

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LEDIANE DE OLIVEIRA
MICHELE JERÔNIMO
ZANDERLEI JUSTUS JUNIOR

**ESTUDO DE INFRAESTRUTURA PARA RECARGA DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**

CURITIBA
2021

LEDIANE DE OLIVEIRA
MICHELE JERÔNIMO
ZANDERLEI JUSTUS JUNIOR

**ESTUDO DE INFRAESTRUTURA PARA RECARGA DE VEÍCULOS
ELÉTRICOS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**

**INFRASTRUCTURE STUDY FOR ELECTRIC VEHICLE RECHARGING
IN RESIDENTIAL CONDOMINIUMS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Uilian José Dreyer

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LEDIANE DE OLIVEIRA
MICHELE JERÔNIMO
ZANDERLEI JUSTUS JUNIOR

ESTUDO DE INFRAESTRUTURA PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10 de agosto de 2021.

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna
Mestra
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Clider Adriane De Sousa Silva
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Luiz Erley Schafranski
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2021

RESUMO

DE OLIVEIRA; Lediane, A.; JERONIMO; Michele, B.; JUSTUS JUNIOR, Zanderlei, C. **ESTUDO DE INFRAESTRUTURA PARA RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**. 2021. 71f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

O crescimento do número de veículos elétricos rodando pelo Brasil tem sido constante nos últimos 10 anos, portanto adequar as instalações elétricas em condomínios residenciais existentes é um grande desafio para projetistas. O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo da infraestrutura elétrica necessária para recarga de veículos elétricos em condomínios residenciais existentes. Com base nisso, foi estudado um projeto preliminar de um condomínio em Curitiba, visando dimensionar os principais componentes, realizar correções na instalação atual, aplicar os conceitos técnicos das normas nacionais e principalmente instalar estações de recarga em todas as vagas, fazendo uso de tecnologias de carregamentos inteligentes. O estudo de caso teve como resultados principais o desenvolvimento de um fluxograma para determinar a demanda necessária para instalar carregadores e ainda incluir o número mínimo de estações de recarga no edifício segundo a NTC902210, usando como diferencial gerenciadores de carga, o que traz uma possibilidade para acréscimo futuro de estações de recarga em todas as vagas do condomínio.

Palavras chaves: Veículos elétricos. Gerenciador de carga. Instalações elétricas. Condomínios. Estações de recarga.

ABSTRACT

DE OLIVEIRA; Lediane, A.; JERONIMO; Michele, B.; JUSTUS JUNIOR, Zanderlei, C. **INFRASTRUCTURE STUDY FOR ELECTRIC VEHICLE RECHARGING IN RESIDENTIAL CONDOMINIUMS**. 2021. 71f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

The growth in the number of electric vehicles running in Brazil has been constant over the last 10 years, so adapting electrical installations in existing residential condominiums is a major challenge for engineers. The present undergraduate thesis aims to carry out a study of the electrical infrastructure needed to recharge electric vehicles in existing residential condominiums. Based on this, a preliminary project of a condominium in Curitiba was studied, aiming to dimension the main components, make corrections to the current installation, apply the technical concepts of national standards and especially install charging stations in all parking spaces, making use of smart charging technologies. The main results of the case study were the development of a flowchart to determine the demand needed to install chargers and also include the minimum number of charging stations in the building according to NTC902210, using load management as a differential, which brings a possibility to future addition of charging stations in all parking spaces in the condominium.

Keywords: Electric vehicles. Load management. Electrical installations. Condominiums. Charging stations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estados com isenção ou desconto no IPVA para VEs.....	13
Figura 2 - Eletroposto da eletrovia COPEL de Paranaguá a Foz do Iguaçu	18
Figura 3 - Gerenciamento de carga: comutação	33
Figura 4 - Controle de carga estática	37
Figura 5 - Controle de carga dinâmica	38
Figura 6 - Controle de carga dinâmica	44
Figura 7 - Conexões do gerenciador	46
Figura 8 - Estações de recarga.	47
Figura 9 - Conexões do gerenciador	48
Figura 10 - Diagrama dos painéis da instalação atual.....	49
Figura 11 - Diagrama com inserção de ER e gerenciador de carga.....	50
Figura 12 - Método de instalação dos condutores.....	51
Figura 13 - Diagrama unifilar	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das estações de recarga	23
Tabela 2 - Características de recarga dos veículos elétricos estudados.....	26
Tabela 3 - Parâmetros de demanda da instalação.....	43
Tabela 4 - Quadro de cargas de QD-ER.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Emissores de GEE no setor energético brasileiro	12
Gráfico 2 - Licenciamento de autoveículos elétricos novos - 2013/2020.....	17
Gráfico 3 - Volume de vendas mensais de veículos <i>plug-in</i>	21
Gráfico 4 - Curvas de tensão e corrente dos VEs em recarga	26
Gráfico 5 - Corrente de carga X Percentual de carga da bateria.....	27
Gráfico 6 - Distorção harmônica total X Percentual de carga da bateria	27
Gráfico 7 - Fator de potência X Tempo	29
Gráfico 8 - Estado de carga X Tempo	29
Gráfico 9 - Carga sobre um transformador com e sem controle de energia.....	32

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	- Corrente Alternada
CAMEX	- Câmara de Comércio Exterior
CARB	- <i>California Air Resources Board</i>
CC	- Corrente Contínua
CCE	- Carregadores de Carros Elétricos
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
COPxx	- Conferência das Partes (onde xx é o número ordinal correspondente a conferência)
ER	- Estação de Recarga
EUA	- Estados Unidos da América
GEE	- Gases de Efeito Estufa
Hz	- Hertz
IEC	- Comissão Eletrotécnica Internacional
IP	- <i>Internet Protocol</i>
IPVA	- Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
MCI	- Motores de Combustão Interna
MtCO _{2e}	- Milhões de Toneladas de Gás Carbono Equivalente
NBR	- Norma Técnica Brasileira
NTC	- Norma Técnica Copel
RFID	- <i>Radio Frequency Identification</i>
SAVE	- Sistema de Alimentação do Veículo Elétrico
SOC	- <i>System on a Chip</i>
TC	- Transformador de Corrente
DHT	- Distorção Harmônica Total
V2G	- <i>Vehicle to Grid</i>
VE	- Veículo Elétrico
TUG	- Tomada de Uso Geral
ZEV	- <i>Zero Emmission Vehicle</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	TEMA DA PESQUISA	14
1.2	DELIMITAÇÕES DO TEMA.....	14
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS	15
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Objetivo geral	16
1.4.2	Objetivos específicos	16
1.5	JUSTIFICATIVA	16
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	VEÍCULOS ELÉTRICOS	20
2.1.1	História dos veículos elétricos.....	20
2.1.2	Veículos elétricos atualmente	21
2.1.3	Baterias.....	21
2.1.4	Modos de recarga	22
2.1.5	Potências de recarga	23
2.1.6	Configuração das estações de recarga.....	24
2.2	VEÍCULOS ELÉTRICOS NA REDE DE ALIMENTAÇÃO.....	24
2.2.1	Efeitos das distorções harmônicas.....	25
2.2.2	Fator de potência	28
2.3	TECNOLOGIAS RELEVANTES PARA A QUALIDADE DE ENERGIA	30
2.3.1	<i>Vehicle to Grid</i>	30
2.3.2	<i>Smart Grid</i>	30
2.3.3	<i>Smart Charging / Power Sharing</i>	31
2.3.4	Tipos de gerenciadores de carga	32

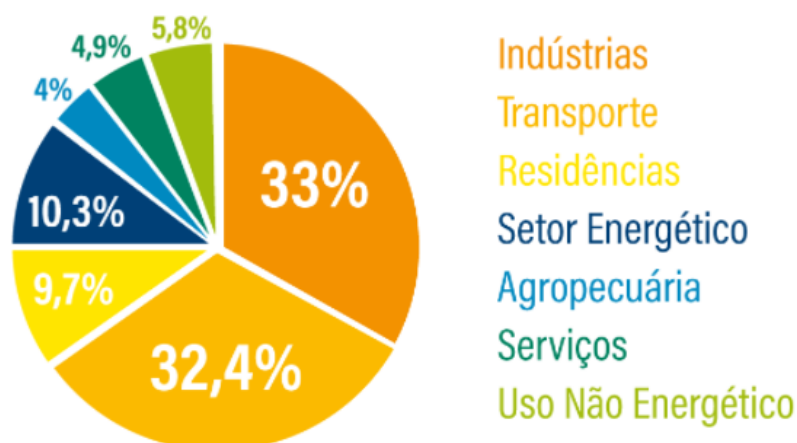
2.4	NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS	38
2.4.1	NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão	38
2.4.2	NTC 902210 – Estações de recarga de veículo elétrico	38
2.4.3	NBR 61851 – Sistemas de recarga condutiva para veículos elétricos	39
2.4.4	NTC 901100 – Fornecimento em tensão secundária	40
2.4.5	Normas técnicas para demais estados do Brasil	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	DADOS DO ESTUDO DE CASO	42
3.2	FLUXOGRAMA DE PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO	43
3.3	AUMENTO DA DEMANDA DO CONDOMÍNIO	44
3.4	ESTAÇÃO DE RECARGA E GERENCIADOR DE ENERGIA.....	45
3.4.1	Estação de recarga	47
3.5	FORMA DE COBRANÇA	48
3.6	IDEALIZAÇÃO DAS ADEQUAÇÕES	48
3.7	DIMENSIONAMENTO DE QD-ER	50
3.7.1	Dimensionamento de condutores o QD-ER para as ERs.....	51
3.7.2	Atendimento do critério de queda de tensão de QD-ER às cargas.....	54
3.7.3	Dimensionamento das eletrocalhas	55
3.7.4	Dimensionamento dos disjuntores dos circuitos	55
3.7.5	Cálculo do painel de distribuição e proteção.....	55
3.7.6	Atendimento do critério de queda de tensão de QD-COND à QD-ER ..	56
3.7.7	Cabos de comando	57
3.8	DIMENSIONAMENTO DE QD-COND	57
3.8.1	Dimensionamento de condutores para QD-COND	58
3.8.2	Dimensionamento do disjuntor geral, barramentos e proteção para QD-COND ..	58
3.8.3	Atendimento do critério de queda de tensão de QD-COND à QD-ER ..	59

3.9	DIMENSIONAMENTO DE QDG	59
4	CONCLUSÃO	61
5	SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS	63
5.1	ESTUDO DE FUNCIONAMENTO LÓGICO DO GERENCIADOR	63
5.2	INTEGRAÇÃO COM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	63
5.3	SEPARAÇÃO DA CAIXA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO	63
5.4	ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE CARREGAMENTO NA VIDA ÚTIL DAS BATERIAS DOS VES	64
	APÊNDICE A – QUADRO DE CARGAS DO QD-ER	69
	APÊNDICE B – DIAGRAMA UNIFILAR	70

1 INTRODUÇÃO

Em função da necessidade de diminuir a quantidade de gases que causam o efeito estufa (GEE), a eletrificação de sistemas para a mobilidade urbana tem se tornado prioridade para muitos países. De acordo com o relatório da 24ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP24) realizada em 2018, o setor de transporte contribui com 25% das emissões de GEE no mundo (ANGELO; RITTL, 2019). Esse setor foi o que mais aumentou as emissões de CO₂ desde 2000 (BRITO, 2018). No Brasil, o maior emissor de GEE é o setor energético, e dentro do setor de Energia, o maior emissor é o setor de transporte, conforme pode ser visto no gráfico 1 (WRI, 2018). Esse alto percentual se deve, principalmente, aos veículos leves que representam 45% do volume emitido, seguido por caminhões com 21% das emissões, 11% por navios e, também 11% emitidos pelos aviões (BRITO, 2018).

Gráfico 1 - Emissores de GEE no setor energético brasileiro



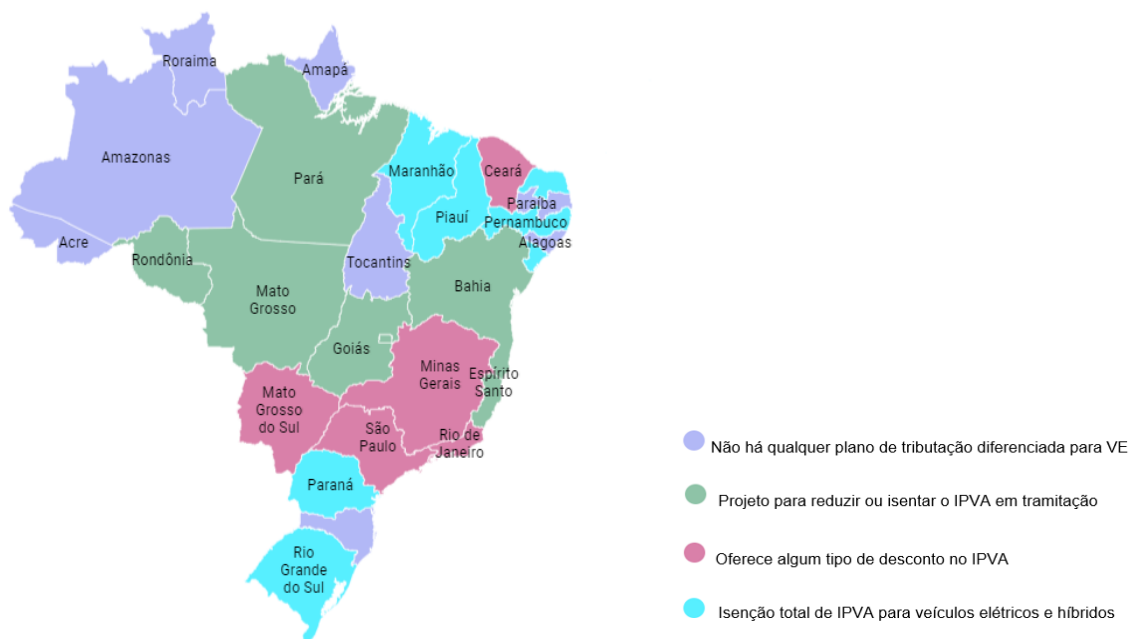
Fonte: WRI, 2018.

Em 2015 foi realizada a 21ª Conferência das Partes (COP21) em Paris, onde os países participantes escreveram as chamadas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas, documento que definiu as metas a serem aplicadas para a diminuição de GEE. Em setembro de 2016 o Brasil concluiu o processo de ratificação do acordo, sendo assim, as metas deixaram de ser pretensões, tornando-se compromissos oficiais, sendo chamadas agora de Contribuições Nacionalmente Determinadas. Nesse documento, o Brasil compromete-se com uma meta de diminuir as emissões de GEE até 2025 em 37% abaixo dos níveis de 2005 e, em 43% até 2030 (BRASIL, 2015a). Ainda em 2021, as metas permanecem as mesmas.

O Brasil possui objetivos em relação à diminuição desses gases no ramo do transporte, quantificando a redução de emissão de GEE em 4,9 MtCO₂, porém os objetivos não estão relacionados ao uso de veículos elétricos (VEs). Apesar disso, em outubro de 2015, através da Resolução Camex n° 97/2015, o governo reduziu de 35% para 0% a alíquota de importação para carros elétricos desmontados, semidesmontados e montados. A medida exige autonomia de ao menos oitenta (80) quilômetros com apenas uma carga de acordo com Brasil (2015b), o que praticamente todo veículo elétrico atende. Nessa mesma Resolução Camex, a tributação para os modelos híbridos foi reduzida de 35% para até 7%, podendo chegar em até 0% dependendo da eficiência energética do veículo (BRASIL, 2015b).

Como incentivo para aquisição de veículos elétricos no Brasil, alguns estados possuem isenção total do imposto sobre a propriedade de veículos automotores, essa relação pode ser vista na figura 1. Apesar de não haver nenhuma lei federal que obrigue os estados a isentar o IPVA, alguns aderiram a isenção, são eles os estados do Maranhão, Paraná, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, o Distrito Federal, e os municípios de Indaiatuba, São Bernardo do Campo e Sorocaba (SCHAUN, 2020).

