

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Bruno José dos Santos
Carlos Cesar de Oliveira
Daiane Aparecida Saldanha Silencio
Gustavo Guerrero Celestrino
Kelvin Miguel dos Santos
Rafael Castilho Rodrigues
Salomão Gomes Marcolino

IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO DEDICADO E PROTEÇÕES PARA
RECARGA VEICULAR AC EM AMBIENTE
RESIDENCIAL/CONDOMINIAL

Fernandópolis
2025

Bruno José dos Santos
Carlos Cesar de Oliveira
Daiane Aparecida Saldanha Silencio
Gustavo Guerrero Celestrino
Kelvin Miguel dos Santos
Rafael Castilho Rodrigues
Salomão Gomes Marcolino

IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO DEDICADO E PROTEÇÕES PARA RECARGA VEICULAR AC EM AMBIENTE RESIDENCIAL/CONDOMINIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional
Técnica de Nível Médio de Técnico em
Eletrotécnica, no Eixo de Controle e
Processos Industriais, à Escola Técnica
Estadual Professor Armando José
Farinazzo, sob orientação do Professor
Marcos Antonio de Assis.

Examinadores:

Fernandópolis
2025

IMPLEMENTAÇÃO DE CIRCUITO DEDICADO E PROTEÇÕES PARA RECARGA VEICULAR AC EM AMBIENTE RESIDENCIAL/CONDOMINIAL

Bruno José dos Santos
Carlos Cesar de Oliveira
Daiane Aparecida Saldanha Silencio
Gustavo Guerrero Celestrino
Kelvin Miguel dos Santos
Rafael Castilho Rodrigues
Salomão Gomes Marcolino

RESUMO: A expansão da eletromobidade tem ampliado a necessidade de sistemas de recarga seguros e adequados às instalações de baixa tensão, especialmente em ambientes residenciais e condominiais. Este trabalho desenvolve uma infraestrutura elétrica dedicada para recarga condutiva em corrente alternada (AC), com potência de 7,4 kW em 220 V, contemplando critérios de dimensionamento de condutores, queda de tensão e seleção de dispositivos de proteção. A metodologia compreendeu levantamento de requisitos técnicos e normativos, cálculos elétricos, especificação de disjuntor termomagnético, dispositivo diferencial residual (DR) e dispositivo de proteção contra surtos (DPS), montagem de um painel de recarga em bancada e realização de testes com carga simulada. Os resultados indicaram atendimento aos limites de queda de tensão adotados, escolha compatível entre condutor e proteção, funcionamento adequado dos dispositivos de proteção e operação estável sob carga, evidenciando a viabilidade técnica da solução quando aplicadas boas práticas de instalação e verificação. Conclui-se que a adoção de circuito exclusivo, devidamente protegido e identificado, é determinante para a segurança, confiabilidade e padronização da recarga veicular em baixa tensão.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Recarga em corrente alternada. Circuito dedicado. Proteção elétrica. Dimensionamento.

ABSTRACT: The growth of e-mobility has increased the demand for safe charging systems compatible with low-voltage installations, especially in residential and condominium environments. This work develops a dedicated electrical infrastructure for conductive alternating current (AC) charging, rated at 7.4 kW and 220 V, addressing conductor sizing, voltage drop, and protective device selection. The methodology included a technical, and regulatory requirements review, electrical calculations, specification of a circuit breaker, residual current device (RCD), and surge protective device (SPD), assembly of a charging panel on a test bench, and tests using a simulated load. The results indicated compliance with the adopted voltage-drop limits, proper coordination between conductors and protection devices, correct operation of protective equipment, and stable performance underload, demonstrating the technical feasibility of the solution when best installation and verification practices are applied. It is concluded that a dedicated, properly protected, and clearly identified circuit is essential to ensure safety, reliability, and standardization of low-voltage EV charging.

Keywords: Electric vehicles. AC charging. Dedicated circuit. Electrical protection. Electrical sizing.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade elétrica vem crescendo de forma consistente e, com ela, a necessidade de infraestrutura de recarga em residências, condomínios e espaços públicos. A International Energy Agency destaca que a disponibilidade de pontos de recarga é condição-chave para sustentar a adoção em larga escala e aponta aumento expressivo do número de carregadores públicos nos últimos anos, ao mesmo tempo em que a recarga doméstica permanece como a forma mais comum de carregamento para muitos usuários (International Energy Agency, 2025).

Do ponto de vista técnico, a recarga de veículos elétricos se diferencia de cargas usuais por envolver correntes relativamente altas por períodos prolongados, exigindo circuitos dedicados e proteções adequadas. Diretrizes de distribuidoras brasileiras, por exemplo, caracterizam a recarga “lenta” como tipicamente associada a potência em torno de 7 kW e tempos de carregamento de 4 a 8 horas, recomendada para residências e empresas (Equatorial Energia, 2023).

Além do comportamento de carga, a infraestrutura para recarga deve atender a requisitos normativos específicos para equipamentos e sistemas de recarga condutiva. A norma internacional IEC 61851-1 define requisitos gerais aplicáveis a equipamentos de alimentação para recarga de veículos elétricos, abrangendo limites de tensões e aspectos de segurança e desempenho (IEC, 2017).

No Brasil, a instalação do circuito elétrico que alimenta o ponto de recarga deve respeitar as condições de segurança e funcionamento previstas para instalações elétricas de baixa tensão, incluindo dimensionamento de condutores, seleção de dispositivos de proteção e medidas de proteção contra choques elétricos e sobretensões (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2004). Nesse sentido, recomendações técnicas aplicadas ao atendimento de estações de recarga também reforçam a adoção de circuito exclusivo, proteção contra sobrecorrentes por disjuntor, proteção contra choques por DR e proteção contra surtos por DPS (Equatorial Energia, 2023).

Adicionalmente, a implantação de cargas relacionadas à recarga veicular pode requerer procedimentos junto à distribuidora, especialmente em casos

de ligação nova, alteração de carga ou mudanças de nível de tensão, dentro das regras de prestação do serviço de distribuição estabelecidas pela ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica, 2021) e operacionalizadas em normas técnicas das distribuidoras (Equatorial Energia, 2023).

Diante desse cenário, este Trabalho de Conclusão de Curso propõe o projeto e a implementação de uma infraestrutura elétrica para ponto de recarga veicular em corrente alternada (AC), voltada a um contexto típico de baixa tensão e potência na ordem de 7,4 kW, priorizando segurança, confiabilidade e organização do circuito dedicado. O problema que orienta o estudo pode ser sintetizado como: como implementar um ponto de recarga veicular AC em baixa tensão com desempenho adequado e segurança elétrica, reduzindo riscos associados a sobrecorrente, aquecimento de condutores, choques elétricos e surtos? Para isso, o trabalho estrutura-se no levantamento de requisitos, dimensionamento do circuito, especificação de componentes de proteção e manobra, montagem e verificação funcional do sistema.

Como delimitação, este trabalho concentra-se na infraestrutura elétrica do ponto de recarga em AC (circuito de alimentação e proteções), não abrangendo o projeto interno do carregador (EVSE), processos de certificação/homologação, medições avançadas de qualidade de energia ou recarga rápida em corrente contínua (DC).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. MOBILIDADE ELÉTRICA E INFRAESTRUTURA DE RECARGA

2.1.1. Conceito de veículos eletrificados (BEV, PHEV) e panorama de adoção

Veículos eletrificados abrangem principalmente duas categorias: Veículos Elétricos a Bateria (BEV), que são 100% elétricos alimentados por baterias recarregáveis, e Veículos Híbridos Plug-in (PHEV), que combinam um motor elétrico (com bateria recarregável na tomada) e um motor a combustão interna. Um BEV não possui motor a combustão e depende exclusivamente de um ou mais motores elétricos alimentados por um banco de baterias, necessitando recarga externa via tomada, wallbox ou estação de carga rápida. Já o PHEV (híbrido plug-in) pode rodar por determinada distância somente com eletricidade – graças a uma bateria geralmente maior que a de híbridos convencionais – mas também conta com um motor

a combustão que entra em ação quando a carga elétrica se esgota; diferentemente de híbridos comuns, o PHEV precisa ser conectado à rede elétrica para recarregar sua bateria, similar a um veículo 100% elétrico (Vargas, 2024).

A adoção desses veículos vem crescendo de forma acelerada mundialmente. Em 2023, quase 14 milhões de carros elétricos (BEV + PHEV) foram vendidos globalmente, representando cerca de 18% de todos os automóveis novos – o dobro da fatia de apenas dois anos antes (International Energy Agency, 2025). Esse avanço é puxado por mercados como China e Europa, mas indica uma tendência robusta de eletrificação. No Brasil, embora a participação ainda seja pequena frente ao total de veículos, o crescimento tem sido expressivo: foram licenciados aproximadamente 19,3 mil carros puramente elétricos em 2023, e somente nos primeiros 8 meses de 2024 esse número já ultrapassou 41 mil, mais que dobrando o total do ano anterior. Inclusive, pela primeira vez os BEVs superaram os híbridos não plug-in em volume de vendas, levando os elétricos a atingirem cerca de 2,7% dos novos emplacamentos no país até agosto de 2024. Esse cenário mostra que, apesar de um ritmo mais lento que o global, o Brasil começa a vivenciar uma transição, reforçando a importância de preparar a infraestrutura para suportar a crescente frota eletrificada (Napoli, 2024).

2.1.2. Papel da infraestrutura de recarga em ambientes residenciais/condominiais

Grande parte do carregamento de veículos elétricos acontece nos locais de residência ou trabalho dos usuários. Estimativas indicam que mais de 80% da recarga de VEs ocorre em casa, geralmente à noite (CCM Energia, 2025), quando o veículo permanece estacionado por longos períodos. Portanto, dispor de infraestrutura de recarga adequada em residências e condomínios é fundamental para viabilizar a mobilidade elétrica no dia a dia dos proprietários. Essa infraestrutura residencial permite aproveitar a conveniência do carregamento noturno (slow/normal), garantindo que o veículo inicie o dia seguinte com bateria cheia. Sem pontos de recarga domésticos confiáveis, muitos usuários ficariam dependentes apenas de estações públicas, o que inviabiliza a adoção em massa devido à praticidade reduzida.

Nos condomínios residenciais, em especial, a implantação de pontos de recarga traz desafios técnicos e de gestão. É necessário avaliar a capacidade elétrica

do edifício para suprir a demanda adicional dos carregadores sem comprometer o restante da instalação. Um carregador semirrápido de 22 kW, por exemplo, consome o equivalente a três chuveiros elétricos ligados simultaneamente ou a toda a carga de um apartamento pequeno, podendo exigir aumento da entrada de energia do prédio e reforço de transformador ou cabos de alimentação. Assim, planejar corretamente a infraestrutura evita sobrecargas, quedas de energia e atuações indesejadas de proteções. Adicionalmente, deve-se considerar a forma de contabilizar e cobrar a energia consumida por cada veículo, geralmente opta-se por circuitos individualizados por apartamento ou por medição dedicada, e implementar controles de acesso e segurança (por exemplo, autenticando o usuário por cartão RFID ou aplicativo). Em condomínios onde as vagas de garagem são compartilhadas, soluções como estações de recarga coletivas com controle de usuários e faturamento proporcional podem ser adotadas. Em suma, a presença de pontos de recarga confiáveis nas garagens residenciais é um habilitador crucial da eletromobilidade, oferecendo comodidade e incentivando mais motoristas a optarem por veículos elétricos (Oliveira; Jerônimo; Zanderlei; 2021).

