details Name	Value
Level	4
Flags	2
Text	"Tempo de desconex\u00E3o CP:" : "0.101000004"

Fonte: Autor, (2025).

Considerando o modo de operação utilizado para verificar se a desenergização ocorreu (*UL1ACTIVE* e *IL1ACTIVE*), pode-se concluir que a EVSE está dentro do que se estabelece em norma, pois ao retirar o *delay* de 3 ms advindo da taxa de amostragem, chega-se no tempo de desconexão de 98 ms.

Assim como para a EVSE presente no nPEE, as Figuras apresentadas a seguir, 56, 57, 58 e 59, ilustram o comportamento da EVSE durante a realização do teste.

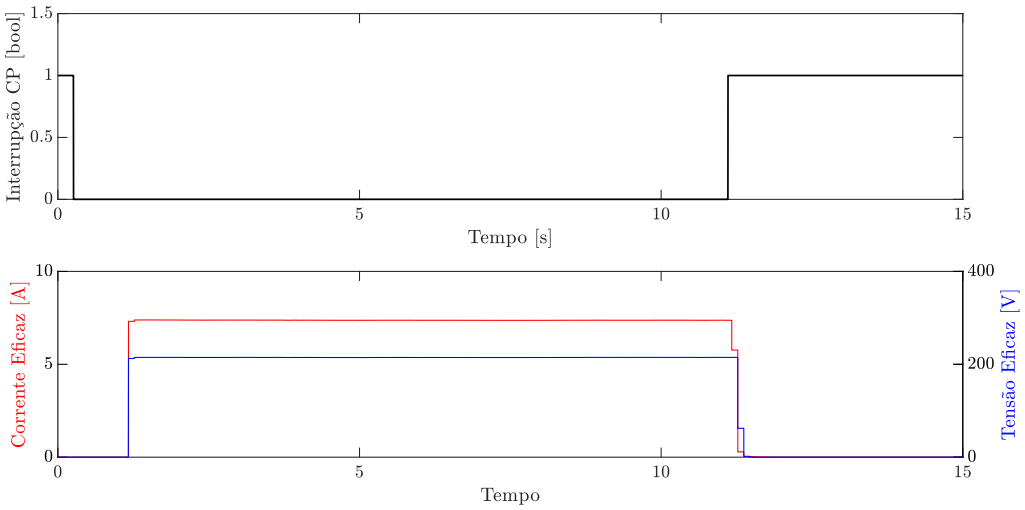
Figura 56 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tensão no CP.



Fonte: Autor, (2025).

A Figura 56 apresenta o comportamento das tensões do CP após a desconexão do mesmo, mantendo o mesmo padrão apresentado da EVSE do nPEE, porém com a interrupção ocorrendo antes, consequência da ativação do estado "x2" antecipadamente nesta EVSE. Já a Figura 57 ilustra o fluxo de carga durante o teste.

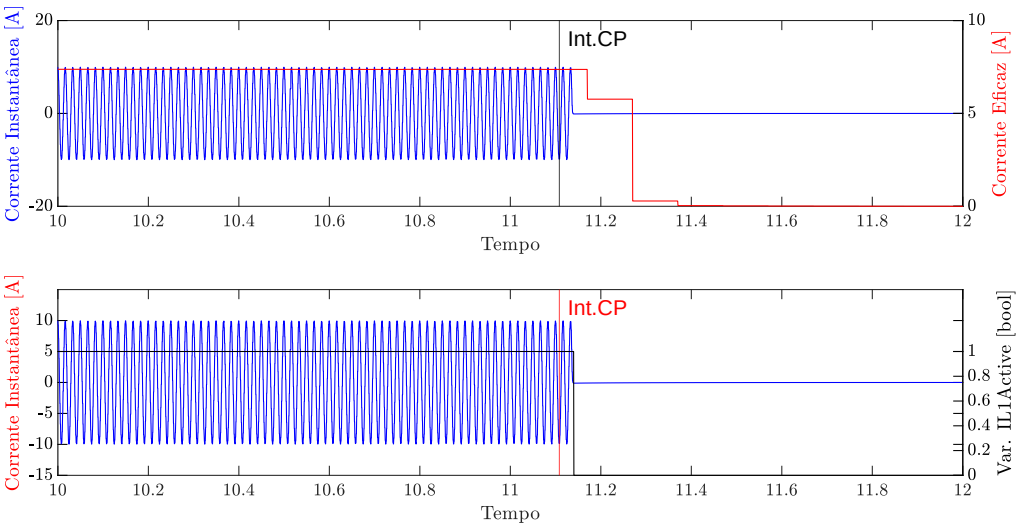
Figura 57 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

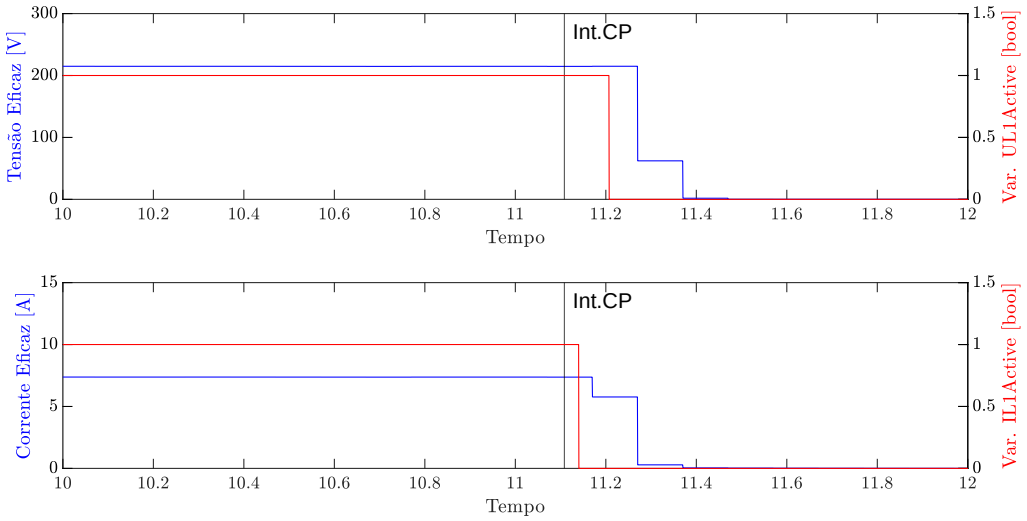
A Figura 58 traz a consolidação referente ao uso da variável de controle do CDS. Apresentando o estado inativo em 32 ms após a desconexão, já a corrente instantânea e eficaz se tornaram nulas em 29,1 ms e 162 ms. O cessar de tensão (fonte inativa) se deu com 99,1 ms, a Figura59 ilustra o atraso quando comparado com a corrente.

Figura 58 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Comparação entre medições de corrente.



Fonte: Autor, (2025).

Figura 59 – Teste ca - Interrupção do CP - EVSE bloco J - Tempo de resposta a interrupção.



Fonte: Autor, (2025).

5.3.3 Incoerências de aquisição

Durante a primeira realização do teste de interrupção do pino CP na EVSE do bloco J, o resultado apontado é dado como falha, o que ao analisar os dados, condiz com o que deveria ser interpretado, isso pois, os tempos de inatividade para saída de corrente foram de 31 ms, 35 ms e 35 ms para as fases 1, 2 e 3, e inatividade de tensão dada em 100 ms, 103 ms e 102 ms, também para as fases 1, 2 e 3. Neste cenário, o maior tempo de cessamento entre as medidas instantâneas seria de 100 ms (tensão presente na fase 2), e assim a EVSE se encaixaria dentro dos limites estabelecidos em norma, porém não dentro dos limites impostos pelo teste.

Como no momento da realização dos testes, os dados não estavam sendo trabalhados em detalhes, são realizadas alterações no escopo do teste, a primeira delas é a retirada da validação por corrente, ou seja, a validação de desativação a tempo constava somente com as medições do valores de tensão ativas, porém, nesta situação, o teste foi aprovado pelo CDS (mesmo em 100 ms), o que fez com que a atenção fosse direcionada para a corrente. Outros testes foram realizados, direcionando um aumento no valor de corrente necessário para considerar a fonte ativa, o menor valor com o qual o teste foi considerado aprovado foi de 10 A. Após isso, o valor de corrente ativa padrão foi reestabelecido (1 A), e a validação temporal acabou sofrendo incrementos, até 106 ms, onde o teste é aprovado.

Porém observando a Tabela 9 que expõe o tempo de desativação da saída de acordo com o teste realizado, pode-se estabelecer que as limitações sempre estiveram relacionadas a anulação de tensão de saída, não de a corrente.

Tabela 9 – Tempos de desativação da saída de tensão e corrente no teste de interrupção do CP.

Config. Teste	IL1ACT	IL2ACT	IL3ACT	UL1ACT	UL2ACT	UL3ACT
Teste 100 ms - 1 A	31 ms	35 ms	35 ms	100 ms	103 ms	102 ms
Teste 100 ms - 10 A	34 ms	38 ms	38 ms	93 ms	87 ms	92 ms
Teste 106 ms - 1 A	32 ms	35 ms	35 ms	99 ms	99 ms	87 ms

Fonte: Autor, 2025

Conforme a Tabela 9, o maior tempo para o teste de 106 ms foi de 99 ms, contradizendo o que é apresentado pelo próprio *software*, Figura 55, com isso, pode-se concluir que a transição entre *Steps*, e a realização das atividades entre os *Steps*, leva um certo período de tempo, baixo, porém ainda presente, configurando um pequeno atraso.

Não se pode concluir o porque a mudança na variável de controle de corrente diminuiu o tempo de cessamento de tensão na linha 2 da tabela 9, porém a diferença é significativa, 15,5 % para a fase 2. Tecnicamente a alteração do valor na variável de corrente não deveria afetar a tensão, porém com a diferença apresentada, fica claro que isto ocorreu, e que por conta disso, o teste é categorizado como aprovado pelo CDS.

5.4 INTERRUPÇÃO PINO DE PROXIMIDADE PP

O procedimento experimental para realização do teste de interrupção do pino PP é realizado através de três testes diferentes, porém são apresentados apenas os resultados gráficos do último teste, já que o mesmo é o mais completo dos três, e que verifica o retorno da saída ativa de corrente com a reconexão do pino.

Os testes apontam que a desconexão do pino de proximidade via *software*, apenas levava a corrente de saída para 0 A. Porém através dos ensaios, constatou-se em ambas as estações que o *duty cycle* do PWM não sofreu alterações, com isso conclui-se que a interrupção por meio do CDS somente gerou interrupções no plugue conector do veículo, e afetou somente o registro de corrente máxima permissível do cabo realizado pelo veículo, cabendo ao veículo abrir seus contatores e impossibilitar a passagem de corrente.

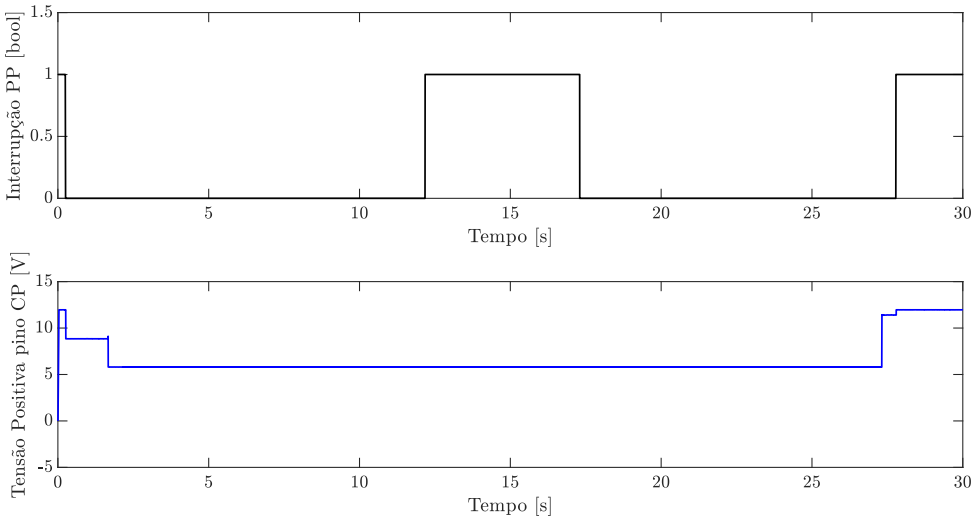
Pelos testes, fica claro que a restrição de corrente se dá pelo CDS, com a abertura de seu contator de potência, pois a medição dos valores de tensão comprova que a EVSE seguia com a liberação de energia, e continuou com seu comportamento padrão (fornecendo tensão e corrente), pois o seu circuito do PP se manteve (resistências "Ra"e "Rc"da parte esquerda da Figura 6 configuram um divisor resistivo). Nota-se com isso, que o contator de potência do CDS se encontra após o medidor de tensão do mesmo.

Com isso, se confirma que não há uma continuidade do PP ao longo de todo o cabo, apenas um resistor entre cada extremidade e o condutor de proteção (PE).

5.4.1 Wallbox nPEE

Após verificar com o primeiro teste de interrupção do PP que a transferência de corrente se tornava nula, porém a tensão não, cogitou-se sobre um possível retorno de carga com a reconexão do PP, o que de fato ocorreu. As Figuras 60, 61, 62 e 63 apresentam os resultados do teste realizado.

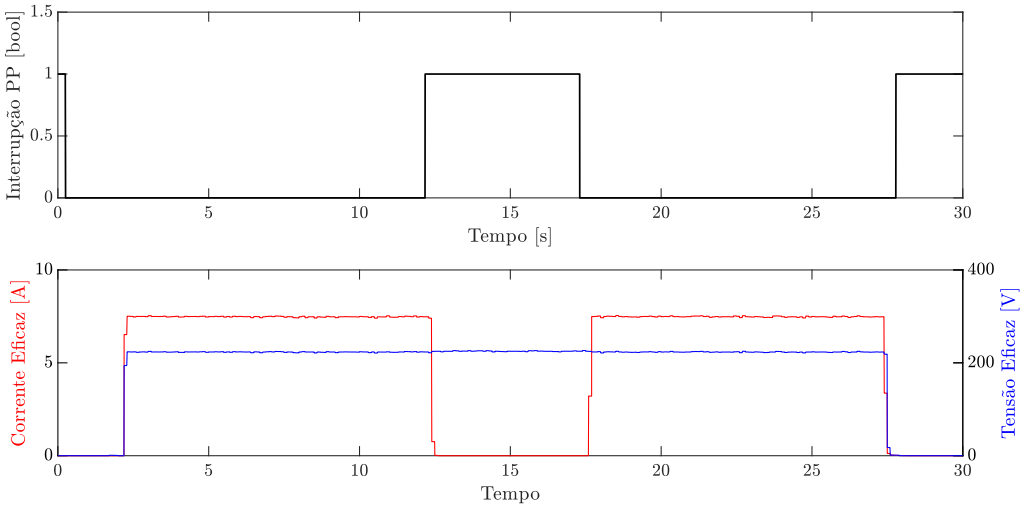
Figura 60 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Tensão no CP e interrupção do PP.



Fonte: Autor, (2025).

Conforme apresentado pela Figura 60, o valor de tensão no CP não se altera, o que acaba sendo um resultado interessante, isso pois ao interpretar o circuito do pino de proximidade como garantia de conexão e travamento do EV, acreditava-se que a verificação simultânea de proximidade poderia gerar uma mudança de estado de recarga, partindo do EV (por exemplo uma abertura da chave "S2"), que indicaria o fim do processo de carga (saída do estado "C"). A Figura 61 expõe o fluxo de carga observado durante o teste, com a EVSE fornecendo tensão ativa, porém com o valor de corrente a 0 A devido a abertura do contator do CDS.

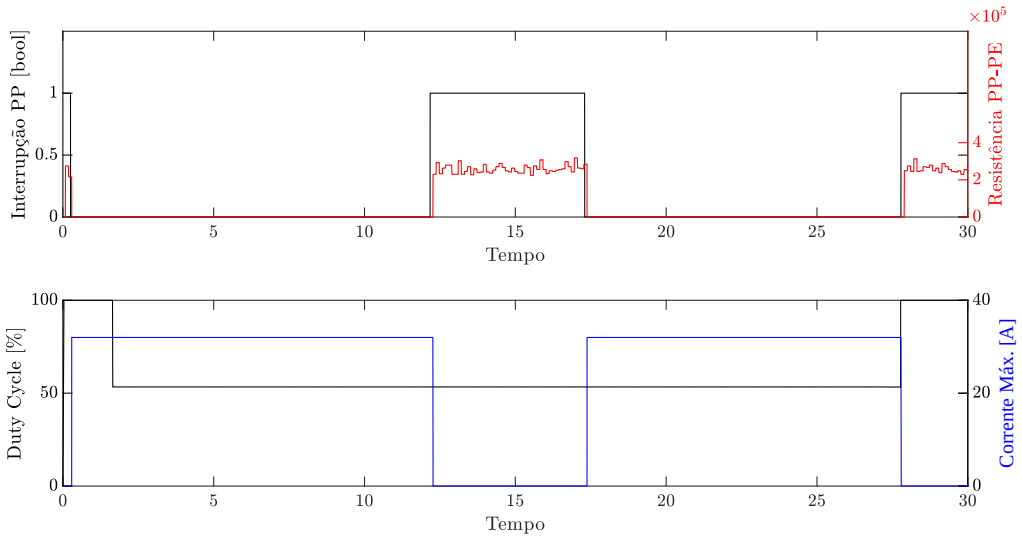
Figura 61 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Interrupção do PP e tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

O gráfico presente na Figura 62 expõe a desconexão ao se constatar valores elevados de resistência, equivalentes a um dielétrico, a Figura também releva a independência da codificação do *duty cycle* da EVSE em contraste com a resistência PP-PE medida pelo EV.

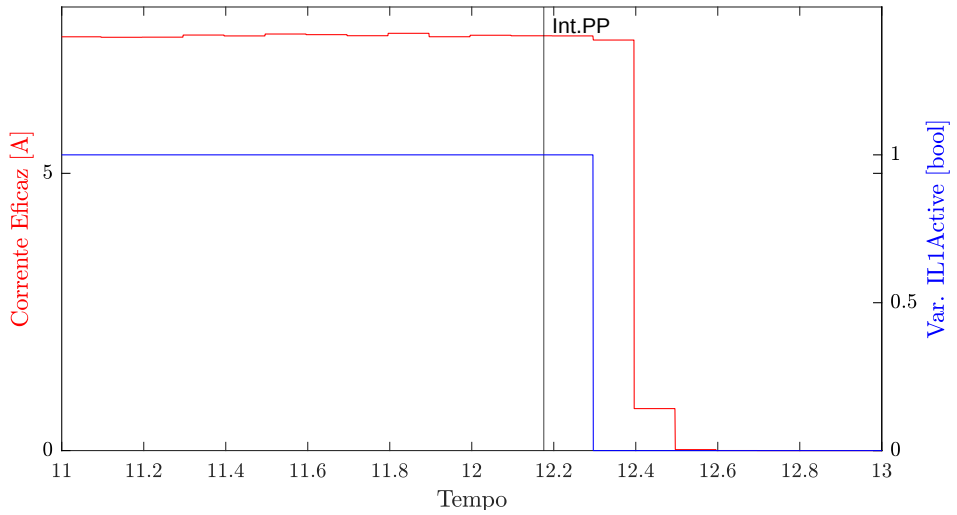
Figura 62 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Interrupção e delimitação de corrente máxima.



Fonte: Autor, (2025).

Conforme a Figura 63, o cessamento de corrente foi rápido, ocorrendo em 121 ms, além disso, ao verificar os dados tabelados, percebeu-se que a codificação de corrente de saída máxima igual a zero ocorreu com 23,8 ms após a interrupção.

Figura 63 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE nPEE - Tempo de resposta à interrupção.

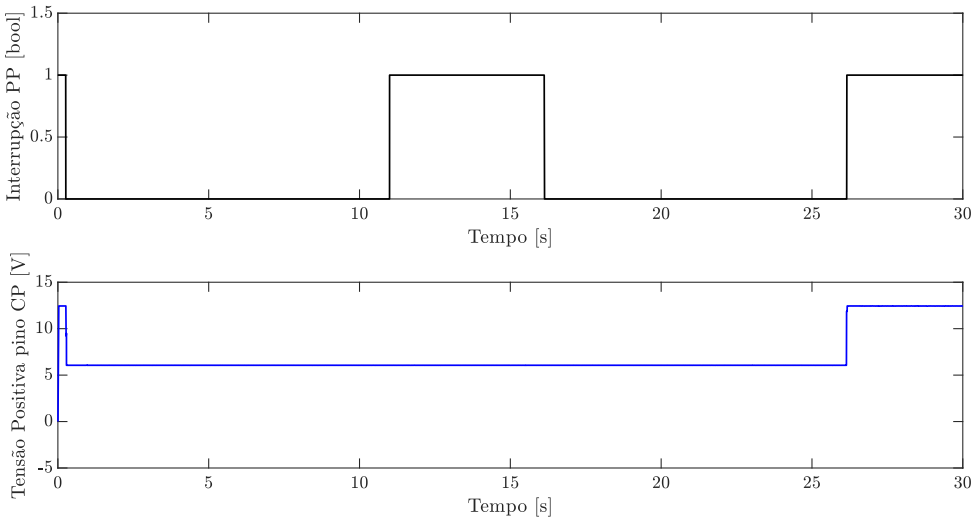


Fonte: Autor, (2025).

5.4.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J

A EVSE do bloco J apresentou resultados similares a do nPEE, conforme constam nas Figuras 64, 65, 66 e 67.

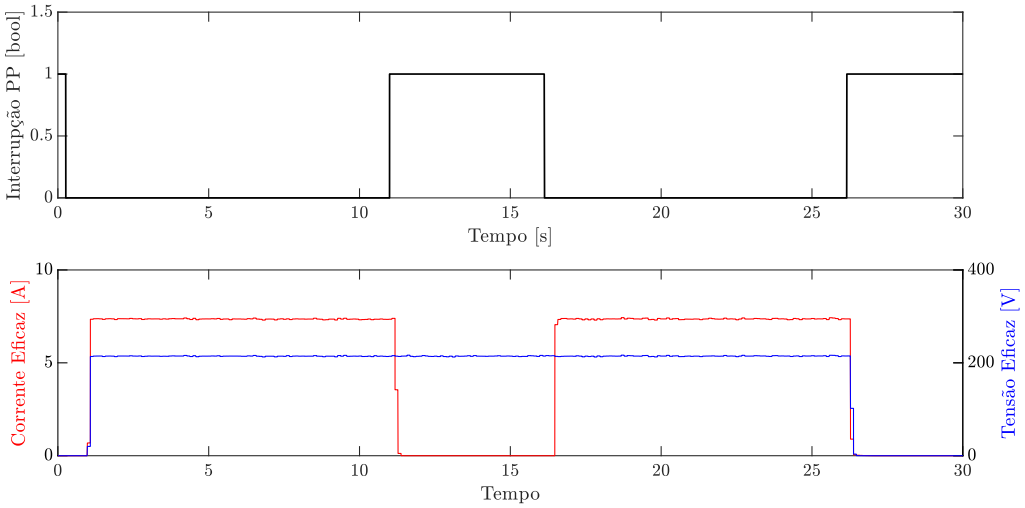
Figura 64 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Tensão no CP e interrupção do PP.



Fonte: Autor, (2025).

Como esperado, a interrupção somente do pino PP não gera nenhuma alteração na tensão disposta sobre o pino CP.

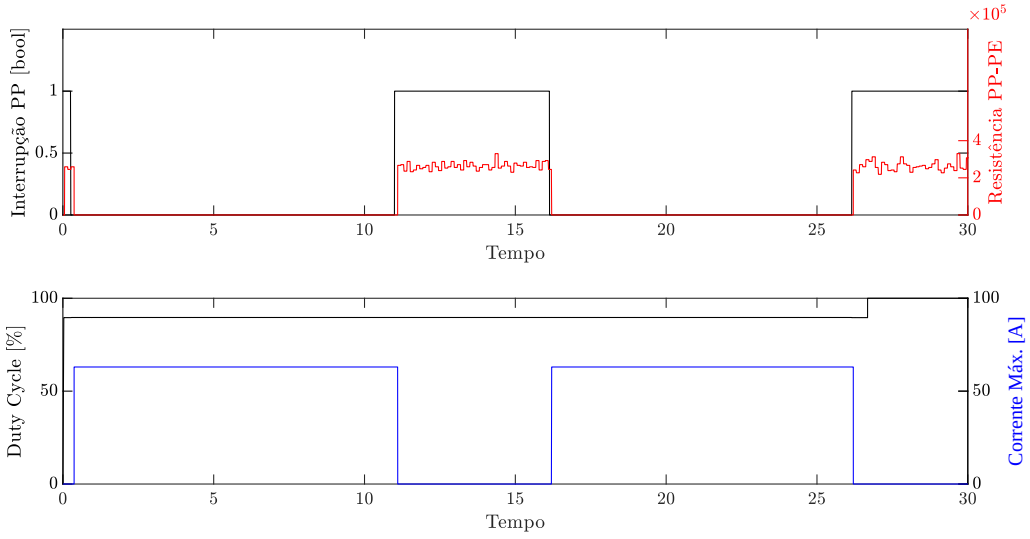
Figura 65 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Interrupção do PP e tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

Conforme demonstra a Figura 65, somente houve interrupção da corrente devido a falha incitada, com a tensão retornando a zero somente com a finalização do teste e retorno para o estado "A".