Figura 1 - Estados com isenção ou desconto no IPVA para VEs



Fonte: Automotive Business, 2021.

1.1 TEMA DA PESQUISA

O crescimento do número de veículos elétricos rodando pelo Brasil tem sido constante de acordo com Sawada e col. (2020). Para acomodar e encorajar a adoção de veículos elétricos é necessária uma boa infraestrutura para sua recarga, pois a potência requerida por um VE é significativa. Portanto se faz necessário uma análise das instalações elétricas prediais em condomínios residenciais existentes, buscando verificar o impacto do aumento de carga no medidor do condomínio, dimensionando a linha elétrica e sua divisão entre as unidades consumidoras.

1.2 DELIMITAÇÕES DO TEMA

Existem três níveis de recarga de carros elétricos, o nível 1 (lenta), nível 2 (semirrápida) e nível 3 (recarga rápida) (COSTA; DELGADO; FEBRARO; SILVA, 2017). A Norma Técnica da Copel - NTC 902210 - Estações de recarga de veículos elétricos, considera as estações de recarga lentas e semirrápidas adequadas para instalação em áreas residenciais e comerciais. Este trabalho de conclusão de curso (TCC) foi desenvolvido baseado nas condições de projeto estabelecidas pela NTC 902210.

O aprofundamento do estudo será feito nas instalações de estações lentas e semirrápidas, com conversores eletrônicos CA-CC por serem as de melhor custo-benefício pela rapidez, versatilidade e tempo de recarga. Pode-se afirmar que a NTC 902210 indica qual o mínimo de vagas recomendados para VEs em edificações de uso coletivo:

Nas instalações de uso coletivo, apresentamos uma sugestão de percentual de vagas destinadas para os veículos elétricos. Baseado no documento *LEED Reference Guide For Building Design and Construction*, recomendamos que no mínimo 2% do total de vagas de qualquer empreendimento seja destinada para os veículos elétricos, com a respectiva instalação de estação de recarga disponível para uso (NTC 902210, 2019, p. 7).

O foco deste trabalho foi realizar o estudo e dimensionamento dos circuitos de alimentação dos pontos de recarga para edificações já existentes, considerando o

maior número de vagas possíveis dentro da instalação, indo além das recomendações da norma existente, de forma a evitar a necessidade de alteração de categoria de alimentação de energia do condomínio.

Deve-se ter em mente que os medidores de consumo em condomínios residenciais podem ser encontrados em diversos andares no caso de edifícios, tornando difícil conectar a vaga diretamente ao medidor do apartamento por meio da prumada. Caso haja dificuldade na instalação de medidores individuais nos empreendimentos de vagas fixas, é possível adotar as medidas de cobrança dos condomínios de vagas rotativas.

Para condomínios onde as vagas são rotativas, ou seja, ninguém é proprietário de nenhuma vaga, as estações de recarga poderão ser conectadas em um único medidor específico para os VEs ou no medidor do próprio condomínio, optando por cobrança através do controle de usuários com históricos de consumo e tempo acessíveis por meio de cartão de identificação por rádio frequência (RFID) ou aplicativos para celular, por exemplo. A instalação elétrica das vagas fixas deverá atender os requisitos das normas ABNT NBR IEC 61851 e ABNT NBR IEC 62196.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Uma estação de recarga semirrápida pode chegar a 22 kW de potência, o equivalente a 3 chuveiros elétricos ligados ao mesmo tempo ou a demanda de um apartamento de pequeno porte. Tal instalação pode implicar na mudança da categoria do consumidor, sendo necessário alterações dos condutores, dispositivos de proteção e, possivelmente, até a instalação de um transformador para alimentar o edifício. Logo, como podem ser tratadas as instalações elétricas dos condomínios já existentes sem que haja mudança na categoria de alimentação da instalação para atender a futura frota de veículos elétricos?

Para o desenvolvimento deste trabalho foram consideradas normas nacionais, internacionais e experiências práticas que deram certo dentro e fora do Brasil.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Estudo de infraestrutura elétrica necessária para recarga de veículos elétricos em condomínios residenciais existentes.

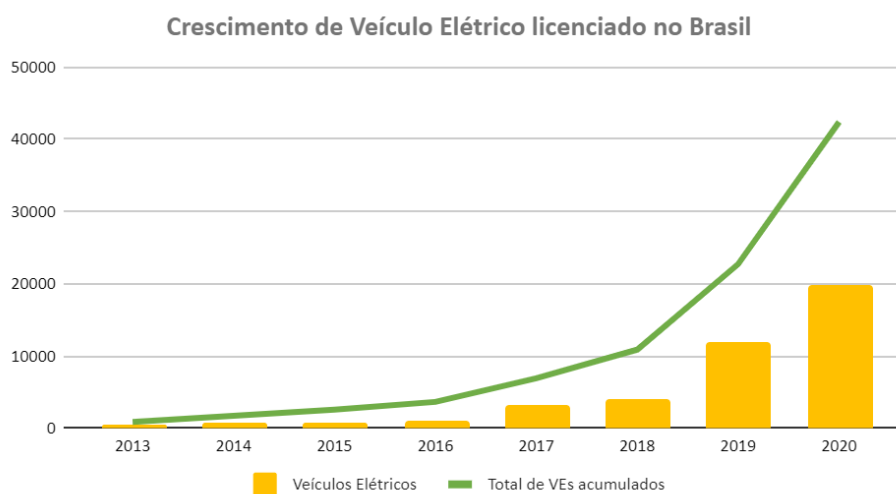
1.4.2 Objetivos específicos

- Estudar quais são as normas pertinentes a utilização de carregadores de carros elétricos (CCE) em edifícios residenciais;
- Determinar a quantidade de vagas que devem ser utilizadas para estações de recarga (ER);
- Analisar as condições de projeto em instalações elétricas existentes para inclusão de ER sem alterar entrada de serviço;
- Gerar resultados de aplicação em estudo de caso real;
- Analisar os resultados das soluções encontradas baseado em normas técnicas da concessionária COPEL;
- Analisar os resultados obtidos segundo critérios qualitativos de instalações elétricas prediais.

1.5 JUSTIFICATIVA

A justificativa deste trabalho está baseada na projeção do aumento da frota de VE até 2030 e, conseqüentemente, aumento de carga nas instalações elétricas de edifícios de uso coletivo. Mesmo com aumento relativo de 1,32% em relação aos veículos de combustão interna licenciados em 2020, a quantidade de VEs licenciados em 2020 aumentou em 60% em relação ao ano anterior (ANFAVEA, 2021). O gráfico 2 mostra a quantidade de VEs licenciados por ano no Brasil de 2013 até o ano de 2020 e a quantidade de veículos elétricos acumulados.

Gráfico 2 - Licenciamento de autoveículos elétricos novos - 2013/2020



Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira (2021)

De acordo com o relatório anual de Bloomberg de 2020, também chamado de *Global EV Outlook 2020*, caso os países envolvidos no acordo de Paris sigam estritamente às metas estabelecidas, em 2030 é prevista uma frota de veículos elétricos de 7% em relação à frota global (*GLOBAL*, 2020).

Segundo Brasil (2020), a frota de VE no Brasil cresce a uma taxa de, aproximadamente, 2% ao ano. Logo, espera-se que até 2030 haja um número aproximado de 46,7 milhões de veículos elétricos licenciados.

Para incentivar a população a comprar veículos elétricos, o governo federal, juntamente com os governos estaduais estão disponibilizando diversas oportunidades e descontos no custo dos veículos. Além da Resolução Camex nº 97/2015 do governo federal, no Sul e Sudeste do Brasil, mais precisamente no Paraná, em São Paulo e no Rio de Janeiro, estão presentes as duas maiores eletrovias do país. Uma possibilita cruzar o estado do Paraná sem gastar com combustível conforme Copel (2019), e a outra liga os estados de São Paulo e Rio de Janeiro sem custos com recargas (BUZATTO, 2018).

Os veículos elétricos emplacados no estado do Paraná estão isentos de pagar o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) até o final do ano de 2022 através da Lei nº 19.971/2019 que entrou em vigor em outubro de 2019 (YANO, 2019). Já na cidade de São Paulo, o governo está adotando medidas diferentes para desconto no IPVA dos veículos elétricos, a cidade inclui também os

veículos híbridos e movidos a hidrogênio, o desconto é de 50%. Além disso, os veículos são livres dos rodízios de placa que ocorrem na capital paulista (SCHAUN, 2020).

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na primeira etapa de desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas referências retiradas dos principais meios de comunicações governamentais, bem como artigos relacionados a veículos elétricos e normas técnicas internacionais e nacionais.

Segundo o engenheiro da Copel, Zeno Nadal do departamento de Superintendência de *Smart Grid* e Projetos Especiais, um dos responsáveis pela implantação da Eletrovia Copel, a eletrovia paranaense que cruza o estado do Paraná, cujo eletroposto pode ser visto na figura 2. As principais normas utilizadas para projetar e instalar os eletropostos foram a NBR IEC 61851-1 (2013a) e a NBR IEC 61851-22 (2013b) e essas normas também serão objetos de estudo deste trabalho.

Figura 2 - Eletroposto da eletrovia COPEL de Paranaguá a Foz do Iguaçu



Fonte: Divulgação Copel

Serão estudados também os padrões de plugues fixos, tomadas móveis para os VEs e as condições gerais para projetar as estações de plugue que estão disponíveis na parte 1 da IEC 62196.

Este trabalho faz a relação entre as normas técnicas específicas sobre estações de recarga com a norma técnica de Instalações Elétricas em baixa Tensão, a ABNT NBR 5410:2004.

Como este estudo foi realizado no Paraná, ele está baseado nas Normas Técnicas da Copel, concessionária de energia elétrica que atende o estado.

Por fim, será estudado, com base nas normas acima citadas, qual será a infraestrutura necessária para instalação de centros de recarga de carros elétricos em condomínios.

A fim de explicar as premissas desse trabalho será utilizado o método de pesquisa dedutivo, seguindo as instruções e recomendações de diversos materiais de pesquisa, chegando a uma conclusão lógica através da análise do geral para o particular.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 5 Capítulos que apresentam a introdução, os objetivos, teorias e resultados de um estudo de caso.

No Capítulo 1 é apresentado os objetivos e justificativas do trabalho, bem como suas limitações e problemas e premissas.

No Capítulo 2 se apresenta a revisão da literatura dos veículos elétricos, seus modos de recarga e o impacto dos mesmos na rede de alimentação e os princípios básicos de carregamentos inteligentes.

Já no Capítulo 3 é abordado um estudo de caso de como pode ser feito na prática a adaptação da instalação estudada, todos os cálculos envolvidos para implantação e métodos de instalação das estações de recarga.

Nos Capítulos 4 e 5 pode-se verificar as conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros com base em todo estudo realizado neste TCC.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

2.1.1 História dos veículos elétricos

Os carros elétricos surgiram em meados do século XIX, os primeiros protótipos nasceram nos EUA, Reino Unido e Holanda (HOYER, 2008). De acordo com Hoyer (2008), o surgimento dos carros elétricos está intimamente ligado à história da bateria.

Em Nova Iorque, no ano de 1903, havia cerca de 4.000 automóveis registrados na cidade, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos. Em 1912, quando a frota de carros elétricos de Nova Iorque atingiu o ápice de 30.000 unidades, a frota de automóveis a gasolina naquela cidade já era 30 vezes maior (STRUBEN; STERMAN, 2008). Entre 1899 e 1909, nos E.U.A., enquanto as vendas de automóveis a gasolina cresceram mais de 120 vezes, as de veículos elétricos apenas dobraram (COWAN; HULTÉN, 1996).

Após os anos 1920, o MCI passou a ser a tecnologia dominante. Em 1924, foram produzidos nos EUA 381 veículos elétricos e 3.185.490 a gasolina (COWAN; HULTÉN, 1996).

Após a década de 60, quando algumas pautas referentes aos problemas ambientais passaram a ser levantadas, os automóveis elétricos voltaram a atrair a atenção das grandes montadoras. Nesta década o chumbo ainda era utilizado como aditivo para a gasolina, não havendo filtros catalisadores para conter as emissões, tornando os automóveis uma das principais fontes da poluição atmosférica (BARAN, 2012).

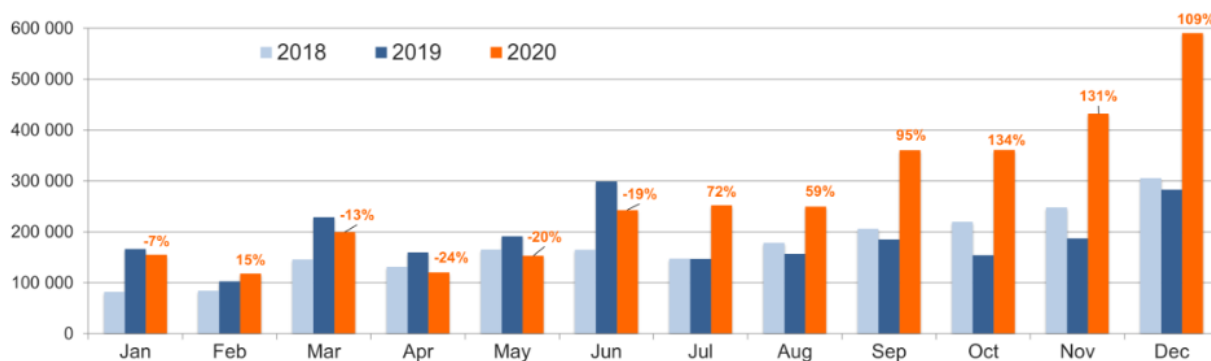
No fim dos anos 80 o conceito de desenvolvimento sustentável ganhou força, trazendo consigo a necessidade no desenvolvimento de novas tecnologias de transportes e utilização de fontes de energia alternativa e então em 1990, o estado da Califórnia implementou as primeiras normas regulatórias de emissão zero, onde a CARB (*California Air Resources Board*), órgão do governo responsável por monitorar a qualidade do ar no estado da Califórnia, definiu uma cota de vendas de veículos com emissão zero (ou ZEV – *zero emission vehicle*) de 2% em 1998, 5% em 2001 e 10% em 2003. Os estados de Nova Iorque e Massachusetts adotaram medidas

semelhantes logo em seguida. Em 1992 a União Europeia definiu uma política de transportes por meio da expressão “uma estratégia para a mobilidade sustentável”, onde a utilização dos carros elétricos era vista como uma das condições mais importantes para a sustentabilidade proposta (LEGEY; BARAN, 2011).

2.1.2 Veículos elétricos atualmente

Com o resultado dos incentivos já citados anteriormente, os veículos elétricos e híbridos *plug-in* tem ganhado grande visibilidade no mercado mundial. No gráfico 3 pode-se observar o aumento nas vendas de veículos *plug-in* ao redor do mundo nos anos de 2018 a 2020.

Gráfico 3 - Volume de vendas mensais de veículos *plug-in*



Fonte: EV-Veículos, 2020

2.1.3 Baterias

As principais características das baterias para VEs são a capacidade de potência (kW) e a energia armazenada (kWh).

A potência se refere a taxa de transferência de energia, sendo um fator crítico para os VEs, pois sua performance é limitada por quantos kW a bateria é capaz de fornecer enquanto a capacidade de armazenamento é a característica que determina a energia armazenada na bateria que é utilizada para percorrer determinada distância (BARAN, 2012).

Os veículos elétricos, assim como os veículos híbridos *plug-in*, precisam ser conectados à rede para carregar suas baterias. As baterias são de grande

capacidade, então a potência do carregador influencia significativamente na velocidade da recarga (CASTRO; FERREIRA, 2010).

Os veículos elétricos, assim como a maioria dos *smartphones* atuais, suportam diversos tipos de recarga, como as recargas rápidas (*fast-charging*) e as recargas lentas (*slow-charging*). As recargas rápidas de veículos elétricos requerem uma estação de recarga mais elaborada, como as encontradas nos eletropostos, mas as recargas lentas podem ser feitas em estações de recargas mais simples, podendo ser instaladas em ambientes residenciais (COSTA; DELGADO; FEBRERO; SILVA, 2017).