2.1.3. Características elétricas da recarga

A recarga de um veículo elétrico configura-se, do ponto de vista eletrotécnico, como uma carga de longa duração (contínua) com corrente elevada. Diferentemente de muitos eletrodomésticos que operam em ciclos ou por curtos intervalos, um carregador de VE pode permanecer puxando corrente próxima à máxima do circuito por várias horas seguidas. Por exemplo, ao carregar um BEV com bateria de grande capacidade em 7,4 kW (32 A) monofásico, pode-se sustentar 32 A contínuos durante 6 a 8 horas até atingir 100% de carga. Esse regime permanente impõe exigências severas à instalação: os condutores, conexões e dispositivos de proteção precisam suportar o aquecimento prolongado sem degradação. Tomadas residenciais comuns geralmente não foram projetadas para suportar corrente máxima por tantas horas, o que aumenta o risco de superaquecimento e até incêndios se utilizadas inadvertidamente para recarga veicular direta. Por isso, normas e manuais enfatizam que a recarga em modos improvisados (como “ligar na tomada da parede”) deve ser limitada a situações emergenciais, devendo-se preferir soluções dedicadas (Yellotmob, 2024).

Outro aspecto é a elevada potência envolvida. Mesmo carregadores “lentos” residenciais (3,7 kW) já demandam correntes ~16 A contínuas; em potências médias (7,4 kW a 11 kW), sobem para 32 A ou mais; e carregadores semirrápidos (22 kW) podem requerer ~32 A trifásicos por fase. Essas correntes elevadas, mantidas por longo tempo, significam que qualquer deficiência no dimensionamento (seção de cabo subdimensionada, conector de má qualidade etc.) resultará em quedas de tensão significativas e geração de calor. A norma brasileira de instalações impõe limites de queda de tensão, em geral da ordem de 5% no total da instalação, para assegurar desempenho adequado e segurança. No contexto de carregamento, respeitar esses limites é crítico, pois uma queda excessiva não apenas reduz a eficiência (parte da energia é dissipada em calor nos cabos) como pode prolongar o tempo de recarga ou levar o carregador a operar fora da faixa de tensão nominal. Em síntese, a recarga veicular deve ser encarada como carga contínua de alta intensidade, demandando cuidados especiais de projeto para evitar sobreaquecimentos e assegurar que a infraestrutura suporte o regime operacional sem riscos (IMConnect, 2025).

2.2. CONCEITOS DE RECARGA CONDUTIVA EM CORRENTE ALTERNADA (AC)

2.2.1. Modos de recarga e delimitação do estudo

A International Electrotechnical Commission (IEC) classifica a recarga de veículos elétricos em quatro modos principais, de acordo com o nível de segurança, comunicação e o tipo de fonte fornecida.

O Modo 1 (carregamento básico em AC) caracteriza-se pela conexão direta do veículo a uma tomada comum (tipicamente residencial), utilizando um cabo sem dispositivo de controle ou supervisão dedicado. Em geral, opera com limites conservadores de corrente (frequentemente citados como até 16 A em AC monofásico e, em algumas descrições, até 16 A em sistemas trifásicos), sem comunicação entre o veículo e a instalação elétrica e sem proteções específicas além daquelas já existentes no circuito fixo. Como não há gerenciamento ativo de segurança (por exemplo, verificação de aterramento, detecção de falhas e controle de habilitação da carga), o Modo 1 tende a ser restrito ou proibido em muitos países para uso cotidiano, devido aos riscos associados a sobrecarga, aquecimento de conexões e choque elétrico (IEC, 2017).

No Modo 2 (carregamento ajustado em AC), a alimentação ainda pode ocorrer por uma tomada comum, porém o cabo de recarga incorpora um dispositivo de controle e proteção integrado (IC-CPD). Esse módulo executa funções de segurança, como monitoramento de aterramento, detecção de condições anormais (sobrecorrente e/ou sobretemperatura) e desligamento automático em caso de falha. Nessa configuração, a corrente admissível pode subir (comumente citada até 32 A, chegando a cerca de 7,4 kW em 230 V), podendo ser aplicado tanto em tomadas domésticas mais robustas quanto em tomadas industriais, desde que o IC-CPD esteja presente e a infraestrutura seja adequada. Ainda assim, recomenda-se cautela no uso prolongado em tomadas residenciais convencionais, pois nem sempre são projetadas para suportar correntes elevadas de forma contínua sem degradação térmica (IEC, 2017).

O Modo 3 (carregamento dedicado em AC) utiliza um equipamento dedicado de fornecimento para veículo elétrico (EVSE, frequentemente chamado de *wallbox* ou estação AC), instalado de forma permanente e conectado à rede elétrica, ao qual o veículo se conecta por meio de conector/cabo apropriado. O carregamento continua ocorrendo via carregador interno do veículo (*on-board charger*), porém com camadas de controle e segurança ativas entre EVSE e veículo, incluindo comunicação por sinal piloto de controle, que autoriza e ajusta a corrente de carga conforme a capacidade do cabo, do ponto de recarga e da instalação. Esse modo abrange desde potências residenciais monofásicas (por exemplo, 3,7–7,4 kW) até soluções trifásicas semirrápidas mais comuns (11–22 kW) e, em determinados cenários, valores ainda maiores, conforme previsões normativas aplicáveis (como a IEC 61851). Em termos de segurança, o Modo 3 normalmente integra proteção diferencial residual (RCD), detecção/monitoramento de aterramento e mecanismos de travamento do conector durante a carga, o que o torna a alternativa recomendada para recarga AC regular em residências, condomínios e estações comerciais (IEC, 2017).

Já o Modo 4 (carregamento rápido em DC) baseia-se em um carregador externo de alta potência que converte a energia para corrente contínua (DC) e a entrega diretamente à bateria do veículo, contornando o carregador interno. É o padrão empregado em eletropostos de carga rápida e ultrarrápida (por exemplo, estações de 50 kW, 150 kW ou superiores), operando com tensões elevadas e correntes muito altas (centenas de ampères), o que exige protocolos rigorosos de comunicação, intertravamentos e requisitos de segurança mais complexos. Por essas

características, o conjunto geralmente utiliza cabo fixo ao equipamento e é voltado principalmente a uso público (rodovias, postos, hubs e frotas), onde a necessidade é reduzir significativamente o tempo de recarga (IEC, 2017).

Para efeito deste trabalho, a análise ficará delimitada ao carregamento em corrente alternada (AC) no Modo 3, típico de aplicações residenciais e comerciais semirrápidas, em que o veículo recebe AC no conector e realiza a conversão internamente para DC por meio do *on-board charger*. O carregamento rápido em DC (Modo 4), embora relevante no contexto geral da infraestrutura de recarga, não será aprofundado por envolver tecnologias, arquiteturas de potência, padrões de conectores e requisitos normativos específicos (por exemplo, sistemas dedicados de conversão DC e padrões como CCS/CHAdeMO), o que caracteriza um escopo técnico distinto. Assim, as seções seguintes priorizarão componentes, critérios de projeto, dispositivos de proteção e normas aplicáveis à recarga AC em Modo 3.

2.2.2. Níveis de potência em AC e aplicações típicas

Nos sistemas de recarga em corrente alternada (AC), costuma-se adotar alguns patamares de potência “típicos” porque eles derivam diretamente da combinação entre tensão disponível, corrente admissível do circuito e número de fases (monofásico ou trifásico). Na prática, esses valores aparecem com frequência em projetos de *wallbox* e infraestrutura predial por representarem compromissos realistas entre tempo de recarga, custo de instalação e capacidade da entrada de energia. Além disso, a literatura e o mercado frequentemente agrupam potências AC em faixas como “lenta” e “semirrápida”, e, em algumas nomenclaturas divulgadas no Brasil, valores até ~3,7 kW são associados ao “Nível 1”, enquanto ~7 a 22 kW entram como “Nível 2”; já na terminologia norte-americana, Level 1 costuma ficar na ordem de 1–2 kW e Level 2 pode chegar a cerca de 19,2 kW, dependendo da corrente e tensão do circuito (BYD Energia, 2025).

O patamar de 3,7 kW é comumente obtido em ~16 A monofásico (em torno de 230 V), sendo frequentemente tratado como recarga “lenta” ou “normal”. Em termos de uso, ele favorece cenários residenciais com limitação de demanda e vagas onde se deseja uma carga mais gradual para reduzir impacto na instalação. Como ordem de grandeza, uma bateria de 10 kWh pode ser reposta em poucas horas, enquanto uma bateria de 40 kWh tende a exigir algo como uma noite inteira, variando

conforme perdas de conversão e as características do carregador interno (*on-board charger*) do veículo (Brown, et al. 2024).

O nível de 7,4 kW corresponde, tipicamente, a ~32 A monofásico (aprox. 230 V) e é muito comum em *wallboxes* residenciais por entregar uma recarga noturna confortável para boa parte dos perfis de uso. Nessa faixa, a reposição de energia já se torna significativamente mais rápida do que em 3,7 kW, sem exigir rede trifásica, mas ainda depende do limite do próprio veículo: se o *on-board charger* for menor, a estação não “força” potência maior do que o carro consegue aceitar (BYD Energia, 2025).

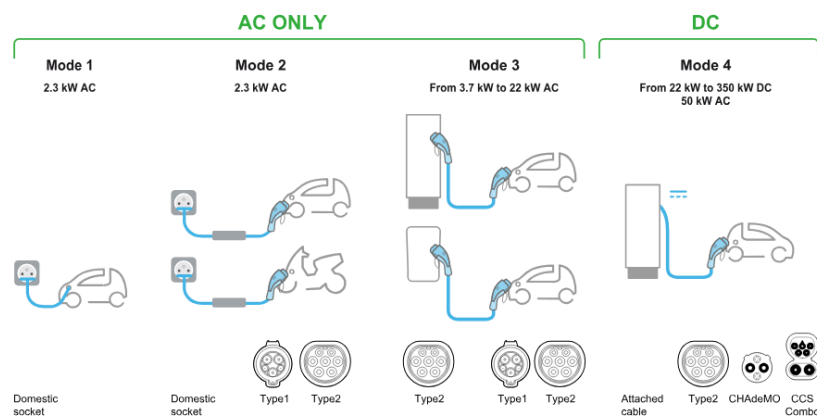
Quando há disponibilidade de rede trifásica, 11 kW costuma aparecer como um “meio-termo” muito aplicado em ambientes prediais (condomínios e estacionamentos comerciais), porque normalmente é obtido com ~16 A por fase (3×16 A), equilibrando tempo de carga e demanda elétrica. Na prática, isso permite repor dezenas de quilômetros de autonomia por hora (dependendo do consumo do veículo), sendo um patamar bastante recorrente para recarga de permanência (horas) sem “puxar” correntes tão altas quanto as soluções de 22 kW (Electrical Installation Wiki, 2021).