Figura 66 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Interrupção do PP e delimitação de corrente máxima.



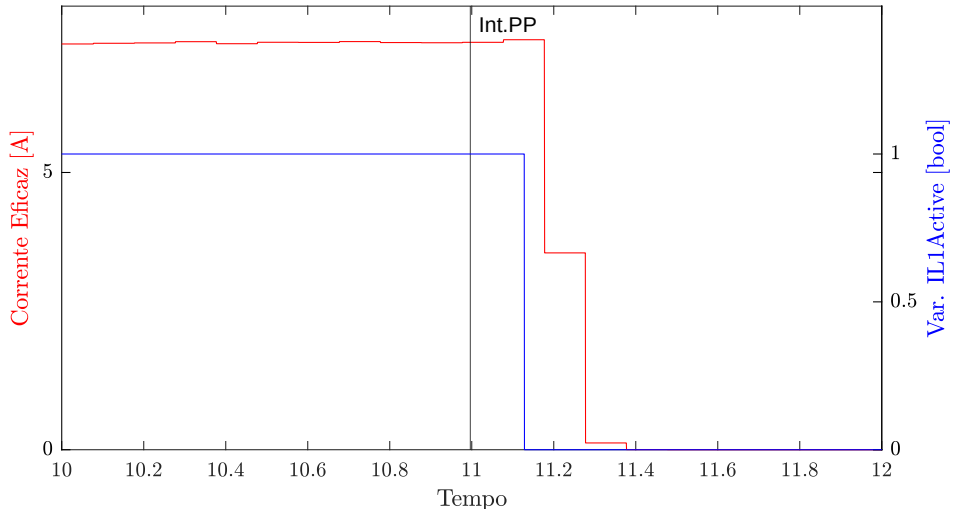
Fonte: Autor, (2025).

Novamente, pela Figura 66, observa-se o comportamento do *duty cycle*, e apresenta-se os valores de resistência medida entre PP e o PE por parte do EV, comprovando a abertura no período indicado.

Por fim a Figura 67 demonstra o tempo de resposta da EVSE para com a interrupção, sendo em vermelho a corrente eficaz, que apresenta uma curva de descida não linear em decor-

rência da taxa de amostragem da mesma (tempo total de descida até 0 A de 281 ms), e em azul a variável interna de controle de corrente ativa do CDS (tempo da falha até desativação 132 ms), indicando que o valor instantâneo da corrente já estava em zero conforme a taxa de amostragem citada para variável anteriormente.

Figura 67 – Teste ca - Interrupção do PP - EVSE bloco J - Tempo de resposta à interrupção.



Fonte: Autor, (2025).

5.5 CURTO-CIRCUITO PINO PILOTO DE CONTROLE CP

Ambas as estações testadas apresentaram resultados satisfatórios e dentro do limite normativo, todavia, constatou-se uma diferença expressiva entre as duas EVSEs. As Figuras 68 e 69 indicam o tempo de medição de resposta ao curto-circuito.

Figura 68 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Tempo de desconexão.

Details Name	Value
Level	4
Flags	2
Text	"Tempo de desconex\u00E3o resposta ao curto:" : "0.547999978"

Fonte: Autor, (2025).

Figura 69 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Tempo de desconexão.

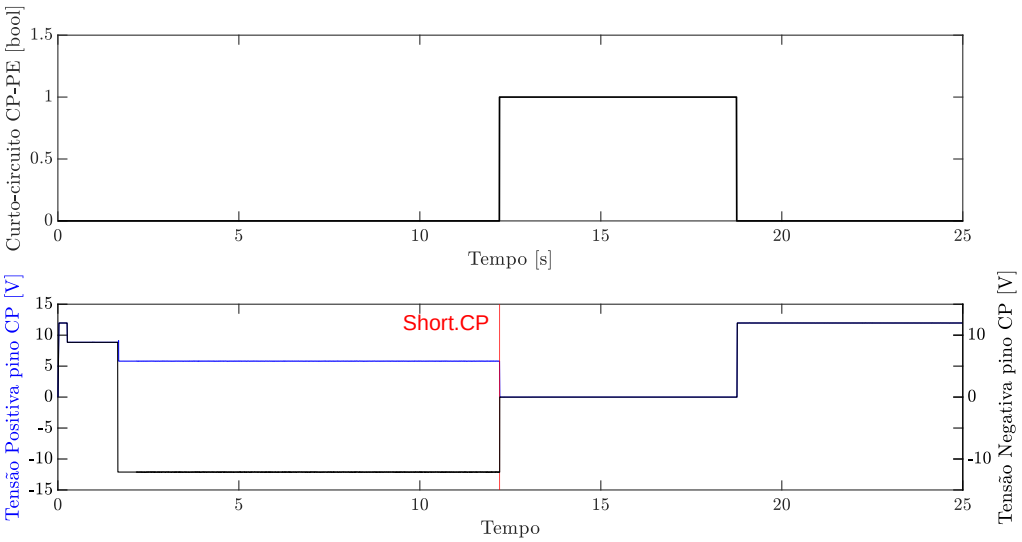
Details Name	Value
Level	4
Flags	2
Text	"Tempo de desconex\u00E3o resposta ao curto:" : "0.104000002"

Fonte: Autor, (2025).

5.5.1 Wallbox nPEE

Conforme apresentado anteriormente, a EVSE do nPEE demorou mais tempo que a EVSE do bloco J, aproximadamente 440 ms de diferença, aproximadamente 4 vezes mais lento. Novamente, o tempo está dentro do estabelecido nas normas (3 segundos), porém são valores de resposta consideravelmente divergentes. As Figuras 70, 71, 72 e 72 apontam os dados obtidos.

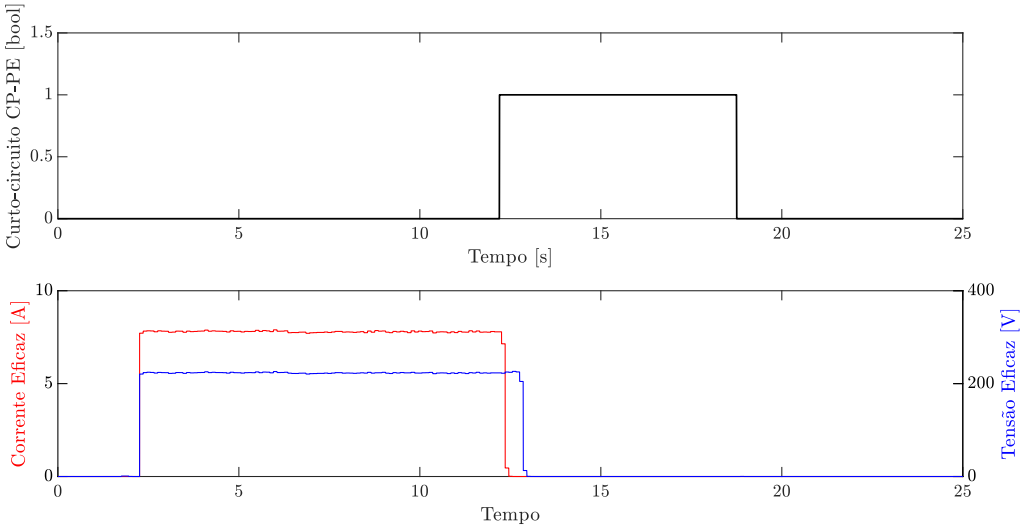
Figura 70 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Tensão positiva e negativa do CP.



Fonte: Autor, (2025).

Conforme o esperado, ao induzir um curto-circuito entre o CP e o PE, os valores de tensão no CP se tornaram 0 V, conforme Figura 70, tanto a tensão positiva, quanto a negativa.

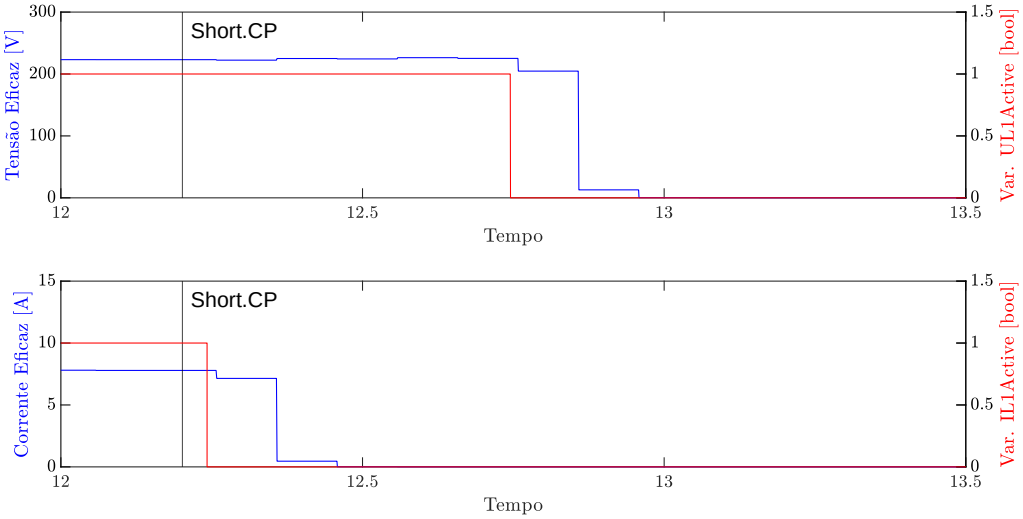
Figura 71 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

A Figura 72 apresenta o tempo de resposta (inativação) da tensão e corrente de saída, claramente a tensão leva um tempo maior para se anular, 543,8 ms, do que a corrente, 40,9 ms.

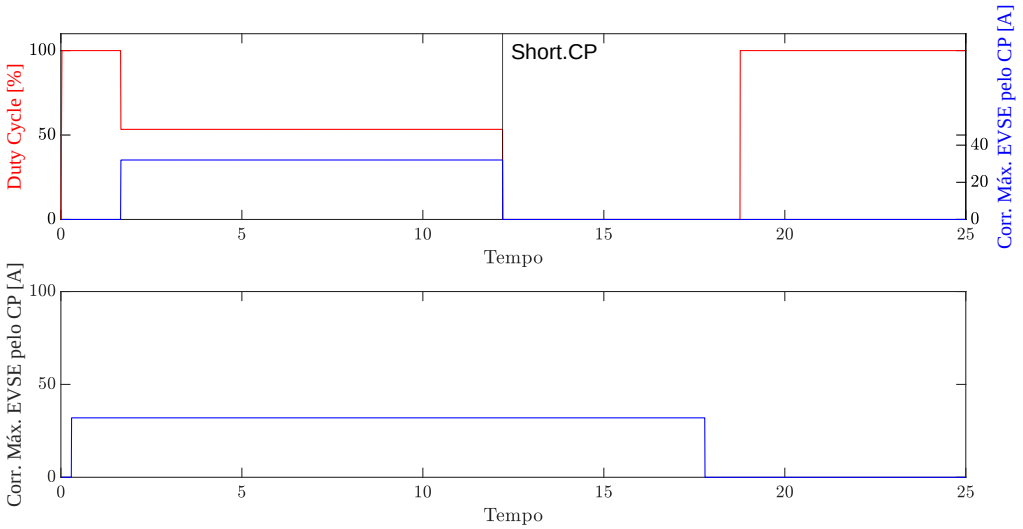
Figura 72 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Resposta ao curto-circuito.



Fonte: Autor, (2025).

Por fim, o gráfico presente na Figura 72, expõe a diferença de codificação da corrente máxima de saída da estação, entre a codificação delimitada pelo *duty cycle* do PWM e da codificação apurada com os valores de resistência entre o PP e o PE através do cabo de conexão. Nota-se que com a imposição da falha, o *duty cycle* vai a zero, conforme esperado.

Figura 73 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE nPEE - Delimitações máximas de corrente.

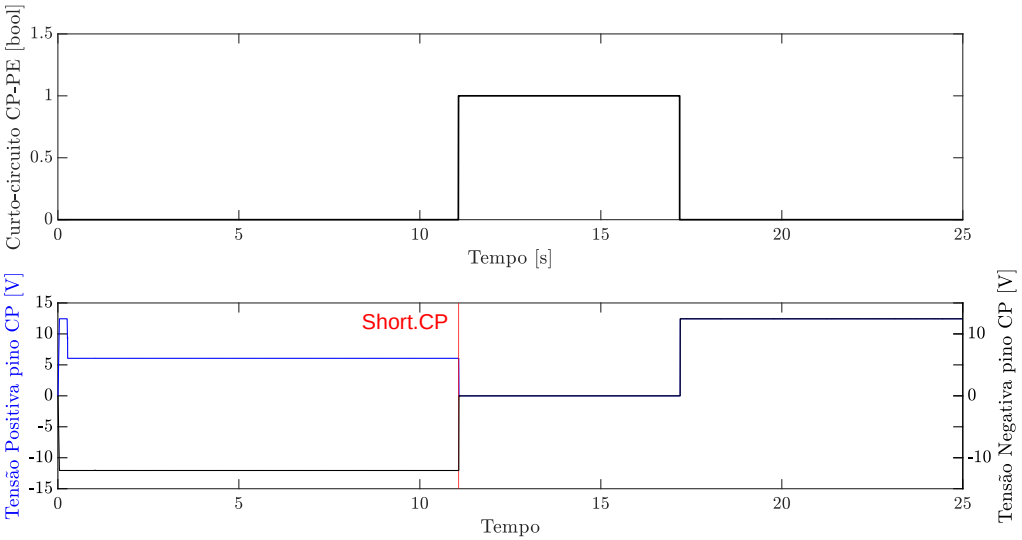


Fonte: Autor, (2025).

5.5.2 Saída de carga Lenta WEMOB Bloco J

As Figuras 74, 75, 76 e 77, corroboram para expressar o comportamento da EVSE do bloco J durante o teste de curto-circuito do CP.

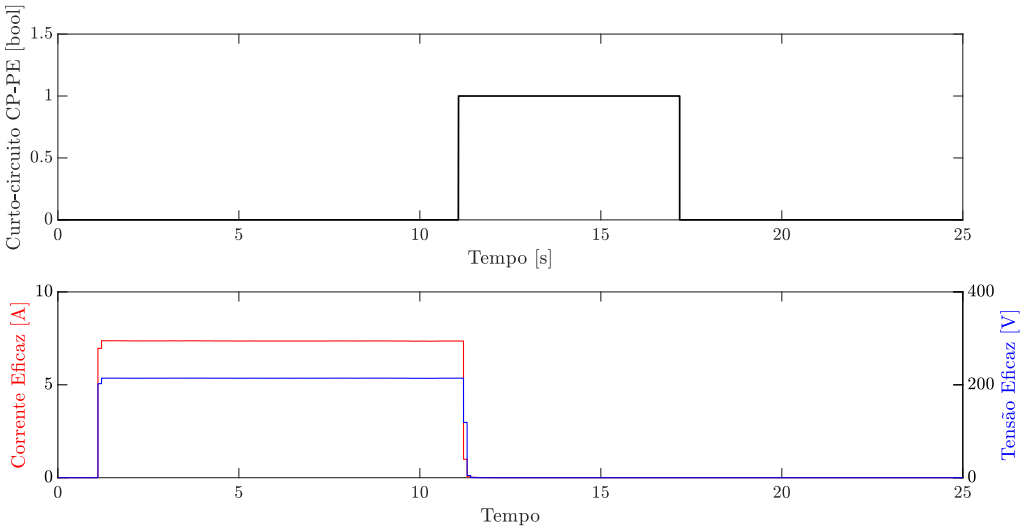
Figura 74 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Tensão positiva e negativa do CP.



Fonte: Autor, (2025).

O gráfico da Figura 74 demonstra o curto-circuito no CP e a Figura 75 o fluxo de carga durante o teste.

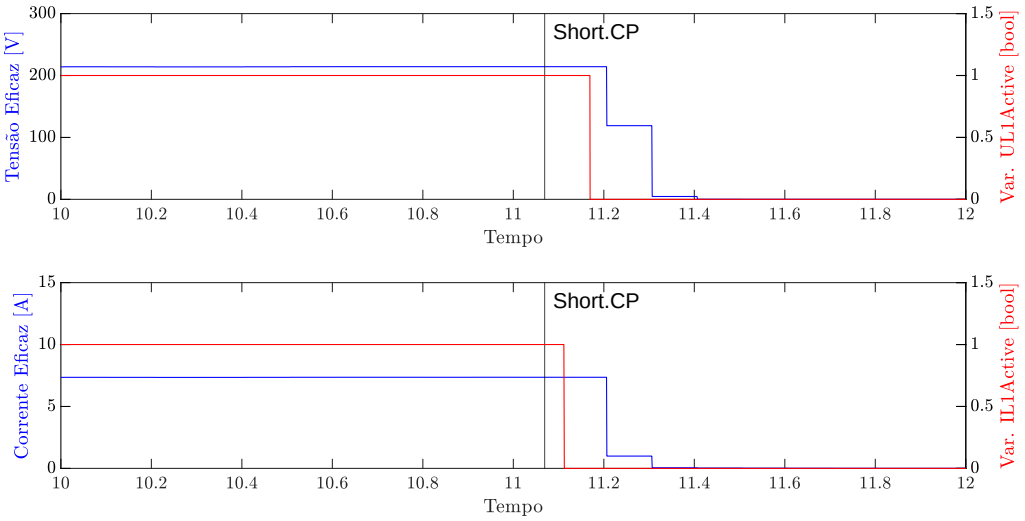
Figura 75 – Teste ca - Curto-circuito do CP AC - EVSE bloco J - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

A resposta da EVSE se encontra na Figura 76, com desativação da alimentação em 43,5 ms por parte da corrente e 100 ms por parte da tensão.

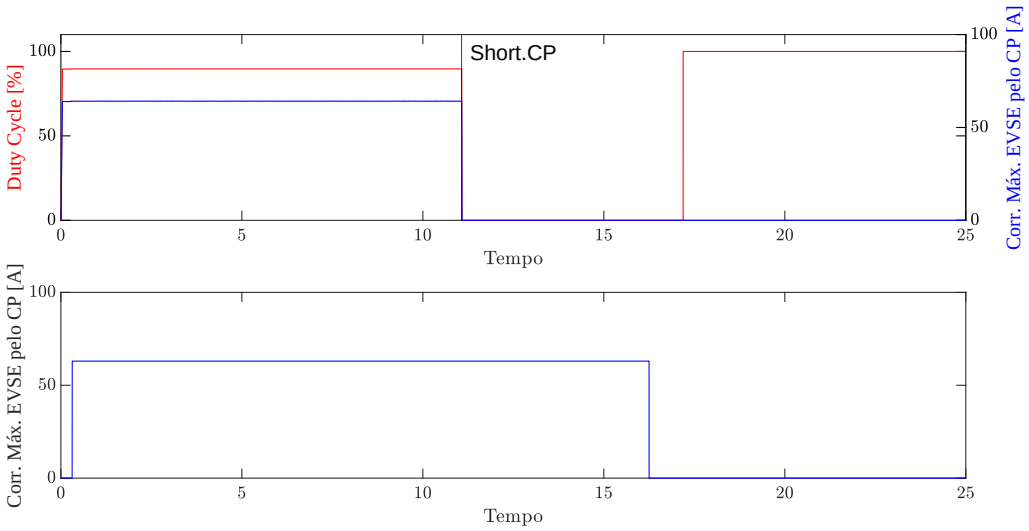
Figura 76 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Resposta ao curto-circuito.



Fonte: Autor, (2025).

Novamente, nota-se a diferença entre a limitação de corrente máxima por meio do *duty cycle* e do PP, Figura 77.

Figura 77 – Teste ca - Curto-circuito do CP - EVSE bloco J - Delimitações máximas de corrente.



Fonte: Autor, (2025).

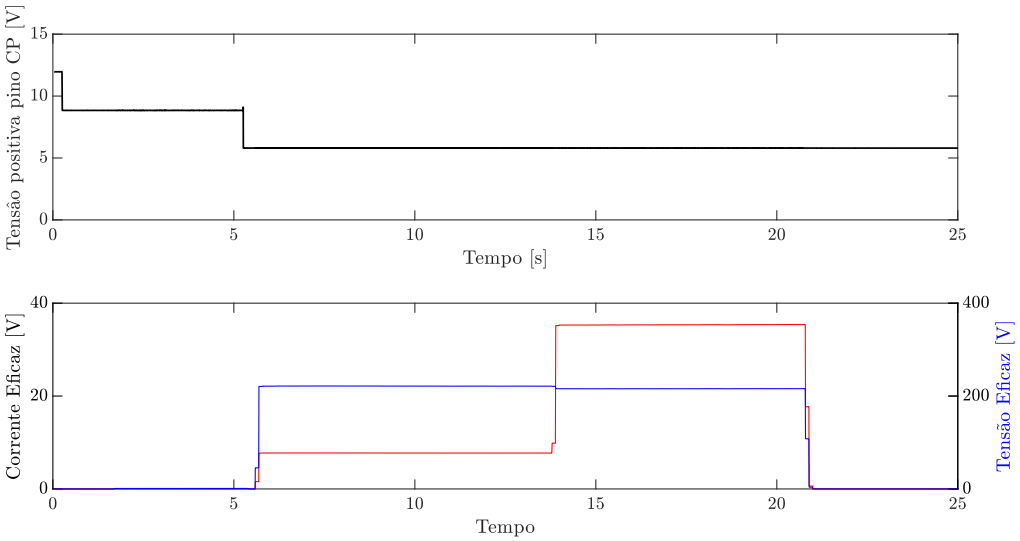
5.6 SOBRECORRENTE

Por razões de segurança, o teste de sobrecorrente é realizado somente na EVSE presente no nPEE, isso pois, aplicar uma sobrecorrente na EVSE do bloco J, de 42 kW, acarretaria em uma potência muito elevada, que mesmo por pouco tempo, poderia ocasionar em danos ao banco de resistências que seriam utilizados como carga.

5.6.1 Wallbox nPEE

A Figura 78 apresenta a tensão no CP e o fluxo de carga durante a realização do teste.

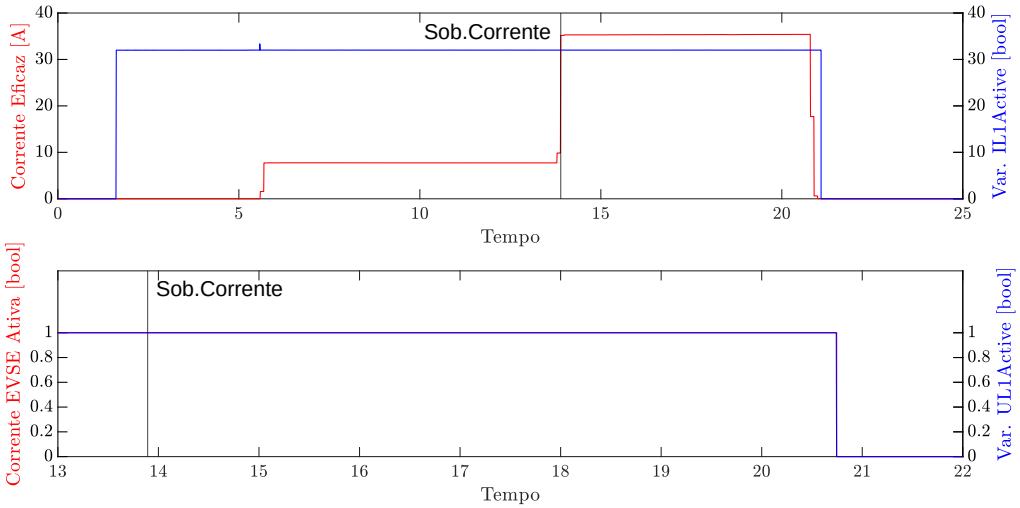
Figura 78 – Teste ca - Sobrecorrente - EVSE nPEE - Tensão no CP e tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025).

Conforme apresenta a Figura 79, a sobrecarga ocorreu em 13,9 s, e resultou em um aumento de corrente, partindo de 7,7 A até 35,3 A (ultrapassando em 3 A o máximo estipulado pela EVSE). Nota-se que o desligamento da alimentação para tensão e corrente ocorreu quase ao mesmo tempo (1 ms de diferença), embora levou um certo tempo para ocorrer, 6,85 s.

Figura 79 – Teste ca - Sobrecorrente - EVSE nPEE - Comparação de correntes e variáveis de fonte ativa.