2.1.4 Modos de recarga

O modo de recarga é definido como a forma que o veículo elétrico é alimentado com energia, sendo corrente contínua ou alternada. Para estratificar e padronizar os carregadores dos veículos, as recargas dos veículos são separadas em diversos tipos de recarga.

Segundo a ABNT NBR IEC 61851-1 (2013a), há quatro modos de recarga, sendo:

- a) Modo de recarga 1: Carga lenta utilizando uma tomada residencial. Utiliza-se condutores de alimentação, de aterramento de proteção e tomadas padronizadas de até 16 A e no máximo 250 V para correntes alternadas monofásicas e 480 V para correntes alternadas trifásicas para conexão do VE à rede de alimentação;
- b) Modo de recarga 2: Carga lenta com uma tomada residencial comum e dispositivo de proteção no cabo de carga. Utiliza-se tomadas padronizadas de até 32 A que não excedam 250 V para corrente alternada monofásica e 480 V para corrente alternada trifásica para a conexão do VE à rede de alimentação. Nesse modo utiliza-se os condutores de alimentação e um sistema de proteção das pessoas contra os choques elétricos entre o veículo e o plugue. A caixa de controle integrada ao cabo deve estar situada a 0,3 m do plugue ou do Sistema de Alimentação do Veículo Elétrico (SAVE) ou do interior do plugue;
- c) Modo de recarga 3: Carga lenta ou rápida utilizando tomada específica e funções de controle de proteção. Conecta-se o VE à rede de alimentação em

corrente alternada utilizando o SAVE dedicado, sistema de fornecimento de energia completo;

- d) Modo de recarga 4: Carga rápida utilizando um carregador externo. O carregador é conectado à tomada de alimentação em corrente alternada e fornece energia em corrente contínua para o VE, esse modo permite cargas rápidas de até 400 A.

2.1.5 Potências de recarga

A NTC 902210 classifica os quatro tipos de recarga com potências que variam de 3,6 kW a 22 kW, estando apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Características das estações de recarga

TIPO DE RECARGA	ATENDIMENTO	TENSÃO	POTÊNCIA
Lenta	Bifásico	220 V	3,6 kW
Lenta	Bifásico	220 V	7,4 kW
Semi-rápida	Trifásico	220/ 127 V	11 kW
Semi-rápida	Trifásico	380/ 220 V	22 kW

Fonte: NTC, 2019

A maioria dos veículos elétricos é vendida juntamente com suas fontes de energia para carregá-los em uma tomada comum na residência. Essas fontes podem estar instaladas dentro do veículo ou em um formato parecido com o de uma fonte CC comum, porém são as que carregam mais lentamente o veículo, estando na faixa de potência até 7,4 kW.

No Paraná, o mínimo necessário para utilizar esses carregadores é uma tomada de 20 A com uma alimentação 220 V, visto que qualquer tomada de uso geral (TUG) com menos do que essa capacidade não atende nem a menor potência prevista da NTC 902210.

As recargas de veículos a partir dos 7,4 kW necessitam da instalação de uma estação de recarga específica para essa função, pois a partir desse ponto fica inviável a instalação de um conversor CA-CC dentro do veículo ou de forma portátil, além da infraestrutura elétrica precisar ser mais robusta e maior dimensionada. Inclusive, estações de recarga dessas proporções são no mínimo trifásicas e é difícil para o consumidor comum possuir tomadas trifásicas em sua garagem. Quando um

consumidor adquire uma estação de recarga dessas proporções, ela geralmente é alimentada diretamente a um quadro de distribuição.

2.1.6 Configuração das estações de recarga

As configurações das estações de recarga podem se dar em diversas formas, caso o condomínio opte por interligar cada vaga de estacionamento ao respectivo medidor do proprietário, a quantidade nova de linhas elétricas a serem instaladas poderá ser grande, posteriormente requisitando alterações de muitos equipamentos e principalmente aumento de eletrodutos, trabalho difícil de se fazer em uma instalação já existente. Não apenas isso, dependendo da distância entre o medidor e a vaga, a queda de tensão pode ser grande a ponto de precisar de condutores de maior seção transversal. Essa configuração é recomendada para casas, condomínios pequenos e prédios com poucos andares, desde que as vagas de estacionamento sejam fixas.

Uma opção para a maioria dos condomínios de vagas fixas, visto que ainda tenham bastante espaço para equipamentos elétricos, é a criação de ramais de alimentação a partir da entrada de energia juntamente com medidores individuais para as vagas. Dessa forma, o proprietário deverá registrar o ponto de energia como uma unidade consumidora perante a concessionária caso ela exija. A Copel exige que o consumidor faça uma solicitação de atendimento através do anexo I da NTC 902210. A instalação de novos medidores requer registro de outra unidade consumidora, ou seja, uma fatura a mais. Por conta disso, tributos são pagos em dobro, e os quadros de medição são grandes. No final, essa solução acaba não sendo factível.

Existem medidores de consumo desenvolvidos para serem instalados em painéis com trilhos DIN, estrutura em que são fixados componentes elétricos e eletrônicos. Como a ANEEL não normatizou como fazer a cobrança, pode-se instalar medidores e realizar cobrança individual entre os proprietários.

Para condomínios de vagas rotativas, ligar as estações diretamente aos medidores ou montar quadros de medição exclusivos para as vagas torna-se inviável, pois não há como cobrar individualmente os proprietários dos VEs. Para estes, é necessário trabalhar com as estações que mantêm controle de usuários e históricos.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS NA REDE DE ALIMENTAÇÃO

2.2.1 Efeitos das distorções harmônicas

Os harmônicos são os componentes senoidais das correntes e tensões que formam a curva real dessas grandezas. Diferentes cargas distorcem o valor puro senoidal, podendo causar variações na transmissão de energia, diminuir fator de potência e causar ruídos em equipamentos de grande sensibilidade como equipamentos de comunicação (IEEE, 1989).

Componentes harmônicos com picos altos são particularmente perigosos pois são capazes de dificultar o acionamento desejado de relés e disjuntores conforme Mikkili e Panda (2011), além de desgastar mais ainda os equipamentos por conta de sobrecorrentes que estressam os condutores e levam a sobreaquecimento.

Carregadores de veículos elétricos são considerados como potentes cargas não lineares, ou seja, grandes equipamentos passíveis de distorção de corrente e tensão, uma vez que a potência consumida é relativamente alta e a corrente varia com a porcentagem da carga.

Em uma instalação contemporânea, o chuveiro elétrico geralmente é o equipamento que mais consome energia em uma residência. Sua potência pode ser de 7,50 kW, a mesma que muitos carregadores de veículos, porém o chuveiro é uma carga linear, sendo puramente resistiva. Já o carregador é um conversor de corrente alternada para contínua com diversos reguladores de tensão e corrente.

O fato de um carregador de veículo elétrico ser um conversor CA - CC atrai bastante atenção dos engenheiros que devem garantir a os padrões de geração, transmissão e funcionamento dos sistemas de energia, aumentando bastante os cuidados com os harmônicos (LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO, 2013).

A partir de medições de potência e porcentagem de carga em quatro diferentes VEs, cada um com sua estação de recarga equivalente e com pós-processamento em MATLAB, vários cientistas das Universidades Alto e Tallinn estudaram o comportamento das distorções harmônicas na recarga de veículos elétricos, desenvolvendo o estudo "*Current Harmonics of EV Chargers and Effects of Diversity to Charging Load Current Distortions in Distribution Networks*", que será de grande auxílio para explicação deste item.

A tabela 2 a seguir mostra as médias de medição durante as recargas.

Tabela 2 - Características de recarga dos veículos elétricos estudados

VE	Corrente de carga (A)	Potência para recarga (kW)	DHTi durante a recarga com corrente constante %
1	9,7	2,2	4,2
2	10,3	2,4	12,3
3	12,7	2,9	3,4
4	10,3	2,4	10,5

Fonte: LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO (2013)

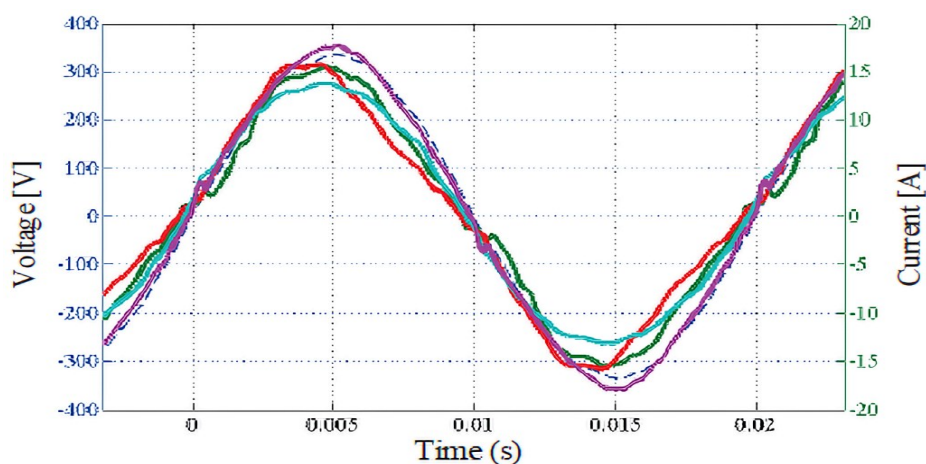
Onde:

THDi: *Individual Total Harmonic Distorsion*; e

DHTi: Distorção Harmônica Total Individual.

As estações e VEs foram produzidos desde 2012 até 2013, sendo de marcas mundialmente conhecidas. A alimentação deles foi em 230V a 50Hz, e com o gráfico 4 é possível verificar o quanto as ondas de corrente variam em relação com a tensão de alimentação expressada em pontilhado.

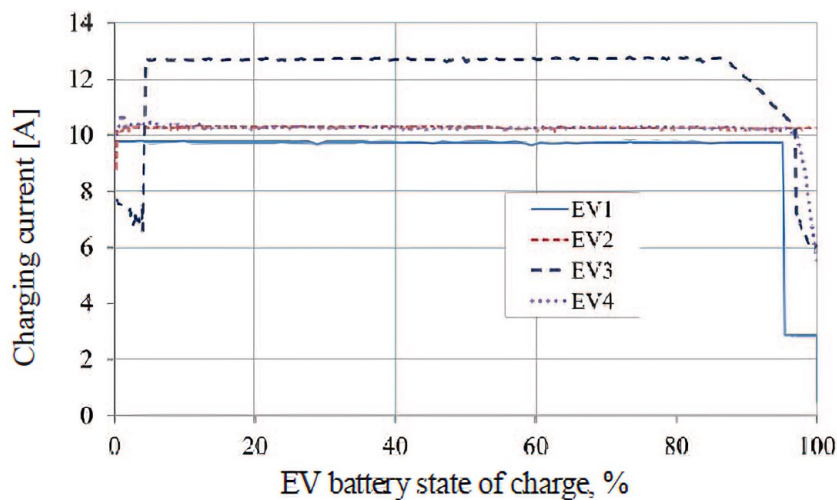
Gráfico 4 - Curvas de tensão e corrente dos VEs em recarga



Fonte: LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO (2013)

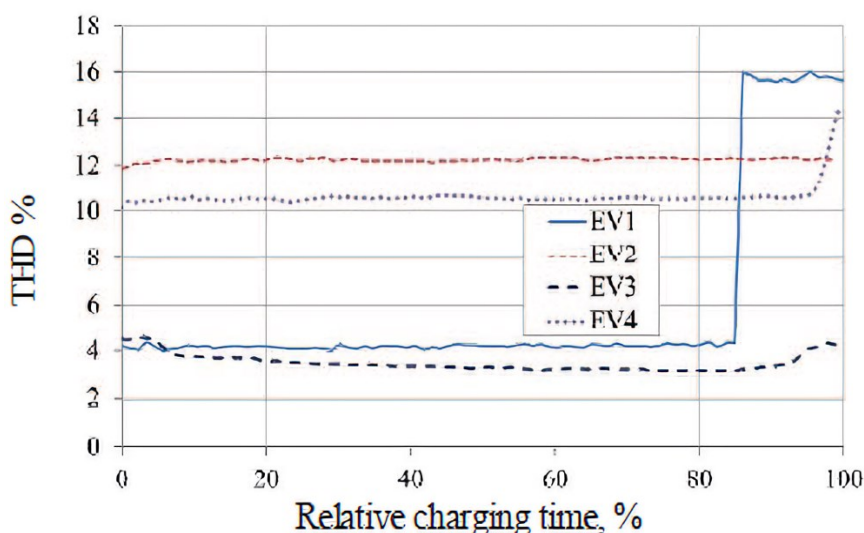
Já nos gráficos 5 e 6 estão expressos os resultados de medições de corrente e distorção harmônica total em função da porcentagem de carregamento.

Gráfico 5 - Corrente de carga X Percentual de carga da bateria



Fonte: LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO (2013)

Gráfico 6 - Distorção harmônica total X Percentual de carga da bateria



Fonte: LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO (2013)

À primeira vista, é possível observar que há sim consideráveis distorções harmônicas durante o carregamento, com variações pontuais desde 4% até 16%, onde a média de DHT no período de recarga entre os VEs foi 12,3%.

No estudo foram considerados sistemas de distribuição de duas fases com 180° de defasagem entre si, porém é possível levar a mesma consideração para o sistema trifásico de 120°, procurando distribuir o melhor possível as cargas de VEs entre as fases.

Conclui-se que os carregadores de veículos elétricos não causam grande impacto para a qualidade da energia, tendo em vista que o valor de 12,3% medido

não é o suficiente para ser necessário corrigir a corrente de neutro, de acordo com o item 6.2.6.2.6 da NBR 5410.

2.2.2 Fator de potência

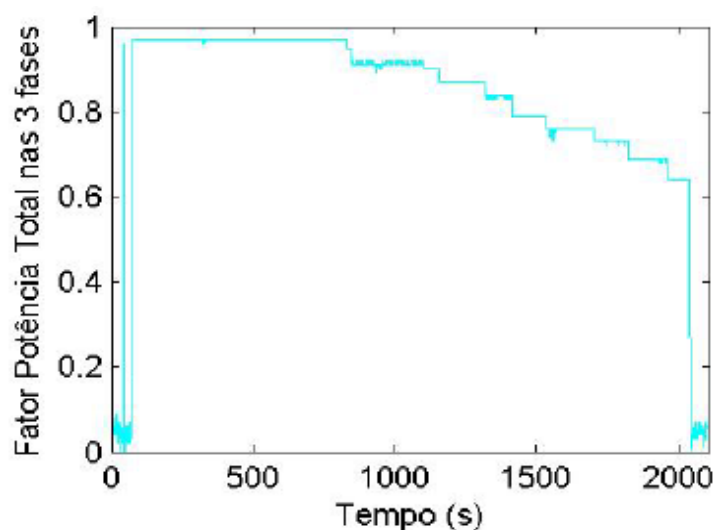
As estações de recarga consideram para suas especificações apenas a potência ativa, porém não se deve esquecer que os condutores e circuitos estarão sob influência da maior potência aparente.

Os fatores de potência podem variar consideravelmente dependendo da porcentagem de carga da bateria, da capacidade da estação de recarga, da capacidade da bateria e outros fatores, variando consideravelmente durante a recarga.

Para as considerações deste estudo, foi utilizado como base uma dissertação de Rita Pinto (2015), denominada de “Análise dos perfis de carregamento de veículos elétricos numa estação de carregamento”, onde ela faz diversas leituras relacionadas à qualidade de energia durante o carregamento de um veículo elétrico, sob diversas condições de carregamento. O uso da dissertação se faz bastante útil, pois a estação de recarga utilizada é de 22 kW, a mesma que será utilizada na sequência deste trabalho.

Uma das situações estudadas considera uma recarga de 67% a 98% da bateria do veículo, situação provável considerando um bom uso do veículo antes da conexão com a estação, sob as quais o fator de potência teve o comportamento representado no gráfico 7 a seguir.