O patamar de 22 kW em AC é a faixa “alta” mais comum antes de se migrar para recarga em DC, e normalmente exige ~32 A por fase em sistema trifásico (em torno de 400 V). Ele é frequente em carregadores urbanos e também pode ser viável em condomínios com infraestrutura elétrica mais robusta, pois reduz bastante o tempo necessário para repor baterias médias e grandes, desde que o veículo possua *on-board charger* compatível. Do ponto de vista de interface, conectores do Tipo 2 (IEC 62196-2) são amplamente associados a esse patamar na Europa, inclusive com referências explícitas a “até 22 kW (400 V, 32 A)” em fabricantes e fornecedores (Electrical Installation Wiki, 2021).

O artigo da Electrical Installation Wiki (2021) reforça que também é importante diferenciar o que é capacidade do ponto de recarga do que é capacidade do veículo. Muitos veículos limitam a potência AC pelo *on-board charger*; assim, conectar um carro limitado a ~7 kW em uma estação de 22 kW não acelera a recarga além do teto do próprio veículo. Já em conectores e padrões mais comuns na América do Norte e Japão (por exemplo, SAE J1772/Type 1), a recarga AC é monofásica e pode variar bastante conforme a corrente do equipamento, com Level 2 podendo alcançar potências bem superiores a 7 kW em instalações específicas, o que reforça

que o patamar final depende do conjunto “instalação + EVSE + veículo”. A figura 1 ilustra os modos de carga segundo a IEC 61851-1.

Imagem 1. Quatro modos de carregamento de veículos elétricos, conforme definidos pela IEC 61851-1.



Fonte: (Eletrical Installation Wiki, 2021)

2.2.3. Conceito de EVSE (wallbox) e responsabilidades do circuito de alimentação

A sigla EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment) designa o equipamento que faz a interface entre a instalação elétrica fixa (residência, condomínio ou estacionamento) e o veículo elétrico, com a função de entregar energia de forma controlada e segura, incluindo recursos de supervisão e comando típicos de uma estação AC (wallbox). No Modo 3, a presença de um EVSE dedicado e de um cabo com condutor de controle (control pilot) é justamente o que diferencia a recarga “inteligente” de uma simples tomada, pois permite verificação de conexão, checagem contínua do condutor de proteção (PE/terra), energização e desenergização coordenadas e seleção da taxa de carga (EMSD, 2015).

É importante observar que, na recarga condutiva em AC (Modo 3), o EVSE não atua como “carregador” no sentido estrito de converter AC em DC; em geral, ele fornece AC e quem realiza a conversão para DC é o carregador interno do veículo (on-board charger). Assim, o papel do EVSE é habilitar a transferência de energia com intertravamentos e limites compatíveis com o circuito e com o veículo, além de coordenar estados de conexão e segurança ao longo de toda a sessão de recarga.

O controle e a coordenação entre EVSE e veículo ocorrem principalmente pela linha Control Pilot (CP), prevista na IEC 61851: o EVSE aplica um sinal PWM de 1 kHz no CP e, por meio do duty cycle, informa ao veículo a corrente máxima disponível (entre outros estados), permitindo que o carro ajuste sua demanda e que o EVSE só energize os condutores de potência quando as condições estiverem corretas. Essa lógica de “mão dupla” é a base do Modo 3 para habilitar carga com controle fino e reduzir riscos de energização indevida (IEC, 2017).

As normas IEC (2017) apontam que do ponto de vista de segurança funcional, as diretrizes técnicas para recarga em Modo 3 descrevem que o EVSE deve suportar funções como verificação da conexão com o veículo, checagem contínua da integridade do condutor de proteção (terra), além de energizar e desenergizar o fornecimento conforme o estado do sistema e a taxa de carga selecionada. Em práticas de projeto elétrico associadas a normas de instalações (como a IEC 60364-7-722, referência internacional para pontos de recarga), também aparece a exigência de proteção adicional por RCD/DR (tipicamente 30 mA) e medidas para lidar com componentes DC de corrente residual, o que costuma se traduzir em uso de RCD tipo B ou RCD tipo A/F combinado com detecção de DC (RDC-DD 6 mA), conforme o caso (integrado ou não ao próprio EVSE).

Outro elemento-chave do Modo 3 é evitar desconexões acidentais sob carga: em conectores amplamente usados em AC (como Tipo 2 / IEC 62196-2), é comum haver mecanismo de travamento que mantém o plug conectado durante a recarga, e a filosofia de operação recomenda desenergizar antes de desconectar. Diretrizes técnicas também mencionam a necessidade de um dispositivo de manobra/interruptor a montante para permitir ligar após conectar e desligar antes de retirar o cabo, reduzindo risco de arco e desgaste dos contatos (IEC, 2017).

Apesar de o EVSE concentrar o “controle fino” durante a recarga, a conformidade e a segurança do sistema dependem do circuito de alimentação corretamente projetado. Em guias de projeto e instalação, a recomendação típica é que o ponto de recarga seja alimentado por circuito dedicado, com proteção contra sobrecorrente/curto (disjuntor/MCB), proteção diferencial (RCD/DR) adequada ao cenário de fuga AC/DC e, quando aplicável, proteção contra surtos (DPS/SPD), além de coordenação com as instruções do fabricante do EVSE. No contexto brasileiro, essa visão se conecta ao atendimento à ABNT NBR 5410 (baixa tensão) e, de forma mais específica para recarga veicular, à ABNT NBR 17019, que estabelece requisitos

para instalações fixas de alimentação de veículos elétricos e foi baseada na IEC 60364-7-722.

2.3. NORMAS E REFERÊNCIAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

2.3.1. Requisitos normativos internacionais para sistemas/equipamentos de recarga (IEC 61851)

A norma IEC 61851 é o principal referencial internacional para sistemas de carregamento condutivo de veículos elétricos. Ela funciona como um “guia de regras” abrangente para garantir que a infraestrutura de recarga seja segura, confiável e interoperável, independentemente do modelo de veículo ou local de instalação. A IEC 61851 define desde os modos de carregamento (1 a 4) já descritos, até detalhes de como o equipamento de recarga deve operar, requisitos de comunicação entre veículo e estação, e verificações de segurança que precisam ser realizadas antes e durante a transferência de energia. O escopo geral da parte 1 da norma (IEC 61851-1:2017) abrange sistemas de recarga com tensão de alimentação até 1000 V AC ou 1500 V DC, incluindo veículos elétricos puros e híbridos plug-in (IEC, 2017).

A série IEC 61851 estabelece as bases técnicas para sistemas de recarga condutiva de veículos elétricos, definindo, de forma padronizada, tanto as características e condições de operação do EVSE (o equipamento de alimentação/estação de recarga) quanto os requisitos de conexão entre equipamento e veículo (incluindo a interface e a lógica de controle da conexão) e, ainda, os requisitos de segurança elétrica aplicáveis ao sistema (proteção contra choques, critérios de segurança e comportamento em falhas). Essa família é organizada em múltiplas partes, cada uma cobrindo um recorte específico. A IEC 61851-1 concentra os requisitos gerais, servindo como referência-base para as demais normas da série. Em EMC (compatibilidade eletromagnética), a antiga IEC 61851-21 foi desdobrada, e hoje aparecem documentos como a IEC 61851-21-1 (EMC para carregadores embarcados e o veículo durante a conexão) e complementos na série para outros cenários de ensaio (IEC, 2017).

Para estações em AC (Modo 3), historicamente existiu a IEC 61851-22 dedicada a “AC electric vehicle charging station”; porém, no catálogo IEC ela aparece como withdrawn (retirada), enquanto as edições mais atuais do escopo geral passam a trazer requisitos relevantes para EVSE em AC dentro do conjunto normativo vigente.

Já para recarga em DC off-board (Modo 4), a série inclui partes como a IEC 61851-23 (estações DC) e a IEC 61851-24 (comunicação digital entre estação DC e veículo para controle da recarga). Quando vistas em conjunto, essas normas funcionam como um “idioma comum” entre veículo e infraestrutura, favorecendo interoperabilidade (equipamentos de fabricantes diferentes conseguem operar juntos) e estabelecendo referências sobre modos de recarga, funções e comunicação associada à transferência de energia (IEC, 2017).

o Brasil, essa base internacional é refletida por adoções como a ABNT NBR IEC 61851-1:2021 (requisitos gerais), o que costuma aparecer como referência de conformidade técnica em documentação e processos de certificação/ensaios de estações de recarga comercializadas no país (ABNT, 2021).

2.3.2. Normas de conectores e interface (IEC 62196)

Complementando a IEC 61851, que foca no sistema de recarga, a norma IEC 62196 trata dos meios de conexão física: os plugues, tomadas, conectores do veículo e entradas veiculares para carregamento. A IEC 62196 possui partes dedicadas às dimensões e compatibilidade dos conectores, garantindo que um veículo possa se conectar a uma estação de qualquer fabricante em conformidade. Por exemplo, conforme mencionado em literatura técnica, a IEC 62196 aborda especificações de plugues, tomadas de saída, conectores e entradas veiculares destinados à carga de veículos elétricos. A Parte 1 traz requisitos gerais (tensão até 690 V AC/1500 V DC e correntes elevadas, até 250 A AC ou 800 A DC em edições mais recentes), enquanto a Parte 2 (IEC 62196-2) define três designs padronizados para conectores AC, conhecidos como Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3 (IEC, 2017).

O Tipo 1 refere-se ao conector monofásico amplamente usado na América do Norte e Japão (baseado no padrão SAE J1772); suporta carga AC até 32 A (7,4 kW) e possui 5 pinos (fase, neutro, terra, piloto, proximidade). O Tipo 2 (Mennekes) é o conector adotado na Europa e em muitos outros países, incluindo o Brasil. Ele suporta desde monofásico até trifásico, com corrente de até 63 A (cada fase) em AC – o que permite carregamento trifásico de 22 kW (32 A) ou mesmo ~43 kW (63 A). Possui 7 pinos (3 fases + N + terra + 2 de controle). Por ter se tornado um tipo padrão europeu, muitos veículos e estações são equipados com entradas Tipo 2, garantindo intercambiabilidade. Já o Tipo 3 (historicamente utilizado em alguns

países europeus, e.g. padrão Scame na Itália/França) também suportava trifásico até 63 A, mas caiu em desuso com a consolidação do Tipo 2 e não é encontrado em novos projetos (IEC, 2017).

A Parte 3 da IEC 62196 trata dos conectores para carregamento DC, mas dentro do contexto deste estudo (recarga AC) o destaque fica para os conectores Tipo 1 e Tipo 2. Em resumo, a IEC 62196 assegura que, por exemplo, um veículo com conector Tipo 2 possa utilizar qualquer estação com soquete Tipo 2, e que as dimensões/formatos garantam encaixe seguro, mesmo envolvendo altas correntes. Na prática brasileira, conectores Tipo 2 dominam a infraestrutura AC – a maioria das estações Modo 3 instaladas utiliza tomada ou cabo Tipo 2, inclusive seguindo a tendência europeia e facilitando a harmonização internacional. A norma também especifica detalhes como sistemas de travamento do conector, resistência de proximidade (que informa ao EVSE a corrente máxima do cabo) e outras interfaces elétricas e mecânicas, mas esses pormenores só são citados quando relevantes no texto (IEC, 2017).

2.3.3. Normas brasileiras de instalações elétricas em baixa tensão (ABNT NBR 5410 e correlatas)

No âmbito nacional, a ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão é a “bíblia” que rege praticamente todo projeto elétrico predial. Ela estabelece as condições adequadas de segurança e funcionamento para instalações até 1000 V AC, abrangendo desde o projeto, execução e verificações, até manutenções periódicas (ABNT, 2020). Vários requisitos da NBR 5410 impactam diretamente a implementação de um ponto de recarga de VE, uma vez que esse ponto nada mais é do que um circuito elétrico (porém de características específicas de carga contínua elevada).