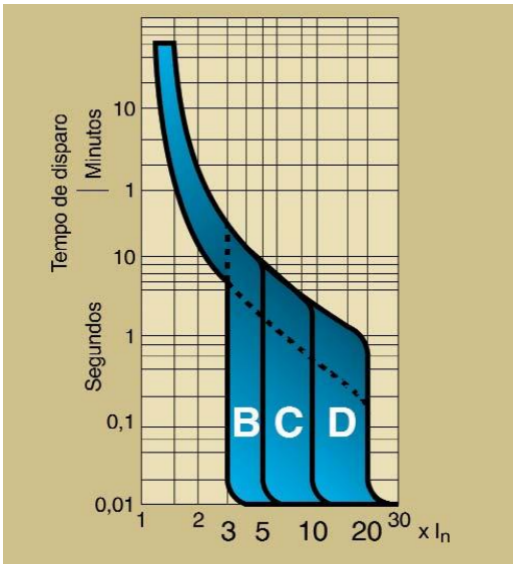


Fonte: Autor, (2025).

A norma não específica qual componente deve ser utilizado para garantir a proteção contra sobrecarga, e também, qual deve ser seu tempo limite de atuação, porém se tratando de

uma estação de recarga, pode-se descartar o uso de fusíveis, isso pois exigiria a intervenção de um técnico para a reativação da EVSE. Relés térmicos e disjuntores normalmente estão integrados na proteção deste tipo de equipamento, porém a atuação da proteção deste teste não se deu por nenhum deles. A exemplo do disjuntor curva C, Figura 80, para um disparo térmico com corrente de 35 A, em um disjuntor de 32 A, seria necessário que a corrente se mantive-se por mais de 10 minutos. Portanto, conclui-se que a ativação de proteção por sobrecorrente se deu através de um microcontrolador que indicou a abertura da contatora por parte da EVSE.

Figura 80 – Curva de atuação - Disjuntor.



Fonte: Slides Marcos Fergutz, (2024).

5.7 CONCLUSÃO

Os testes realizados com estações de recarga em corrente alternada demonstraram o correto funcionamento dos principais elementos definidos pela norma, especialmente no que se refere à sinalização de controle pelo CP, a exceção da presença inesperada do estado "F" para a estação do nPEE, mas que logo se corrigiu e permaneceu no mesmo por um curto período de tempo.

A detecção do circuito de proximidade pelo PP, e seu teste de interrupção, atestaram a característica e funcionalidade desse circuito. Os ensaios abrangeram condições típicas de conexão, comunicação analógica com o veículo elétrico e ativação da carga, respeitando as características elétricas e funcionais estipuladas pela norma. Sendo assim, ambas as estações se encontram aptas para realizar a carga de veículos elétricos com carregadores *On-board*.

6 METODOLOGIA E TESTES - RECARGA CC

Este capítulo pretende abordar a metodologia utilizada para realização dos testes para recarga em corrente contínua, carregador *Off-Board*, e o metodologia envolvida no desenvolvimento dos mesmos.

6.1 FONTE BIDIRECIONAL

Ao contrário dos testes em ca, para os testes em cc se fez o uso de uma fonte bidirecional, capaz de direcionar a energia da recarga novamente para a rede. Esta fonte não foi usada anteriormente pois exige que sua entrada de energia seja realizada em corrente contínua, para então aplicar um processo de inversão e redirecionar a energia para a rede.

Figura 81 – Conversor Bidirecional cc-ca - 20 kW.



Fonte: Autor, (2025).

A fonte acabou por ser o fator limitante, pois sua potência (20 kW) é inferior a da fonte testada (60 kW).

6.2 TESTES CARREGAMENTO DC 61851-1 E 61851-23 UTILIZANDO COMUNICAÇÃO DE ALTO NÍVEL

Os testes propostos são realizados somente na saída tipo CCS2 da estação de recarga, modelo "WEMOB-S-060-W-E-4G-R-H-1T2-1CS2-1CH", do bloco J e o arranjo dos mesmos se encontra na Figura 82, com a entrada para o equipamento sendo o conector CCS 2, sua saída conectada aos terminais de tensão contínua no conversor bidirecional, e o mesmo ligado no barramento trifásico que alimenta a EVSE através de uma tomada trifásica.

Figura 82 – Configuração para testes cc - Bloco J.



Fonte: Autor, (2025).

Para a recarga em corrente contínua, a norma define valores operacionais e limitantes de operação (60 V, por exemplo), que são seguidos e respeitados na elaboração dos testes, porém, diferentemente dos testes em corrente alternada, não existe uma variável booleana para verificar se a EVSE está ativa ou não, portanto, trabalhou-se com uma comparação direta dos valores de corrente e tensão (filtrados).

Desta forma, os seguintes testes, Anexos, são realizados para validar o comportamento e comunicação da EVSE.

- Energização

  O teste de energização visava a correta energização e desenergização de um EV, garantindo a segurança no processo. O teste contempla a emulação de algumas das mensagens que compõem a estrutura de comunicação do protocolo DIN SPEC 70121 (similares ao ISO), e conta com verificações de requirimentos pelo EV (mensagens terminadas em "Req"), e condicionais de resposta por parte da EVSE (mensagens terminadas em "Res").

  Durante a realização do teste, se perceberam algumas falhas de verificação envolvendo a sinalização de fonte ativa por parte da EVSE, diversos comandos de requisição, parada, e sinalizações de carga são utilizados, porém nenhum deles surtiu efeito. Com isso, esta condicional de fonte ativa foi retirada do teste (antes estava junto ao condicional de sucesso do *Step* 25).

  Além disso, este teste foi utilizado para verificar se os limites de tensão e corrente impostos, bem como testes de isolamento e checagem do cabo, foram realizados corretamente

e se encontram dentro do esperado.

- Interrupção do pino CP

  O teste se baseou nas especificações 6.4.3.2 e CC.4.4 da ABNT NBR IEC 61851-23, bem como as delimitações antes estabelecidas na parte 1 da norma. Complementarmente, o item CC.4.4 discorre do uso da parada de emergência, que é tratado mais adiante, porém, seus limites e implicações também são incorporados a este teste.

  A norma estabelece que uma parada de emergência rápida da corrente de saída com menos de 5 A em 30 ms no máximo deve ser aplicada pela alimentação em cc. A norma também informa que a parada é iniciada pela passagem direta do piloto do estado "C" para o estado "A".

- Curto-circuito do pino CP

  A normativa referente a EVSE de corrente contínua não estipula nenhuma requisição para esta falha, portanto, se mantiveram os limites de resposta já informados na parte 1 da norma e utilizados nos testes ca.

- Teste de variação de corrente

  Esse teste buscava simplesmente implementar variações de corrente através de requisições de demanda, e verificar o comportamento resposta da EVSE, se o mesmo estava dentro do estabelecido. Compreende os itens 101.2.1.2.1, 101.2.1.3 e CC.6.4 da ABNT NBR IEC 61851-23.

Durante todos os testes, com exceção do teste de variação de corrente, a tensão base utilizada é de 400 V (com limite máximo de 500 V), e corrente de 30 A (limite máximo de 35 A). Para o teste de variação de corrente, operou-se com uma tensão de 200 V e 50 A.

Além destes testes, outros dois são realizados: Perda de carga (referente ao item 101.2.1.7 da parte 23 da norma), e Parada de Emergência (item 6.4.3.114 da parte 23). Esses não são apresentados nos anexos pois não foram criados pelo autor, e sim pelos responsáveis pela instalação da EVSE, e foram utilizados durante o comissionamento do CDS.

O primeiro teste se baseia em uma total desconexão no meio de uma carga, gerando assim um aumento na tensão, que deve ser controlado até 110% do limite máximo do EV, este teste utilizou-se de uma tensão de carga de 325 V (limite de 500 V).

O segundo teste, aplica uma mudança repentina de estado durante a carga (migrando para o estado "B2"), e observa-se a reação e cessamento de corrente, a qual deve ser inferior a 5 A, em um período de 1 s, com uma taxa de decréscimo mínima de 200 A/s; este teste seguiu o padrão dos valores de carga utilizados, 400 V e 30 A.

Por fim, cabe ressaltar que o teste de interrupção do PP não foi realizado pois houve uma troca de variáveis que só foi percebida durante o tratamento de dados (os testes para

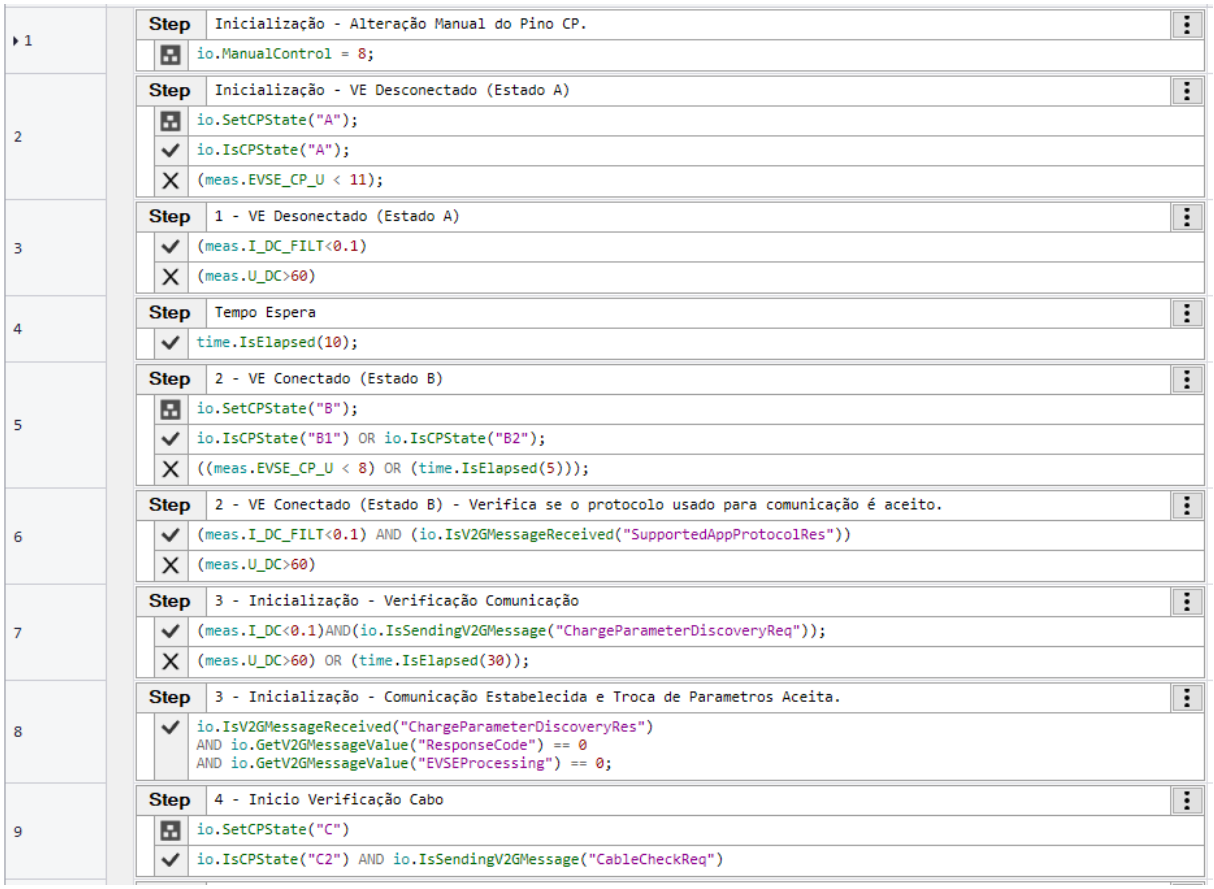
interrupção do PP foram realizados com o comando para interrupção do CP), e como o comportamento resposta para estes dois casos na recarga cc são os mesmos, este erro não foi percebido previamente.

6.3 DETALHAMENTO DO TESTE DE ENERGIZAÇÃO CC

Esta seção busca apresentar em maiores detalhes a programação envolvida no teste de energização em cc, isto é realizado somente para o teste de energização, a programação dos demais testes se encontra nos Anexos.

A Figura 83 ilustra o início do teste, onde pode-se visualizar os *steps* 1 à 8.

Figura 83 – Programação do teste em cc de energização 1.



Fonte: Autor, (2025).

A lógica por trás de cada *step* segue abaixo.

- 1 - *Step*

  Altera-se uma variável de controle do CDS possibilitando controle dos níveis de tensão associados ao CP.

- 2 - *Step*

Inicialização do processo de recarga, configurando o estado de recarga para "A", sendo o requisito para prosseguir para o próximo passo a confirmação de que o processo de recarga se encontra no estado "A", e de encerramento do teste caso verifique-se que o nível de tensão no CP se encontra inferior a 11 V.

- 3 - *Step*

  Este passo confirma que a corrente se encontra nula (abaixo de 0.1 A), e encerra o teste caso o nível de tensão ultrapassar 60 V.

- 4 - *Step*

  Apenas delimita um período de espera de 10 segundos, para poder espaçar e tornar mais visível as ações entre *steps*.

- 5 - *Step*

  Opera uma mudança de estado no CP, a condição de passagem ocorre com a verificação do estado de recarga. A condição de falha realiza o monitoramento do nível mínimo de tensão no CP, delimitando um tempo máximo de 5 s para que isso ocorra (está limitação temporal não está especificada em norma, mas é utilizada como garantia de agilidade do CDS à mudança de Estado).

- 6 - *Step*

  Neste passo, espera-se que a comunicação já tenha iniciado, e que tanto a EVSE quanto o EV tenham acordado quanto ao protocolo utilizado, isso é verificado através da condicional "io.IsSendingV2GMessageReceveid("SupportedAppProtocolRes")", que indica que uma resposta de protocolo foi encaminhada por parte da EVSE.

  Além disso, monitora os níveis de tensão e corrente durante a etapa, possibilitando o prosseguimento caso não haja corrente, e encerrando o teste como falha caso detecte a presença de tensão.

- 7 - *Step*

  Este *step* é similar ao anterior, porém neste deseja-se verificar se todo o processo inicial de comunicação ocorreu, e se a troca de parâmetros entre a estação e o veículo está sendo realizada. Para confirmar e conferir uma certa agilidade neste processo, delimita-se um tempo de 30 segundos para que esta troca de informações ocorra (não é uma delimitação normativa).

- 8 - *Step*

  Este passo serve para confirmar que todo o processo inicial e troca de parâmetros se concluiu, para que possa dar sequência a recarga com a mudança para o estado "C".

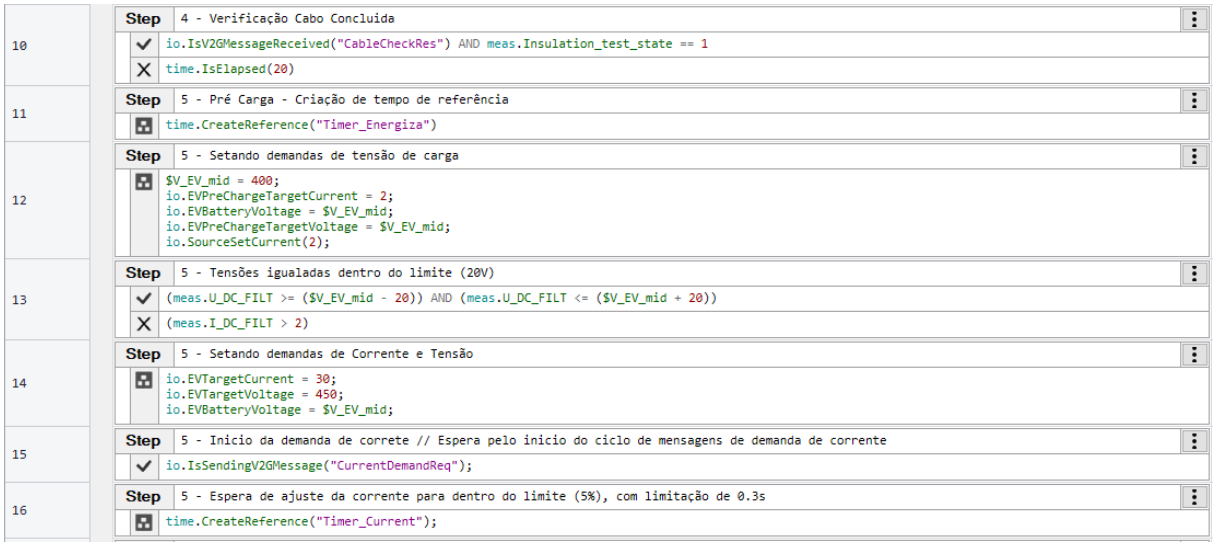
Isto é realizado através da mensagem de resposta "ChargeParameterDiscoveryRes", com os valores da variável "ResponseCode"igual a 0, indicando que a negociação de parâmetros foi bem sucedida; e através do valor da variável "EVSEProcessing"igual a 0, indicando que a estação encerrou o processamento das mensagens de limites e parâmetros de carga.

- 9 - *Step*

Este passo realiza a mudança do estado de recarga para "C", porém implementa como condicional de passagem, que o processo de troca de mensagens relativas ao teste de isolação do cabo antes da carga já esteja ocorrendo.

A Figura 84 apresenta a sequência da programação.

Figura 84 – Programação do teste em cc de energização 2.



Fonte: Autor, (2025).

A explicação de cada passo se dá conforme abaixo.

- 10 - *Step*

Neste *step*, confirma-se que há uma resposta por parte da EVSE quanto ao teste de isolação do cabo, e possibilita a sequência do teste de energização apenas se o resultado do teste de isolação do cabo for positivo.

- 11 - *Step*

Cria-se uma referência temporal que será usada posteriormente.

- 12 - *Step*

Este passo é utilizado para delimitar variáveis do processo de carga, são definidas as variáveis de corrente de pré-carga estimada por parte do EV (2 A), da tensão da bateria

e tensão de pré carga estimada por parte do EV (ambas 400 V). Além disso, define-se a corrente de saída para 2 A, respeitando a corrente máxima de pré carga imposta pela norma.

- 13 - *Step*

  Monitora-se a a tensão e corrente de pré-carga, prosseguindo com o teste somente se a tensão estiver dentro da tolerância ($\pm$ 20 V). A condicional de falha encerrará o teste caso verifique uma corrente de saída superior a 2 A.

- 14 - *Step*

  Neste *step* delimita-se qual a tensão e corrente o veículo irá requerer para a recarga, e novamente, confirma-se o nível de tensão da bateria para 400 V.

- 15 - *Step*

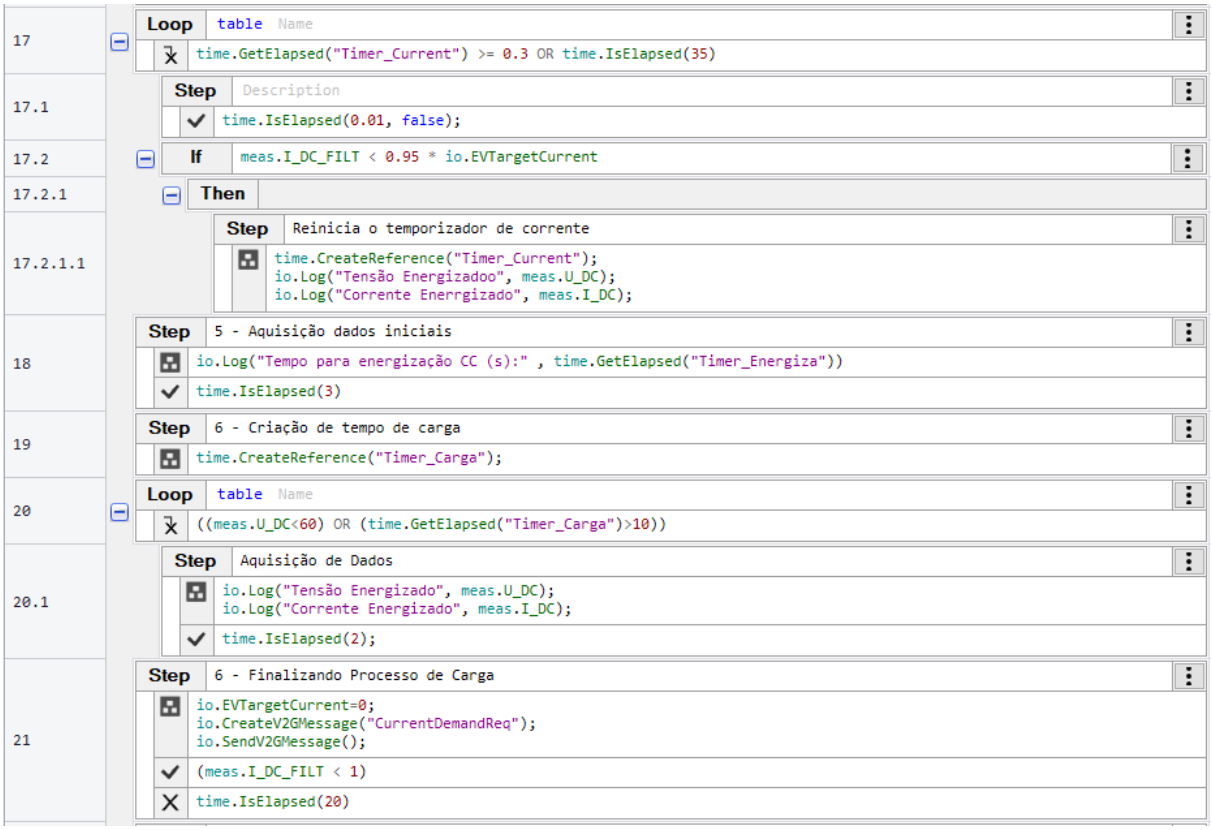
  Apenas uma condicional que verifica se iniciou-se o processo de demanda de corrente (consequentemente, finalização da pré-carga), através da verificação se as requisições estão sendo enviadas pelo EV.

- 16 - *Step*

  Cria-se uma referência temporal que será usada posteriormente para verificação da imposição do correto nível de corrente.

A Figura 85 dá sequência a lógica de programação do teste de energização.

Figura 85 – Programação do teste em cc de energização 3.



Fonte: Autor, (2025).

Detalhando cada passo temos:

- 17 - *Loop*

  Inicia-se um *Loop* para verificação se a energização está ocorrendo corretamente, e se a corrente requerida foi atingida. O ciclo será quebrado caso se passe 35 segundos, ou se consiga manter a corrente dentro da tolerância mínima por mais de 0.3 segundos (nenhum destes limites temporais é de carácter normativo, foram impostos ao teste para garantir que este processo não seja demasiado lento).

- 17.1 - *Step*

  Aguarda-se 0.1 segundos para prosseguir ao próximo passo.

- 17.2 - *If*

  Este teste condicional verifica se a corrente de carga se encontra dentro da tolerância mínima estabelecida pela norma, caso isso não ocorra, ele irá passar para o *step* 17.2.1.1, que reinicia a referência temporal criada no *step 16*. Está estrutura garante que a corrente não está só dentro da tolerância, como se manteve dentro dela por pelo menos 03. segundos.

- 18 - *Step*

  Realiza a aquisição do tempo decorrido desde o início do processo de pré-carga, contabilizando como o tempo necessário para ocorrer a energização do sistema de recarga conforme requisitado pelo EV.

- 19 - *Step*

  Define-se uma referência temporal para delimitar um tempo de carga e transferência de energia.

- 20 - *Loop*

  Cria-se um *loop* de repetição (para garantir a transferência de energia), que só será encerrado caso detecte que se cessou o fornecimento de tensão, ou caso passe 10 segundos após a criação da referência temporal do *step* 19.

- 20.1 - *Step*

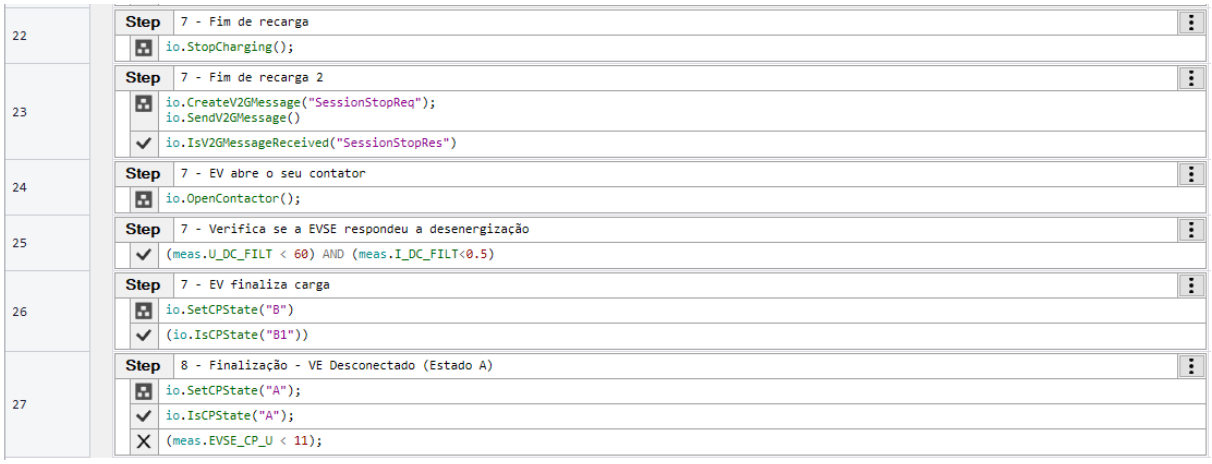
  Passo dentro do *loop* onde realiza-se a aquisição de dados de tensão e correntes do processo de carga.