Gráfico 7 - Fator de potência X Tempo

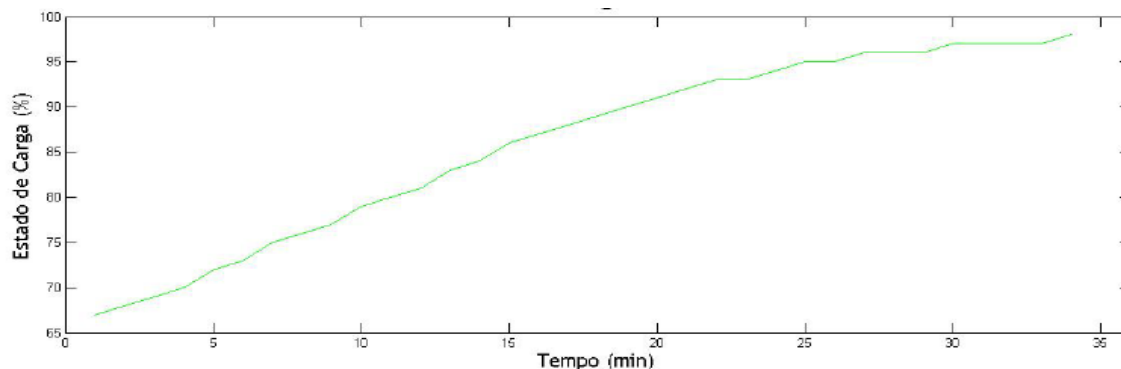


Fonte: LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO (2013)

É possível que o projetista pense em utilizar o menor fator de potência como base para cálculo da demanda, mas esses valores apenas aparecem quando as baterias estão perto de suas cargas totais, ou seja, principalmente a partir dos 90%. De acordo com o gráfico 8, o tempo relativo para a porcentagem ultrapassar 90% é aos 18 minutos, equivalente a 1.080 segundos.

Confrontando os 1.080 segundos do gráfico 8, observa-se que o fator de potência possui valor próximo a 0,9. Considerando que as estações de recarga atuais são programáveis, não é difícil de considerar que o proprietário poderá limitar a carga de seu VE a 90%, principalmente quando ele sabe que a vida útil da bateria é consumida mais rapidamente sob maior carga.

Gráfico 8 - Estado de carga X Tempo



Fonte: LEHTONEN; KÜTT; SAARIJÄRVI; MÖLDER; NIITSOO (2013)

2.3 TECNOLOGIAS RELEVANTES PARA A QUALIDADE DE ENERGIA

2.3.1 *Vehicle to Grid*

Vehicle to Grid (V2G) é o nome dado a tecnologia que possibilita os veículos elétricos a transferir energia armazenada em suas baterias para a rede. O uso dessa tecnologia diminui o estresse nas geradoras de energia e descentraliza a geração delas. Assim como a energia solar *on-grid*, com a resolução nº 482/12 da ANEEL, os proprietários podem usar dessa tecnologia para receber compensações em seus consumos de energia, dado que uma resolução para tal injeção de potência elétrica seja criada para atender os sistemas V2G.

O horário de pico, com maior consumo de energia, geralmente se dá entre 18:00 e 21:00 (FORATO, 2019). É estimado que os brasileiros rodam 38,36 km/dia conforme estudo de Tosin e Kuroda (2019), o que equivale a aproximadamente 30% da autonomia dos carros elétricos mais convencionais, sobrando outros 70% que podem ser compensados se enviados à rede durante horário de pico para serem recarregados durante a madrugada. Quando a frota de veículos elétricos for suficientemente grande no país, é possível utilizar os veículos como um grande conjunto de pequenos geradores para suprir a matriz em horários de pico e para recarregar em horários de menor demanda.

Vale indicar, que caso seja desejado o uso dessa tecnologia, devem ser verificadas as regulamentações locais, além de obrigatoriamente estar presente o medidor bidirecional, que é responsabilidade do consumidor fazer a compra.

2.3.2 *Smart Grid*

Smart Grids são sistemas de distribuição e transmissão de energia inteligentes capazes de interligar e transmitir grandes quantidades de dados entre consumidores e geradores de energia. O uso de tal tecnologia é importante pois com ela é possível operar diversas unidades geradoras com maior eficiência, observando os maiores consumidores, as maiores cargas nas redes, detectando falhas mais rapidamente, entre outras funções (GE, 2016).

As redes inteligentes tornarão possível interligar de maneiras mais flexíveis as redes de energia solar *on-grid* e principalmente o sistema *Vehicle to Grid* comentado anteriormente.

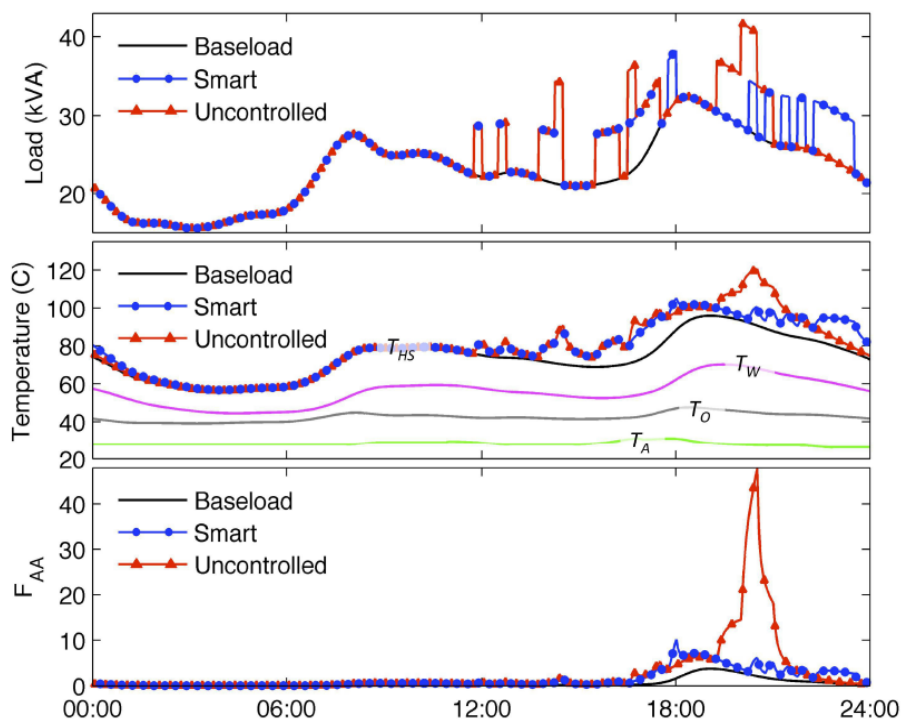
2.3.3 *Smart Charging / Power Sharing*

Smart Charging ou carregamento inteligente (tradução livre) é a definição de um sistema de carregamento capaz de controlar a velocidade de carga e uso de energia para um dado equipamento, trazendo maior eficiência e diminuindo gargalos no sistema de distribuição.

O carregamento inteligente vai de encontro com a premissa do *Smart Grid*, onde os sistemas de distribuição terão dificuldades de alimentar os veículos caso sejam conectados simultaneamente, porém trabalhando em conjunto são capazes de permitir a instalação de estações de recarga maiores ao mesmo tempo que evitam faltas nos sistemas de distribuição.

Os problemas em um sistema de distribuição sem controle de carga não se resumem a faltas de energia com desarme de disjuntores. Os picos de consumo em certos horários do dia afetam diretamente o tempo de vida útil dos equipamentos da linha. Transformadores, por exemplo, quando submetidos a tais condições, podem diminuir suas vidas úteis de décadas para apenas alguns anos (HILSHEY, A.D.E COL. 2013). A representação desse tipo de estresse sobre um certo transformador está no gráfico 9, onde a carga base (*Baseload*) é a carga do transformador sem a presença de veículos elétricos, a carga não controlada (*Uncontrolled*) é a carga com veículos elétricos sem controle de consumo de energia e a carga *Smart* é a mesma carga de veículos elétricos, porém com um controle inteligente de carregamento.

Gráfico 9 - Carga sobre um transformador com e sem controle de energia



Fonte: HILSHEY, A.D.E COL. (2013)

Para elaborar tal sistema inteligente, é necessário desenvolver perfis de consumidor para que mesmo quando diminuída a velocidade de recarga, o veículo esteja carregado quando precisar ser utilizado. Para esse feito, são necessárias diversas informações, incluindo o tempo de recarga dos veículos, a disponibilidade para carregamento, potência de recarga, tipo da bateria do carro, *System on a chip* (SoC), quantidade de veículos conectados à rede, horário de pico, entre outros (CLAIRAND; GARCÍA; BEL, 2018). Com todas essas informações, é possível implementar diversos algoritmos e métodos a fim de fornecer uma recarga menos custosa e sem falhas no sistema de potência de distribuição.

Essa tecnologia pode ser aplicada para auxiliar no controle e diminuição de harmônicas também, pois sua forma de atuação diminuindo a corrente faz com que o impacto de distorção seja menor.

2.3.4 Tipos de gerenciadores de carga

Os gerenciadores de carga para VEs aplicam o princípio de *Power Sharing* são tecnologias novas, e por isso não existem muitas normativas no que se referem aos algoritmos, programas, formas de comutação e controle. As informações e opções

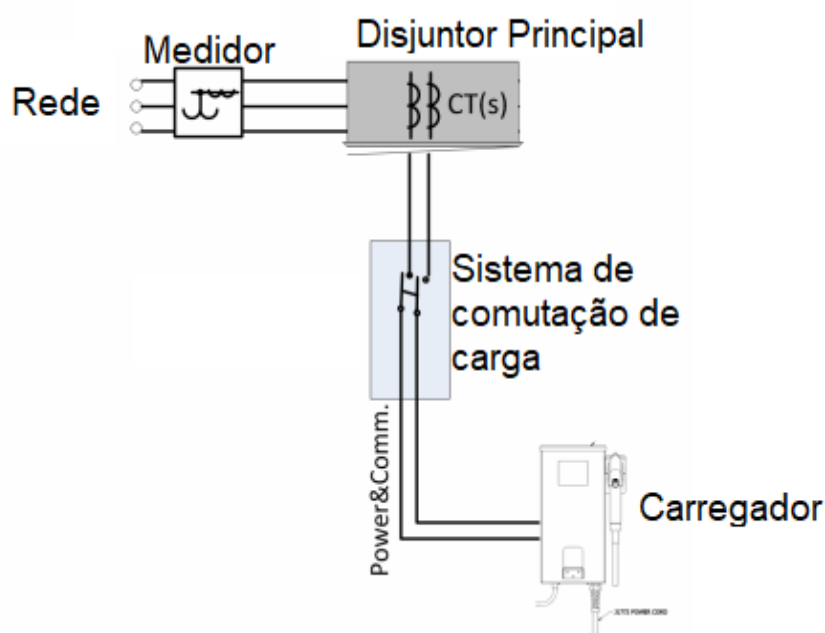
de funcionamento estão presentes praticamente exclusivamente em catálogos de empresas especializadas nesses tipos de projetos.

De acordo com Howey, Carmichael, Shariat-zadeh (2019) há diversas formas de gerenciar a energia e compartilhar potência entre os veículos elétricos, entre elas estão: comutação de carga, compartilhamento de carga, gerenciamento de carga sem monitoramento, gerenciamento de carga com monitoramento nos carregadores e gerenciamento de carga com monitoramento externos e nos carregadores.

2.3.4.1 Comutação de carga

Essa abordagem utiliza um sistema que permite que o carregador seja conectado a um painel ou circuito que esteja perto de sua capacidade total. Ele requer um transformador de corrente (TC) para que forneça os dados necessários para cálculo em tempo real do consumo total de energia do painel e detecta quando o total de consumo excede a capacidade disponível, conforme pode ser visto na figura 3. Quando esse limite é alcançado, o sistema desliga temporariamente o carregador até que a rede se restabeleça e posteriormente energiza novamente o carregador.

Figura 3 - Gerenciamento de carga: comutação



Fonte: HOWEY; CARMICHAEL; SHARIAT-ZADEH (2019)

Devido a sua comutação de carga, corre-se o risco de alguns veículos não retomarem o carregamento automaticamente quando o sistema é reenergizado e caso o painel esteja muito próximo da sua capacidade total, o carregador pode desligar com frequência.

2.3.4.2 Compartilhamento de carga

Um carregamento de carga compartilhado é baseado em alocar potências iguais para cada carregador conectado ao circuito. Por exemplo, num dado circuito de 40 A existem dois carregadores com capacidade de 32 A cada, caso apenas um veículo seja conectado, ele será alimentado com carga máxima de 32 A, caso dois veículos sejam conectados, o sistema irá dividir a alimentação entre os dois, ficando 16 A para cada.

Esta forma de gerenciamento possui baixos custos de instalação e é indicada para pequenas escalas de carregadores, porém não é tão eficiente se comparado com sistemas que possuem capacidade de monitoramento, pois conforme as baterias se aproximam do carregamento total, seu consumo diminui e o veículo pode ser alimentado com menor potência, deixando assim uma porcentagem de potência que poderia ser alocada caso o sistema permitisse.

2.3.4.3 Gerenciamento de carga sem monitoramento

O gerenciamento de carga sem monitoramento funciona de forma semelhante ao compartilhamento de carga, porém ao invés de compartilhar porcentagens de mesmo peso para cada carregador, neste sistema é possível programar a potência e o tempo de carregamento para cada equipamento. Por exemplo, para um veículo híbrido com uma bateria menor, pode-se programar para que ele receba 25% da potência por um determinado período para seu carregamento. Quando somente esse veículo está conectado ao sistema, ele estará recebendo 100% da carga, porém quando um segundo veículo é acoplado, o sistema aloca 75% da carga para esse nosso VE.

Esse sistema tem a capacidade de operar com qualquer carregador capaz de aceitar sinais de mudança de taxa de carregamento reduzindo o custo da instalação pois não requer equipamentos de medição e pode ser aplicado em instalações que

necessitam de maiores quantidades de carregadores mesmo possuindo capacidade elétrica limitada.

Da mesma forma que o gerenciamento de carga compartilhada, caso um veículo não esteja usando toda a porcentagem de potência que foi alocada para ele, o sistema não possui inteligência suficiente para realocar essa carga excedente para outro equipamento.

2.3.4.4 Gerenciamento de carga com monitoramento de carregadores

O controle de carga com monitoramento de carregadores é baseado na capacidade e demanda de cada equipamento instalado. Ele monitora o consumo em tempo real através de transformadores de correntes integrados com o próprio carregador, alocando a potência disponível de acordo com a necessidade do carregador.

Há várias abordagens diferentes quando se trata de controle de carga monitorado, como por exemplo métodos iterativos, que libera inicialmente uma carga de 6 A ao VE conectado ao sistema, caso o veículo esteja consumindo toda a carga liberada, então é acrescentando mais 2 A e assim sucessivamente até que um máximo seja alcançado. Essa comunicação é realizada através de um dispositivo localizado próximo ao carregador que conversa através de um protocolo de internet (IP).

Outra abordagem envolve reduzir a potência de um carregamento ativo quando uma nova carga é conectada ao sistema e a carga máxima do veículo recém-conectado é então determinada aumentando a energia alocada a ele. O sistema então redistribui a carga para todos os carregadores em conformidade. A comunicação do controlador é dada normalmente por uma rede IP e está localizado no prédio associado ao estacionamento.

Outra forma de controle de carga monitorado é quando o sistema insere uma potência máxima dentro dos limites de capacidade do carregador e então vai reduzindo quando o veículo não está utilizando essa potência alocada. Essa potência excedente é alocada para outros veículos conectados. Esse sistema é controlado e configurado em nuvem, podendo ser programado de acordo com o perfil da instalação.

O controle de carga com monitoramento dos carregadores é um sistema flexível e eficiente, podendo acomodar uma grande quantidade de carregadores sem a necessidade de realizar mudanças nas instalações elétricas.