A NBR 5410 (ABNT, 2020) exige que cada circuito terminal seja adequadamente protegido contra sobrecorrentes por disjuntores ou fusíveis, instalados em quadro de distribuição de fácil acesso. No caso de carregadores veiculares, isso implica usar um disjuntor dimensionado para a corrente de carga e capaz de seccioná-la sob carga. Ademais, a norma aconselha prever circuitos exclusivos para cargas de grande porte ou uso específico. De fato, orientações

nacionais indicam explicitamente que cada ponto de recarga de VE deve ser alimentado por um circuito exclusivo, não compartilhado com outras cargas.

A norma torna obrigatório o aterramento em qualquer instalação elétrica, especificando que cada circuito deve conter um condutor terra (PE) ligado a um sistema de aterramento apropriado. A preferência é pelo esquema TT (eletrodo de terra local conectado ao barramento de proteção), embora admita-se TN-S ou TN-C se TT não for viável. Para pontos de recarga, isso se traduz em garantir continuidade do terra até o conector do veículo e interligar todas as massas metálicas à terra. A NBR 5410 também exige dispositivos de proteção a corrente diferencial-residual (DR) em diversos circuitos, principalmente aqueles que alimentam tomadas de uso geral em ambientes molhados ou externos. Embora não cite explicitamente “carregadores de VE”, um ponto de recarga se enquadra em circuito que atende área de circulação de pessoas e provavelmente ao ar livre; logo, a adoção de DR 30 mA é mandatória para proteção contra choques elétricos indiretos (ABNT, 2020).

A norma apresenta extensas tabelas com capacidades de condução de corrente (ampacidades) para condutores de diferentes seções, materiais e métodos de instalação. O projeto deve selecionar a seção do cabo de forma que sua capacidade de corrente (I_z) seja igual ou superior à corrente de projeto (I_b) e à corrente do disjuntor (I_n), respeitando o critério $I_b \leq I_n \leq I_z$. Além disso, devem-se aplicar fatores de correção de acordo com a temperatura ambiente acima de 30 °C e com o agrupamento de circuitos em um mesmo conduíte, que reduzem a ampacidade dos cabos. No contexto de recarga, onde a corrente é contínua e pode haver aquecimento, dimensionar corretamente os condutores é crítico: por exemplo, um circuito de 32 A geralmente requer cabo de 6 mm² em condições padrão, mas se passado em eletroduto com outros cabos e sob temperatura elevada, talvez precise ser 10 mm² após correções. A NBR 5410 orienta todo esse processo, garantindo que os condutores não trabalhem superaquecidos (ABNT, 2020).

A norma estabelece limites para a queda de tensão nos circuitos, visando assegurar desempenho adequado dos equipamentos. Em instalações alimentadas pela rede de distribuição, recomenda-se que a queda de tensão total do quadro de entrada até qualquer ponto terminal não ultrapasse 5% do valor nominal. Para situações de fonte própria (geradores, UPS), tolera-se até 7%. No caso de circuitos terminais individuais, como um ponto de carga, valores em torno de 3% a 4% são frequentemente adotados como boa prática, para que mesmo sob corrente

máxima a tensão no veículo permaneça próxima do nominal. Por exemplo, se a tensão de fornecimento é 220 V, uma queda de 5% resultaria em ~209 V no carregador – dentro de uma margem aceitável de operação. Quedas maiores que 5% indicariam cabos inadequados (muito compridos ou finos) e acarretariam perdas excessivas (calor nos condutores) e possíveis falhas de funcionamento, portanto não são permitidas. Assim, o projeto deve prever seções de condutor suficientes para que a queda de tensão calculada sob corrente de carga fique dentro dos limites normativos quando medida do quadro até o conector do VE (ABNT, 2020).

A NBR 5410 contém diretrizes sobre instalações em ambientes especiais (combustíveis, umidade, calor), identificação de circuitos (todos os circuitos e componentes no quadro devem ser devidamente identificados quanto à sua função e carga atendida), espaços de reserva em quadros para futuras expansões, disposição adequada de tomadas (que no caso do carregador, seria uma tomada do tipo específico IEC 62196 ou conector fixo) e muito mais. No âmbito de um carregador em condomínio, é importante notar também exigências de acessibilidade e prevenção de incêndios: por exemplo, instalações em garagens coletivas podem precisar seguir a NBR 13570 (ABNT, 2020).

2.3.4. Segurança em instalações e trabalhos elétricos (NR-10)

A NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade é uma norma regulamentadora (de caráter legal trabalhista no Brasil) que estabelece requisitos mínimos para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos em sistemas elétricos. Embora a NR-10 não trate especificamente de “carregadores de veículos”, ela impacta a forma como o projeto é implementado e como a instalação é executada e mantida.

A NR-10 exige que somente pessoas habilitadas e qualificadas trabalhem em instalações elétricas. Todo profissional deve ter treinamento em segurança (curso NR-10 básico e complementar) e usar equipamentos de proteção individual (EPI) adequados. Para o projeto em si, isso significa que a instalação do ponto de recarga deve ser feita por um eletricista ou técnico capacitado, seguindo procedimentos seguros (como desenergização do circuito durante a instalação, uso de ferramentas isoladas etc.). Também implica que, caso a potência instalada total do condomínio supere 75 kW, o empreendimento deve manter um Prontuário de

Instalações Elétricas atualizado, contendo diagramas, procedimentos e registros de inspeções conforme a NR-10 (item 10.2.4 da norma).

A NR-10 determina que as instalações elétricas devem ser construídas e mantidas de forma a garantir segurança e saúde dos trabalhadores e usuários. Isso abrange a previsão de dispositivos de proteção, isolamento adequado de partes energizadas, sinalização de circuitos, bloqueios de reenergização (*lockout/tagout*) durante manutenções etc. Aplicado ao ponto de recarga, um exemplo é garantir que haja um disjuntor de seccionamento identificado do circuito do carregador, para que possa ser desligado antes de qualquer serviço. Outro exemplo é a fixação apropriada da estação de carga na parede, em altura recomendada (geralmente ~1,2 m do piso), evitando riscos mecânicos ou de alagamento. A NR-10 também enfatiza a necessidade de equipotencialização e aterramento adequados (como já tratado na NBR 5410), pois isso reduz riscos de choque para quem opera equipamentos.

Para instalações significativas, a NR-10 prevê a elaboração de Laudos de Inspeção periódicos e medidas de controle de riscos. No contexto do carregador, seria recomendável inspecionar periodicamente as conexões, o funcionamento do DR (testar o DR mensalmente, por exemplo) e manter registro dessas verificações. A não conformidade com as NRs pode acarretar multas e interdições para as empresas responsáveis, ou seja, um condomínio, ao instalar carregadores, deve seguir as normas para não incorrer em penalidades em caso de acidente ou fiscalização (BRASIL, 2020).

2.4. CIRCUITO DEDICADO PARA PONTO DE RECARGA: REQUISITOS E BOAS PRÁTICAS

2.4.1. Circuito exclusivo, seccionamento e identificação do circuito

Uma diretriz fundamental ao instalar pontos de recarga de VE é utilizar um circuito dedicado exclusivo para cada estação. Diferentemente de tomadas de uso geral, que muitas vezes compartilham circuitos, um carregador veicular deve ser alimentado por um circuito individual, desde o quadro de distribuição, dimensionado apenas para ele. Essa recomendação, já mencionada na seção 2.3.3 com base na NBR 5410, evita que a elevada corrente da recarga impacte outros equipamentos e facilita a proteção adequada. Em termos práticos, do quadro elétrico principal ou

subquadro parte um ramal exclusivo (fases, neutro se aplicável, e terra) até o ponto de recarga, não havendo outras derivações no caminho.

No quadro, o disjuntor desse circuito deve estar devidamente identificado quanto à sua função (por exemplo, rotulado como “Carregador VE – Apt X” ou “Circuito Wallbox 7,4 kW”). Isso é importante para operação e manutenção: qualquer pessoa que futuramente atue no quadro saberá qual disjuntor desliga o carregador. A identificação também ajuda a evitar desligamentos acidentais de outros circuitos durante manutenções – ou vice-versa, alguém desligar equivocadamente outro circuito pensando ser o do VE. Boas práticas incluem usar cores padronizadas de condutores (no Brasil: fase preta/vermelha, neutro azul claro, terra verde-amarelo) e esquemas unifilares anexos ao quadro indicando o circuito (IMConnect, 2025).

Outro aspecto é prover um meio de seccionamento local e seguro para o ponto de recarga. A norma recomenda que próximo ao equipamento, em local acessível, haja um dispositivo de seccionamento capaz de desligar a energia sob carga (IMConnect, 2025). Isso geralmente se cumpre com o próprio disjuntor no quadro (se o quadro for de fácil acesso próximo à vaga) ou com a adição de um desligador próximo à estação (pode ser um disjuntor em caixa moldada ou um seccionador lockable). Em emergência ou manutenção, poder cortar a alimentação rapidamente no local é essencial para segurança. Em condomínios, às vezes o quadro de alimentação fica trancado ou distante; então, instalar um mini-quadro ao lado do carregador, contendo um disjuntor e talvez o DR, oferece esse seccionamento local.

2.4.2. Condições de instalação (métodos de referência, temperatura, agrupamento, eletrodutos)

Ao projetar o circuito dedicado, não basta definir a seção do condutor apenas pela corrente – é preciso considerar as condições de instalação que afetam a capacidade de condução de corrente. Cabos elétricos têm sua ampacidade tabelada para determinados métodos de referência de instalação (conforme NBR 5410, tabela 33, são 49 modos possíveis). Por exemplo, condutores “embutidos em eletroduto térmico dentro de parede” suportam menos corrente que condutores ao ar livre em bandeja perfurada, devido à dissipação de calor restrita (Barreto, 2025).

Garagens de edifícios costumam ter tubulações embutidas nas paredes ou aparentes no teto. Nesses casos (métodos equivalentes aos B1, B2 ou C da

NBR 5410), o calor dos cabos fica confinado, exigindo possivelmente bitolas maiores. Deve-se verificar o fator de correção de temperatura: para temperatura ambiente acima de 30 °C, há coeficientes de redução da ampacidade. Por exemplo, se na garagem a temperatura chega a 40 °C, a capacidade de corrente de um cabo PVC cai para ~87% do valor nominal em 30 °C. Igualmente importante é o fator de agrupamento: se no mesmo eletroduto passarem vários circuitos carregados além do do VE, ocorre acúmulo de calor e a corrente permissível de cada um diminui. A NBR 5410 fornece fatores de correção para agrupamento – por exemplo, 3 circuitos de fase carregados no mesmo conduíte podem impor um fator ~0,7–0,8 dependendo do enchimento. Logo, pode ser prudente passar o circuito do carregador em eletroduto exclusivo, evitando agrupá-lo com muitos outros, ou então aumentar a seção para compensar (ABNT, 2020).