- 21 - *Step*

  Iniciando o processo de finalização de carga, impondo o valor requerido de corrente pelo EV para 0 A, e inserindo esta mudança no fluxo de mensagens de demanda de corrente. Como condicional de passagem, espera-se até que a corrente esteja inferior a 1 A.

  Por fim, a Figura 86 apresenta a etapa final do teste de energização.

Figura 86 – Programação do teste em cc de energização 4.



Fonte: Autor, (2025).

A lógica por detrás da etapa final de programação do teste se dá por:

- 22 - *Step*

  Fim de recarga, inicia o processo de encerramento da transferência de energia.

- 23 - *Step*

  Além do controle próprio de carga do CDS, realizado no passo anterior, cria uma mensagem por parte do EV, e a envia para EVSE, sinalizando o fim do processo, e somente da continuidade ao teste ao receber essa resposta.

- 24 - *Step*

  Este passo realiza a abertura do contator de potência do EV (CDS).

- 25 - *Step*

  Este *step* garante que a desenergização ocorreu por parte da EVSE, confirmando o nível de tensão e corrente seguros (60 V e 0.5 A, embora a norma exija 1 A, trabalhou-se com 0.5, isso pois o nível de corrente inferior a 1 A já foi realizado no passo 21).

- 26 - *Step*

  Retorna-se ao estado de recarga "B", garantindo o fim da recarga. Além disso, verifica-se se o estado "B1"foi alcançado, indicando o fim da comunicação digital e encerramento do PWM.

- 27 - *Step*

  Último *step* do teste, finaliza a recarga e retorna ao estado "A", sem conexão entre o EV e o EVSE.

7 RESULTADOS EXPERIMENTAIS - TESTES CARREGAMENTO CC

Este capítulo busca apresentar os resultados obtidos para os testes de recarga *off-board* (cc), realizados através do equipamento CDS, enfatizando resultados esperados, introduzindo incoerências e elucidando o comportamento esperado.

Os testes são realizados somente na EVSE do bloco J, pois é única disponível com este tipo de tecnologia no Centro de Ciências Tecnológicas. A EVSE possui duas saídas para *FastCharge*, uma com conexão tipo CCS2, nas quais os testes são realizados, e outra com conexão CHAdeMO, que não é utilizada, nem estudada a fundo, pois a UDESC não detém posse do conector modular desse plugue para o CDS.

Os testes para a recarga em corrente contínua são similares aos de corrente alternada, porém os testes de análise de comportamento ao "Estado F", "Interrupção do PP" e "Sobrecorrente" não foram realizados. O primeiro pois não foi possível emular esse estado, o segundo porque a variável de interrupção estava trocada (CP ao invés de PP), e isto foi percebido somente ao realizar o tratamento dos dados, por fim, o último não ocorreu devido a limitação de potência (e corrente) estar vinculada a fonte auxiliar bi-direcional utilizada. Além disso, são inseridos outros três testes adicionais: Variação de corrente, Perda de carga e Parada de emergência.

Novamente se fez uso do *software Matlab* para realizar o tratamento e visualização de dados.

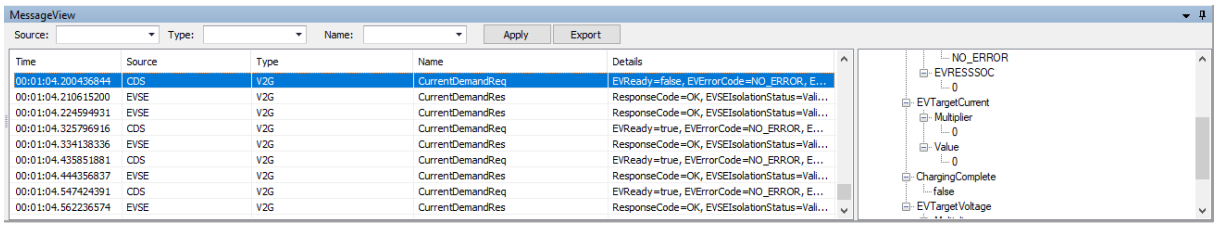
7.1 ENERGIZAÇÃO E DESENERGIZAÇÃO

Conforme estabelecido anteriormente, este teste visa realizar a correta, e segura, energização e desenergização do EV, além da troca de informações básicas referentes a uma recarga em modo 4 para corrente contínua, devido a isso, este é o único teste em que a efetiva troca de informações advindas do *Log* do CDS é apresentada, em todos os outros apenas requisições específicas são apresentadas.

Conforme já citado no capítulo anterior, houveram alguns empecilhos relacionados a troca de mensagens excessivas por parte da EVSE e do EV, relacionadas a demanda por corrente. A primeira versão do teste contava com requisitos adicionais no passo 25, onde além da verificação de tensão (inferior a 60 V) e corrente (inferior a 0,5 A), também era verificada se a fonte estava ativa através do comando "*io.IsSourceActive()*", porém isso resultava na não aprovação por parte do CDS, pois o mesmo entrava num loop de demanda de corrente (EV seguia requerindo corrente, embora fosse requerido 0 A, através da mensagem "*CurrentDemandReq*").

Conforme a Figura 87, pode-se perceber o *looping* de demandas de corrente presente no teste.

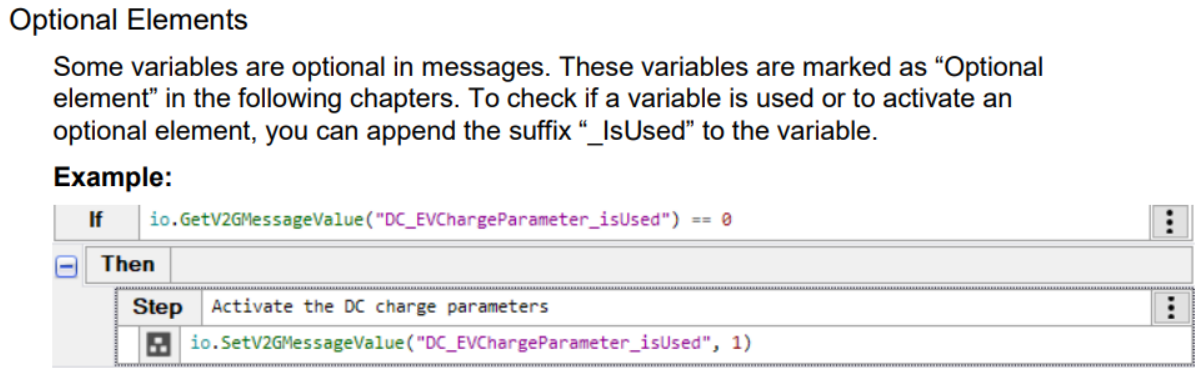
Figura 87 – *Loop* de requisições de corrente.



Fonte: Autor, (2025).

Com isso, vários testes intermediários foram utilizados para tentar impedir a chamada de corrente por parte do EV, utilizando variados comandos, que por exemplo poderiam sinalizar que a recarga estava completa ou que a bateria já se encontrava plenamente carregada (*"DC_EVChargeParameter", "DC_EVPowerDeliveryParameterType"*, etc), sendo que, pelo próprio guia de comandos, estes são opcionais. Os testes com essas requisições não alteravam o erro que estava ocorrendo, inclusive algumas vezes o CDS não reconhecia comandos nativos e presentes no guia, conforme Figuras 88 e 89. A solução encontrada e utilizada foi a retirada da verificação de fonte ativa, com isso, pelo próximo Step do teste, o EV migrava para o estado "B", finalizando de vez o processo efetivo de demanda por corrente.

Figura 88 – Adição de comandos e variáveis opcionais para testes.



Fonte: Scienlab Charging Discover, (2022).

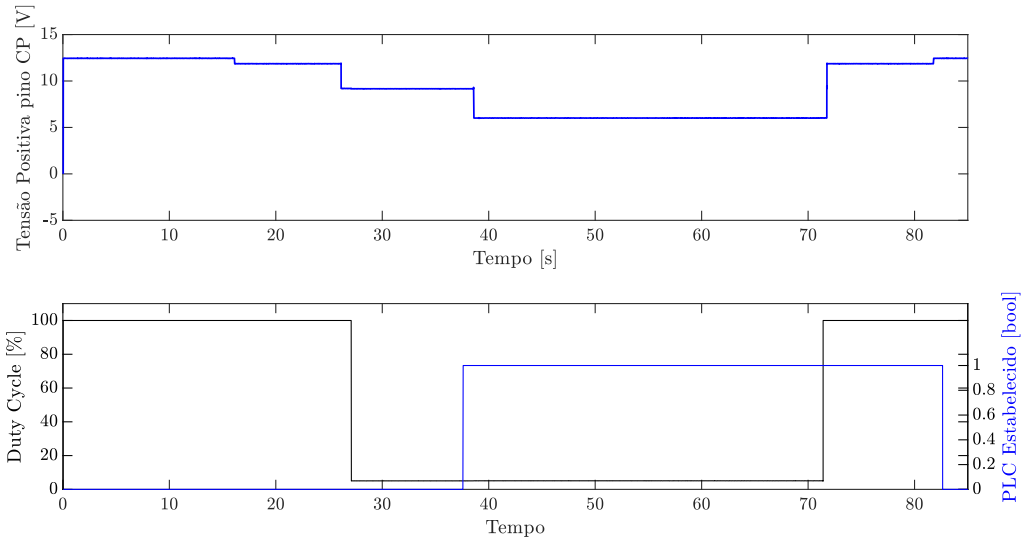
Figura 89 – Resposta do CDS ao comando adicional.

	Details Name	Value
▸	Level	2
	Flags	4
	Text	"Cannot set V2G message value 'DC_EVChargeParameter_isUsed' to '1'. Either the variable does not exist or the value has an incorrect format."

Fonte: Autor, (2025)

Com a mudança aplicada, o teste é realizado com sucesso e obtendo a aprovação por parte do equipamento. A seguir são apresentados os resultados dos ensaios, a interface gráfica e curvas de carga estão presentes nas Figuras 90, 94, 96 e 100, similar aos testes ca. A apresentação das mensagens presentes no *log*, compreendendo efetivamente a comunicação operada durante o teste se encontra nas Figuras 91 e 92.

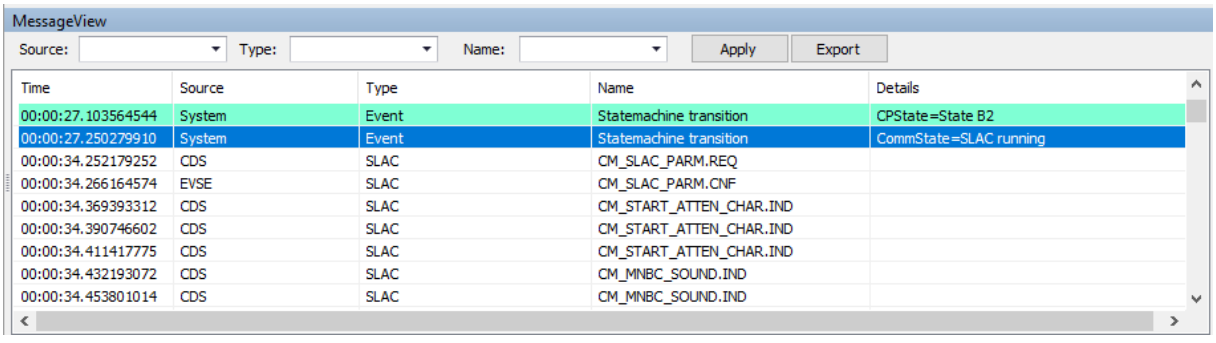
Figura 90 – Teste cc - Energização - Variáveis de controle.



Fonte: Autor, (2025)

Pelos gráficos apresentados na Figura 90, percebe-se que a comunicação digital começou a ser implementada logo após a entrada no estado "B", próximo dos 27 segundos, mantendo o PWM em 5,04%, porém o *link* PLC (e consequentemente o início de troca de mensagens V2G), só é estabelecido em 37 segundos de teste. Durante esses dez segundos o protocolo SLAC para medição e atenuação de sinais está ocorrendo, com uma significativa troca de mensagens, a Figura 91 apresenta o resumo desta troca de mensagens pelo *log* do CDS, já a Figura 92 ilustra os níveis de atenuação, em dB, durante todo o teste.

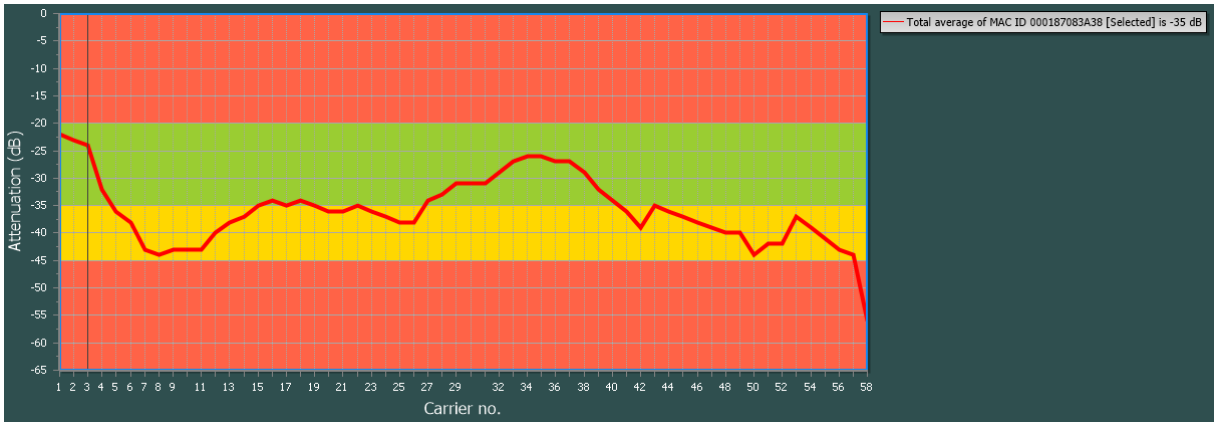
Figura 91 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens pelo SLAC.



Fonte: Autor, (2025).

Pela Figura 91 pode-se aferir como funciona a interface de mensagens do CDS, onde a primeira coluna apresenta o tempo em que alguma ação ou mensagem é executada/recebida, a segunda coluna apresenta a fonte da mensagem (CDS, EVSE, e *System*, que apresenta mensagens da recarga como um todo), a terceira coluna apresenta qual o subsistema referente a mensagem, já a quarta coluna apresenta qual é o tipo de mensagem, e por fim, a quinta coluna apresenta a mensagem em si.

Figura 92 – Teste cc - Energização - Atenuação PLC.



Fonte: Autor, (2025).

Assim que a comunicação é estabelecida, inicia-se a troca de mensagens referente ao Estado "B". Na etapa de inicialização, as mensagens trocadas, as quais estão apresentadas na Figura 93, são:

- *SupportedAppProcol* - Acordo de protocolo utilizado (neste caso DIN SPEC 70121);
- *SessionSetup* - Atribuição de ID a sessão;
- *ServiceDiscovery* - Serviços disponíveis e utilizados;
- *ServicePaymentSelection* - Atribuição do pagamento pela carga;
- *ContractAuthentication* - Autenticação única de processo;
- *ChargeParamenterDiscovery* - Troca de parâmetros e limites entre o EV e a EVSE;

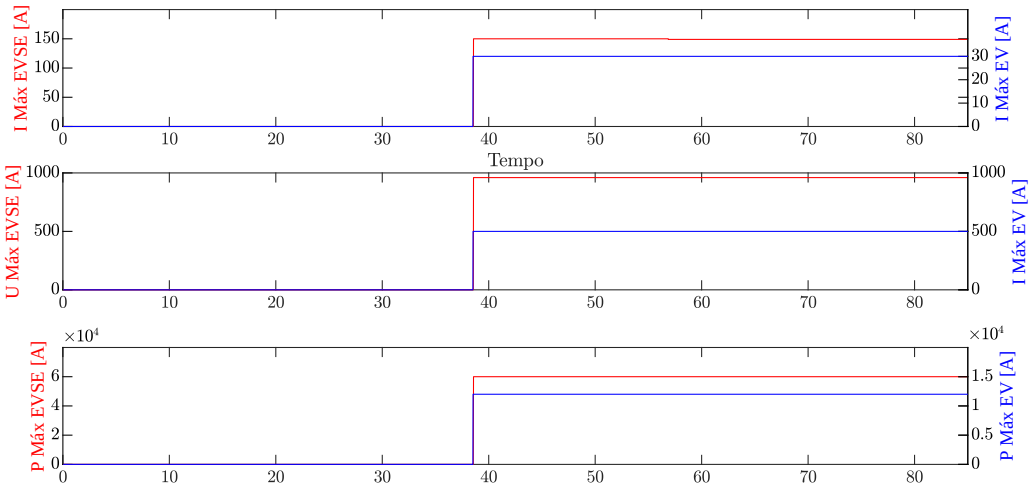
Figura 93 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens iniciais.

00:00:37.797583669	System	Event	Statemachine transition	CommState=SECC discovery
00:00:37.834402361	EVSE	SDP	SECC Discovery Protocol	fe80:0:0:0:0201:87ff:fe08:3a38
00:00:37.834816577	System	Log	DEBUG	Received: SDPResponse: host :
00:00:37.843549449	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for supportedApp
00:00:37.846778483	CDS	V2G	supportedAppProtocolReq	ProtocolNamespace=urn:din:70121
00:00:37.915358837	EVSE	V2G	supportedAppProtocolRes	SchemaID=1,
00:00:37.915817214	System	Log	INFORMATION	TestStep '3 - Inicialização - Verificaç
00:00:37.916056110	System	Log	INFORMATION	Starting timer (30.000 seconds)
00:00:38.016973863	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for SessionSetupl
00:00:38.018816908	CDS	V2G	SessionSetupReq	EVCCID=000001000001,
00:00:38.048612813	EVSE	V2G	SessionSetupRes	ResponseCode=OK_NewSessionEst
00:00:38.151525783	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for ServiceDiscov
00:00:38.151761415	CDS	V2G	ServiceDiscoveryReq	ServiceCategory=EVCharging,
00:00:38.177883519	EVSE	V2G	ServiceDiscoveryRes	ResponseCode=OK, PaymentOptio
00:00:38.278917936	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for ServicePayme
00:00:38.279288652	CDS	V2G	ServicePaymentSelectionReq	SelectedPaymentOption=ExternalP
00:00:38.307223105	EVSE	V2G	ServicePaymentSelectionRes	ResponseCode=OK,
00:00:38.409907787	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for ContractAuth
00:00:38.410496327	CDS	V2G	ContractAuthenticationReq	
00:00:38.427561402	EVSE	V2G	ContractAuthenticationRes	ResponseCode=OK, EVSEProcessin
00:00:38.528542204	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for ChargeParam
00:00:38.529204328	System	Log	INFORMATION	TestStep '3 - Inicialização - Comunic
00:00:38.529371992	CDS	V2G	ChargeParameterDiscoveryReq	EVRequestedEnergyTransferType=
00:00:38.571659219	EVSE	V2G	ChargeParameterDiscoveryRes	ResponseCode=OK, EVSEProcessin
00:00:38.572554995	System	Log	INFORMATION	TestStep '4 - Inicio Verificação Cabc
00:00:38.587333398	System	Event	Statemachine transition	CPState=State C2
00:00:38.674916097	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for CableCheckRe

Fonte: Autor, (2025).

Após a aceitação de protocolo, pagamento, e estabelecimento de limites, ilustrados na Figura 94, o estado de carga é alterado para "C", entrando na etapa de verificação do cabo. Neste ponto, a troca de mensagens entre a EVSE e o EV se refere somente ao teste do cabo, e permanece nesta etapa até que a mesma seja concluída. A Figura 95 apresenta a troca de informações, já pela Figura 96, que apresenta o fluxo de carga, pode-se observar, em um primeiro momento, o aumento da tensão até 500 V, sem a presença de corrente, graficamente, este é o período de verificação do cabo, com a tensão necessária para isso.

Figura 94 – Teste cc - Energização - Limites de carga estabelecidos e trocados via comunicação.



Fonte: Autor, (2025)

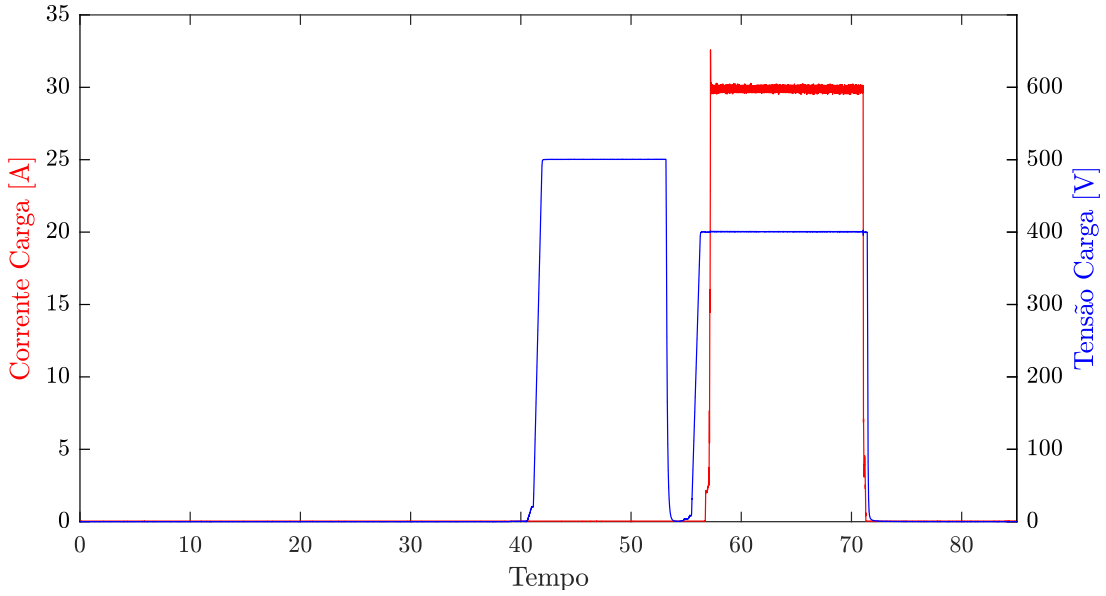
Figura 95 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens checagem do cabo.

Time	Source	Type	Name	Details
00:00:38.587333398	System	Event	Statemachine transition	CPState=State C2
00:00:38.674916097	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for CableCheckRe
00:00:38.676002013	System	Log	INFORMATION	TestStep '4 - Verificação Cabo Conc
00:00:38.676349294	System	Log	INFORMATION	Starting timer (20.000 seconds)
00:00:38.676554026	CDS	V2G	CableCheckReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:39.100938655	EVSE	V2G	CableCheckRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:39.202471169	CDS	V2G	CableCheckReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:39.210716805	EVSE	V2G	CableCheckRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:39.313744207	CDS	V2G	CableCheckReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:39.321475930	EVSE	V2G	CableCheckRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:39.424724828	CDS	V2G	CableCheckReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E

Fonte: Autor, (2025).

Com a finalização do processo de checagem do cabo, adentra-se na etapa de pré-carga. Nesta etapa inicia-se um pedido constante do EV para EVSE com valores de tensão e corrente, a corrente neste ponto fica limitada a no máximo 2 A, já a tensão deve ser igualada a da bateria. Com as tensões igualadas e dentro do limite estabelecido, começa a demanda por energia (*PowerDeleveryRequest*) e o processo factual de carga ocorre, onde novamente, e repetidamente durante o mesmo, ocorre a troca de informações e pedidos de ajuste de tensão e corrente (*CurrentDemand*). Neste ensaio, a troca de mensagens ocorreu conforme o esperado, e estão apontadas nas Figuras 97 e 98, já a segunda subida de tensão, e a primeira de corrente, mostradas na Figura 96, ilustra os valores de corrente e tensão atingidos durante este processo (400 V e 30 A, 12 kW).

Figura 96 – Teste cc - Energização - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025)

Figura 97 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens pré-carga.

00:00:54.353135158	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for PreChargeRe
00:00:54.353678050	CDS	V2G	PreChargeReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:54.395417021	EVSE	V2G	PreChargeRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:54.500566144	CDS	V2G	PreChargeReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:54.514899142	EVSE	V2G	PreChargeRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:54.617047748	CDS	V2G	PreChargeReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:54.630577922	EVSE	V2G	PreChargeRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:54.731825351	CDS	V2G	PreChargeReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:54.764387906	EVSE	V2G	PreChargeRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS

Fonte: Autor, (2025).

Figura 98 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens carga.