2.3.4.5 Gerenciamento de carga com monitoramento externo

O controle de carga com monitoramento externo funciona de forma semelhante ao controle com monitoramento de carregadores, exceto pelo fato de que os transformadores de corrente são instalados nos disjuntores principais ou secundários do circuito.

A principal vantagem desse sistema é o custo, pois nele pode ser implementado carregadores sem integração com transformadores de corrente. Além disso, quando os TCs são instalados no quadro de distribuição principal de um edifício, a energia disponível para carregamento do VE pode ser determinada dinamicamente, pois os cálculos de pico de carga estática dependem da diferença entre a demanda de pico do edifício e a capacidade do sistema elétrico do edifício para determinar a energia disponível para o veículo conectado.

Esse método requer uma instalação e configuração mais rigorosa para garantir o monitoramento dos disjuntores quase em tempo real. Precisa também que os carregadores em questão possuam um sistema de segurança que desliga automaticamente em caso de falha do controlador.

A localização do TC requer uma comunicação a montante do controlador, bem como uma comunicação de um sinal de limitação de carga a jusante do carregador, limitando assim o compartilhamento do circuito de ramificação.

2.3.4.6 Gerenciamento de carga com monitoramento externo e nos carregadores

Esse sistema combina o controle de carga nos disjuntores e nos carregadores, com transformadores de corrente instalados em ambos os dispositivos. Esta abordagem permite o monitoramento de cargas não controladas, com o controlador reduzindo a energia para o carregador com base na energia disponível.

Essa abordagem suporta instalações menores que são extensões do painel comum ou da construção, onde as cargas a montante são monitoradas no fornecimento de entrada do edifício, a carga calculada para os VEs pode ser definida como zero e o carregamento ocorreria apenas quando a energia estivesse disponível abaixo da carga calculada pré-existente. Essa abordagem é extremamente eficiente no uso da energia disponível.

Da mesma forma que o controle de carga com monitoramento de carga externo, esse controlador também requer uma instalação e configuração mais rigorosa para garantir o monitoramento dos disjuntores quase em tempo real. Precisa também que os carregadores em questão possuam um sistema de segurança que desliga automaticamente em caso de falha do controlador.

2.3.5 Gerenciadores de carga comerciais

No Brasil há algumas empresas que fornecem soluções de gerenciamento de carga com opções de configurações bastante flexíveis.

Uma forma de gerenciar as cargas é através do horário e de cada vaga, ou seja, uma vez que é conhecido o horário em que a demanda dos apartamentos é menor, é possível disponibilizar maior potência para recarga dos VEs. Essa configuração e previsão podem ser bastante úteis durante as madrugadas. A figura 4 de um dos catálogos comerciais da empresa Rinno Energy demonstra exatamente isso, onde o controle das potências é feito de forma estática:

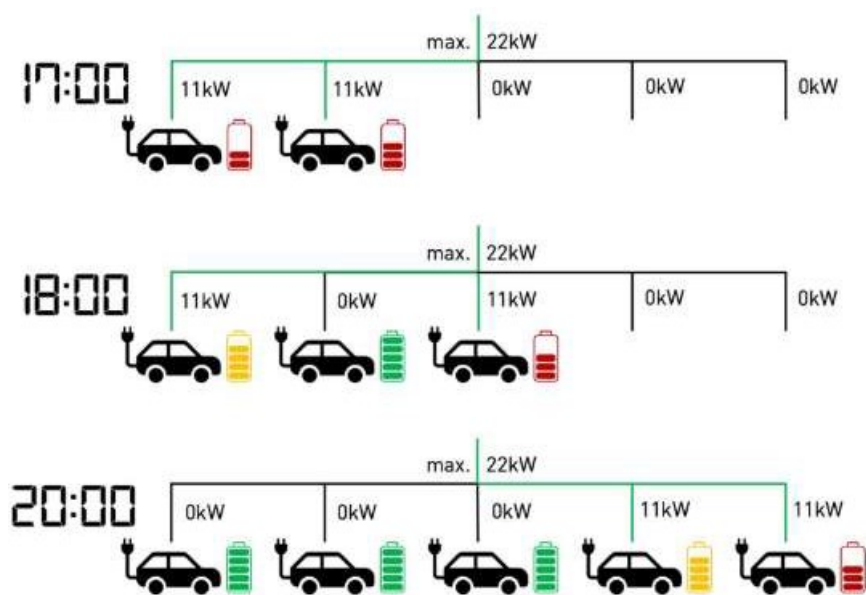
Figura 4 - Controle de carga estática

Charger	Model	Phase	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00
801	EG002	3	32	20	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
827	EG002	1	16	16	16	16	16	16	16	16	16	14	12	16	12	14
897	EG002	2	32	32	32	32	32	32	32	32	16	32	16	32	16	32
1086	EG002	1	16	16	16	16	16	16	16	16	16	12	16	14	16	12
Phase Total		Max														
L1		32A	32	32	32	32	32	32	32	32	32	26	28	30	28	26

Fonte: Catálogo comercial Rinno Energy

Outra forma de gerenciar as cargas é de forma dinâmica, utilizando transformadores de corrente para cálculo das potências e dividindo a corrente fornecida para cada veículo, conforme figura 5.

Figura 5 - Controle de carga dinâmica



Fonte: Catálogo comercial Rinno Energy

Por mais que as informações utilizadas tenham sido obtidas através do catálogo da empresa anteriormente citada, vale lembrar que existem diversas soluções similares à essa no mercado. O projetista pode determinar a solução que mais for plausível para a instalação.

2.4 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

2.4.1 NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão

Tratando de instalações elétricas prediais, a norma aplicável a todo o Brasil é a NBR 5410. Essa norma está presente desde 1941, originalmente com a nomenclatura NB-3, pois quando ela começou a ser publicada a ABNT ainda não rotulava as normas técnicas (A EVOLUÇÃO, 2011). Ela passou por diversas revisões que adicionaram normativas para dispositivos, dimensionamentos e equipamentos. Por mais que diversas revisões tenham sido estudadas na década de 2010, a última e oficial revisão atualmente da NBR 5410 é de 2004.

2.4.2 NTC 902210 – Estações de recarga de veículo elétrico

Essa norma foi desenvolvida pela Copel e publicada em 2019, fazendo dela bastante recente. O objetivo desta NTC é estabelecer os critérios para ligações de estações de recargas de veículos elétricos *plug-in* em instalações novas ou alteradas para atender tal demanda, juntamente com o cadastro dessas estações junto a ANEEL (NTC, 2019).

Dentro da NTC 902210 estão os dados de fator de demanda para instalações com diversas estações de recarga, tornando-a bastante útil para os dimensionamentos. Os dados podem ser vistos na tabela 3 da norma e será importante para o dimensionamento das instalações.

2.4.3 NBR 61851 – Sistemas de recarga condutiva para veículos elétricos

A NBR IEC 61851 é uma tradução da norma norte americana IEC 61851 e é dividida em diversas partes, que tratam de diversos assuntos pertinentes à instalação de estações de recarga, incluindo desde normativas padrões até detalhamento de conexões e potências. As principais são as partes 1, 21, 22 e 23.

A ABNT NBR IEC 61851-1 (2013a) cujo título é: “Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos Parte 1: Requisitos gerais”, trata as condições e características de funcionamento do sistema de alimentação e conexão dos veículos elétricos, a segurança elétrica dos operadores e as características que devem ser respeitadas pelo veículo no que diz respeito ao Sistema de Alimentação do Veículo Elétrico (SAVE). Esta parte aplica-se a sistemas embarcados ou não embarcados para a recarga de VEs com tensões alternadas de até 1.000 V e tensões contínuas de até 1.500 V.

A ABNT NBR IEC 61851-21 (2013c): Requisitos de veículos elétricos para a conexão condutiva a uma alimentação em corrente alternada ou contínua, trata dos requisitos que os veículos elétricos devem atender para serem recarregados de acordo com os padrões estabelecidos. Detalhes como aterramento, imunidade a interferências estão presentes. É importante ter conhecimento desses requisitos para entender quais normativas os carros devem atender.

Já a ABNT NBR IEC 61851-22 (2013b): “Estação de recarga em corrente alternada para veículos elétricos” e ABNT NBR IEC 61851-23 (2020): “Estação de recarga em corrente contínua para veículos elétricos”, fazem respeito às estações de recarga em corrente alternada e corrente contínua respectivamente, onde determinam

as condições mínimas para funcionamento das estações. Na norma estão determinados os níveis de tensão aceitos, requisitos de segurança, valores nominais de corrente e diversos outros pontos significativos.

2.4.4 NTC 901100 – Fornecimento em tensão secundária

Essa é a norma da Copel que rege as normativas referentes ao fornecimento da energia às unidades consumidoras. A alimentação das unidades consumidoras na maioria do Paraná depende da Copel, que fornece toda a infraestrutura necessária para o consumidor de acordo com sua demanda e possibilidade de entrada de energia. Dessa forma, a concessionária mantém não só um controle da demanda, mas também consegue dimensionar suas linhas de transmissão e distribuição a fim de atender a toda a população.

Para o lado do consumidor isso significa que, por conta da entrada de energia, a potência instalada dele será limitada, possivelmente com pequena margem para ampliação. Geralmente isso não é problema, visto que os equipamentos domésticos estão ficando cada vez mais econômicos, contudo, estações de recarga de veículos elétricos são grandes cargas a serem instaladas e possivelmente requisitarão um *upgrade* na alimentação do lote.

Os circuitos das instalações são dimensionados com base na potência instalada conforme mostra Norma ABNT 5410 (2004) e as entradas de uma unidade consumidora ou condomínio são dimensionadas de acordo com a demanda da instalação.

A demanda é o resultado de cálculos probabilísticos para determinar o máximo de consumo provável em uma unidade consumidora, partindo da premissa de que os consumidores não farão uso de toda a potência instalada. Assim a entrada de energia pode ser de menores proporções, economizando recursos.

As diversas concessionárias do Brasil dividem a demanda em faixas de potência e dessa forma disponibilizam diferentes categorias de atendimento de energia, discretizando e padronizando as configurações das entradas de energia.

Por conta do estado de residência dos autores e da universidade, a concessionária a ser adotada como padrão para análise da ampliação das instalações é a Copel com a norma NTC 901100, cuja tabela de categorias está representada pela tabela 2 da mesma norma.

2.4.5 Normas técnicas para demais estados do Brasil

Os demais estados do Brasil se baseiam em sua maioria na Resolução Normativa N° 819, publicada em 2018 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos (ANEEL, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir deste ponto, pretende-se fazer uso das definições, normas técnicas e estudos feitos previamente, aplicando-os em um estudo de caso a fim de auxiliar os projetistas em futuras instalações de estações de recarga em condomínios residenciais.

Será tratada a instalação de estações de recarga em condomínios já existentes a partir de um estudo de caso, seguindo a mínima recomendação da Copel. Estes estudos não valem apenas para projetistas que desejem fazer a instalação das estações de forma integral, sendo útil para qualquer engenheiro que pretenda projetar instalações com carregadores de veículos elétricos.

Adaptar as instalações já existentes para estações de recarga pode ser mais difícil do que projetar uma desde um início. Uma instalação dessas já fornece a maior parte da infraestrutura civil e elétrica, porém esses podem ser os maiores limitadores, uma vez que o dimensionamento dos condutores, dos equipamentos e da entrada de energia do local já foi projetado sem considerar essas novas cargas, além de que dificilmente o condomínio terá eletrodutos ou eletrocalhas desde os painéis elétricos até cada uma das vagas.

3.1 DADOS DO ESTUDO DE CASO

A instalação utilizada para o estudo de caso é um prédio de Curitiba, construído há cerca de 53 anos. O prédio é bastante útil para o estudo, pois é considerado antigo e possui algumas irregularidades em relação às normas atuais. Através desse estudo, será possível avaliar diversos problemas que prédios mais novos não apresentariam.

O projeto é um prédio de quatro pavimentos e 13 apartamentos e 13 vagas de garagem. A partir de um laudo técnico de readequação foi verificado que a demanda das unidades consumidoras totaliza 44,71 kVA, calculada com o método CODI, seguindo as prescrições da NTC 90600 já cancelada. A entrada do condomínio é da categoria 42 da Copel, com 48 kVA de demanda máxima e disjuntor de 125 A. Já o condomínio possui demanda máxima de 24 kVA e demanda calculada de 14,4 kVA conforme tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de demanda da instalação

	QGD	QD-COND
Demanda máxima	48.000 VA	24.000 VA
Demanda calculada	44.700 VA	14.400 VA

Onde:

QGD: Quadro geral de distribuição; e

QD-COND: Quadro de distribuição do condomínio.

Subtraindo a demanda máxima atual da potência que a alimentação é capaz de suprir, chega-se ao valor de 3,29 kVA. Com esse valor, não será possível instalar carregadores nem para recarga do tipo lenta, pois o mínimo padronizado por norma é de 3,6 kW. Essa instalação deverá ter sua categoria de atendimento aumentada e sua entrada de energia terá de ser readequada.

3.2 FLUXOGRAMA DE PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO

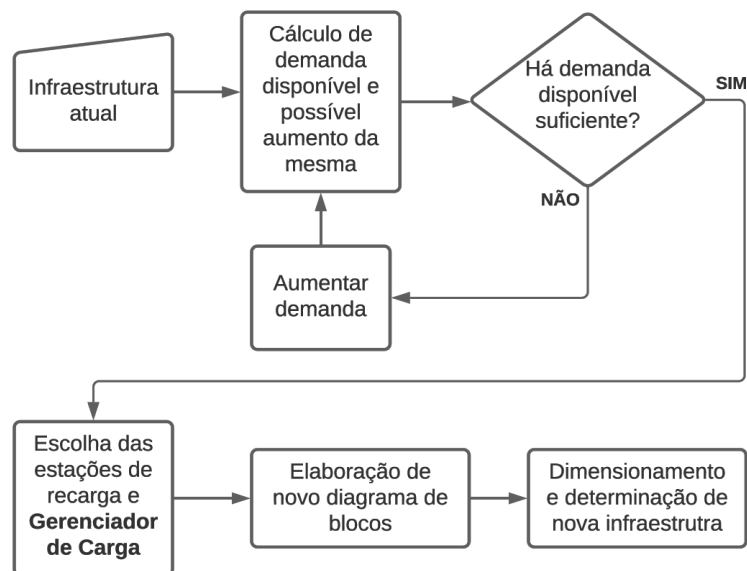
Como a instalação não será totalmente refeita, foi elaborado um fluxograma de desenvolvimento do estudo, e o mesmo pode ser observado no fluxograma da figura 6.

Através do fluxograma apresentado, é observado que o projeto começa com as análises da infraestrutura atual, fazendo a verificação da demanda disponível para aumento. Caso a demanda disponível não seja suficiente para instalar as cargas previstas, é necessário aumentar a capacidade da entrada de potência do condomínio, considerando as novas cargas. Quando a demanda for suficiente, parte-se para a escolha das estações de recarga e de equipamentos adicionais, onde no caso desse estudo, será instalado um gerenciador de carga. Em seguida, o desenvolvimento parte para a elaboração de um diagrama de blocos com a ampliação da instalação, finalizando com o dimensionamento e determinação da nova infraestrutura em si, considerando todas as normas técnicas pertinentes.

É importante explicar que o fluxograma da figura 6 é um procedimento simplificado da elaboração do projeto, onde alguns detalhes são desconsiderados para fins acadêmicos. Caso o projetista seja contratado para realizar um trabalho em um condomínio real, é necessário levar em consideração todas as especificações da

instalação, como fazer um levantamento de cargas detalhado e estudar as melhores formas de ampliar a infraestrutura, minimizando os impactos negativos e possíveis impeditivos para sua realização.

Figura 6 - Controle de carga dinâmica



Fonte: Os autores

Essa é a base dos procedimentos que foram seguidos na elaboração do estudo.