Cabos longos dentro de eletrodutos geram preocupação não só de corrente, mas de queda de tensão. Se a vaga de estacionamento fica distante do quadro (digamos 50 m de fiação total), a resistência do condutor pode causar queda relevante sob 30 A ou 32 A. É boa prática limitar a queda de tensão a no máximo ~3% no circuito terminal. Isso muitas vezes implica usar condutor de seção superior à mínima por corrente. Por exemplo, um circuito de 32 A monofásico a 220 V com 30 m de ida e 30 m de volta em cobre 6 mm² tem queda de ~3,5% – ligeiramente acima do ideal, enquanto se usar 10 mm² cairia para ~2%. O cálculo preciso segue $\Delta V = I \cdot R \cdot \text{comprimento}$, e a norma exige verificar a queda após definir a seção por corrente. Portanto, deve-se avaliar se o método de instalação (eletroduto embutido = mais quente) somado ao comprimento demandará um “oversizing” dos cabos além do estritamente necessário por ampacidade, de modo a atender o critério de desempenho (queda de tensão $\leq 5\%$ total e preferencialmente $\leq 3\%$ no circuito do carregador) – (IMConnection, 2025).

A instalação deve garantir que os condutores estejam protegidos contra danos mecânicos. Em garagens, por exemplo, é comum passar tubulação pelo teto e descer pela parede até a caixa do carregador. Devem-se usar eletrodutos resistentes (PVC antichama pesado ou aço galvanizado, conforme o ambiente). Curvas e bitolas do eletroduto devem facilitar a puxada dos cabos sem danificar a isolação. Além disso, a seção interna do eletroduto não deve ser preenchida acima de 40% com os cabos, para evitar problemas térmicos e facilitar substituições. Esses detalhes de método de

instalação influenciam diretamente a temperatura de operação dos cabos e, assim, a confiabilidade do circuito (ABNT, 2020).

2.4.3. Queda de tensão e aquecimento: por que são críticos na recarga veicular

Dois efeitos elétricos estão intimamente ligados e são particularmente críticos em circuitos de recarga de VE: a queda de tensão ao longo dos condutores e o aquecimento dos cabos/conexões devido à corrente contínua elevada. A relação é direta: toda corrente que percorre um cabo encontra uma certa resistência elétrica, causando perda de tensão ($U = R \cdot I$) e dissipação de potência na forma de calor ($P = R \cdot I^2$). Em cargas como o EV – que podem demandar 16, 32 A ou mais por horas – mesmo resistências pequenas resultam em quedas apreciáveis e calor significativo acumulado.

Garantir uma baixa queda de tensão não é apenas questão de eficiência energética, mas também de desempenho do carregamento. Carregadores internos de veículos possuem faixas de tolerância de tensão de entrada; se a queda for excessiva, na extremidade do circuito o veículo pode estar recebendo, por exemplo, apenas ~190 V em vez de 220 V, o que pode reduzir a potência de carregamento ou aumentar a corrente para compensar (no caso de carregadores que tentam manter potência constante). A ABNT NBR 5410 e manuais recomendam limitar essa queda a valores modestos ($\leq 5\%$ total, idealmente $\sim 3\%$ no circuito terminal) – (IMConnection, 2025). Assim, assegura-se que o veículo carrega próximo da potência nominal e que não há desperdício relevante de energia nos cabos. Em termos de aquecimento, uma menor queda significa menor perda $P = R \cdot I^2$: por exemplo, se ao invés de 5% de queda conseguir-se 2%, a potência dissipada nos fios cai para menos da metade, aliviando o aquecimento.

O aquecimento contínuo é inimigo da durabilidade e segurança. Conexões aquecidas podem afrouxar (dilatação térmica), cabos quentes submetem a isolação a estresse, e em casos extremos podem iniciar chamas. Na recarga veicular, em que a corrente flui por longos períodos, o regime térmico atinge estado estacionário – isto é, o cabo pode ficar “quente ao toque” por horas. Por isso, dimensiona-se o condutor com margem e escolhem-se componentes de conexão de qualidade, minimizando resistência de contato. É recomendável, inclusive, apertar os

terminais com torquímetro segundo especificação do fabricante do disjuntor/barramento, para garantir baixa resistência de contato.

Convém destacar que a própria estação de carga Modo 3 verifica a integridade do aterramento e das conexões antes e durante a carga – por exemplo, algumas monitoram a queda de tensão momentânea ao ligar a carga e se detectarem uma variação muito grande (indicando provável alta resistência na linha), podem interromper o processo. Isso porque uma conexão solta que cause queda elevada também significa calor excessivo naquele ponto. Em outras palavras, os sistemas inteligentes de recarga estão preparados para lidar com cenários de falha (inclusive presença de fuga de corrente a terra), mas a prevenção básica vem do projeto elétrico bem realizado (IEC, 2017).

Finalmente, do ponto de vista normativo, a verificação da queda de tensão faz parte do dimensionamento técnico de um circuito: a NBR 5410 demanda que após definir a seção pelos critérios de corrente, se calcule a queda de tensão e, se estiver acima do limite, aumente-se a seção. Isso é especialmente pertinente para circuitos de garagem, que podem ser extensos desde o quadro. Cumprir esse requisito garante que, na prática, o carregador verá tensão suficiente e o cabeamento não atuará como um “aquecedor” desperdiçando energia. Em resumo, queda de tensão e aquecimento andam juntos e são críticos na recarga veicular pela magnitude e duração da corrente envolvida, controlá-los é sinônimo de segurança, eficiência e performance (ABNT, 2020).

2.5. DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO

2.5.1. Potência, tensão e corrente (monofásico e trifásico): relações fundamentais

O dimensionamento de circuitos elétricos apoia-se em relações básicas entre potência (P), tensão (U) e corrente (I). Relembrando os fundamentos, em um circuito monofásico de corrente alternada (assumindo carga predominantemente resistiva ou com fator de potência próximo de 1, como costuma ocorrer em carregadores com correção de fator de potência), a potência elétrica é dada por $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$. Para cargas com $\cos \varphi \approx 1$, adota-se a aproximação $P \approx U \cdot I$. Por exemplo, um carregador monofásico de 7,4 kW em 230 V demanda aproximadamente $I \approx 7400/230 \approx 32,2$ A. Se o fator de potência for ligeiramente menor (por exemplo,

0,98), a corrente necessária para a mesma potência torna-se um pouco maior, cerca de $I \approx 7400/(230 \cdot 0,98) \approx 32,8$ A.

Em sistemas trifásicos, nos quais há três fases defasadas de 120° , a potência total corresponde à soma das potências por fase. Para cargas equilibradas conectadas em estrela (com neutro) ou em triângulo, utiliza-se a expressão $P = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I \cdot \cos \varphi$, em que U_l é a tensão de linha (entre fases). No caso de uma estação trifásica de 11 kW em 220/380 V, obtém-se $I = P/(\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \varphi)$ e, considerando $U_l = 380$ V e $\cos \varphi \approx 1$, resulta $I \approx 11000/(1,732 \cdot 380) \approx 16,7$ A por fase (o que justifica a referência prática de “16 A trifásico” para cerca de 11 kW). Para 22 kW em 380 V trifásico, a corrente por fase fica em torno de $I \approx 22000/(1,732 \cdot 380) \approx 33,4$ A/fase.

Essas relações mostram que, para elevar a potência sem aumentar excessivamente a corrente em um único condutor, pode-se recorrer ao fornecimento trifásico, distribuindo a corrente entre as fases. De forma ilustrativa, 7,4 kW monofásico implica cerca de 32 A, enquanto 7,4 kW trifásico (em 380 V entre fases, $\cos \varphi \approx 1$) resulta em aproximadamente $I \approx 7400/(1,732 \cdot 380) \approx 11,2$ A/fase, o que tende a facilitar a condução elétrica. Ainda assim, a adoção do trifásico depende da infraestrutura disponível no local.

Outro ponto fundamental é a distinção entre corrente de carga (I_b) e corrente nominal dos dispositivos de proteção (I_n). O projeto parte do cálculo da corrente de projeto I_b , isto é, a corrente esperada em regime normal, obtida a partir da potência e tensão conforme as relações anteriores. Para um wallbox monofásico de 7 kW em 220 V, por exemplo, obtém-se $I_b \approx 7000/220 \approx 31,8$ A. Com base nisso, seleciona-se um disjuntor padronizado com I_n igual ou imediatamente acima, tipicamente 32 A, atendendo ao critério $I_b \leq I_n$. Em seguida, escolhe-se o condutor de forma que sua capacidade de condução de corrente seja compatível com o dispositivo e com as condições reais de instalação, de modo a atender ao critério $I_n \leq I_z$ (Electrical Installation Wiki, 2022).

2.5.2. Capacidade de condução de corrente (ampacidade) e escolha da seção do cabo

A ampacidade de um condutor elétrico é a máxima corrente que ele pode conduzir de forma contínua sem que sua temperatura exceda um limite seguro. Essa capacidade depende principalmente da seção transversal do condutor (área em mm^2),

do material (cobre ou alumínio), do tipo de isolamento (PVC, EPR, XLPE – cada qual suporta certa temperatura, tipicamente 70 °C para PVC) e das condições de instalação (método de dissipação do calor).

No dimensionamento do circuito de recarga, escolhe-se a seção do cabo (bitola) de modo que sua ampacidade I_z atenda: $I_z \geq I_n$ (corrente nominal do disjuntor) e, idealmente, $I_z \geq I_b$ (corrente de carga) com margem. As normas (IEC e NBR 5410) estabelecem esse critério e ainda pedem que se verifique se $I_b \leq I_n \leq I_z$ e I_2 (*corrente de atuação*) $\leq 1,45 \cdot I_z$, para garantir proteção térmica adequada (Electrical Installation Wiki, 2022). Em outras palavras, o cabo não deve aquecer excessivamente nem mesmo quando a proteção estiver no limiar de atuar.

Para determinar I_z , recorre-se às tabelas normativas. Por exemplo, na NBR 5410, a tabela 36 traz a corrente admissível para cabos de cobre unipolares em eletroduto (método B1) em diversas seções. Simplificadamente: 2,5 mm² ~ 21–24 A; 4 mm² ~ 28–32 A; 6 mm² ~ 36–40 A; 10 mm² ~ 50–55 A (valores variando conforme temperatura e nº de condutores carregados). Esses números ilustram que, se temos um circuito de 32 A, 6 mm² poderia ser suficiente em condições padrão (30 °C, 2 condutores no eletroduto). Entretanto, se o eletroduto tiver mais circuitos ou temperatura ambiente maior, aplicam-se fatores de correção: por exemplo, a 40 °C, a capacidade reduz ~13%; se houver 4 cabos carregados juntos, reduz mais ~20%. Assim, 6 mm² corrigido poderia cair para perto de 30 A admissíveis – insuficiente para 32 A contínuos – então adotar 10 mm² seria mais adequado. Esse raciocínio é típico no dimensionamento.

Na prática de projeto, costuma-se adotar margem de segurança. Para carregadores de 32 A, é comum já especificar 10 mm² em vez de 6 mm², pois esse circuito tende a estar em uso prolongado (evitando trabalhar no limite da ampacidade). Além disso, condutores de maior seção apresentam menor resistência elétrica, ajudando a cumprir queda de tensão. Portanto, a escolha da seção do cabo não é simplesmente igualar corrente e capacidade, considera-se também durabilidade e eficiência. Em instalações prediais, quase sempre se utiliza cobre, que conduz melhor que alumínio para a mesma seção. Alumínio costuma ser empregado só em alimentadores de seções grandes, mas para circuitos finais como do carregador (seções médias) o cobre é preferível, pela melhor condutividade e maleabilidade nas conexões. A NBR 5410 possui tabelas separadas para ambos (cobre e alumínio) – (ABNT, 2020).