00:00:56.717203535	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for PowerDelivery
00:00:56.717472347	CDS	V2G	PowerDeliveryReq	ReadyToChargeState=true, EVRea
00:00:56.743640422	EVSE	V2G	PowerDeliveryRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS
00:00:56.844670616	System	Event	Statemachine transition	CommState=Wait for CurrentDemar
00:00:56.845125992	System	Log	INFORMATION	TestStep '5 - Espera de ajuste da co
00:00:56.845274288	System	Log	INFORMATION	Starting timer (35.000 seconds)
00:00:56.845452164	CDS	V2G	CurrentDemandReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:00:56.855707560	System	Log	INFORMATION	TestStep 'Reinicia o temporizador de
00:00:56.855830512	System	Log	USERMESSAGE	Tens\u00E3o Energizadoo" : "399.9
00:00:56.855924245	System	Log	USERMESSAGE	Corrente Enerrgizado" : "2.029179
00:00:56.866742921	System	Log	INFORMATION	TestStep 'Reinicia o temporizador de
00:00:56.866863605	System	Log	USERMESSAGE	Tens\u00E3o Energizadoo" : "399.9
00:00:56.866956533	System	Log	USERMESSAGE	Corrente Enerrgizado" : "2.029179
00:00:56.871773648	EVSE	V2G	CurrentDemandRes	ResponseCode=OK, EVSEIsolationS

Fonte: Autor, (2025).

A parada de recarga se dá a pedido do EV (*SessionStopReq*), e é aceita pela EVSE (*SessionStopRes*), com isso, a corrente começa a decrescer (posteriormente a tensão). O EV retorna ao estado "B", e o teste é finalizado com sucesso. A Figura 99 apresenta o *log* nesse processo.

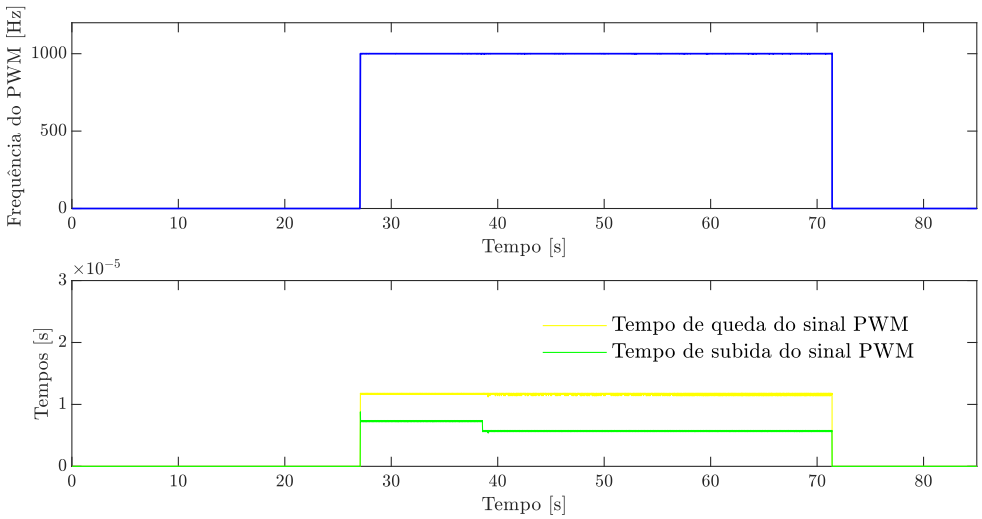
Figura 99 – Teste cc - Energização - Troca de mensagens final de carga.

00:01:11.275606683	System	Log	INFORMATION	TestStep '7 - Fim de recarga ' (22)
00:01:11.275786419	System	Log	INFORMATION	TestStep '7 - Fim de recarga 2' (23)
00:01:11.276312559	CDS	V2G	SessionStopReq	
00:01:11.314932308	CDS	V2G	CurrentDemandReq	EVReady=true, EVErrorCode=NO_E
00:01:11.417031642	System	Event	Statemachine transition	CPState=State C1
00:01:11.436896283	EVSE	V2G	SessionStopRes	ResponseCode=FAILED_SequenceE
00:01:11.437450143	System	Log	INFORMATION	TestStep '7 - EV abre o seu contato
00:01:11.437674651	System	Log	INFORMATION	TestStep '7 - Verifica se a EVSE resp
00:01:11.746114845	System	Log	INFORMATION	TestStep '7 - EV finaliza carga' (26)
00:01:11.766771594	System	Event	Statemachine transition	CPState=State B1
00:01:11.767176390	System	Log	INFORMATION	TestStep '8 - Finalização - VE Desco
00:01:11.776916759	System	Event	Statemachine transition	CPState=State A1
00:01:11.777268167	System	End of test / Test case result	TesteEnergizaDC	TestCase passed (please click for de
00:01:11.777297783	System	Test case progress	Test case progress	TestCase progress (please click for
00:01:21.780604327	System	Event	Statemachine transition	CommState=Finished
00:01:21.781701919	System	Log	INFORMATION	EVCC: Shutdown of components!

Fonte: Autor, (2025).

Todos os limites de tensão e corrente, máximos e tolerâncias de ajuste, são verificados e estavam dentro do estabelecido pela normativa. Por fim, a título de validação, a Figura 100 apresenta a frequência efetiva do PWM (1000,2 Hz), bem como os tempos de subida (7,4 μs / 5,8 μs) e descida do mesmo (11.4 μs), todos dentro da tolerância esperada (tempo de subida de 10 μs para o estado "B" e 7μs para o estado "C", e tempo de descida de 13 μs).

Figura 100 – Teste cc - Energização - Tempos de subida e descida do PWM.



Fonte: Autor, (2025)

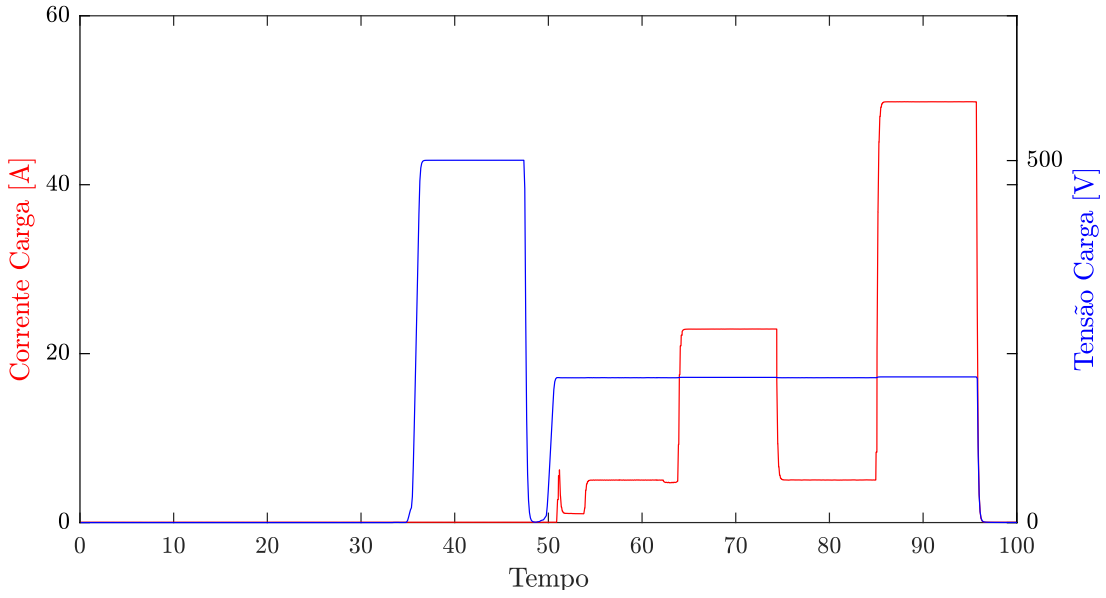
7.1.1 Variação de corrente

O teste de variação de corrente busca interpretar o tempo de resposta a variações de corrente, idealmente deve ser realizado mais de um teste, com significativas variações na carga, contudo, o mesmo é realizado considerando apenas 3 correntes diferentes para a carga, 5 A, 23 A e 50 A, todas estas demandas através da mensagem *CurrentDemandReq*. Optou-se por não ultrapassar a barreira dos 50 A para não se aproximar da limitação máxima da fonte.

Como a normativa estabelece que as comparações devem ser feitas com o valor médio real da corrente, se fez uso não da variável instantânea de corrente, mas sim da variável filtrada.

A Figura 101 apresenta o fluxo de carga durante o teste.

Figura 101 – Teste cc - Variação de corrente - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025)

Todas as tolerâncias estão dentro da margem estabelecida, com médias próximas a 5,03 A, 22,9 A e 49,8 A. A primeira rampa de subida, com a demanda variando 18 A, se deu com 510 ms, atingindo o primeiro valor amostrado dentro da tolerância (obteve-se 22,175 A, sendo a tolerância $20 \pm 1{,}5$ A), com isso, operou com uma derivada de 35,29 A/s. O primeiro decréscimo de corrente também operou com uma variação de 18 A, que é atendido em 638 ms, com derivada de -28,21 A/s, estando ambas dentro do esperado (variação de demanda igual ou inferior a 20 A, deve ser ajustada dentro de 1 s).

Para as mudanças de corrente superiores a 20 A, a EVSE também respondeu dentro do esperado, sendo uma variação de subida de 45 A, e uma descida de 50 A (cessamento da demanda de corrente). A subida é realizada em 781 ms, com uma taxa de 57,62 A/s, e a descida em 885 ms, variação de -56,50 A/s.

A Tabela 10 condensa esses dados.

Tabela 10 – Tempos de variação de corrente.

Ajuste de demanda [A]	Tempo de ajuste [s]	Tempo Limite [s]	Taxa de variação [A/s]
18	0,51	1	35,29
-18	0,638	1	-38,21
45	0,781	2,25	57,62
-50	0,885	2,5	-56,50

Fonte: Autor, 2025

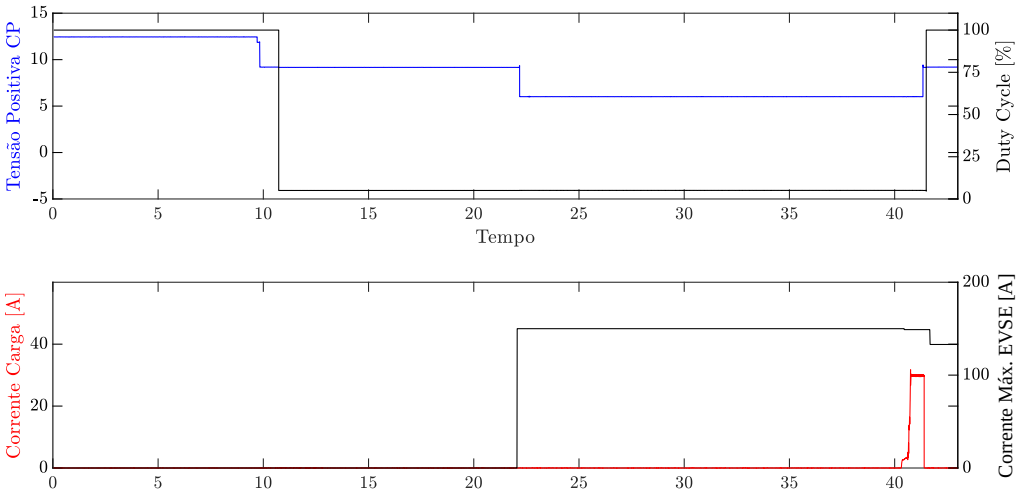
7.2 PARADA DE EMERGÊNCIA

Conforme citado anteriormente, o teste de parada de emergência já havia sido criado e utilizado durante a instalação da EVSE, mas como compõe um fator de alta relevância para a EVSE, o mesmo é executado, tendo como característica, a emergência iniciada pelo EV.

O gráfico da Figura 102 apresenta a ação de controle de estados e o *duty cycle* gerado pela EVSE. Perceve-se que o gatilho para a parada de emergência ocorre com a mudança repentina do estado "C2" para "B2" (por parte do EV), e que, apesar do gatilho, o controle de estados não impõe a mudança para um estado seguro "A2".

Diferencia-se este processo do realizado no teste de energização, isso pois, neste caso, apenas comuta-se ao estado "B", sem nenhuma requisição de parada de carga, o que foi realizado para o teste de energização.

Figura 102 – Teste cc - Parada de Emergência - Variáveis de controle.

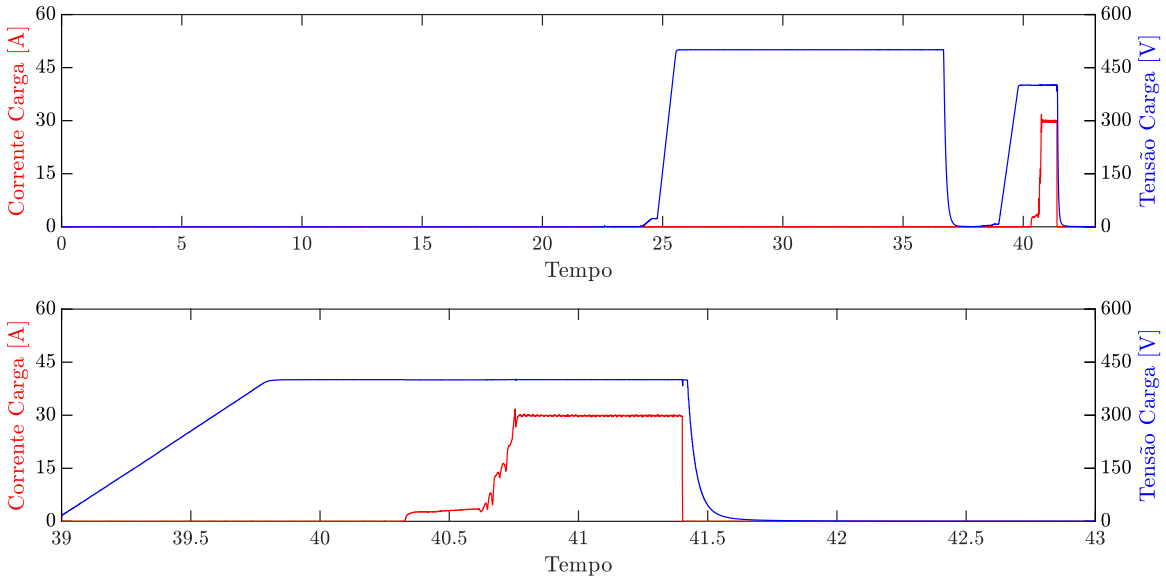


Fonte: Autor, (2025)

Novamente, pela Figura 102, observa-se um comportamento no mínimo inesperado por parte da EVSE, que controlou a corrente de saída, porém modificou seu valor de corrente máximo possível, de 150 A para 133 A.

A normativa não estabelece uma sinalização específica que a EVSE deve enviar ao EV para informar que iniciou-se o processo de parada, apenas aponta que isso deve acontecer. Como se visualiza na Figura 104, após o processo ser iniciado, tanto o EV, quanto a EVSE operam ainda com requisições de corrente, após um intervalo curto (150 ms), a EVSE encerrou sua comunicação digital com o *duty cycle* subindo para 100%, em 41,506 s, Figura 103.

Figura 103 – Teste cc - Parada de Emergência - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025)

Este comportamento não é o esperado, e acaba sendo interpretado como inconclusivo, isso pois, apesar da corrente ser limitada com a taxa de variação esperada, e cessada dentro do período proposto, menos de 1 segundo, a comunicação envolvida não é efetiva, o que resultou no EV enviando solicitações de corrente, porém com a comunicação interrompida (PWM a 100%), consequentemente, uma falha de interrupção de comunicação, conforme aponta a Figura 105, irrompeu. Ressalva-se que pelo item 102.5.1 da ABNT NBR IEC 61851-23, o processo de parada pode ocorrer por meio de um sinal no fio-piloto de comando (encerramento do PWM, indicando corrente de saída para 0 A, por exemplo), então estaria válido, porém não seria o mais efetivo, devido a resultar no erro de comunicação digital apresentado.

Figura 104 – Teste cc - Parada de emergência - Troca de mensagens após chaveamento de S2 (Estado "B2").

Time	Source	Type	Name
00:00:41.341105309	System	Log	INFORMATION
00:00:41.350781238	System	Event	Statemachine transition
00:00:41.351105898	System	Log	INFORMATION
00:00:41.363317079	System	Log	INFORMATION
00:00:41.392769028	System	Log	INFORMATION
00:00:41.404418598	System	Log	INFORMATION
00:00:41.415967499	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.433408955	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.506125411	System	Event	Statemachine transition
00:00:41.534055736	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.565908154	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.667652383	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.684039567	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.787307797	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.800997847	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.902161132	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.917802335	EVSE	V2G	CurrentDemandRes

Fonte: Autor, (2025).

Figura 105 – Teste cc - Parada de emergência - Erro de comunicação digital, conexão interrompida (PWM 100%).

Time	Source	Type	Name
00:00:43.448023603	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:43.549891373	System	Event	Statemachine transition
00:00:43.550458445	System	Log	CRITICAL
00:00:53.356706901	System	Event	Statemachine transition
00:00:53.357552313	System	Log	INFORMATION
00:00:53.359152574	CDS	SLAC	CM_SET_KEY.REQ

Details Name	Value
Level	2
Flags	0
Text	Cannot send message. Socket is not connected. V2G client socket is closed

Fonte: Autor, (2025).

7.3 PERDA DE CARGA

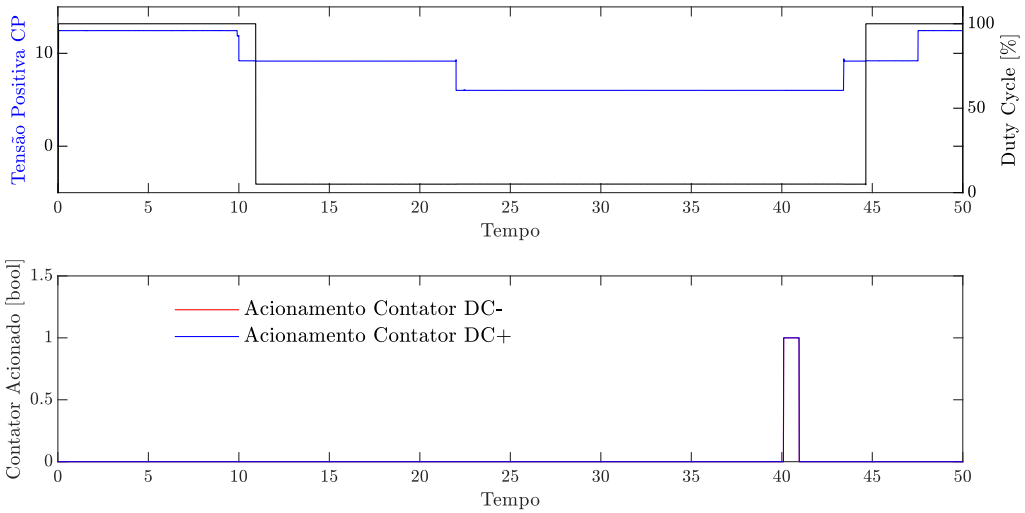
Em concordância com o capítulo anterior, o teste de perda de carga já havia sido criado e utilizado durante a instalação da EVSE, porém, este é executado novamente para aumentar o corpo de dados experimental.

As Figuras 106 e 107 ilustram os resultados obtidos durante o teste. Destaque para o gráfico de controle, que indicou que a abertura dos contatos DC+ e DC- não acarretou em nenhuma medida por parte do EV ou EVSE (permaneceu no estado "C", com 5,04% de *duty cycle* no PWM, mantendo a comunicação).

Conforme especificado, considerando uma desconexão total da carga (corrente interrompida), a variação máxima de tensão não deveria ultrapassar 10% do valor máximo delimitado

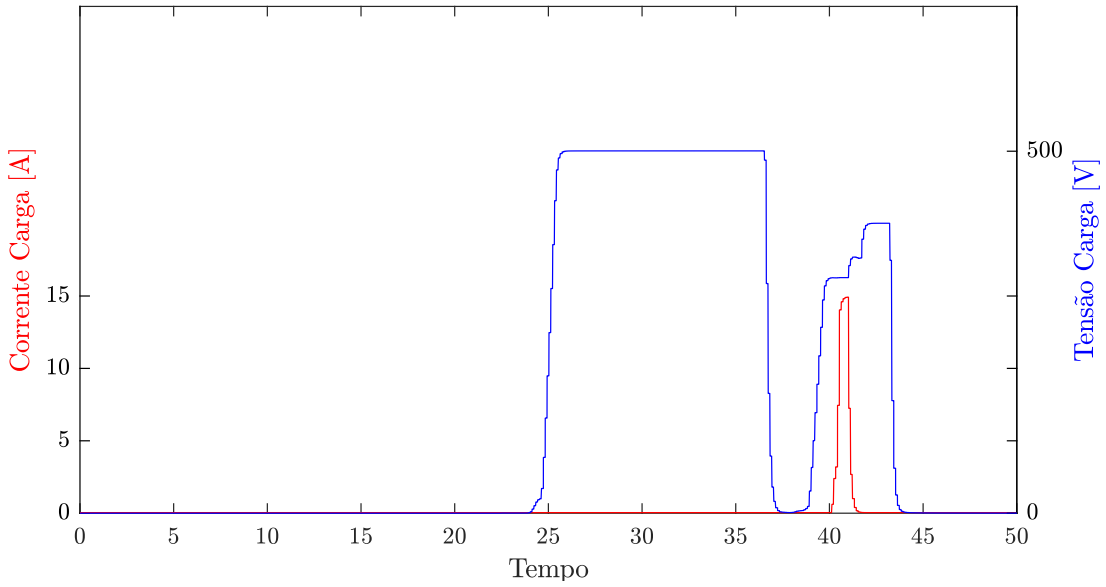
pelo EV (500 V, limite 550 V). A EVSE se saiu bem, com um pico de tensão de somente 400 V (80 % do limite máximo do EV).

Figura 106 – Teste cc - Perda de Carga - Variáveis de controle.



Fonte: Autor, (2025)

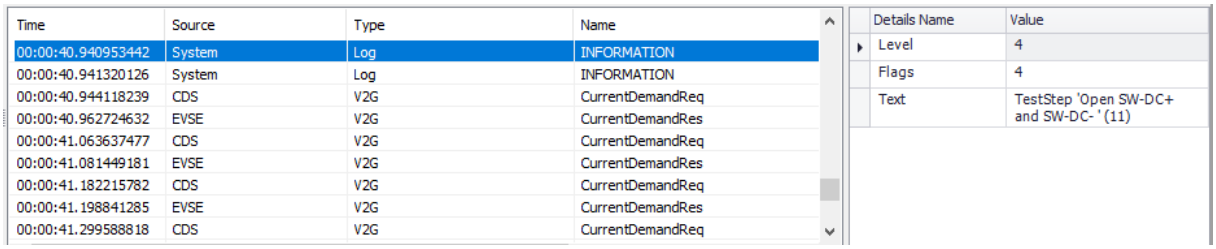
Figura 107 – Teste cc - Perda de Carga - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025)

Pode-se observar, pela Figura 108, que o fluxo de mensagens após a abertura dos contatos se manteve, apenas requisições de corrente, sendo que a iniciativa de parada somente ocorreu com a finalização do teste.

Figura 108 – Teste cc - Perda de Carga - Troca de mensagens final de carga.



Time	Source	Type	Name
00:00:40.940953442	System	Log	INFORMATION
00:00:40.941320126	System	Log	INFORMATION
00:00:40.944118239	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:40.962724632	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.063637477	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.081449181	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.182215782	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:00:41.198841285	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:00:41.299588818	CDS	V2G	CurrentDemandReq

Details Name	Value
Level	4
Flags	4
Text	TestStep 'Open SW-DC+ and SW-DC- ' (11)

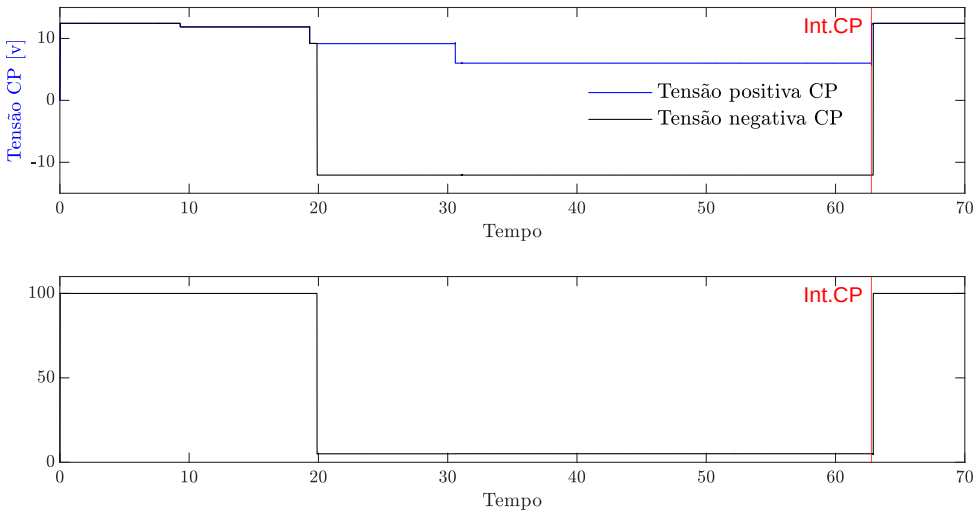
Fonte: Autor, (2025).

7.4 INTERRUPÇÃO DO CP

O teste de interrupção do pino CP para recarga em corrente contínua sofreu de problemas similares ao teste em corrente alternada, com a primeira delimitação de 30 ms, a partir da interrupção do CP, o teste falhava, sendo esse tempo superior ao especificado. Com isso, vários testes intermediários foram realizados, com incremento no tempo de resposta.