3.3 AUMENTO DA DEMANDA DO CONDOMÍNIO

Para calcular a demanda, a equação 1 é utilizada,

$$D = \frac{N * \%vagas * P * FD}{FP}, \quad (1)$$

na qual, D é a demanda de potência dada em Volt-Ampère, N é o número de vagas onde serão instaladas ER, P é a potência de recarga das ER em Volt-Ampère, FD é o fator de demanda e FP o fator de potência.

Pretende-se que a instalação seja capaz de atender futuramente carregadores em todas as vagas, superando a recomendação mínima da NTC 902210, porém, para que não haja grande mudança na categoria do prédio e muito aumento de demanda, será considerado recarga lenta em todos os pontos. Dessa

forma, caso no futuro sejam instaladas estações de recarga de 3,6 kW em todas as vagas, o edifício estará devidamente dimensionado.

Avaliando a curva do gráfico 7, foi feito um cálculo da área. Dividindo a área pelo período de carga, obteve-se uma média do fator de potência de 0,884.

A equação 2 apresenta a solução da equação 1 com as informações apresentadas anteriormente,

$$Demanda = 13 * 100\% * 3,6 * \frac{0,500}{0,884} = 26,47 \text{ kVA.} \quad (2)$$

Adequando a entrada de energia, considerando um aumento de 26,47 kVA, é possível instalar carregadores de 3,6 kW em todas as vagas do estacionamento, no qual as estações serão conectadas a partir do centro de medição do condomínio, então o quadro do condomínio não sofrerá nenhuma intervenção.

3.4 ESTAÇÃO DE RECARGA E GERENCIADOR DE ENERGIA

Cada ponto de recarga pode ser alimentado com uma potência de 3,6 kW, porém uma oportunidade de maximizar a eficiência da infraestrutura elétrica é adotar um sistema de gerenciamento de carga.

O gerenciador será capaz de alocar todos os 26,47 kVA às estações que estiverem consumindo energia dinamicamente, sem ultrapassar o limite estipulado. Por exemplo, caso sejam instaladas em todas as vagas carregadores rápidos, de 22 kW, e apenas uma estação esteja em uso, toda a potência possível será disponibilizada ao carregador, dividindo a potência entre as demais que forem conectadas posteriormente. Caso o gerenciador não seja utilizado, a instalação não poderá instalar carregadores de mais de 3,6 kW por conta da limitação determinada na seção anterior. Isso é explicitamente vantajoso tanto para o projetista quanto para o cliente, onde o uso da demanda disponível é significativamente otimizado, resultando em menor complexidade de projeto e em menores gastos com infraestrutura.

Para o projetista, à montante do quadro de distribuição das estações de recarga, a demanda estará fixa ao máximo determinado para o gerenciador controlar e, portanto, caso o projeto contemple diversas estações de recarga de grandes potências, não será necessário dimensionar componentes maiores.

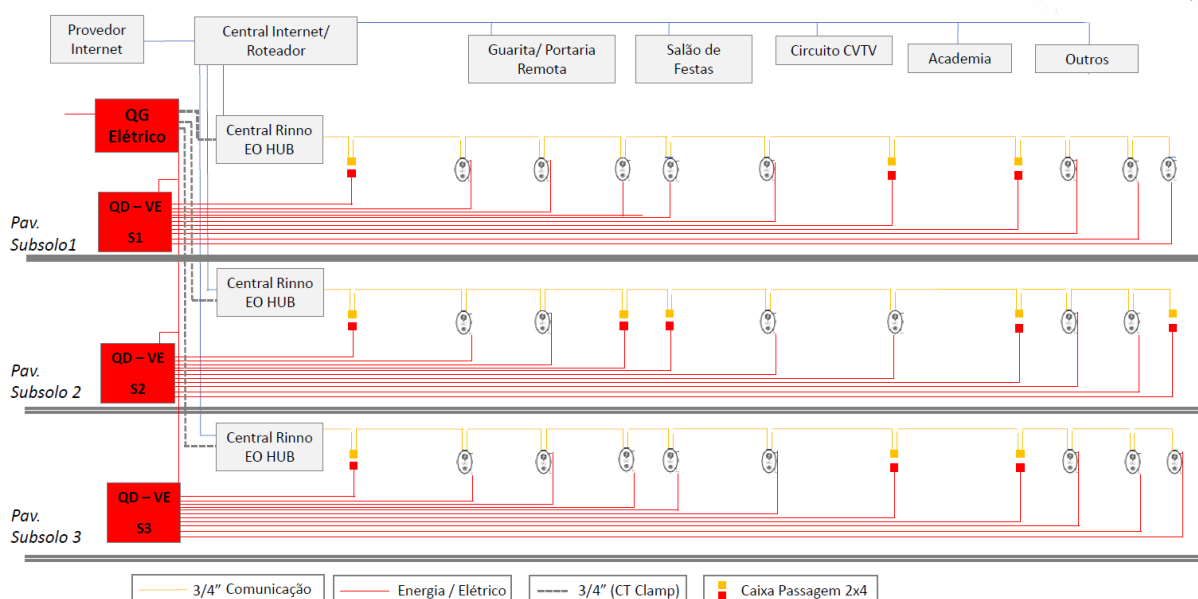
Para o cliente, além de menores gastos com infraestrutura e grandes componentes de potência (incluindo possível transformador), os VEs estarão sendo carregados na maior potência possível, ou seja, no menor tempo possível, o que é um fator de suma importância quando se fala em VEs e na viabilidade deles.

Para este estudo, será utilizado o gerenciador de carga da Rinno Energy, EO HUB. O fornecedor apresentou a solução que mais se enquadra no projeto do condomínio. Será adotado o controle de carga por divisão de correntes, explicado na seção 2.3.4 como sendo do tipo “Gerenciamento de carga com monitoramento de carregadores”, assim é assegurada a não extrapolação do limite de demanda destinada às estações de recarga e a maior potência instantânea disponível será oferecida aos carregadores, sem restrição de horários ou vagas.

A opção pelo fornecedor Rinno Energy foi realizada em função de possuir catálogos e informações acessíveis para utilizar em projetos. O gerenciador escolhido é capaz de controlar até 32 estações de recarga, com a possibilidade de conexão com outros gerenciadores para controle de mais cargas e nele são conectados todos os periféricos necessários para a aplicação, como transformadores de corrente a distâncias de até 30 metros para medições de corrente, consumo e contadores para comutação das cargas.

A figura 7 demonstra um diagrama genérico de conexão do gerenciador de carga com as estações de recarga.

Figura 7 - Conexões do gerenciador



Fonte: Catálogo comercial Rinno Energy

3.4.1 Estação de recarga

Para esta instalação, serão utilizadas 4 estações de *Socket Universal* com potências que variam de 3,6 kW, 7 kW, 11 kW e 22 kW, pois não possuem limitação de padrões, conectores e poderão fazer melhor uso dos 26,47 kVA de demanda disponível.

Quatro estações de recarga não compõem 100% da instalação, mas com certeza serão o suficiente para que os primeiros proprietários de VEs sejam atendidos sem gastos excessivos com compras adicionais de carregadores. A figura 8 apresenta a estação de recarga adotada.

Figura 8 - Estações de recarga.



Fonte: Catálogo comercial Rinno Energy

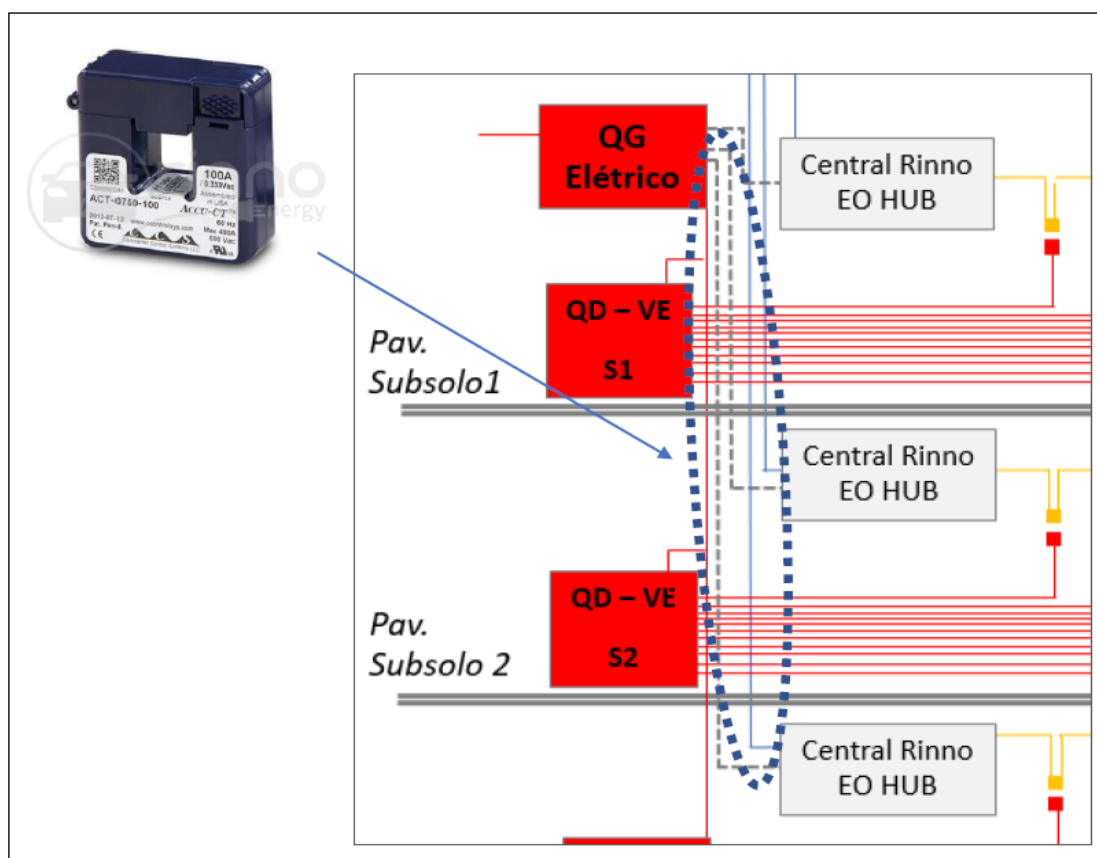
O carregamento é liberado através de cartão RFID ou por aplicativo próprio do fabricante, portanto independente se as vagas do edifício forem fixas ou rotativas, será possível manter a gestão do carregamento individualizada através de plataformas *online*.

3.5 FORMA DE COBRANÇA

Por conta da instalação dos transformadores de corrente e do conhecimento das tensões dos carregadores, o próprio gerenciador é capaz de medir o consumo para cobrança. Assim como a estação de recarga, o gerenciador também possui um *software* supervisor, porém mais robusto com históricos maiores e funções de rateio e faturamento de energia para o condomínio fazer a devida cobrança aos condôminos.

A figura 9 indica de forma genérica a localização das conexões dos transformadores de corrente.

Figura 9 - Conexões do gerenciador



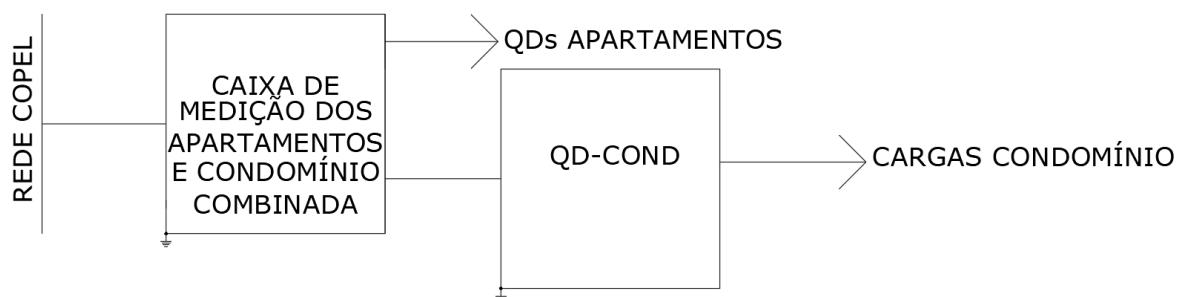
Fonte: Catálogo comercial Rinno Energy

3.6 IDEALIZAÇÃO DAS ADEQUAÇÕES

Na figura 10 está o diagrama de blocos com os principais componentes e painéis da instalação atual, na qual QDG é o quadro geral de distribuição, CAIXA DE MEDIÇÃO DOS APARTAMENTOS E CONDOMÍNIO COMBINADA é a representação

do painel de medição de consumo do condomínio e apartamentos e QD-COND é o quadro de distribuição do condomínio.

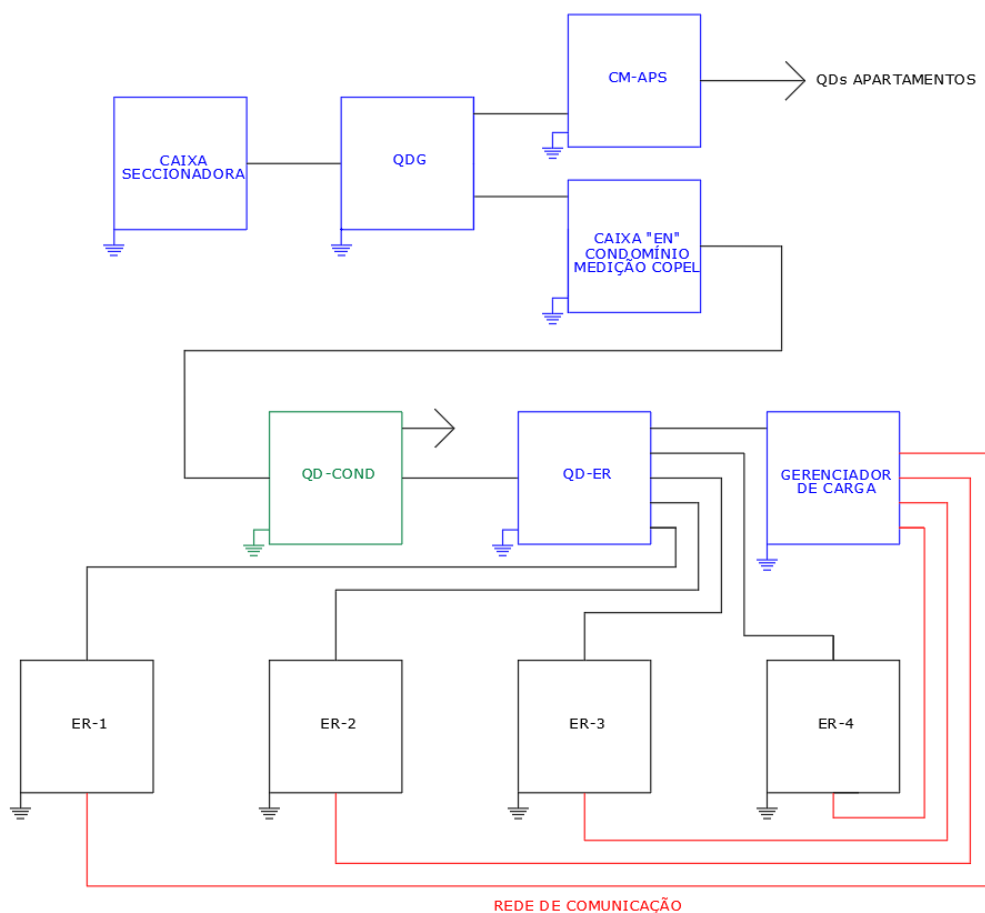
Figura 10 - Diagrama dos painéis da instalação atual



Fonte: Os autores, 2021

Para a adição das estações e do gerenciador de carga, é possível seguir o seguinte diagrama simplificado apresentado na figura 11. Onde em azul estão os principais componentes que serão adicionados, enquanto em verde o que deverá ser modificado, já em vermelho estão as conexões principais de comunicação entre o gerenciador de energia e as estações de recarga.