2.5.3. Critérios de queda de tensão (limites e justificativa técnica)

A queda de tensão em um circuito é a redução no valor da tensão elétrica entre a origem (quadro) e o ponto de consumo, causada pela resistência (e reatância) dos condutores. Embora inevitável, essa queda deve ser limitada para garantir o bom funcionamento dos equipamentos. Tecnicamente, um certo decréscimo de tensão ao longo dos cabos é tolerável, por exemplo, lâmpadas incandescentes apenas ficariam um pouco menos brilhantes, motores podem compensar até certo ponto. Mas para não comprometer a performance, as normas definem limites percentuais.

Conforme já citado, a ABNT NBR 5410 recomenda: queda de tensão $\leq 5\%$ entre o medidor de energia (origem) e qualquer ponto terminal da instalação, para instalações alimentadas pela rede de distribuição pública. Esse percentual se refere à tensão nominal. Assim, em 220 V, 5% equivalem a 11 V de queda admissível. Para instalações de fonte própria (ex.: gerador isolado), tolera-se até 7% porque a estabilidade de tensão intrínseca já é controlada pelo próprio sistema. Porém, alguns sistemas específicos exigem limites mais estritos, por exemplo, para iluminação de emergência a norma exige $\leq 5\%$ em todo circuito (ABNT, 2020).

No caso de circuitos terminais individuais, muitas vezes se adota 3% como limite preferencial. Esse valor não está explícito na NBR 5410 para todos os casos, mas aparece em normas estrangeiras (como BS 7671 inglesa) para circuitos de iluminação. No Brasil, utiliza-se 3% como boa prática para iluminação e 5% para tomadas em geral. Para um ponto de recarga, que é efetivamente uma tomada especial, podemos nos guiar pelo limite geral de 5%. Entretanto, visando *excelência* no projeto, tentar manter a queda $\leq 3\%$ ou 4%, segundo a norma (ABNT, 2020), é recomendável.

O cálculo de queda de tensão envolve fórmulas do tipo $\Delta V = I * (R \cos \varphi + X \sin \varphi) * L$, para circuitos monofásicos ou trifásicos, onde R e X são resistência e reatância do condutor por km. Ferramentas de projeto ou mesmo cálculo manual a partir de tabelas (que fornecem queda de tensão em V/A·km para cada bitola) podem ser usados (ABNT, 2020).

2.5.4. Coordenação entre condutor e proteção contra sobrecorrente (conceitos de I_b , I_n e I_z)

Para assegurar a segurança do circuito elétrico, o dimensionamento do condutor e a seleção do dispositivo de proteção (disjuntor/fusível) devem ser coordenados. Há três correntes-chave envolvidas:

- I_b – corrente de projeto (ou carga) do circuito, isto é, a corrente que efetivamente se espera que flua no uso normal (por exemplo, 30 A).
- I_n – corrente nominal (ou ajuste) do dispositivo de proteção contra sobrecorrente que protege o circuito (por exemplo, disjuntor 32 A).
- I_z – corrente máxima admissível (ampacidade) do condutor escolhido para o circuito, considerando já os fatores de correção aplicáveis (por exemplo, cabo suporta até 40 A sem exceder a temperatura).

A regra de coordenação dita pelos standards (IEC 60364 e NBR 5410) é: $I_b \leq I_n \leq I_z$. Ou seja, a proteção deve ter capacidade igual ou ligeiramente superior à carga para não atuar indevidamente durante a operação normal ($I_n \geq I_b$), mas ao mesmo tempo o cabo deve poder conduzir continuamente a corrente do disjuntor sem sofrer danos ($I_z \geq I_n$). Quando essa desigualdade é satisfeita, tem-se a garantia de que o condutor não será sobrecarregado sem que o disjuntor atue.

2.6. PROTEÇÕES ELÉTRICAS APLICADAS AO PONTO DE RECARGA

2.6.1. Proteção contra sobrecorrente e curto-circuito

A proteção contra sobrecorrentes – que englobam sobrecargas e curtos-circuitos – é indispensável em qualquer circuito elétrico, e não é diferente para o ponto de recarga. O dispositivo mais utilizado para essa função é o disjuntor termomagnético, que reúne dois mecanismos: o térmico (bimetálico) para sobrecargas prolongadas e o magnético (eletromagnético) para curtos de alta corrente (atua quase instantaneamente). Em alguns casos, fusíveis do tipo gL/gG podem ser empregados, mas em instalações prediais os disjuntores têm predomínio por permitirem rearme fácil.

A função do disjuntor é interromper o circuito caso a corrente exceda níveis seguros, protegendo principalmente os condutores e conexões contra aquecimento excessivo (que poderia derreter isolamento e causar incêndio). No contexto

do carregador, dimensionado para corrente I_b , uma sobrecarga poderia ocorrer se, por exemplo, houver falha no controle do veículo ou outro defeito fazendo-o puxar mais corrente que o previsto. O disjuntor então abriria após algum tempo (inversamente proporcional ao excedente de corrente). Já um curto-circuito franco – seja entre fase e neutro ou fase e terra – resultaria em corrente muito alta, e o disparador magnético do disjuntor atuaria em poucos milissegundos, desligando imediatamente o circuito e limitando os danos.

Critérios de seleção: a corrente nominal I_n do disjuntor deve ser escolhida conforme vimos: $\geq$ corrente de projeto I_b , mas não muito acima para ainda fornecer proteção. Por exemplo, $I_b = 30\text{ A} \rightarrow \text{disjuntor } I_n = 32\text{ A}$. Além disso, deve-se assegurar que $I_n \leq I_z$ do cabo (para proteger o cabo). Outro critério importante é a capacidade de interrupção do disjuntor, expressa em kA, que deve ser maior ou igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação (I_{sc}). Em um circuito de garagem próximo ao quadro, o I_{sc} trifásico pode ser da ordem de alguns kA (digamos 3 kA a 5 kA). Se o disjuntor tem poder de corte 6 kA ou 10 kA (padrões comuns residenciais), atende com folga, mas é preciso verificar esse aspecto (Electrical Installation Wiki, 2022).

No que tange à curva de atuação do disjuntor (B, C, D, K, etc.), usualmente emprega-se curva C para circuitos de tomadas e equipamentos gerais. Curva C significa que o disparador magnético atua em torno de 5–10 I_n . Isso lida bem com características da rede típica e evita disparos por transientes moderados. Em carregadores de VE, o impulso de corrente ao conectar é baixo (não há partida de motor, etc.), então um disjuntor curva B (3–5 I_n) também funcionaria; contudo, por convenção e para evitar disparos com eventuais harmônicas ou pequenos transitórios, a curva C é preferida. Curvas mais lentas (D) só seriam justificadas se o circuito tivesse elevadas correntes de inrush, o que não é o caso.

Em instalações maiores, às vezes usa-se uma combinação disjuntor + fusível ou dois estágios de disjuntores (um geral e outro do ramal) para melhorar a proteção em diferentes níveis de corrente. Mas para um único ponto de recarga, um disjuntor unipolar+N (em sistema monofásico) ou tripolar (trifásico) de calibre apropriado no quadro é suficiente para atender à proteção contra curtos e sobrecargas.

2.6.2. Proteção contra choques elétricos

A proteção diferencial residual, comumente chamada DR (Dispositivo Diferencial Residual) ou RCD (*Residual Current Device*), tem o objetivo de proteger pessoas (e eventualmente patrimônios) contra choques elétricos e correntes de fuga. Seu princípio de funcionamento baseia-se em detectar qualquer diferença entre a corrente que vai pelo condutor fase e a que retorna pelo neutro (em circuitos monofásicos) ou soma vetorial das fases vs neutro em trifásicos. Em situação normal, toda corrente que sai pela fase deve retornar pelo neutro; se houver uma diferença, por exemplo, corrente “desviando” por terra através do corpo de uma pessoa, o DR identifica esse desequilíbrio e desliga o circuito instantaneamente quando a diferença ultrapassa um limiar definido (sensibilidade).

A melhor prática é instalar um DR Tipo B 30 mA dedicadamente no circuito do carregador, garantindo proteção total. Alternativamente, se o carregador tiver certificação de incorporar proteção interna para fuga DC de 6 mA, pode-se usar um DR Tipo A 30 mA no quadro alimentador do circuito, conforme indicado por fabricantes e normas nacionais recentes. De qualquer modo, um dispositivo diferencial residual deve estar presente. De fato, o guia brasileiro Immetro/Conpet recomenda DR no ponto de recarga e a NBR 5410 implicitamente pede DR em circuitos de tomada em áreas molhadas (garagem pode ser considerada assim). Conforme já mencionamos, a instalação típica terá um disjuntor + DR (Siemens, 2017).

No projeto do presente trabalho, será especificado um DR classe B, 30 mA, com corrente nominal compatível (por exemplo, 40 A) no circuito do carregador, de modo a garantir proteção integral conforme as normas internacionais e nacionais mais recentes aplicáveis a estações de recarga. Esse DR deverá ser instalado de forma a proteger todo o circuito desde a saída do quadro de distribuição até o ponto de conexão com o veículo, sendo tipicamente montado no próprio quadro, ao lado do disjuntor do ramal que alimenta o carregador.

2.6.3. Proteção contra surtos elétricos

Surges elétricos – sobretensões transitórias de curta duração – podem ser causados por descargas atmosféricas (raios) ou manobras na rede de energia. Esses surtos têm potencial para danificar equipamentos eletrônicos sensíveis, e as

estações de recarga de VE certamente se enquadram nessa categoria (possuem placas de controle, comunicação etc.). A proteção contra surtos se dá pela instalação de DPS (Dispositivos de Proteção contra Surtos), também chamados SPDs (IMConnection, 2025).

Um DPS atua como uma espécie de “válvula” de tensão: sob condições normais, ele apresenta impedância muito alta, isolando o circuito. Quando detecta uma sobretensão acima de certo limiar, ele rapidamente comuta para um estado de baixa impedância, desviando a corrente de surto para a terra, limitando a tensão que chega aos equipamentos a um nível seguro (chamado nível de proteção Up do DPS). Em seguida, após o transiente, ele retorna ao estado não-condução.

Para proteger um ponto de recarga, deve-se avaliar o cenário: se a edificação já possui DPS no quadro geral, e o ramal do carregador é derivado dali, talvez já esteja protegido em grande medida. Porém, considerando que carregadores muitas vezes ficam em áreas expostas (garagens abertas) e conectados a longos cabos, é prudente sim usar DPS de forma dedicada ou no quadro seccionador do circuito.

A instalação de DPS de surto no circuito do carregador é uma boa prática de engenharia que aumenta muito a resiliência do sistema contra eventos transitórios. No nosso projeto, especificaremos um DPS Classe II (Tipo 2) no quadro de alimentação do wallbox, devidamente conectado a PE, complementando as proteções de sobrecorrente e diferencial já mencionadas. Isso protegerá a eletrônica do EVSE e do próprio veículo (que ficaria conectado) contra picos de tensão que a rede possa sofrer (IMConnection, 2025).