Ciente do atraso entre o *Step* e do atraso para realizar as ações (citado no resultado do teste de interrupção do CP, capítulo 5), é proposto um teste sem limitação temporal, partindo dele trata-se a validação ou não deste teste a partir dos valores registrados, sem considerar a aprovação sequencial do CDS (advinda das condições de falha ou sucesso). Os resultados estão apresentados graficamente nas Figuras 110 e 109.

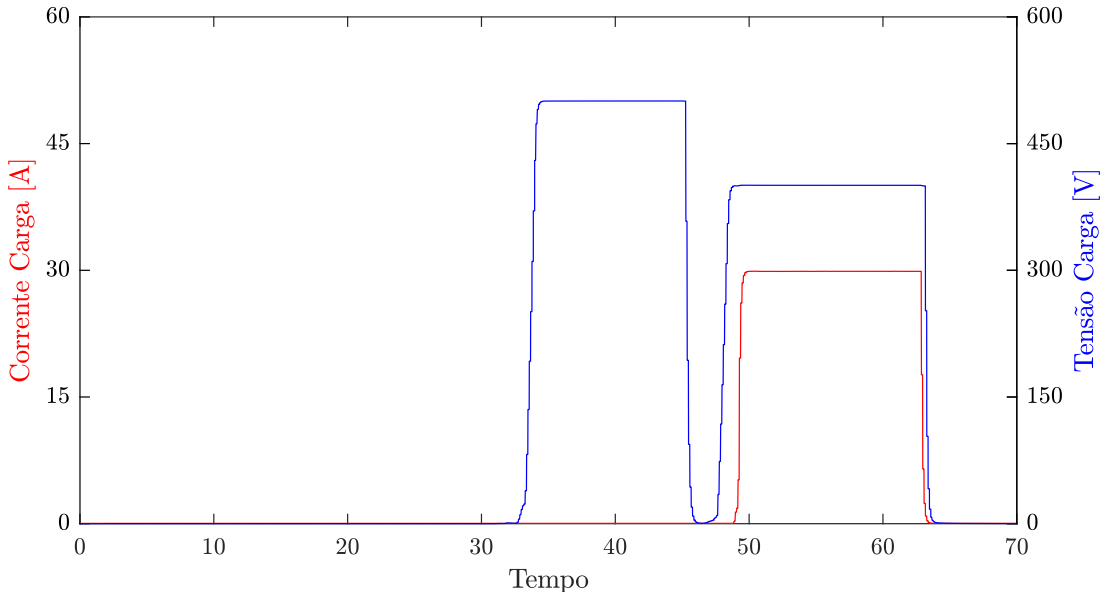
Figura 109 – Teste cc - Interrupção do CP - Variáveis de controle.



Fonte: Autor, (2025)

Diferentemente da resposta do teste em ca, neste caso, ambas as tensões do CP subiram para 12,6 V, em ca somente a positiva subiu.

Figura 110 – Teste cc - Interrupção do CP - Tensão e corrente de carga.



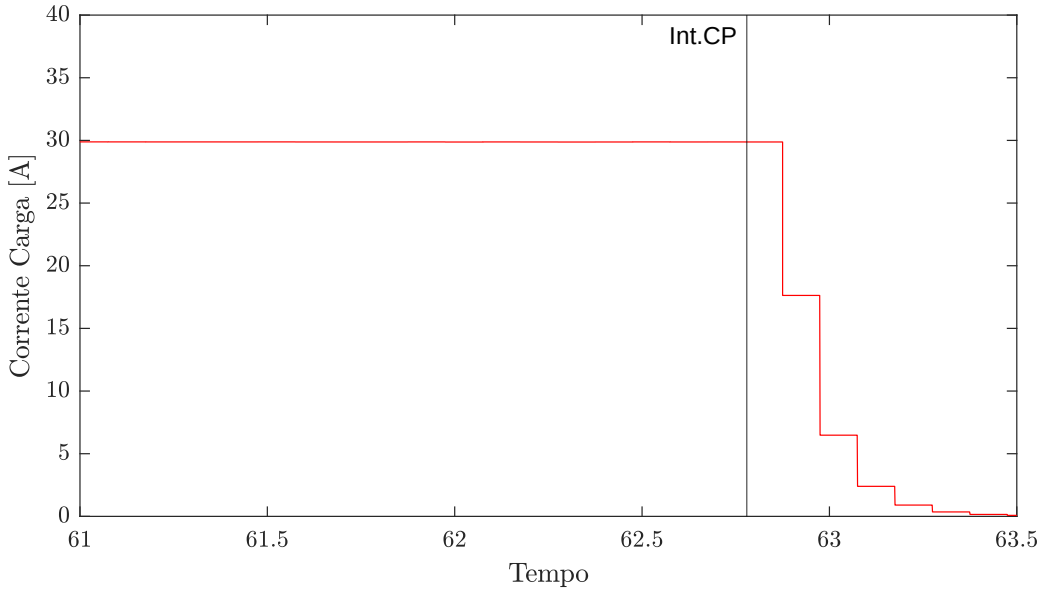
Fonte: Autor, (2025)

Neste teste, o tempo total de interrupção relatado é de 298 ms, sendo acima do especificado na normativa. Com isso, atentou-se para a hipótese de que a restrição temporal ser somente imposta para o início da parada de emergência (interpretação da norma), que para este caso específico, é a transição do estado "C2" para "A2", e que desta forma, o tempo apresentado é de 13 ms.

Analisando os dados tabelados, constata-se que a corrente atinge um nível inferior a 5 A, a partir do ponto de mudança para "A2", com 284 ms, ilustrado pela Figura 111. Com a interrupção do CP, e o mesmo sendo o meio físico para a comunicação, não há troca de mensagens.

Neste caso, partindo dessa interpretação da norma, a EVSE está aprovada, pois respeitou os 30 ms de início da interrupção, e o 1 s da parada de emergência.

Figura 111 – Teste cc - Interrupção do CP - Extinção de corrente.

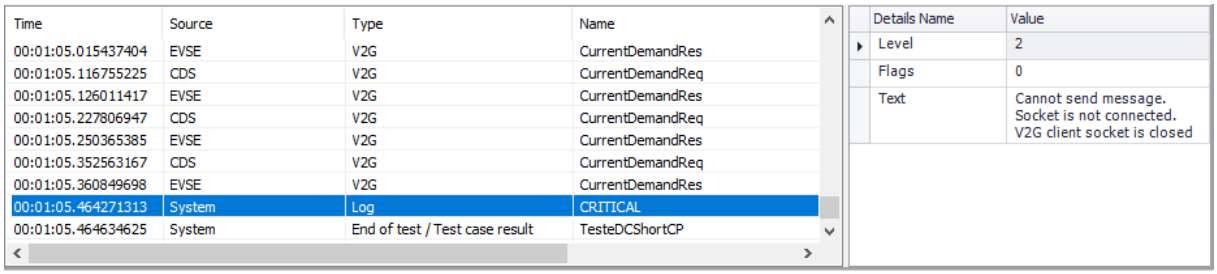


Fonte: Autor, (2025)

7.5 CURTO CIRCUITO DO CP

O teste de curto-circuito do CP é realizado de duas formas, a primeira com duas delimitações para o *Step* 22 (Tensão abaixo de 60 V e corrente abaixo de 1 A), porém, novamente o EV e a EVSE entram em um *looping* de pedido de demanda de corrente, e após certo tempo, o equipamento acusa erro, Figura 112, indicando comunicação interrompida (isso pois o pino está curto-circuitado, impossibilitando as modulações). Com a retirada da limitação de tensão, isso não ocorre, portanto a resposta requerida da EVSE é tratada somente como um encerramento de corrente.

Figura 112 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Erro troca de mensagens.



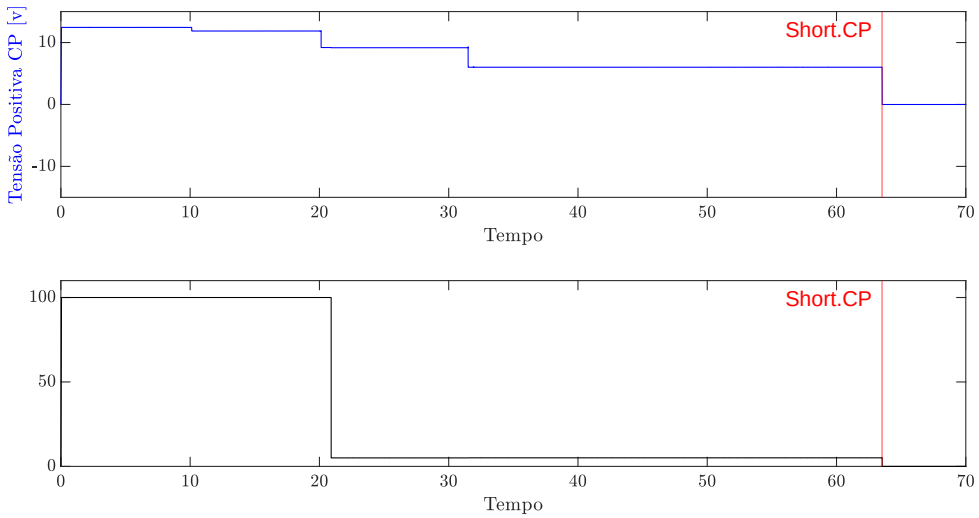
Time	Source	Type	Name
00:01:05.015437404	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:01:05.116755225	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:01:05.126011417	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:01:05.227806947	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:01:05.250365385	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:01:05.352563167	CDS	V2G	CurrentDemandReq
00:01:05.360849698	EVSE	V2G	CurrentDemandRes
00:01:05.464271313	System	Log	CRITICAL
00:01:05.464634625	System	End of test / Test case result	TesteDCShortCP

Details Name	Value
Level	2
Flags	0
Text	Cannot send message. Socket is not connected. V2G client socket is closed

Fonte: Autor, (2025).

As Figuras 113, 114 e 115 exibem os resultados obtidos.

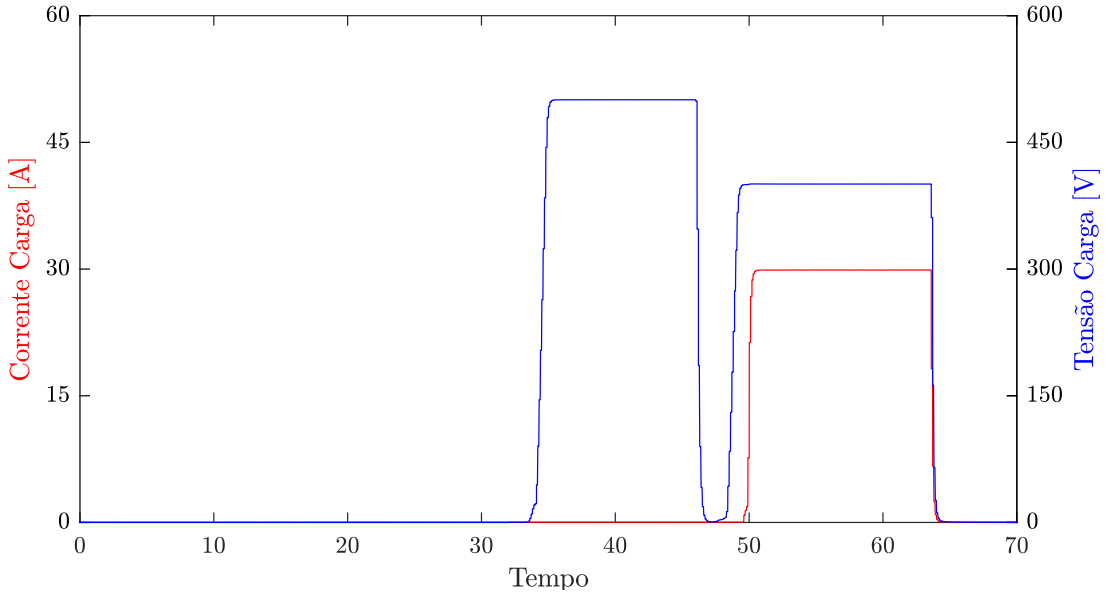
Figura 113 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Variáveis de controle.



Fonte: Autor, (2025)

Notavelmente, a falha resulta na imediata queda de tensão no CP, e no *duty cycle* do PWM, indo a zero. A Figura 114 ilustra o fluxo de carga durante o teste.

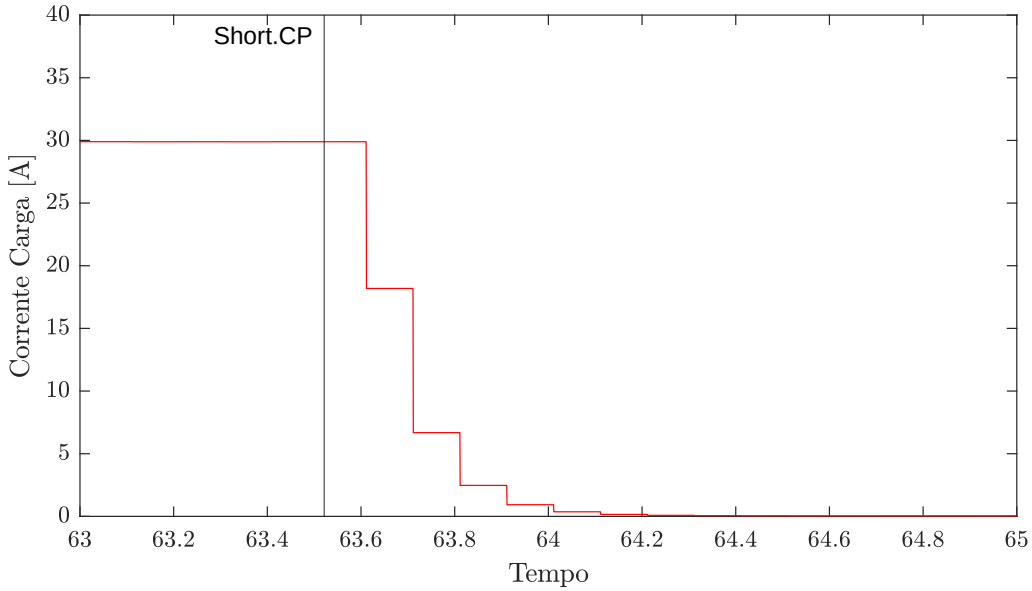
Figura 114 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Tensão e corrente de carga.



Fonte: Autor, (2025)

Por fim, a Figura 115 apresenta a diminuição de corrente, ficando dentro do estabelecido (menos que 1 A), em 390 ms.

Figura 115 – Teste cc - Curto-circuito do CP - Extinção de Corrente.



Fonte: Autor, (2025)

7.6 CONCLUSÃO

A realização dos testes com estações de recarga em corrente contínua possibilitou a avaliação prática dos protocolos de comunicação de alto nível integrados à estrutura do sistema de carregamento combinado. O foco principal esteve na troca de mensagens digitais entre o EV e a EVSE, utilizando o canal de comunicação via PLC.

Durante os ensaios, é possível observar o correto estabelecimento das etapas iniciais de comunicação, incluindo a identificação do veículo, definição de parâmetros de carga e entrega de energia. No entanto, são detectadas falhas pontuais de comunicação em mensagens específicas. Essas falhas, embora significativas, não comprometeram a capacidade da EVSE de iniciar e sustentar o processo de carregamento de forma segura, concluindo que a EVSE está apta para realizar processos de recarga.

8 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal o estudo dos protocolos de comunicação utilizados no processo de recarga de veículos elétricos (EVs), com foco tanto nas interfaces de baixa complexidade, empregadas em recargas de corrente alternada, quanto nos protocolos de comunicação de alto nível, utilizados em recargas de corrente contínua, baseados nos padrões ISO 15118, DIN SPEC 70121 e IEC 61851. Ao longo do desenvolvimento, buscou-se compreender a estrutura e o funcionamento desses protocolos, desde a sinalização analógica por modulação PWM até a troca de mensagens digitais via PLC.

Um dos diferenciais do trabalho foi a produção de material técnico aprofundado, organizado com o intuito de contribuir para a compreensão das etapas envolvidas na comunicação EV-EVSE. Explicações por estados e fluxos de mensagens foram estruturados para facilitar o entendimento de profissionais e estudantes que atuam e pretendem atuar na área de mobilidade elétrica. Esse material contribui como fonte de apoio para testes de interoperabilidade, validação de equipamentos e desenvolvimento de novas soluções.

Adicionalmente, foi realizada uma etapa prática com a ferramenta Charging Discovery System (CDS), um dos principais equipamentos de validação de comunicação neste ecossistema de recarga de EVs. Por meio dele, foi possível observar na prática o comportamento das mensagens trocadas entre EV-EVSE, testar a resposta da EVSE à diferentes falhas, e verificar o alinhamento entre os requisitos de protocolo e os equipamentos. Os testes realizados foram fundamentais para consolidar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo da pesquisa, além disso, atestam o correto funcionamento das EVSEs presentes no Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Destaca-se que todos os ensaios foram realizados empregando comandos digitais com o auxílio do CDS, entretanto, seria interessante realizar esses ensaios com desconexões físicas entre os pinos (criação de uma plataforma de ensaios), assim poderia-se realizar comparações com os resultados obtidos nos ensaios apresentados neste trabalho, bem como com os limites normativos.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de um ambiente de simulação para testes de V2G (Vehicle-to-Grid) com suporte completo à ISO 15118-20, o aperfeiçoamento dos testes já desenvolvidos, o destrinchamento das comunicações avançadas baseadas em CAN (CHAdeMO e GB/T), realização dos testes na estação do bloco A (padrão GB/T ca). Além disso, sugere-se, a criação e implantação da comunicação digital em EVSEs de recarga ca, que não possuem esta tecnologia nativa.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 61851-23 - Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos Parte 23: Estação de recarga em corrente contínua para veículos elétricos**. [S.l.], 2020. Citado 3 vezes nas páginas 39, 62 e 63.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 61851-1 - Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos Parte 1: Requisitos gerais**. [S.l.], 2021. Citado 5 vezes nas páginas 34, 41, 42, 44 e 46.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 61851-24 - Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos Parte 1: Requisitos geraisComunicação digital entre a estação de recarga em corrente contínua, para veículos elétricos e o veículo elétrico para o controle da recarga em corrente contínua**. [S.l.], 2021. Nenhuma citação no texto.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 62196-1 - Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículos elétricos e plugues fxos para veículos elétricos — Recarga condutiva para veículos elétricos Parte 1: Requisitos dimensionais de compatibilidade e de intercambiabilidade para os acessórios com pinos e contatos tubulares em corrente alternada**. [S.l.], 2021. Nenhuma citação no texto.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 62196-1 - Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículos elétricos e plugues fxos para veículos elétricos — Recarga condutiva para veículos elétricos Parte 1: Requisitos gerais**. [S.l.], 2021. Nenhuma citação no texto.

ALLIANCE, HomePlug Powerline. **Home Plug Green PHY The Standard For In-Home Smart Grid Powerline Communications**. 2010. HomePlug Green PHY whitepaper. Nenhuma citação no texto.

ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Carta da Anfavea Jan. 2024**. 2024. Available at <https://www.anfavea.com.br/cartas/carta452.pdf>. Citado na página 18.

BECKHOFF. **IEC 61851 - Low-level communication**. 2025. Available at <https://www.typhoon-hil.com/documentation/typhoon-hil-software-manual/References/iso15118_protocol.html#doc__section_jps_r2k_ctb>. Citado na página 45.

BOMMANA, Babji et al. A comprehensive examination of the protocols, technologies, and safety requirements for electric vehicle charging infrastructure. **Journal of Advanced Transportation**, Wiley Online Library, v. 2023, n. 1, p. 7500151, 2023. Citado na página 24.

BRANDL, M et al. Batteries and battery management systems for electric vehicles. In: IEEE. **2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)**. [S.l.], 2012. p. 971–976. Citado na página 23.

CHARIN, Initiative Charging Interface. **Design Guide for Combined Charging System**. 2015. Citado 11 vezes nas páginas 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 e 61.

EAMRIT, Accelerated e-Mobility Revolution for India´s Transportation. **Types of Electric Vehicles**. 2023. Available at <https://e-amrit.niti.gov.in/types-of-electric-vehicles>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

FALVO, Maria Carmen et al. Ev charging stations and modes: International standards. In: IEEE. **2014 international symposium on power electronics, electrical drives, automation and motion**. [S.l.], 2014. p. 1134–1139. Citado na página 25.

IEA, International Energy Agency. **CO2 Emissions in 2022**. 2023. Available at <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>. Citado na página 18.

IEA, International Energy Agency. **Global EV Outlook 2024**. 2024. Available at <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>. Nenhuma citação no texto.

KIM, Yong-Gun; LIM, Hyungwoo; LEE, Jeongeun. Decarbonizing road transport in korea: Role of electric vehicle transition policies. **Transportation research part D: transport and environment**, Elsevier, v. 128, p. 104084, 2024. Citado na página 18.

KüBEL, Matthias. Design guide for combined charging system. p. 1–131, June 2015. Nenhuma citação no texto.

NEOCHARGE. **Conheça os tipos de carros elétricos**. 2023. Available at <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 22.

NEOCHARGE. **Tipos de carregadores para Veículos Elétricos**. 2023. Available at <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-carregador-ve>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

NEOCHARGE. **Tipos de Plugues e Tomadas para Carros Elétricos**. 2023. Available at <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-conector-veiculo-eletrico>. Citado na página 31.

RAFF, Rebeka et al. Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles. In: IEEE. **2019 7th International Youth Conference on Energy (IYCE)**. [S.l.], 2019. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

RAHIMI-EICHI, Habiballah et al. Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles. **IEEE industrial electronics magazine**, IEEE, v. 7, n. 2, p. 4–16, 2013. Citado na página 23.

RECH, Cassiano. **Curso de curta duração - Veículos Elétricos e Híbridos: Eletrônica de potência, sistemas de acionamento e controle de máquinas elétricas**. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 30.

SANGUESA, Julio A et al. A review on electric vehicles: Technologies and challenges. **Smart Cities**, MDPI, v. 4, n. 1, p. 372–404, 2021. Citado 4 vezes nas páginas 27, 28, 29 e 31.

SHAHED, Md Tanvir; RASHID, ABM Harun-ur. Battery charging technologies and standards for electric vehicles: A state-of-the-art review, challenges, and future research prospects. **Energy Reports**, Elsevier, v. 11, p. 5978–5998, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

TEIXEIRA, Ana Carolina Rodrigues; SODRÉ, José Ricardo. Simulation of the impacts on carbon dioxide emissions from replacement of a conventional brazilian taxi fleet by electric vehicles. **Energy**, Elsevier, v. 115, p. 1617–1622, 2016. Citado na página 18.

TYPHOON. **ISO 15118-2 Protocol**. 2025. Available at <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el6761/18724365579.html&id=>. Citado na página 49.

VECTOR. **Charging Interfaces**. 2023. Available at <https://www.vector.com/int/en/know-how/smart-charging/charging-interfaces/#>. Citado 3 vezes nas páginas 24, 30 e 31.