Figura 11 - Diagrama com inserção de ER e gerenciador de carga



Fonte: Os autores, 2021

Onde:

QGD: Quadro geral de distribuição;

CM-APS: Painel de caixas de medição dos apartamentos;

CAIXA "EN" CONDOMÍNIO MEDIÇÃO COPEL: Painel de medição de consumo do condomínio;

QD-COND: Quadro de distribuição do condomínio;

ER-1 a ER-4: Estações de recarga; e

QD-ER: Quadro de distribuição das estações de recarga.

3.7 DIMENSIONAMENTO DE QD-ER

Para o painel dos VEs, foi dada a denominação de QD-ER, onde para o cálculo da potência instalada, será considerado a instalação de 4 estações de recarga de 22 kW nas vagas, além de um circuito de 100 VA para o gerenciador de carga (considerando FP unitário). Calculando com o fator de potência e somando, a carga


total instalada a ser dimensionada será de 88.100 W. O quadro de cargas pode ser consultado no Apêndice 1 deste estudo. A demanda calculada anteriormente é de 26.470 VA.

No painel também deverá estar presente um disjuntor monopolar de 10 A, para alimentar o gerenciador de carga. Este, porém, não necessita de diversos cálculos de dimensionamento, pois o gerenciador é um equipamento de controle e gerenciamento eletrônico, podendo ser instalado com cabos bipolares de 2,5 mm² em eletrodutos de 3/4" de diâmetro.

3.7.1 Dimensionamento de condutores o QD-ER para as ERs

É preciso determinar o método de instalação dos condutores. O método de instalação é dado através da tabela 33 da NBR 5410, e nela são apresentadas diversas formas possíveis para projetar a infraestrutura de alimentação do sistema de recarga. Como a instalação é antiga, existe a dificuldade na modificação de paredes e passagem de novos condutores nos eletrodutos existentes, com isso será escolhido o método de instalação número 14 e método de referência E, conforme fragmento da tabela 33 da NBR 5410 apresentado na figura 12 a seguir.

Figura 12 - Método de instalação dos condutores

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical ⁴⁾	E (multipolar) F (unipolares)

Fonte - NTC 901100

O método escolhido é viável por facilitar a passagem dos condutores e possibilitar ampliação, uma vez que posteriormente, mais estações poderão ser instaladas e mais circuitos poderão ser conectados.

Partindo para o cálculo dos dimensionais, inicia-se pela corrente de projeto para cargas trifásicas, que é o caso das estações de recarga de 22 kW. Ela é calculada a partir da equação 3 apresentada abaixo,

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * V_l}, \quad (3)$$

na qual, I_p é a corrente de projeto em Ampères, S é a potência aparente da carga em Volt-Ampère e V_l é a tensão de linha da alimentação em Volts.

Como a tensão de linha fornecida e faturada ao condomínio é 220 V e a potência ativa de cada estação é 22 kW, falta calcular a potência aparente a partir da equação 4 abaixo, na qual S é a potência aparente em Volt-Ampère, P é a potência ativa em watts e FP é o fator de potência.

$$S = \frac{P}{FP}. \quad (4)$$

Com o fator de potência anteriormente determinado como 0,884, temos a aplicação da equação 4 com as informações disponíveis resultando na equação 5.

$$S = \frac{22}{0,884} = 24,89 \text{ kVA}. \quad (5)$$

Com os resultados obtidos, é possível calcular a corrente de projeto em Amprères, representada por I_p , mostrada na equação 6.

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * V_l} = \frac{24.890}{\sqrt{3} * 220} = 65,29 \text{ A}. \quad (6)$$

A seguir, será feita uma inicial correção à corrente de projeto a partir da distorção harmônica conhecida, que foi determinada no item 2.2.2 deste estudo como 12,3%. Com a equação 7 abaixo, a correção inicial é feita,

$$I_{ph} = \sqrt{[I_p^2 + (0,123 * I_p)^2]} = \sqrt{[65,29^2 + (0,123 * 65,29)^2]} = 65,78 \text{ A}, \quad (7)$$

na qual, I_p é a corrente de projeto dada em Ampères e I_{ph} é a corrente de projeto com contribuição harmônica, também dada em Ampères.

Com a corrente de projeto considerando as harmônicas, a seguir é calculada a corrente corrigida, onde são considerados os outros circuitos que compartilharão o eletroduto ou canaleta. Ela é calculada com a equação 8 a seguir,

$$I_c = \frac{I_p}{FCT * FCA * FCRS}, \quad (8)$$

onde, I_c é a corrente corrigida dada em Ampères, I_p é a corrente de projeto, também dada em Ampères, FCT é o fator de correção de temperatura, FCA é o fator de correção de agrupamento e $FCRS$ é o fator de correção em linha subterrânea.

As tabelas 40, 41 e 42 da NBR 5410 nos fornecem os valores de FCT , $FCRS$ e FCA .

Determinando que o isolamento dos cabos será de PVC:

- Para FCT , a temperatura ambiente considerada é 25° C, cujo valor é de 1,06;
- Para $FCRS$, o valor será unitário, pois a rede não será subterrânea e não necessita correção;
- Para FCA , serão considerados os cinco circuitos das estações em uma única calha, então sua contribuição na correção da corrente será de 0,75.

Na equação 9 é calculada a corrente corrigida.

$$I_c = \frac{I_p}{FCT * FCA * FCRS} = \frac{65,78}{1,06 * 0,75 * 1} = 82,74 \text{ A}. \quad (9)$$

A seção nominal é obtida através da tabela 38 da NBR 5410. Nela a seção maior mais próxima a atender a corrente corrigida é 16 mm², porém foi escolhida uma seção de 25 mm² para os condutores, padronizando com o resto do projeto, cuja corrente máxima é 114 A, dispostos da forma justaposta horizontalmente, com um condutor ao lado do outro, sem empilhar. À corrente máxima suportada pelo condutor é dada a nomenclatura de I_z . A princípio, o condutor neutro segue a tabela 48 da NBR 5410, nela, quando a seção nominal dos condutores de fase é maior que 25 mm², o condutor de fase pode possuir seção menor, porém no caso do estudo, não é necessário alterar o dimensionamento, visto que a seção já é 25 mm².

É necessário considerar a influência das harmônicas no projeto, de acordo com o item 6.2.6.1.2 da NBR 5410, mais exclusivamente no condutor neutro, onde a soma das harmônicas não é nula.

O fornecedor não disponibilizou documentação referente às componentes harmônicas e nem suas intensidades, então será utilizada a informação de DHT média obtida na 2.2.2 deste estudo, sendo 12,3%.

Para dimensionar o neutro, de acordo com a NBR 5410, é utilizado o item 6.2.6.2.3 da mesma, onde é explicitado que, caso as componentes harmônicas ultrapassem 15%, a seção do condutor neutro não deverá ser menor que a seção das fases. Felizmente o DHT das cargas está em torno de 12,3% em média, então o condutor neutro está bem dimensionado aos 25 mm².

O aterramento é dado com a Tabela 58 da mesma norma, e a partir dela, temos que para condutores de fase com seções entre 16 mm² e 35 mm², a seção da proteção pode ser de 16 mm², e será esse o dimensional da nossa proteção.

A ligação fica então com 5 condutores por circuito, sendo três para as fases, um para o neutro e o último para aterramento.

3.7.2 Atendimento do critério de queda de tensão de QD-ER às cargas

Em instalações elétricas prediais, desde o ponto de distribuição até a carga, o máximo de queda de tensão permitido é de 4%, e para esse projeto não será diferente.

De acordo com o catálogo da Corfio, a resistência dos cabos tetrapolares é de 0,78 Ω/km a 20° C. Já o comprimento dos cabos será considerado 20 metros, pois como não é possível a visita *in loco*, essa distância é suficiente para validar o cálculo do cabo. A equação 10 abaixo valida o cálculo, onde, I_{ph} é a corrente de projeto com contribuição harmônica dada em Ampères, ρ é a resistividade do cobre dada em ohm vezes metro, l é o comprimento do trecho em metro e V é a tensão em Volts.

$$\Delta V(\%) = \frac{I_{ph} * \rho * l}{V} = \frac{65,78 * 0,78 * 0,02}{220} * 100\% = 0,4664\%. \quad (10)$$

Com a comprovação, é possível definir o uso dos condutores da Corfio, cujos cabos unipolares de PVC possuem diâmetro externo nominal de 8,60 mm.

3.7.3 Dimensionamento das eletrocalhas

As eletrocalhas são dimensionadas considerando os cabos que estão sendo suportados por ela, sobrando cerca de 40% da largura ainda disponível para futuras adaptações.

Como o diâmetro dos cabos é 8,60 mm e a quantidade de cabos será 20 (são considerados todos de 25 mm² para simplificação), por conta dos circuitos, os cabos ocuparão 172 mm das eletrocalhas. Dividindo por 60%, a largura mínima das mesmas deverá ser de 286,67 mm.

O valor comercial maior mais próximo para eletrocalhas perfuradas é 300 mm de largura com 50 mm de altura, e como não é necessária significante altura, essas serão as eletrocalhas instaladas na direção horizontal, independentemente da marca.

3.7.4 Dimensionamento dos disjuntores dos circuitos

O disjuntor de proteção deverá atuar entre a corrente de projeto e a corrente suportada pelo condutor, seguindo a inequação 1,

$$I_{ph} < I_d < I_z, \quad (1)$$

onde, I_d é a corrente de atuação do disjuntor, I_{ph} é a corrente de projeto e I_z é a corrente máxima suportada pelo condutor, todas dadas em Ampères.

Com as correntes conhecidas, é possível aplicar os valores na inequação 2, obtendo:

$$65,78 A < I_d < 114 A. \quad (2)$$

O disjuntor que será útil à aplicação é um disjuntor de 70 A. Como a corrente não sofre picos na partida, a curva B é o suficiente para atender às estações, não havendo restrições a marcas, desde que seja padrão DIN.

3.7.5 Cálculo do painel de distribuição e proteção

A demanda de QD-ER é de 26.470 VA, substituindo os valores na equação 11 para calcular a corrente temos:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * V_l} = \frac{26.470}{\sqrt{3} * 220} = 69,47 A. \quad (11)$$

Não haverá correção da corrente por conta da limitação de demanda e pelo eletroduto ser exposto e exclusivo para alimentar o painel.

Com a corrente, os condutores serão de 25 mm² seguindo a tabela 38 da NBR 5410, mantendo o padrão citado no item 3.6.1 deste estudo.

Na tabela 48 da NBR 5410, pode-se confirmar, assim como no dimensionamento dos condutores neutro das cargas, que o neutro possuirá a mesma seção nominal das fases, com 25 mm².

Assim como para as cargas, o aterramento seguirá a tabela 58 da mesma norma, tendo seção de 16 mm².

Para o disjuntor pode-se aplicar a inequação 3:

$$69,47 A < I_d < 110 A. \quad (3)$$

Por conta da demanda e da limitação que o gerenciador de carga garante, não será necessário instalar componentes maiores no quadro de distribuição, sendo possível utilizar o disjuntor de 80 A, para evitar disparos indevidos por conta da corrente de atuação ser bastante próxima à de projeto, e por consequência, o eletroduto de alimentação do quadro será de 1.1/4".

Vale observar que a capacidade de condução de corrente caiu de 114 A para 110 A, pois dentro do eletroduto os condutores estarão dispostos em formato de trifólio. Essa mudança é verificada na tabela 38 da NBR 5410.

Para os barramentos, as dimensões devem ser de no mínimo 1/2" x 1/8", pois suportam correntes de até 97 A.

3.7.6 Atendimento do critério de queda de tensão de QD-COND à QD-ER

Assim como para as cargas, entre os painéis, o máximo de queda de tensão permitido é de 4%.

O cálculo da queda de tensão muda pouco, visto que a seção ainda é 25 mm² e o padrão de distância adotado é 20 metros, então a equação 12 abaixo confirma o condutor:

$$\Delta V(\%) = \frac{I_p * \rho * l}{V} = \frac{69,47 * 0,78 * 0,02}{220} * 100\% = 0,4926\%. \quad (12)$$

onde, I_p é a corrente de projeto com contribuição harmônica dada em Ampères, ρ é a resistividade do cobre dada em ohm vezes metro, l é o comprimento do trecho em metro e V é a tensão em Volts.

Com a comprovação, é possível definir o uso dos condutores da Corfio, cujos cabos unipolares de PVC possuem diâmetro externo nominal de 8,60 mm.

3.7.7 Cabos de comando

Para o comando das estações, sairão quatro *patch cords* do gerenciador de carga, com diâmetro de aproximadamente 5,2 mm, ou seja, 21,24 mm². Os quatro somados resultam em 84,95 mm² e dedicando 45% da área do eletroduto livre para a passagem dos cabos, o eletroduto deverá ter área de no mínimo 155 mm², e por consequência diâmetro mínimo de 14 mm. Vai ser possível utilizar o eletroduto de 3/4", o mesmo utilizado para a potência do gerenciador de carga, pois seu diâmetro é 18 mm, mais do que o necessário.

3.8 DIMENSIONAMENTO DE QD-COND

Até o momento, os dimensionamentos foram feitos com base na potência instalada das cargas (no caso estações de recarga), porém a partir desse momento, os dimensionamentos serão feitos seguindo a demanda dos quadros à jusante do painel em questão, simplificando os cálculos e garantindo segurança.

O painel responsável pela alimentação de QD-ER é QD-COND. Este último não poderá ser mantido como está, pois o aumento na demanda ultrapassa os limites para os quais ele foi projetado.

- Demanda máxima instalada: será a demanda máxima possível já existente, cujo valor é 24 kVA (FP unitário por conta da falta de documentação) somada à demanda máxima instalada de QD-ER, de 30 kVA, o que faz com que a potência máxima seja de 54 kVA;
- Demanda: será o valor atual, de 14,4 kVA, somada com a demanda do QD-ER, de 26,47 kVA, resultando em 40,87 kVA;

3.8.1 Dimensionamento de condutores para QD-COND

A demanda de QD-COND, por ser 40,87 kVA, terá corrente conforme equação 13,

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * V_l} = \frac{40.870}{\sqrt{3} * 220} = 107,25 A \quad (13)$$

na qual, I_p é a corrente de projeto em *Ampère*, S é a potência aparente da carga em *Volt-Ampère* e V_l é a tensão de linha da alimentação em *Volts*.

Não haverá correção de correção da corrente por conta de ser limitação de demanda e pelo eletroduto ser exclusivo e exposto.

Com a corrente, os condutores também deveriam ser de 25 mm² seguindo a tabela 38 da NBR 5410, porém não será possível, pois à frente foi verificado a necessidade de aumento do dimensional para 35 mm², a fim de dar a devida proteção ao condutor com um disjuntor que não estivesse no limite de suportabilidade do condutor.

Na tabela 48 da NBR 5410, pode-se retirar da relação entre condutor de 35 mm² para o neutro, que a seção deste deverá ser de 25 mm².

Assim como para as cargas e QD-ER, o aterramento seguirá a tabela 58 da mesma norma, tendo seção de 16 mm².

3.8.2 Dimensionamento do disjuntor geral, barramentos e proteção para QD-COND

Valores para o disjuntor conforme inequação 4:

$$107,25 A < I_d < 137 A. \quad (4)$$

Por conta da demanda, será possível utilizar um disjuntor de 110 A para alimentação do quadro, pois fica entre os limites impostos, por consequência, o eletroduto de alimentação de QD-COND será de 1.1/2".

Já os barramentos deverão ser maiores, de seção 1/2" x 3/16", cuja corrente suportada é 140 A.

3.8.3 Atendimento do critério de queda de tensão de QD-COND à QD-ER

Como dito para os outros dimensionamentos, o máximo de queda de tensão permitido é de 4%.

A seção dos condutores de fase será 35 mm², e de acordo com o catálogo da Corfio, a resistividade do cabo é 0,554 Ω/km. Com esse dado e a corrente de projeto de 107,25 A, é calculada a queda de tensão na seguinte equação 14:

$$\Delta V(\%) = \frac{I_p * \rho * l}{V} = \frac{69,47 * 0,78 * 0,02}{220} * 100\% = 0,5402\%. \quad (14)$$

Com a comprovação, é possível definir o uso dos condutores da Corfio, cujos cabos unipolares de PVC possuem diâmetro externo nominal de 10,15 mm.