2.7. ATERRAMENTO, EQUIPOTENCIALIZAÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES

2.7.1. PE, eletrodo de aterramento, barramento de terra e equipotencialização

Aterramento elétrico é a conexão intencional de um ponto do sistema elétrico ao potencial do solo (terra). No contexto de instalações prediais de baixa tensão, usa-se um condutor de proteção (PE) ligado às partes metálicas expostas dos equipamentos (carcaças, estruturas) e a um eletrodo de aterramento – que pode ser uma haste cravada no solo, uma malha metálica ou outro elemento de dispersão – para garantir que essas partes metálicas permaneçam, em condições normais, no

mesmo potencial do solo (0 V). O principal objetivo é segurança contra choques: se uma falha energizar uma carcaça, o condutor PE proverá um caminho de baixa impedância para a corrente de falta escoar à terra e acionar as proteções (disjuntor ou DR), além de manter a carcaça próximo do potencial de terra, mitigando o choque em quem tocar (ABNT, 2020).

Equipotencialização consiste em interligar as massas metálicas das instalações e partes metálicas não relacionadas à elétrica (tubulações de água, estruturas metálicas prediais, ferragens) ao sistema de aterramento, de modo a não haver diferença de potencial perigosa entre elas. Em ambientes como garagens, imagine uma pessoa encostando no carro (ligado ao PE do carregador) e no portão metálico do prédio – se ambos estiverem equipotencializados ao mesma terra, não haverá tensão entre carro e portão, evitando choque. A NBR 5410 exige a existência de barramentos de equipotencialização principal e suplementar em edificações, conectando terras de sistemas diversos (TV, para-raios, tubulações) para igualdade de potencial.

No caso do carregador veicular, a massa do veículo ao conectar-se fica eletricamente ligada ao condutor PE do ponto de carga (via pino terra do conector). Portanto, o chassi do carro integra-se à malha de aterramento do prédio. Isso é desejável, pois se o veículo sofrer alguma falha de isolamento interna, sua carcaça será levada ao potencial de terra e o DR identificará a fuga. Em contrapartida, se houvesse diferença de terra entre o local onde o carro está estacionado e a terra do quadro, poderia fluir corrente por essa diferença. Daí a importância de um bom sistema equipotencial: garagens devem ter malha ou hastes suficientes para que todo concreto úmido (que pode entrar em contato com pneus, pessoas descalças) esteja próximo do potencial do aterramento do sistema.

No projeto, será garantido que o ponto de recarga possua um condutor de proteção PE adequado (com seção igual à do condutor de fase, até 10 mm²), devidamente ligado ao barramento de terra do condomínio. Também será recomendada a verificação de que a resistência de aterramento esteja dentro de valores aceitáveis (tipicamente < 10 Ω em instalações gerais; alguns projetos adotam < 5 Ω para melhores resultados).

2.7.2. Continuidade do PE e consequências de falhas em recarga veicular

A continuidade do condutor de proteção (PE) é um aspecto não negociável para segurança de qualquer circuito – e ganha destaque especial em pontos de recarga de veículos. Isso porque o veículo elétrico, quando conectado, torna-se uma extensão da instalação: seu chassi estará ligado ao PE do prédio. O sistema de controle do carregador *Modo 3*, inclusive, só permite iniciar a carga após verificar que o condutor terra está devidamente conectado (IEC, 2017). Nas estações conforme IEC 61851, há um circuito de monitoramento do aterramento: se o EVSE detectar ausência de terra (por exemplo, resistência de terra acima de um limite ou condutor desconectado), ele inibe a energização da tomada, impedindo o início da carga por segurança.

A falta do PE anula grande parte das camadas de segurança: o DR não “vê” a fuga pois não há retorno de desequilíbrio, e o usuário fica exposto. As normas tratam isso impondo, por exemplo, que tomadas fixas tenham pino de terra e que nunca se instale uma tomada do carregador sem conexão de terra. É relevante mencionar que o controle piloto do Modo 3 também utiliza o condutor PE como referência de 0 V para comunicação; se o PE estiver interrompido, a comunicação se perde, possivelmente levando o veículo a parar de consumir corrente (fail-safe). Essa é mais uma razão para que a carga interrompa se o PE for desconectado durante o processo.

2.8. CONECTORES, TOMADAS E PADRÃO DE ACOPLAMENTO

2.8.1. Interfaces comuns (Type 1/Type 2)

No tema de recarga veicular em AC, os conectores utilizados para a conexão física entre veículo e infraestrutura seguem padrões internacionais definidos (conforme visto na IEC 62196). Os dois modelos mais difundidos globalmente são comumente referidos como Tipo 1 e Tipo 2:

- Conector Tipo 1: também conhecido como SAE J1772, é o padrão originalmente adotado na América do Norte e Japão para carga AC monofásica. Possui 5 pinos (Linha, Neutro, Terra, Pilot, Proximity) e suporta até ~7,4 kW (32 A @ 240 V). Nos EUA é chamado “conector J-plug”. Veículos japoneses e americanos mais antigos (Nissan Leaf, Chevy Volt das primeiras

gerações) vinham com entrada Tipo 1. No Brasil, poucos modelos usam Tipo 1 – geralmente importados do Japão ou EUA.

- Conector Tipo 2: conhecido informalmente como Mennekes (devido à empresa que o popularizou), é o padrão europeu trifásico. Possui 7 pinos (3 fases, neutro, terra, pilot, proximity) e suporta carga AC monofásica ou trifásica. Com ele, consegue-se desde 3,7 kW (uma fase 16 A) até 22 kW (trifásico 32 A) e, em alguns casos, 43 kW (trifásico 63 A). A maior parte dos veículos elétricos comercializados na Europa e Brasil possuem entrada Tipo 2. Quando combinada com pinos adicionais para DC, forma o conector Combo 2 (CCS2) para carga rápida, mas aqui tratamos só do AC.

As interfaces comuns para recarga AC do estudo são as baseadas em IEC 62196-2 Tipo 2 (principal) e eventualmente Tipo 1 (secundário), cabendo ao projeto prever a compatibilidade necessária (IEC, 2017).

2.8.2. Diferença entre “tomada doméstica” e ponto de recarga dedicado (Modo 3)

É importante esclarecer a distinção entre uma tomada elétrica comum, do tipo usada em residências para eletrodomésticos, e um ponto de recarga veicular dedicado em Modo 3. Embora ambos sejam pontos de conexão à rede, suas características de projeto e segurança diferem substancialmente.

Uma tomada doméstica padrão (como NBR 14136 10 A ou 20 A) não foi concebida para suportar por longos períodos correntes elevados próximos ao seu limite. Por exemplo, a tomada de 20 A (usada em circuitos de ar-condicionado, microondas etc.) pode aquecer se for submetida a 16–20 A contínuos durante horas. Estudos demonstram que tomadas residenciais podem falhar ou até incendiar sob carga contínua prolongada, pois seus contatos e materiais não dissipam o calor adequadamente. Além disso, tomadas comuns geralmente não possuem nenhum mecanismo de comunicação ou trava de segurança: a energia está sempre presente nos bornes, e qualquer plug inserido acidentalmente libera tensão (Yellomob, 2024).

Já um ponto de recarga dedicado Modo 3 (seja uma wallbox ou uma tomada Tipo 2) é projetado especificamente para operar em altas correntes por tempo prolongado com segurança.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada em cinco etapas sequenciais, organizadas de forma a garantir a elaboração, a montagem e a validação da infraestrutura elétrica de um ponto de recarga veicular em corrente alternada (AC), com potência de 7,4 kW. O método utilizado é aplicado, de natureza tecnológica, com abordagem quantitativa e prática.

3.1. LEVANTAMENTO DE REQUISITOS TÉCNICOS E NORMATIVOS

A primeira etapa consistiu na pesquisa e revisão técnica de normas e documentos regulatórios, como a ABNT NBR 5410:2020, a NBR IEC 61851-1:2021 e a NR-10, bem como materiais técnicos fornecidos por fabricantes e guias internacionais. Essa etapa permitiu definir critérios para o circuito dedicado, proteção contra choques elétricos, sobrecorrente, sobretensões, seccionamento e segurança na instalação elétrica.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO ELÉTRICO

Com base nos parâmetros normativos e nas condições de carga (7,4 kW em 220 V monofásico), foi realizado o dimensionamento dos condutores elétricos, considerando método de instalação, agrupamento de circuitos, fator de correção por temperatura e limites de queda de tensão. A corrente nominal foi estimada para dimensionamento dos disjuntores e do dispositivo diferencial residual (DR). Também foram considerados os critérios de coordenação entre condutor e proteção, conforme as correntes I_b , I_n e I_z .

3.3. SELEÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE COMPONENTES

Foram especificados os dispositivos de proteção e seccionamento, incluindo:

- Disjuntor termomagnético bipolar, para proteção contra sobrecorrente e curto-circuito;
- Dispositivo diferencial residual (DR), tipo A, com sensibilidade de 30 mA, para proteção contra choques elétricos;

- Dispositivo de proteção contra surtos (DPS), tipo 2, para proteção contra sobretensões;
- Contatores e botoeiras para manobra e sinalização do circuito.

A estrutura de alimentação foi projetada com circuito exclusivo identificado, com canaletas e bornes organizados, visando facilitar inspeção e manutenção futura.

3.4. MONTAGEM DO PAINEL DE RECARGA

A montagem foi realizada em bancada, simulando o ambiente de instalação final. A infraestrutura física incluiu:

- Placa de montagem metálica;
- Barramento de terra e neutro;
- Canaletas plásticas para organização dos condutores;
- Identificação visual do circuito e dos componentes.

As conexões elétricas foram realizadas com terminais e cabos dimensionados de acordo com os cálculos, respeitando as cores normalizadas para condutores de fase, neutro e proteção.

3.5. VERIFICAÇÃO FUNCIONAL E TESTES

Após a montagem, foram executadas verificações elétricas e testes operacionais com carga simulada. As verificações incluíram:

- Teste de continuidade do condutor de proteção (PE);
- Medição de tensões na saída do circuito;
- Acionamento do disjuntor e simulação de falha para atuação do DR;
- Medição de corrente sob carga.

Os testes buscaram validar o funcionamento correto dos dispositivos de proteção e a integridade da instalação. As medições foram registradas e comparadas com os parâmetros de projeto.

4. DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta a aplicação prática das etapas descritas na metodologia, com foco na infraestrutura elétrica para um ponto de recarga veicular em corrente alternada (AC), potência de 7,4 kW, tensão de 220 V. O desenvolvimento compreende o dimensionamento do circuito, escolha de dispositivos de proteção, montagem e testes de funcionamento.

4.1. CÁLCULO DA CORRENTE ELÉTRICA DO PONTO DE RECARGA

A corrente elétrica foi calculada com base na potência nominal da carga (7,4 kW) em um sistema monofásico (220 V):

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{7400}{220 \cdot 1,0} \approx 33,64 \text{ A}$$

Foi adotado fator de potência unitário, pois o equipamento utiliza retificação para carga de baterias, tipicamente próxima de $\cos\phi = 1$ em operação contínua.