ANEXO A – TESTE CA - ENERGIZAÇÃO

1 — Step: Inicialização - Alteração Manual do Pino CP

```
io.ManualControl = 8;
```

2 — Step: Inicialização - VE Desconectado (Estado A)

```
io.SetCPState("A");
io.IsCPState("A");
(meas.EVSE_CP_U < 11);
```

3 — Step: Inicialização - VE Desonectado (Estado A) - Verificação Corrente/Tensão para carga

```
((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))
```

4 — Step: Inicialização - VE Conectado (Estado B)

```
io.SetCPState("B");
io.IsCPState("B1") OR io.IsCPState("B2");
((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));
```

5 — Step: Inicialização - VE Conectado (Estado B) - Verificação Corrente/Tensão para carga

```
((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))
```

6 — Step: Energização - VE Carregando (Estado D)

```
io.SetCPState("D");
time.CreateReference("Timer_Energiza")
io.IsCPState("D2");
((meas.EVSE_CP_U < 2) OR (time.IsElapsed(3)))
```

7 — Step: Verificação de Alimentação - Tensão e Corrente nos Bornes

```
(((meas.U_L1_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 1)) AND
(time.GetElapsed("Timer_Energiza")<3))
(((meas.I_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L3_ACTIVE == 0))AND
(time.GetElapsed("Timer_Energiza")>3))
```

8 — Step: Criação de tempo de carga

```
time.CreateReference("Timer_Carga");
```

9 — Loop: table Name

```
(((meas.U_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L3_ACTIVE == 0)) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))
```

9.1 — Step: Aquisição de Dados

```
io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_1_RMS);
io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_2_RMS);
io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_3_RMS);
io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_1_RMS);
io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_2_RMS);
io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_3_RMS);
time.IsElapsed(0.5);
```

10 — Step: Finalização - VE Retorna ao estado de Conexão (Estado B)

```
io.SetCPState("B");
time.CreateReference("Timer_Comando_Desenergiza");
(io.IsCPState("B2") AND ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1)));
((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));
```

11 — Step: VE Conectado (Estado B) - Verificação Corrente/Tensão na carga

```
time.CreateReference("Timer_Desenergiza");
io.Log("Tensão Bornes Desenergizado", meas.U_1_RMS);
io.Log("Tensão Bornes Desenergizado", meas.U_2_RMS);
io.Log("Tensão Bornes Desenergizado", meas.U_3_RMS);
io.Log("Corrente Bornes Desenergizado", meas.I_1_RMS);
io.Log("Corrente Bornes Desenergizado", meas.I_2_RMS);
io.Log("Corrente Bornes Desenergizado", meas.I_3_RMS);
io.Log("Tempo Desenergização", time.GetElapsed("Timer_Comando_Desenergiza"));
(((meas.U_1 < 50) AND (meas.U_2 < 50) AND (meas.U_3 < 50)) AND (time.GetElapsed("Timer_Desenergiza") < 0.100))
(((meas.U_1 > 50) OR (meas.U_2 > 50) OR (meas.U_3 > 50)) AND (time.GetElapsed("Timer_Desenergiza") > 0.100))
```

12 — Step: Finalização - VE Desconectado (Estado A)

```
io.SetCPState("A");
io.IsCPState("A");
(meas.EVSE_CP_U < 11);
```

ANEXO B – TESTE CA - INTERRUPÇÃO DO CP

```
1   Step  Inicialização - Alteração Manual do Pino CP
        io.ManualControl = 8;

2   Step  Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
        io.SetCPState("A");
        io.IsCPState("A");
        (meas.EVSE_CP_U < 11);

3   Step  Inicialização - VE Desonectado (Estado A) - Verificação Corrente/Tensão para carga
        ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
        ((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))

4   Step  Inicialização - VE Conectado (Estado B)
        io.SetCPState("B");
        io.IsCPState("B1") OR io.IsCPState("B2");
        ((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));

5   Step  Inicialização - VE Conectado (Estado B) - Verificação Corrente/Tensão para carga
        ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
        ((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))

6   Step  Energização - VE Carregando (Estado D)
        io.SetCPState("D");
        time.CreateReference("Timer_Energiza")
        io.IsCPState("D2");
        ((meas.EVSE_CP_U < 2) OR (time.IsElapsed(3)))

7   Step  Verificação de Alimentação - Tensão e Corrente nos Bornes
        (((meas.U_L1_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 1)) AND
        (time.GetElapsed("Timer_Energiza")<3))
        (((meas.I_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L3_ACTIVE == 0))AND
        (time.GetElapsed("Timer_Energiza")>3))

8   Step  Criação de tempo de carga
        time.CreateReference("Timer_Carga");
```

```
9   Loop  table  Name
        (((meas.U_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L3_ACTIVE == 0)) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))

9.1   Step  Aquisição de Dados
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_1_RMS);
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_2_RMS);
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_3_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_1_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_2_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_3_RMS);
        time.IsElapsed(0.5);

10  Step  Falha - Desconexão
        io.SetCPInterrupt(true);
        time.CreateReference("Timer_CP");

11  Step  Verificar o comportamento resposta da Estação
        (meas.U_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 0) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 0) AND ((meas.I_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.I_L2_ACTIVE == 0) AND
        (meas.I_L3_ACTIVE == 0))
        (time.GetElapsed("Timer_CP") > 0.100);

12  Step  Aquisição de Dados
        io.Log("Tempo de desconexão CP:", time.GetElapsed("Timer_CP"));
        time.IsElapsed(5);
```

ANEXO C – TESTE CA - CURTO-CIRCUITO DO CP

```
1   Step  Inicialização - Alteração Manual do Pino CP
        io.ManualControl = 8;

2   Step  Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
        io.SetCPState("A");
        io.IsCPState("A");
        (meas.EVSE_CP_U < 11);

3   Step  Inicialização - VE Desonectado (Estado A) - Verificação Corrente/Tensão para carga
        ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
        ((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))

4   Step  Inicialização - VE Conectado (Estado B)
        io.SetCPState("B");
        io.IsCPState("B1") OR io.IsCPState("B2");
        ((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));

5   Step  Inicialização - VE Conectado (Estado B) - Verificação Corrente/Tensão para carga
        ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
        ((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))

6   Step  Energização - VE Carregando (Estado D)
        io.SetCPState("D");
        time.CreateReference("Timer_Energiza")
        io.IsCPState("D2");
        ((meas.EVSE_CP_U < 2) OR (time.IsElapsed(3)))

7   Step  Verificação de Alimentação - Tensão e Corrente nos Bornes
        (((meas.U_L1_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 1)) AND
        (time.GetElapsed("Timer_Energiza")<3))
        (((meas.I_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L3_ACTIVE == 0))AND
        (time.GetElapsed("Timer_Energiza")>3))

8   Step  Criação de tempo de carga
        time.CreateReference("Timer_Carga");
```

```
9   Loop  table  Name
        (((meas.U_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L3_ACTIVE == 0)) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))

9.1   Step  Aquisição de Dados
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_1_RMS);
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_2_RMS);
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_3_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_1_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_2_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_3_RMS);
        time.IsElapsed(0.5);

10  Step  Falha - Curto
        io.SetCPShort(true);
        time.CreateReference("Timer_Short");

11  Step  Verificar o comportamento resposta da Estação
        (meas.U_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 0) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 0) AND ((meas.I_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.I_L2_ACTIVE == 0) AND
        (meas.I_L3_ACTIVE == 0))
        time.GetElapsed("Timer_Short") > 3;

12  Step  Aquisição de Dados
        io.Log("Tempo de desconexão resposta ao curto:", time.GetElapsed("Timer_Short"));
        time.IsElapsed(5);
```

ANEXO D – TESTE CA - INTERRUPÇÃO DO PP

```
1   Step  Inicialização - Alteração Manual do Pino CP
        io.ManualControl = 8;

2   Step  Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
        io.SetCPState("A");
        io.IsCPState("A");
        (meas.EVSE_CP_U < 11);

3   Step  Inicialização - VE Desonectado (Estado A) - Verificação Corrente/Tensão para carga
        ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
        ((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))

4   Step  Inicialização - VE Conectado (Estado B)
        io.SetCPState("B");
        io.IsCPState("B1") OR io.IsCPState("B2");
        ((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));

5   Step  Inicialização - VE Conectado (Estado B) - Verificação Corrente/Tensão para carga
        ((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))
        ((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))

6   Step  Energização - VE Carregando (Estado D)
        io.SetCPState("D");
        time.CreateReference("Timer_Energiza")
        io.IsCPState("D2");
        ((meas.EVSE_CP_U < 2) OR (time.IsElapsed(3)))

7   Step  Verificação de Alimentação - Tensão e Corrente nos Bornes
        (((meas.U_L1_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 1)) AND
        (time.GetElapsed("Timer_Energiza")<3))
        (((meas.I_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L3_ACTIVE == 0))AND
        (time.GetElapsed("Timer_Energiza")>3))

8   Step  Criação de tempo de carga
        time.CreateReference("Timer_Carga");
```

```
9   Loop  table  Name
        (((meas.U_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L3_ACTIVE == 0)) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))

9.1   Step  Aquisição de Dados
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_1_RMS);
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_2_RMS);
        io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_3_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_1_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_2_RMS);
        io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_3_RMS);
        time.IsElapsed(0.5);

10  Step  Falha - Interrupção PP
        io.SetPPInterrupt(true);

11  Step  Inicio da contagem tempo
        time.CreateReference("Timer_PP");

12  Step  Verificar o comportamento resposta da Estação
        (meas.I_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.I_L2_ACTIVE == 0) AND (meas.I_L3_ACTIVE == 0)
        time.IsElapsed(5);

13  Step  Aquisição de Dados
        io.Log("Tempo de desconexão PP:", time.GetElapsed("Timer_PP"));
        time.IsElapsed(5);
```

14

Step Falha - Interrupção PP

```
io.SetPPInterrupt(false);
```

15

Step Inicialização - VE Conectado (Estado B)

```
io.SetCPState("B");
```

✓
```
io.IsCPState("B2");
```

✗
```
((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)))
```

16

Step Energização - VE Carregando (Estado C)

```
io.SetCPState("C");
time.CreateReference("Timer_Energiza");
```

✓
```
io.IsCPState("C2");
```

✗
```
((meas.EVSE_CP_U < 5) OR (time.IsElapsed(5)))
```

17

Step Verificação de Alimentação - Tensão e Corrente nos Bornes

✓
```
(((meas.U_L1_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 1)) AND (time.GetElapsed("Timer_Energiza")<3))
```

✗
```
(((meas.I_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L3_ACTIVE == 0))AND (time.GetElapsed("Timer_Energiza")>3))
```

18

Step Tempo Carga

✓
```
time.IsElapsed(10)
```

19

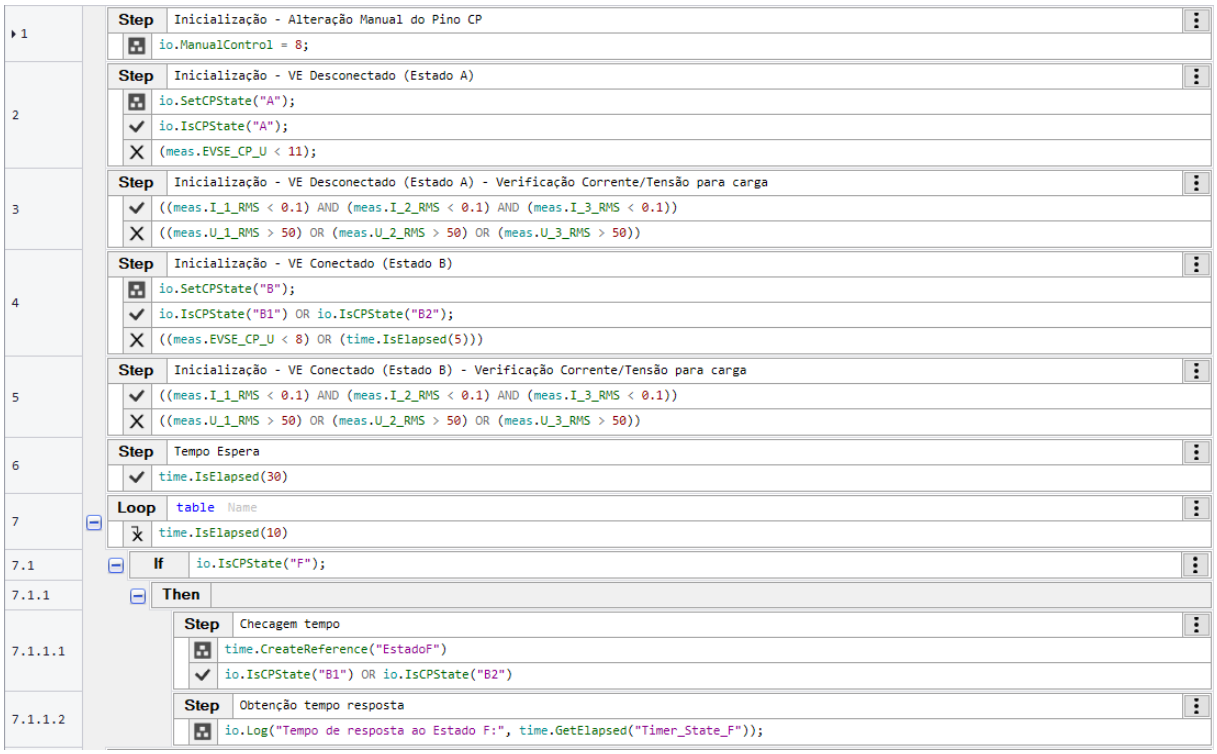
Step Inicialização - VE Desconectado (Estado A)

```
io.SetCPState("A");
```

✓
```
io.IsCPState("A");
```

✗
```
(meas.EVSE_CP_U < 11);
```

ANEXO E – TESTE CA - ESTADO F





ANEXO F – TESTE CA - SOBRECORRENTE

1	Step	Inicialização - Alteração Manual do Pino CP
		`io.ManualControl = 8;`
2	Step	Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
		`io.SetCPState("A");`
	✓	`io.IsCPState("A");`
	✗	`(meas.EVSE_CP_U < 11);`
3	Step	Inicialização - VE Desconectado (Estado A) - Verificação Corrente/Tensão para carga
	✓	`((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))`
	✗	`((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))`
4	Step	Inicialização - VE Conectado (Estado B)
		`io.SetCPState("B");`
	✓	`(io.IsCPState("B1") OR io.IsCPState("B2")) AND time.IsElapsed(5);`
	✗	`((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(10)))`
5	Step	Inicialização - VE Conectado (Estado B) - Verificação Corrente/Tensão para carga
	✓	`((meas.I_1_RMS < 0.1) AND (meas.I_2_RMS < 0.1) AND (meas.I_3_RMS < 0.1))`
	✗	`((meas.U_1_RMS > 50) OR (meas.U_2_RMS > 50) OR (meas.U_3_RMS > 50))`
6	Step	Energização - VE Carregando (Estado C)
		`io.SetCPState("C");` `time.CreateReference("Timer_Energiza");`
	✓	`io.IsCPState("C2");`
	✗	`((meas.EVSE_CP_U < 5) OR (time.IsElapsed(5)))`
7	Step	Verificação de Alimentação - Tensão e Corrente nos Bornes
	✓	`(((meas.U_L1_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 1) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 1)) AND (time.GetElapsed("Timer_Energiza")<3))`
	✗	`(((meas.I_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.I_L3_ACTIVE == 0))AND (time.GetElapsed("Timer_Energiza")>3))`
8	Step	Criação de tempo de carga
		`time.CreateReference("Timer_Carga");`

9	Loop	table Name
	✗	`((((meas.U_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.U_L2_ACTIVE == 0) AND (meas.U_L3_ACTIVE == 0)) AND ((meas.I_L1_ACTIVE == 0) AND (meas.I_L2_ACTIVE == 0) AND (meas.I_L3_ACTIVE == 0))) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>20))`
9.1	Step	Aquisição de Dados
		`io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_1_RMS);` `io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_2_RMS);` `io.Log("Tensão Bornes Energizado", meas.U_3_RMS);` `io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_1_RMS);` `io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_2_RMS);` `io.Log("Corrente Bornes Energizado", meas.I_3_RMS);`
	✓	`time.IsElapsed(0.5);`
9.2	If	`(meas.I_1_RMS > 32) OR (meas.I_2_RMS > 32) OR (meas.I_3_RMS > 32)`
9.2.1	Then	
9.2.1.1	Step	Extinção de corrente
		`time.CreateReference("Timer")`
	✓	`((meas.U_L1_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L2_ACTIVE == 0) OR (meas.U_L3_ACTIVE == 0))`
10	Step	Registro Tempo
		`io.Log("Tempo de desconexão:", time.GetElapsed("Timer"));`
	✓	`time.IsElapsed(5);`

ANEXO G – TESTE CC - ENERGIZAÇÃO

```
1  Step  Inicialização - Alteração Manual do Pino CP.
       io.ManualControl = 8;

2  Step  Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
       io.SetCPState("A");
       io.IsCPState("A");
       (meas.EVSE_CP_U < 11);

3  Step  1 - VE Desonectado (Estado A)
       (meas.I_DC_FILT<0.1)
       (meas.U_DC>60)

4  Step  Tempo Espera
       time.IsElapsed(10);

5  Step  2 - VE Conectado (Estado B)
       io.SetCPState("B");
       io.IsCPState("B1") OR io.IsCPState("B2");
       ((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));

6  Step  2 - VE Conectado (Estado B) - Verifica se o protocolo usado para comunicação é aceito.
       (meas.I_DC_FILT<0.1) AND (io.IsV2GMessageReceived("SupportedAppProtocolRes"))
       (meas.U_DC>60)

7  Step  3 - Inicialização - Verificação Comunicação
       (meas.I_DC<0.1)AND(io.IsSendingV2GMessage("ChargeParameterDiscoveryReq"));
       (meas.U_DC>60) OR (time.IsElapsed(30));

8  Step  3 - Inicialização - Comunicação Estabelecida e Troca de Parametros Aceita.
       io.IsV2GMessageReceived("ChargeParameterDiscoveryRes")
       AND io.GetV2GMessageValue("ResponseCode") == 0
       AND io.GetV2GMessageValue("EVSEProcessing") == 0;

9  Step  4 - Inicio Verificação Cabo
       io.SetCPState("C")
       io.IsCPState("C2") AND io.IsSendingV2GMessage("CableCheckReq")
```

```
10 Step  4 - Verificação Cabo Concluida
       io.IsV2GMessageReceived("CableCheckRes") AND meas.Insulation_test_state == 1
       time.IsElapsed(20)

11 Step  5 - Pré Carga - Criação de tempo de referência
       time.CreateReference("Timer_Energiza")

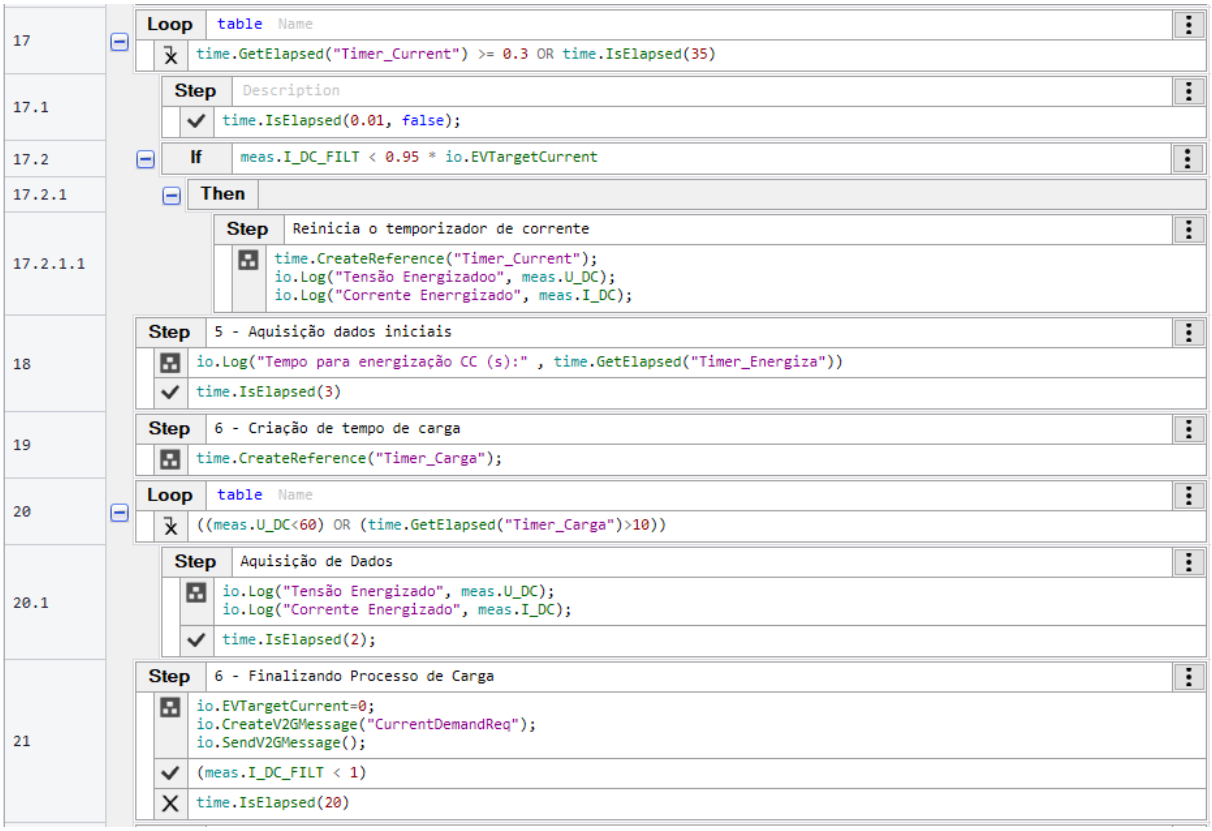
12 Step  5 - Setando demandas de tensão de carga
       $V_EV_mid = 400;
       io.EVPreChargeTargetCurrent = 2;
       io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;
       io.EVPreChargeTargetVoltage = $V_EV_mid;
       io.SourceSetCurrent(2);

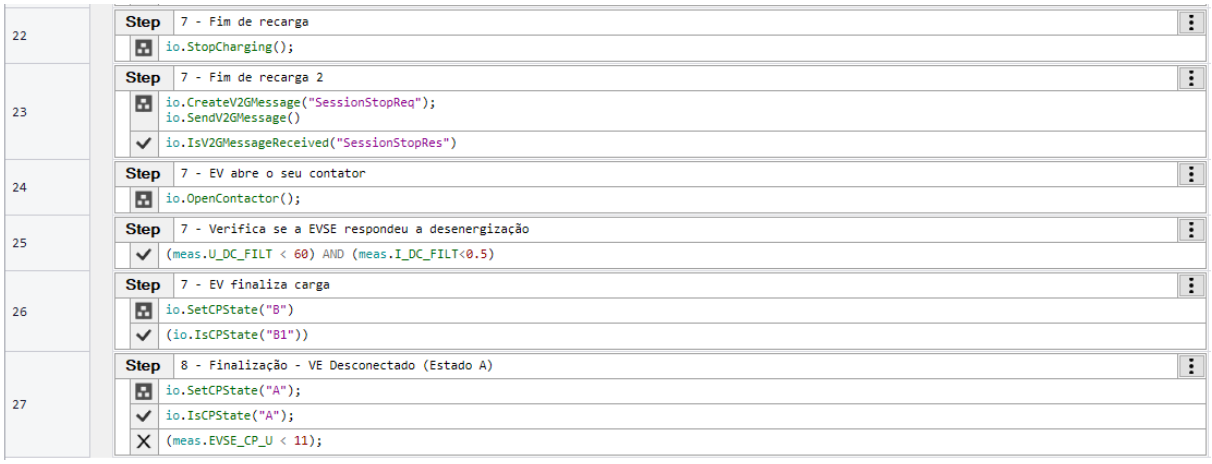
13 Step  5 - Tensões igualadas dentro do limite (20V)
       (meas.U_DC_FILT >= ($V_EV_mid - 20)) AND (meas.U_DC_FILT <= ($V_EV_mid + 20))
       (meas.I_DC_FILT > 2)

14 Step  5 - Setando demandas de Corrente e Tensão
       io.EVTargetCurrent = 30;
       io.EVTargetVoltage = 450;
       io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;

15 Step  5 - Inicio da demanda de correte // Espera pelo inicio do ciclo de mensagens de demanda de corrente
       io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq");

16 Step  5 - Espera de ajuste da corrente para dentro do limite (5%), com limitação de 0.3s
       time.CreateReference("Timer_Current");
```

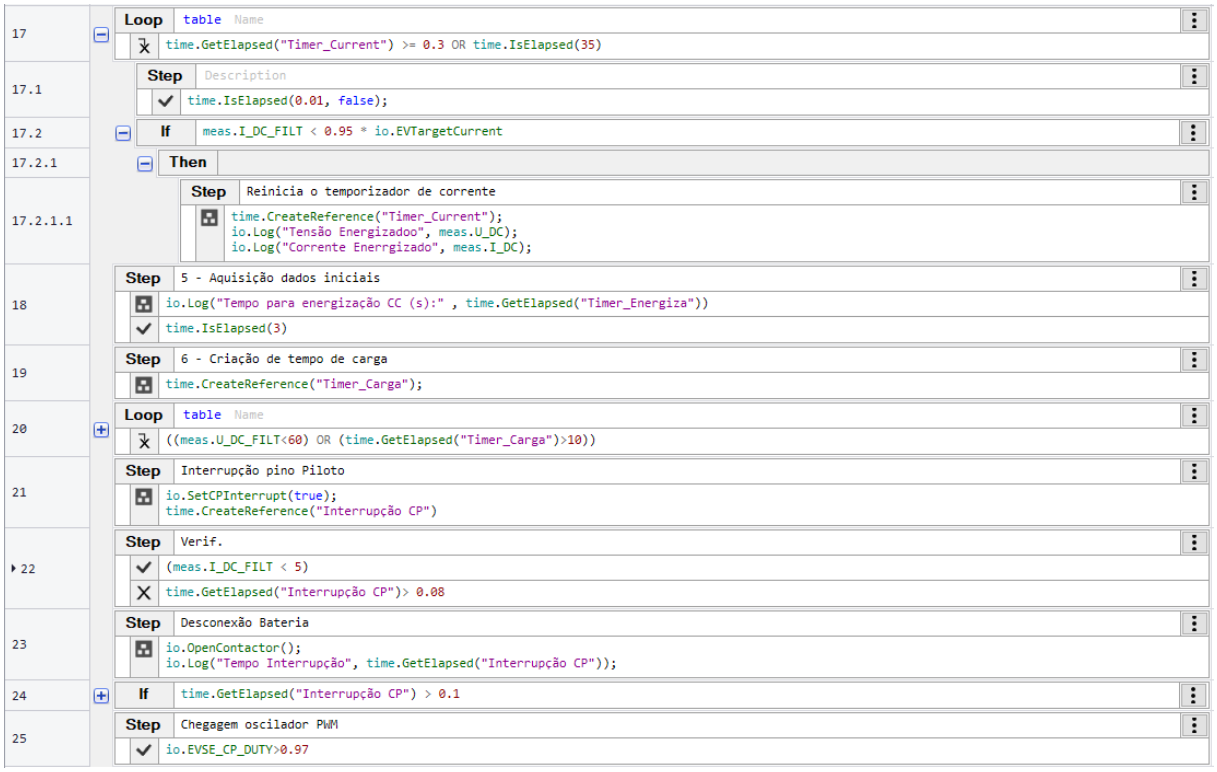

17
Loop table Name
time.GetElapsed("Timer_Current") >= 0.3 OR time.IsElapsed(35)
17.1
Step Description
time.IsElapsed(0.01, false);
17.2
If meas.I_DC_FILT < 0.95 * io.EVTargetCurrent
17.2.1
Then
17.2.1.1
Step Reinicia o temporizador de corrente
time.CreateReference("Timer_Current");
io.Log("Tensão Energizadoo", meas.U_DC);
io.Log("Corrente Enerrgizado", meas.I_DC);
18
Step 5 - Aquisição dados iniciais
io.Log("Tempo para energização CC (s):" , time.GetElapsed("Timer_Energiza"))
time.IsElapsed(3)
19
Step 6 - Criação de tempo de carga
time.CreateReference("Timer_Carga");
20
Loop table Name
((meas.U_DC<60) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))
20.1
Step Aquisição de Dados
io.Log("Tensão Energizado", meas.U_DC);
io.Log("Corrente Energizado", meas.I_DC);
time.IsElapsed(2);
21
Step 6 - Finalizando Processo de Carga
io.EVTargetCurrent=0;
io.CreateV2GMessage("CurrentDemandReq");
io.SendV2GMessage();
(meas.I_DC_FILT < 1)
time.IsElapsed(20)