3.9 DIMENSIONAMENTO DE QDG

Como o novo painel destinado aos carregadores deverá ser instalado depois do QD-COND, que por sua vez fica depois do QDG, este último deverá ser readequado.

Tais adequações não serão feitas neste estudo, pela falta de informações mais detalhadas sobre a infraestrutura atual, porém é possível calcular e determinar os pontos principais a serem feitos, como a demanda, a potência instalada e a entrada de energia.

- Demanda máxima instalada: é somada a demanda máxima instalada do quadro dos apartamentos, que conforme laudo técnico citado é de 55,10 kVA, com a demanda máxima instalada do condomínio de 54 kVA resultando em 109,1 kVA;

- Demanda: é somada a potência total demandada dos apartamentos, de 30,31 kVA, com a nova demanda do condomínio de 40,87 kVA resultando em 71,18 kVA;
- Alimentação do painel: Como é o quadro de alimentação do edifício, é possível seguir com a tabela 2 da NTC 901100, a entrada de energia que melhor se enquadra é a da categoria 45, cuja demanda máxima é 76,00 kVA, a maior possível disponível na tabela, antes de precisar atender a outros requisitos como por exemplo um transformador.

Os componentes para a alimentação seriam um disjuntor trifásico de 200 A, condutores de 95 mm² com isolamento de PVC para as fases, aterramento de 50 mm² e com a passagem sendo feita por eletroduto de 2.1/2".

4 CONCLUSÃO

O projeto preliminar foi desenvolvido utilizando documentos de um laudo técnico, sem a possibilidade de visitar o local para análises e dimensionamentos, porém, considerando as premissas técnicas e objetivos do trabalho, o projeto pode ser dado como bem-sucedido.

Como pontos de maior destaque do estudo, estão as pesquisas relacionadas à gerenciamento de carga e à instalação em si do gerenciador de carga com todas as suas peculiaridades, pois mesmo seguindo as normas técnicas e práticas utilizadas para elaboração de projetos elétricos, muitas dificuldades foram encontradas.

Um dos maiores problemas foi estudar o funcionamento dos gerenciadores de carga, assim como encontrá-los em si. Não apenas o mercado de VEs no Brasil está em seus passos iniciais, como também as tecnologias ainda estão sendo mantidas como segredos de mercado. Contatos com diversos fornecedores, nacionais e internacionais, foram feitos, porém sem sucesso de resposta ou informações relevantes. Diversas pesquisas acadêmicas foram também realizadas, e muitas ofereceram ótimas informações, porém ainda não suficientes. Por conta disso, muitos dados técnicos de algoritmos e infraestrutura infelizmente foram excluídos deste documento.

Outro grande problema enfrentado foi a necessidade de quebra de paradigmas no que diz respeito à elaboração de projetos elétricos. Geralmente as normas técnicas são seguidas à risca nos dimensionamentos, porém no estudo de caso, como a potência das estações de recarga varia dinamicamente, dúvidas surgiram no cálculo da demanda e determinação da potência. Com os estudos feitos, o resultado foi um fator de demanda de aproximadamente 26% no QD-ER, valor esse que ainda diminuirá à medida que mais estações de recarga são instaladas. Essa razão é extremamente baixa e certamente levantará questionamentos entre os projetistas mais experientes, porém totalmente plausíveis.

É possível dizer também que as tecnologias de gerenciamento de carga e de energia estão moldando a forma de se pensar e desenvolver projetos elétricos, justamente por conta da necessidade da quebra dos paradigmas explicados no parágrafo anterior, em favor de uma instalação mais tecnológica. Ao caso do estudo, o uso do gerenciador de carga a fim de limitar a potência consumida pelo painel a um valor máximo facilitou imensamente a viabilidade de adaptação da instalação. Muitos

super dimensionamentos foram evitados nos componentes à montante de QD-ER como consequência disso.

Pelo dinamismo de trabalho do gerenciador de carga e pelo que foi dimensionado no projeto, é possível que todas as vagas de estacionamento sejam alimentadas por estações de recarga sem maiores adaptações da instalação, sendo apenas necessário instalar a infraestrutura a partir do quadro. Adicionalmente, vale lembrar que o gerenciador de carga é programável, possibilitando que, caso um proprietário deseje colocar uma estação de recarga de menor potência, não há problema, desde que o administrador do sistema aloque as funções e limites no *software* do gerenciador.

Sobre a instalação utilizada para o estudo de caso, pode-se afirmar que ela em si foi desafiadora e de grande proveito, pois durante os estudos para adequação do projeto, por conta da antiguidade da edificação e da falta de documentação, muitos pontos de irregularidades foram encontrados e foi necessário indicar a devida tratativa a eles. Com esse edifício, os autores foram capazes de indicar pontos importantes a serem vistos quando um projetista estiver adequando ou fazendo *upgrade* em sua instalação elétrica, o que não seria possível caso o condomínio fosse mais novo.

5 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS

5.1 ESTUDO DE FUNCIONAMENTO LÓGICO DO GERENCIADOR

O gerenciador é de vital importância para o projeto, porém detalhes como margens de erro admissíveis, algoritmos de funcionamento, lógicas de segurança, e outros, ficam ocultos ao projetista e ao cliente, podendo gerar dúvidas e insegurança na escolha e operação.

Com o passar do tempo, essas tecnologias estarão mais difundidas na comunidade acadêmica e ao público, tornando um estudo focado no tema da lógica do gerenciador uma ideia viável e interessante.

5.2 INTEGRAÇÃO COM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Seguindo a linha de inovação, tecnologia, com as pesquisas realizadas referentes ao comportamento das estações de recarga e dimensionamentos relacionados, este estudo pode ser utilizado como referência para auxílio a projetistas e consumidores que desejam integrar também um sistema de geração de energia fotovoltaica na instalação.

Fica então a sugestão de estudar os efeitos, possíveis interferências e comportamentos dos sistemas quando os veículos elétricos são conectados a um sistema de geração fotovoltaica.

5.3 SEPARAÇÃO DA CAIXA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO

Contemplando a necessidade da chave seccionadora, atualmente a instalação possui apenas um painel dedicado a atender tanto a medição do condomínio quanto dos apartamentos, porém essa infraestrutura não está correta pois as caixas de medição deverão ser separadas.

Vale o aviso ao projetista verificar essa situação, para avisar os responsáveis a tratar o problema adequadamente.

5.4 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE CARREGAMENTO NA VIDA ÚTIL DAS BATERIAS DOS VES

Analisando o gráfico 9 que apresenta a taxa de envelhecimento de um transformador quando submetido à diferentes cargas e sabendo das diferentes potências de carregamentos dos VEs, é possível questionar sobre como essas potências afetam a vida útil das baterias dos veículos. É um questionamento bastante pertinente, visto que as baterias se deterioram com o tempo e os veículos são projetados para durar muitos anos, podendo este ser objeto de estudo interessante a ser tratado.

REFERÊNCIAS

A evolução da norma-mãe das instalações de baixa tensão. O Setor Elétrico, abr. 2011. Disponível em: <https://osetoreletrico.com.br/a-evolucao-da-norma-mae-das-instalacoes-de-baixa-tensao/>. Acesso em: 07 fev. 2021.

ABNT, 2004. ABNT. NBR 5410 - **Instalações elétricas de baixa tensão.** Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, 2013a. ABNT. NBR IEC 61851-1 - **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos - Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, 2013c. ABNT. NBR IEC 61851-21 - **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos - Parte 21: Requisitos de veículos elétricos para a conexão condutiva a uma alimentação em corrente alternada ou contínua.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, 2013b. ABNT. NBR IEC 61851-22 - **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos - Parte 22: Estação de recarga em corrente alternada para veículos elétricos.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT, 2020. ABNT. NBR IEC 61851-23 - **Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos - Parte 22: Estação de recarga em corrente contínua para veículos elétricos.** Rio de Janeiro, 2020.

ANEEL, 2018. **Resolução Normativa Nº 819, de 19 de junho de 2018.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

ANGELO, C.; RITTL, C. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970-2018.** Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Brasil, nov. 2019.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2021.** Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2021/anuario.pdf>. Acesso em 24 jul. 2021.

BUSINESS, A. **Carros elétricos e híbridos: quais estados têm isenção ou desconto de IPVA?** 23 Mar. 2021. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/inovacao/674/carros-eletrificados-quais-estados-tem-isencao-ou-desconto-de-ipva>. Acesso em 17 Ago. 2021.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade.** Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 139. 2012.

BRASIL, 2015a. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3fzyRzm> Acesso em: 28 mai. 2020.

BRASIL, 2015b. Ministério da Economia. **Camex aprova redução da alíquota do Imposto de Importação para carros elétricos e movidos à células de**

combustível. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.camex.gov.br/noticias-da-camex/262-camex-aprova-reducao-da-aliquota-do-imposto-de-importacao-para-carros-eletricos-e-movidos-a-celulas-de-combustivel#:~:text=do%20menu%20principal-,Camex%20aprova%20redu%C3%A7%C3%A3o%20da%20al%C3%ADquota%20do%20Imposto%20de%20Importa%C3%A7%C3%A3o%20para,movidos%20a%20c%C3%A9lulas%20de%20combust%C3%ADvel>. Acesso em: 24 de jun. 2020.

BRASIL, 2020. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019.** 30 jan. 2020. Disponível em: <http://bit.ly/35IP2Vo>. Acesso em: 09 fev. 2021.

BRITO, D. **Efeito estufa:** transporte responde por 25% das emissões globais. Agência Brasil, dez. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/efeito-estufa-transporte-responde-por-25-das-emissoes-globais>. Acesso em: 11 jul. 2020.

BUZATTO, V. H. Sun Volt. **Eletrovia é inaugurada entre São Paulo e Rio de Janeiro,** 24 ago. 2018. Disponível em: <http://www.sunvoltenergiasolar.com.br/eletrovia-e-inaugurada-entre-sao-paulo-e-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 04 set. 2020.

CASTRO, B. H. R. de; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos:** aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC. BNDES Setorial, n. 32, p. 267-310, set. 2010.

CLAIRAND, J.; GARCÍA, J. R.; BEL, C. A. **Smart charging for electric vehicle aggregators considering users' preferences.** IEEEExplore, v. 6, p. 54624-54635, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328011514_Smart_Charging_for_Electric_Vehicle_Aggregators_Considering_Users%27_Preferences. Acesso em: 20 fev. 2021.

COPEL, 2019. Copel Distribuição S.A. **Copel inaugura maior eletrovia do país,** 23 out. 2019. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F66B766F31D7940A58325836200594384>. Acesso em: 04 set. 2020.

COSTA, J. E. G.; DELGADO, F.; FEBRARO, J.; SILVA, T. B. da. **Caderno Carros elétricos,** ano 4, n. 7, mai. 2017. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_carros_eletricos-fgv-book.pdf. Acesso em: 27 mai. 2020.

COWAN, R.; HULTÉN, S. **Escaping lock-in:** the case of electric vehicle. Technological Forecasting and Social Change, v. 53, n. 1, p. 61-79, set. 1996.

FORATO, F. Tarifa Branca - **Como pagar menos na conta de luz a partir de 1º de janeiro.** 27 dez. 2019. Disponível em: <https://canaltech.com.br/governo/tarifa-branca-como-pagar-menos-na-conta-de-luz-a-partir-de-1o-de-janeiro-158517/>. Acesso em: 23 fev. 2021.

GLOBAL EV Outlook 2020 - **Entering the decade of electric drive?** International Energy Agency. Jun. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. Acesso em: 26 fev. 2021.

HILSHEY, A. D. E COL. **Estimating the impact of electric vehicle smart charging on distribution transformer aging.** Understanding and managing the impacts of electric vehicles on electric power distribution systems, v. 4, n. 2, p. 905-913, jun. 2013.

HOYER, K. G. **The history of alternative fuels in transportation:** The case of electric and hybrid cars. Utilities Policy, v. 16, n. 2, p. 63-71, jun. 2008.

HOWEY, Clay; CARMICHAEL, Kelly; SHARIAT-ZADEH, Minoo. **Electric Vehicle Energy Management Systems.** Csa Group Research, mai. 2019. Disponível em: https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-RR_ElectricVehicle_WebRes.pdf. Acesso em: 27 jun. 2021.

KÜTT, L.; SAARIJÄRVI, E.; LEHTONEN, M.; MÖLDER, H; NIITSOO, J. **Current Harmonics of EV Chargers and Effects of Diversity to Charging Load Current Distortions in Distribution Networks,** 2013.

LEGEY, L. F. L.; BARAN, R. **Veículos elétricos:** história e perspectivas no Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC. BNDES Setorial, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.

MIKKILI, S.; PANDA, A. K. **SHAF for Mitigation of Current Harmonics Using p-q Method with PI and Fuzzy Controllers.** ETASR – Engineering, Technology & Applied Science Research, v. 1, n. 4, p. 98-104. 2011.

NTC, 2019. COPEL DISTRIBUIÇÃO S/A. Norma Técnica Copel - NTC 902210 – **Fornecimento de energia:** estações de recarga de veículo elétrico. Paraná, 2019.

NTC, 2020. COPEL DISTRIBUIÇÃO S/A. Norma Técnica Copel - NTC 901100 – **Fornecimento em tensão secundária de distribuição.** Paraná, 2020.

PINTO, R. **Análise dos Perfis de Carregamento de Veículos Elétricos numa Estação de Carregamento.** Dissertação (Grau de mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2015.

SAWADA, S. Y. E COL. **Anuário da indústria automobilística brasileira 2020.** Jan. 2020. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2020/anuario.pdf>. Acesso em 09 fev. 2021.

SCHAUN, A. Auto Esporte. **Carros elétricos e híbridos pagam IPVA?** 10 jul. 2020. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2020/07/carros-eletricos-e-hibridos-pagam-ipva.ghtml>. Acesso em: 04 set. 2020.

STRUBEN, J.; STERMAN, J. D. **Transition challenges for alternative fuel vehicle and transportation systems.** Environment and Planning B: Planning and Design, v. 35, n. 6, p. 1070-1097, 1 jan. 2008.

TOSIN, F.; KURODA, W. T. **A introdução do veículo elétrico na matriz elétrica brasileira**: situação atual e projeções. Orientador: Annemarlen Gehrke Castagna. 2019. 81 f. TCC (Graduação) – Curso Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

WRI, 2018. **O papel do setor industrial nas emissões de energia do Brasil**. 10 Abr. 2018. Disponível em <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/03/o-papel-do-setor-industrial-nas-emissoes-de-energia-do-brasil>. Acesso em: 18 Ago. 2021.

YANO, C. **É lei**: carros elétricos não pagam IPVA no Paraná. Gazeta do Povo, 24 out. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/parana/breves/lei-isencao-ipva-carros-eletricos/>. Acesso em: 27 set. 2020.

APÊNDICE A – QUADRO DE CARGAS DO QD-ER

Tabela 4 - Quadro de cargas de QD-ER

QD-ER	Circuito	Carga VA	Circuito	Bitola #mm ²	Proteção	Fase
QD-ER – Estações de recarga		1 x 24.887	ER 1	25	70	RST
	1	1 x 24.887	ER 2	25	70	RST
	2	1 x 24.887	ER 3	25	70	RST
	3	1 x 24.887	ER 4	25	70	RST
	4	1 x 24.887	ER 5	25	70	RST
	5	1 x 100	Gerenciador de carga	2,5	10	R
	CR1	0				
	CR2	0				
	CR3	0				
	CR4	0				
	CR5	0				
	CR6	0				
	CR7	0				
	CR8	0				
	CR9	0				
	CR10	0				
CR11	0					
CARGA TOTAL		99.647,51				
DEMANDA		26.470	GERAL	25	80	RST
FATOR DE DEMANDA		0,265636	Utilizada a Tabela 3 da NTC 902210, considerando a futura carga de 13 estações de recarga a 3,6 kW			

Fonte: Os autores, 2021