4.2. DIMENSIONAMENTO DO CABO E CRITÉRIOS DE INSTALAÇÃO

Com a corrente de 33,64 A e considerando:

- Método de instalação B1 (condutores em eletroduto embutido),
- Temperatura ambiente de 30°C,
- Sem agrupamento,

A tabela da NBR 5410:2020 indica que um cabo de cobre de 6 mm² suporta 36 A nesse cenário. Assim, o cabo de 6 mm² é tecnicamente adequado, com margem de segurança, considerando isolação de 70 °C (PVC), conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1. Capacidade de condução de corrente (NBR 5410)

Seção (mm²)	Corrente admissível (A) – Método B1	Material	Tipo de isolamento
4,0	28	Cobre	PVC
6,0	36	Cobre	PVC
10,0	50	Cobre	PVC

Fonte: (ABNT NBR 5410, 2020)

4.3. CÁLCULO DA QUEDA DE TENSÃO

A queda de tensão admissível para circuitos terminais, segundo a NBR 5410, é de até 4%:

$$\Delta V_{m\acute{a}x} = 220 \cdot 0,04 = 8,8 \text{ V}$$

Para o circuito de 15 metros, com cabo de 6 mm²:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{A} = \frac{2 \cdot 0,0175 \cdot 15 \cdot 33,64}{6} \approx 2,94 \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{2,94}{220} \cdot 100 \approx 1,34\%$$

Resultado satisfatório, dentro do limite de 4%.

4.4. Seleção de dispositivos de proteção

4.4.1. Disjuntor termomagnético

O disjuntor foi dimensionado para corrente superior à de projeto, com capacidade de interrupção compatível com o curto-circuito presumido. Foi selecionado disjuntor bipolar curva C, 40 A.

4.4.2. Dispositivo DR (diferencial residual)

Para proteção contra choques elétricos por contato indireto, foi utilizado DR tipo A, 40 A, com sensibilidade de 30 mA, conforme recomendação da NBR 5410 e da norma IEC 61851-1.

4.4.3. DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos)

Foi instalado um DPS tipo 2, tensão nominal 275 V, com ligação ao barramento de proteção (PE), visando proteção do circuito contra surtos de origem atmosférica ou manobras da rede.

A tabela 2 mostra os dispositivos de proteção conforme cada especificação.

Tabela 2. Especificações dos dispositivos de segurança

Dispositivo	Corrente nominal	Tipo	Sensibilidade	Função principal
Disjuntor	40 A	Bipolar C	–	Proteção contra sobrecorrentes
DR	40 A	Tipo A	30 mA	Proteção contra choques elétricos
DPS	40 kA (8/20 μ s)	Tipo 2	–	Proteção contra surtos transitórios

Fonte: (Autores, 2025)

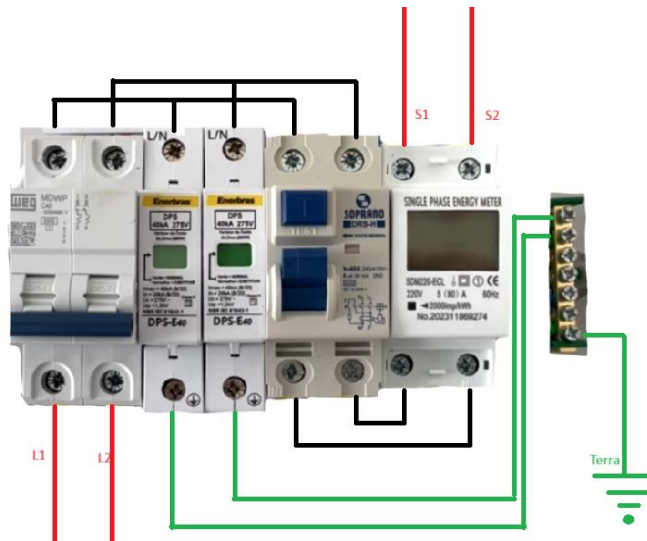
4.5. MONTAGEM DO PAINEL ELÉTRICO

A montagem foi realizada com base no diagrama elaborado conforme mostrado na imagem 2 e montado sobre placa metálica (imagem 3 e imagem 4), com canaletas e identificação visual clara. Foram utilizados bornes de conexão, cabos com terminais prensados e fixação com abraçadeiras.

Componentes instalados:

- Disjuntor bipolar 40 A curva C;
- DR bipolar 40 A, 30 mA tipo A;
- DPS tipo 2;
- Contator para manobra com sinalização luminosa;
- Botãoeira de acionamento;
- Sinalizador indicativo de circuito energizado.

Imagem 2. Diagrama funcional de montagem



Fonte: (Autores, 2025)

Imagem 3. Painel Montado



Fonte: (Autores, 2025)

4.6. TESTES E VALIDAÇÃO FUNCIONAL

Após a montagem, foram realizados, conforme mostrado na tabela 3, os seguintes testes:

- Teste de continuidade do condutor PE: confirmado com multímetro.
- Teste de tensão nominal na saída: 220 V confirmados.
- Simulação de falha de isolamento: DR atuou corretamente ao injetar fuga superior a 30 mA.

- Teste com carga resistiva: ligado aquecedor de 7.000 W, corrente medida ~31,8 A.

Tabela 3. Resultados dos testes

Teste realizado	Resultado	Observações
Continuidade do PE	Aprovado	Resistência $\approx 0,4$ ohm
Tensão na saída	220 V	Estável
Atuação do DR	Aprovado	Desarmou com fuga simulada
Medição de corrente sob carga	31,8 A	Dentro da corrente de projeto
Verificação de aquecimento de cabos	Sem aquecimento excessivo	Temperatura estável ao toque

Fonte: (Autores, 2025)

4.7. AVALIAÇÃO FINAL

Os testes confirmaram que o circuito está dimensionado e protegido de forma adequada, com desempenho seguro e funcionamento dentro dos parâmetros normativos. A infraestrutura é modular e permite futura expansão ou adequação ao tipo de carregador (EVSE).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente adoção de veículos elétricos no Brasil e no mundo tem demandado soluções seguras, eficientes e normatizadas para a recarga desses veículos, especialmente em ambientes residenciais e condominiais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo projetar, montar e testar uma infraestrutura elétrica dedicada para um ponto de recarga em corrente alternada (AC), com potência

de 7,4 kW, atendendo aos requisitos da baixa tensão e às exigências normativas da ABNT e IEC.

Através de uma abordagem prática e fundamentada em normas como a ABNT NBR 5410:2020, NBR IEC 61851-1:2021 e diretrizes da NR-10, foi possível identificar os principais desafios técnicos associados à instalação de sistemas de recarga: alta corrente de operação, tempo prolongado de carregamento, necessidade de proteção contra choques elétricos, curtos-circuitos e sobretensões, além do correto dimensionamento dos condutores e da verificação de queda de tensão.

O projeto desenvolvido envolveu todas as etapas críticas de uma instalação elétrica segura: levantamento de requisitos técnicos, cálculo de corrente e queda de tensão, escolha criteriosa dos condutores e dispositivos de proteção (disjuntor, DR e DPS), montagem física do painel e realização de testes de funcionamento com carga simulada. Todos os resultados obtidos estiveram dentro dos parâmetros esperados, demonstrando a robustez do dimensionamento e a conformidade com as boas práticas de engenharia elétrica.

Além disso, o trabalho reforça a importância da utilização de circuitos exclusivos para recarga veicular, devidamente identificados e com capacidade de seccionamento. A proteção diferencial (DR tipo A) e o DPS foram essenciais para garantir a segurança do usuário e a integridade dos equipamentos frente a falhas de isolamento e surtos elétricos, alinhando a instalação ao que preconizam as normas internacionais (IEC 61851, IEC 60364).

Do ponto de vista formativo e técnico, o projeto permitiu aplicar na prática os conceitos de instalações elétricas, leitura e aplicação de normas técnicas, dimensionamento de componentes, montagem de painéis e uso de instrumentos de medição. Como continuidade e expansão deste trabalho, recomenda-se a implementação de sistemas de monitoramento do consumo elétrico do ponto de recarga, permitindo maior controle sobre o uso da energia e facilitando a gestão do consumo individualizado. Também se sugere a avaliação do impacto da recarga simultânea de múltiplos veículos na infraestrutura elétrica de condomínios, considerando as limitações da demanda instalada e a necessidade de ajustes na distribuição de cargas. Além disso, é indicada a realização de estudos voltados à integração do sistema de recarga com geração fotovoltaica e estratégias de gerenciamento de carga, visando maior eficiência energética, sustentabilidade e redução de custos operacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:2020** – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61851-1:2021** – Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BARRETO, Paulo. Capacidade de condução de corrente de condutores. **O Setor Elétrico**, 2025. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/capacidade-de-conducao-de-corrente-de-condutore>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BROWN, Abby et al. **Electric Vehicle Charging Infrastructure Trends from the Alternative Fueling Station Locator**: First Quarter 2024. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2024. Disponível em: www.nrel.gov/publications. Acesso em: 26 nov. 2025.

BYD ENERGIA. **Carregador de carro elétrico**. 2025. Disponível em: <https://bydennergia.com/carregador-de-carro-eletrico/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

CCM ENERGIA. **Carregadores inteligentes em condomínios**: o investimento que atrai moradores e garante retorno. Blog CCM Energia, 2025. Disponível em: <https://www.ccmenergia.com.br/blog/carregadores-inteligentes-em-condominios-o-investimento-que-atrapi-moradores-e-garante-retorno/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARTMENT. Technical Guidelines on Charging Facilities for Electric Vehicles. Hong Kong, 2015.

ELECTRICAL INSTALLATION WIKI. Electric vehicle and EV charging fundamentals. Schneider Electric, 2021. Disponível em: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_Vehicle_and_EV_charging_fundamentals. Acesso em: 26 nov. 2025.

ELECTRICAL INSTALLATION WIKI. Practical values for a protective scheme. Schneider Electric, 2022. Disponível em: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Practical_values_for_a_protective_scheme. Acesso em: 26 nov. 2025.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61851-1:2017** – Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements. Geneva: IEC, 2017. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/en/publication/33644>. Acesso em: 26 nov. 2025.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62196** – Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles. Geneva: IEC, 2014–2022.

IMCONNECT. Produto: estação de carregamento veicular. 2025. Disponível em: <https://imconnection.com.br/produto/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global EV Outlook 2024: Trends in electric cars. Paris, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO. Norma Regulamentadora n.º 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília: MTE, 2020.

NAPOLI, Eric. **Venda de carros elétricos no Brasil dobra em comparação a 2023.** Poder360, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/poder-economia/venda-de-carros-eletricos-no-brasil-dobra-em-comparacao-a-2023/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

OLIVEIRA, Lediane de; JERÔNIMO, Michele; JUSTUS JUNIOR, Zanderlei. **Estudo de infraestrutura para recarga de veículos elétricos em condomínios residenciais.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Orientador: Prof. Dr. Uilian José Dreyer.

YELLOTMOB: posso carregar meu carro elétrico em qualquer tomada? 2024. Disponível em: <https://yellotmob.com.br/mobilidade-eletrica/posso-carregar-meu-carro-eletrico-em-qualquer-tomada/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

POWER WATER. **Electric Vehicle Supply Equipment Technical Specification.** 2025.

SIEMENS. **Unidade de Carregamento VersiCharge™ IEC:** carregamento seguro de veículos elétricos. 2025. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:cf64b72e-e047-46bd-804c-36173cbc8d7b/informacoes-gerais-versicharge-iec-pt.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2025.

VARGAS, Julia. **Venda de carros elétricos cresce no Brasil.** Autopapo, 2024. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/>. Acesso em: 26 nov. 2025.