22
Step 7 - Fim de recarga
io.StopCharging();
23
Step 7 - Fim de recarga 2
io.CreateV2GMessage("SessionStopReq");
io.SendV2GMessage()
io.IsV2GMessageReceived("SessionStopRes")
24
Step 7 - EV abre o seu contator
io.OpenContactor();
25
Step 7 - Verifica se a EVSE respondeu a desenergização
(meas.U_DC_FILT < 60) AND (meas.I_DC_FILT<0.5)
26
Step 7 - EV finaliza carga
io.SetCPState("B")
(io.IsCPState("B1"))
27
Step 8 - Finalização - VE Desconectado (Estado A)
io.SetCPState("A");
io.IsCPState("A");
(meas.EVSE_CP_U < 11);

ANEXO H – TESTE CC - INTERRUPÇÃO DO CP

1	Step	Inicialização - Alteração Manual do Pino CP, PP e Source
		`io.ManualControl = 12;`
2	Step	Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
		`io.SetCPState("A");`
	✓	`io.IsCPState("A");`
	✗	`(meas.EVSE_CP_U < 11);`
3	Step	1 - VE Desonectado (Estado A)
	✓	`(meas.I_DC_FILT<0.1)`
	✗	`(meas.U_DC_FILT>60)`
4	Step	Tempo Espera
	✓	`time.IsElapsed(10);`
5	Step	2 - VE Conectado (Estado B)
		`io.SetCPState("B");`
	✓	`io.IsCPState("B1");`
	✗	`((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));`
6	Step	2 - VE Conectado (Estado B) - Verifica se o protocolo usado para comunicação é aceito.
	✓	`(meas.I_DC_FILT<0.1) AND (io.IsV2GMessageReceived("SupportedAppProtocolRes"))`
	✗	`(meas.U_DC_FILT>60)`
7	Step	3 - Inicialização - Verificação Comunicação
	✓	`(meas.I_DC_FILT<0.1)AND(io.IsSendingV2GMessage("ChargeParameterDiscoveryReq"));`
	✗	`(meas.U_DC>60) OR (time.IsElapsed(30));`
8	Step	3 - Inicialização - Comunicação Estabelecida e Troca de Parametros Aceita.
	✓	`io.IsV2GMessageReceived("ChargeParameterDiscoveryRes")` `AND io.GetV2GMessageValue("ResponseCode") == 0` `AND io.GetV2GMessageValue("EVSEProcessing") == 0;`
9	Step	4 - Inicio Verificação Cabo
		`io.SetCPState("C")`
	✓	`io.IsCPState("C2") AND io.IsSendingV2GMessage("CableCheckReq")`

9	Step	4 - Inicio Verificação Cabo
		`io.SetCPState("C")`
	✓	`io.IsCPState("C2") AND io.IsSendingV2GMessage("CableCheckReq")`
10	Step	4 - Verificação Cabo Concluida
	✓	`io.IsV2GMessageReceived("CableCheckRes") AND meas.Insulation_test_state == 1`
	✗	`time.IsElapsed(20)`
11	Step	5 - Pré Carga - Criação de tempo de referência
		`time.CreateReference("Timer_Energiza")`
12	Step	5 - Setando demandas de tensão de carga
		`$V_EV_mid = 400;` `io.EVPreChargeTargetCurrent = 2;` `io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;` `io.EVPreChargeTargetVoltage = $V_EV_mid;` `io.SourceSetCurrent(2);`
13	Step	5 - Tensões igualadas dentro do limite (20V)
	✓	`(meas.U_DC_FILT >= ($V_EV_mid - 20)) AND (meas.U_DC_FILT <= ($V_EV_mid + 20))`
	✗	`(meas.I_DC > 2)`
14	Step	5 - Setando demandas de Corrente e Tensão
		`io.EVTargetCurrent = 30;` `io.EVTargetVoltage = 450;` `io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;`
15	Step	5 - Inicio da demanda de correte // Espera pelo inicio do ciclo de mensagens de demanda de corrente
	✓	`io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq");`
16	Step	5 - Espera de ajuste da corrente para dentro do limite (5%), com limitação de 0.3s
		`time.CreateReference("Timer_Current");`


17
Loop table Name
time.GetElapsed("Timer_Current") >= 0.3 OR time.IsElapsed(35)
17.1
Step Description
time.IsElapsed(0.01, false);
17.2
If meas.I_DC_FILT < 0.95 * io.EVTargetCurrent
17.2.1
Then
17.2.1.1
Step Reinicia o temporizador de corrente
time.CreateReference("Timer_Current");
io.Log("Tensão Energizadoo", meas.U_DC);
io.Log("Corrente Enerrgizado", meas.I_DC);
18
Step 5 - Aquisição dados iniciais
io.Log("Tempo para energização CC (s):" , time.GetElapsed("Timer_Energiza"))
time.IsElapsed(3)
19
Step 6 - Criação de tempo de carga
time.CreateReference("Timer_Carga");
20
Loop table Name
((meas.U_DC_FILT<60) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))
21
Step Interrupção pino Piloto
io.SetCPInterrupt(true);
time.CreateReference("Interrupção CP")
22
Step Verif.
(meas.I_DC_FILT < 5)
time.GetElapsed("Interrupção CP")> 0.08
23
Step Desconexão Bateria
io.OpenContactor();
io.Log("Tempo Interrupção", time.GetElapsed("Interrupção CP"));
24
If time.GetElapsed("Interrupção CP") > 0.1
25
Step Chegagem oscilador PWM
io.EVSE_CP_DUTY>0.97

ANEXO I – TESTE CC - CURTO-CIRCUITO DO CP

1 — Step: Inicialização - Alteração Manual do Pino CP, PP e Source

```
io.ManualControl = 12;
```

2 — Step: Inicialização - VE Desconectado (Estado A)

```
io.SetCPState("A");
io.IsCPState("A");
(meas.EVSE_CP_U < 11);
```

3 — Step: 1 - VE Desonectado (Estado A)

```
(meas.I_DC_FILT<0.1)
(meas.U_DC_FILT>60)
```

4 — Step: Tempo Espera

```
time.IsElapsed(10);
```

5 — Step: 2 - VE Conectado (Estado B)

```
io.SetCPState("B");
io.IsCPState("B1");
((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));
```

6 — Step: 2 - VE Conectado (Estado B) - Verifica se o protocolo usado para comunicação é aceito.

```
(meas.I_DC_FILT<0.1) AND (io.IsV2GMessageReceived("SupportedAppProtocolRes"))
(meas.U_DC_FILT>60)
```

7 — Step: 3 - Inicialização - Verificação Comunicação

```
(meas.I_DC_FILT<0.1)AND(io.IsSendingV2GMessage("ChargeParameterDiscoveryReq"));
(meas.U_DC_FILT>60) OR (time.IsElapsed(30));
```

8 — Step: 3 - Inicialização - Comunicação Estabelecida e Troca de Parametros Aceita.

```
io.IsV2GMessageReceived("ChargeParameterDiscoveryRes")
AND io.GetV2GMessageValue("ResponseCode") == 0
AND io.GetV2GMessageValue("EVSEProcessing") == 0;
```

9 — Step: 4 - Inicio Verificação Cabo

```
io.SetCPState("C")
io.IsCPState("C2") AND io.IsSendingV2GMessage("CableCheckReq")
```

10 — Step: 4 - Verificação Cabo Concluida

```
io.IsV2GMessageReceived("CableCheckRes") AND meas.Insulation_test_state == 1
time.IsElapsed(20)
```

11 — Step: 5 - Pré Carga - Criação de tempo de referência

```
time.CreateReference("Timer_Energiza")
```

12 — Step: 5 - Setando demandas de tensão de carga

```
$V_EV_mid = 400;
io.EVPreChargeTargetCurrent = 2;
io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;
io.EVPreChargeTargetVoltage = $V_EV_mid;
io.SourceSetCurrent(2);
```

13 — Step: 5 - Tensões igualadas dentro do limite (20V)

```
(meas.U_DC_FILT >= ($V_EV_mid - 20)) AND (meas.U_DC_FILT <= ($V_EV_mid + 20))
(meas.I_DC > 2)
```

14 — Step: 5 - Setando demandas de Corrente e Tensão

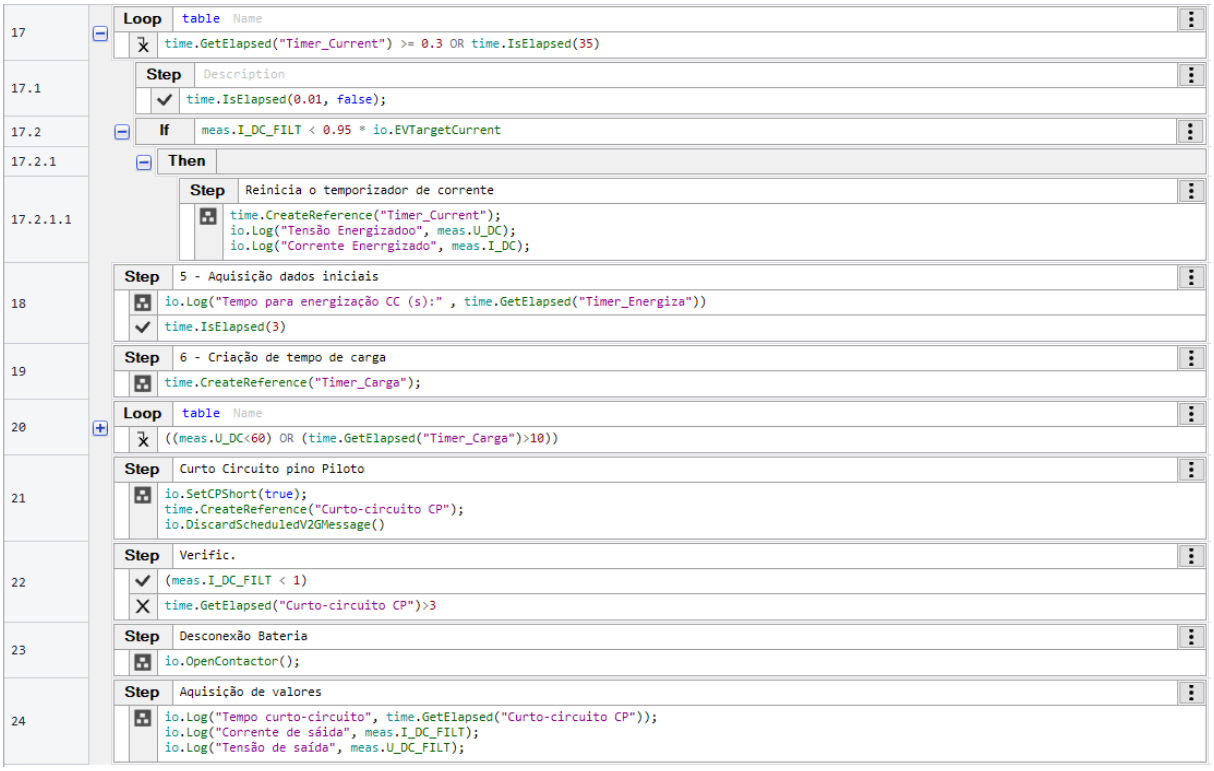
```
io.EVTargetCurrent = 30;
io.EVTargetVoltage = 450;
io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;
```

15 — Step: 5 - Inicio da demanda de correte // Espera pelo inicio do ciclo de mensagens de demanda de corrente

```
io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq");
```

16 — Step: 5 - Espera de ajuste da corrente para dentro do limite (5%), com limitação de 0.3s

```
time.CreateReference("Timer_Current");
```


17
Loop table Name
time.GetElapsed("Timer_Current") >= 0.3 OR time.IsElapsed(35)
17.1
Step Description
time.IsElapsed(0.01, false);
17.2
If meas.I_DC_FILT < 0.95 * io.EVTargetCurrent
17.2.1
Then
17.2.1.1
Step Reinicia o temporizador de corrente
time.CreateReference("Timer_Current");
io.Log("Tensão Energizadoo", meas.U_DC);
io.Log("Corrente Enerrgizado", meas.I_DC);
18
Step 5 - Aquisição dados iniciais
io.Log("Tempo para energização CC (s):" , time.GetElapsed("Timer_Energiza"))
time.IsElapsed(3)
19
Step 6 - Criação de tempo de carga
time.CreateReference("Timer_Carga");
20
Loop table Name
((meas.U_DC<60) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))
21
Step Curto Circuito pino Piloto
io.SetCPShort(true);
time.CreateReference("Curto-circuito CP");
io.DiscardScheduledV2GMessage()
22
Step Verific.
(meas.I_DC_FILT < 1)
time.GetElapsed("Curto-circuito CP")>3
23
Step Desconexão Bateria
io.OpenContactor();
24
Step Aquisição de valores
io.Log("Tempo curto-circuito", time.GetElapsed("Curto-circuito CP"));
io.Log("Corrente de sáida", meas.I_DC_FILT);
io.Log("Tensão de saída", meas.U_DC_FILT);

ANEXO J – TESTE CC - VARIAÇÃO DE CORRENTE

1
```
Step  Inicialização - Alteração Manual do Pino CP, PP e Source
      io.ManualControl = 12;
```

2
```
Step  Inicialização - VE Desconectado (Estado A)
      io.SetCPState("A");
✓     io.IsCPState("A");
✗     (meas.EVSE_CP_U < 11);
```

3
```
Step  1 - VE Desonectado (Estado A)
✓     (meas.I_DC_FILT<0.1)
✗     (meas.U_DC_FILT>60)
```

4
```
Step  Tempo Espera
✓     time.IsElapsed(10);
```

5
```
Step  2 - VE Conectado (Estado B)
      io.SetCPState("B");
✓     io.IsCPState("B1");
✗     ((meas.EVSE_CP_U < 8) OR (time.IsElapsed(5)));
```

6
```
Step  2 - VE Conectado (Estado B) - Verifica se o protocolo usado para comunicação é aceito.
✓     (meas.I_DC_FILT<0.1) AND (io.IsV2GMessageReceived("SupportedAppProtocolRes"))
✗     (meas.U_DC_FILT>60)
```

7
```
Step  3 - Inicialização - Verificação Comunicação
✓     (meas.I_DC_FILT<0.1) AND (io.IsSendingV2GMessage("ChargeParameterDiscoveryReq"));
✗     (meas.U_DC_FILT>60) OR (time.IsElapsed(20));
```

8
```
Step  3 - Inicialização - Comunicação Estabelecida e Troca de Parametros Aceita.
✓     io.IsV2GMessageReceived("ChargeParameterDiscoveryRes")
      AND io.GetV2GMessageValue("ResponseCode") == 0
      AND io.GetV2GMessageValue("EVSEProcessing") == 0;
```

9
```
Step  4 - Inicio Verificação Cabo
      io.SetCPState("C")
✓     io.IsCPState("C2") AND io.IsSendingV2GMessage("CableCheckReq")
```

10
```
Step  4 - Verificação Cabo Concluida
✓     io.IsV2GMessageReceived("CableCheckRes") AND meas.Insulation_test_state == 1
✗     time.IsElapsed(20)
```

11
```
Step  5 - Pré Carga - Criação de tempo de referência
      time.CreateReference("Timer_Energiza")
```

12
```
Step  5 - Setando demandas de tensão de carga
      $V_EV_mid = 200;
      io.EVPreChargeTargetCurrent = 1.5;
      io.EVBatteryVoltage = $V_EV_mid;
      io.EVPreChargeTargetVoltage = $V_EV_mid;
✓     time.IsElapsed(5)
```

13
```
Step  5 - Tensões igualadas dentro do limite (20V)
✓     (meas.U_DC_FILT >= ($V_EV_mid - 20)) AND (meas.U_DC_FILT <= ($V_EV_mid + 20))
✗     (meas.I_DC_FILT > 2)
```

14
```
Step  5 - Setando demandas de Corrente e Tensão
      io.EVTargetCurrent = 5;
      io.EVTargetVoltage = 250;
```

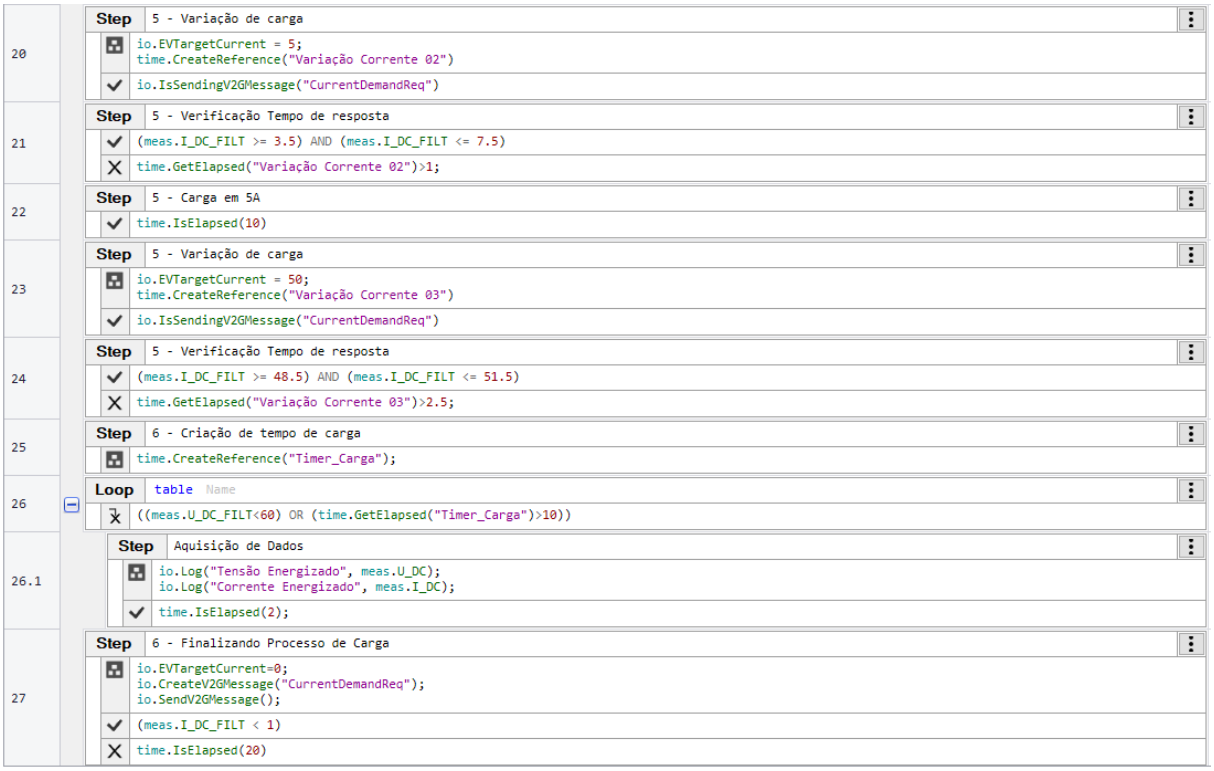
15
```
Step  5 - Inicio da demanda de correte // Espera pelo inicio do ciclo de mensagens de demanda de corrente
✓     io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq");
```

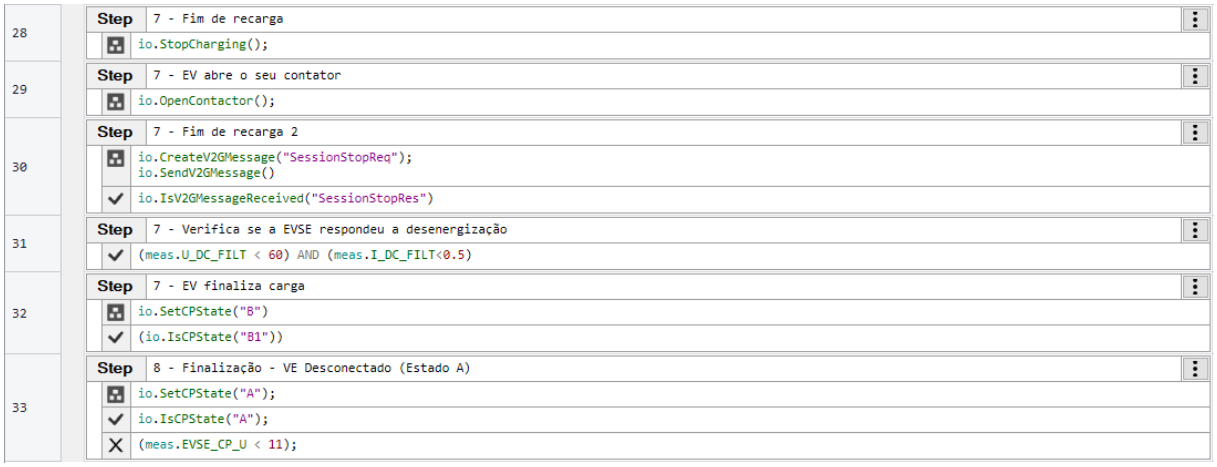
16
```
Step  5 - Carga em 5A
✓     time.IsElapsed(10)
```

17
```
Step  5 - Variação de carga
      io.EVTargetCurrent = 23;
      time.CreateReference("Variação Corrente 01")
✓     io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq")
```

18
```
Step  5 - Verificação Tempo de resposta
✓     (meas.I_DC_FILT >= 21.5) AND (meas.I_DC_FILT <= 25.5)
✗     time.GetElapsed("Variação Corrente 01")>1;
```

19
```
Step  5 - Carga em 23A
✓     time.IsElapsed(10)
```


20
Step 5 - Variação de carga
io.EVTargetCurrent = 5;
time.CreateReference("Variação Corrente 02")
io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq")
21
Step 5 - Verificação Tempo de resposta
(meas.I_DC_FILT >= 3.5) AND (meas.I_DC_FILT <= 7.5)
time.GetElapsed("Variação Corrente 02")>1;
22
Step 5 - Carga em 5A
time.IsElapsed(10)
23
Step 5 - Variação de carga
io.EVTargetCurrent = 50;
time.CreateReference("Variação Corrente 03")
io.IsSendingV2GMessage("CurrentDemandReq")
24
Step 5 - Verificação Tempo de resposta
(meas.I_DC_FILT >= 48.5) AND (meas.I_DC_FILT <= 51.5)
time.GetElapsed("Variação Corrente 03")>2.5;
25
Step 6 - Criação de tempo de carga
time.CreateReference("Timer_Carga");
26
Loop table Name
((meas.U_DC_FILT<60) OR (time.GetElapsed("Timer_Carga")>10))
26.1
Step Aquisição de Dados
io.Log("Tensão Energizado", meas.U_DC);
io.Log("Corrente Energizado", meas.I_DC);
time.IsElapsed(2);
27
Step 6 - Finalizando Processo de Carga
io.EVTargetCurrent=0;
io.CreateV2GMessage("CurrentDemandReq");
io.SendV2GMessage();
(meas.I_DC_FILT < 1)
time.IsElapsed(20)


28
Step 7 - Fim de recarga
io.StopCharging();
29
Step 7 - EV abre o seu contator
io.OpenContactor();
30
Step 7 - Fim de recarga 2
io.CreateV2GMessage("SessionStopReq");
io.SendV2GMessage()
io.IsV2GMessageReceived("SessionStopRes")
31
Step 7 - Verifica se a EVSE respondeu a desenergização
(meas.U_DC_FILT < 60) AND (meas.I_DC_FILT<0.5)
32
Step 7 - EV finaliza carga
io.SetCPState("B")
(io.IsCPState("B1"))
33
Step 8 - Finalização - VE Desconectado (Estado A)
io.SetCPState("A");
io.IsCPState("A");
(meas.EVSE_CP_U < 11);