

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Luis Augusto Melo Bottlender

**ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO
SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO CURVAS DE CARGA
DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Cachoeira do Sul, RS
2021

Luis Augusto Melo Bottlender

**ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO CURVAS DE CARGA DE CONSUMIDORES
RESIDENCIAIS**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Laura Lisiane Callai dos Santos

Cachoeira do Sul, RS
2021

Luis Augusto Melo Bottlender

**ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO CURVAS DE CARGA DE CONSUMIDORES
RESIDENCIAIS**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus
Cachoeira do Sul, como requisito parcial para
obtenção do título de **Engenheiro Eletricista**.

Aprovado em: 10 de Fevereiro de 2021

Laura Lisiane Callai dos Santos, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Dion Lenon Prediger Feil, Dr. (UFSM)

Fernando Guilherme Kaehler Guarda, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
(2021)
Ficha Catalográfica

NUP: 23081.011224/2021-22

Prioridade: Normal

Homologação de Ata

010 - Organização e Funcionamento

COMPONENTE

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
1	Ata de defesa de trabalho de conclusão de curso (TCC) (125.322)	TCC_Luis_ficha_ass.pdf

Assinaturas

10/02/2021 16:10:40

LAURA LISIANE CALLAI DOS SANTOS (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

31.04.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C_ACA_CampusCS

10/02/2021 16:21:51

DION LENON PREDIGER FEIL (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

31.04.00.00.0.0 - COORDENAÇÃO ACADÊMICA - UFSM-CS - C_ACA_CampusCS

10/02/2021 18:33:04

FERNANDO GUILHERME KAEHLER GUARDA (PROFESSOR ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E

26.04.00.00.0.0 - DEPARTAMENTO DE ENSINO - DE-POLI



Código Verificador: 519582

Código CRC: 2bc5f5a

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ser essencial em minha vida, aos meus pais Lourival Augusto da Silva Bottlender e Cristina Melo Bottlender, aos meus irmãos Pedro Henrique Melo Bottlender e João Arthur Melo Bottlender e a minha namorada Ariane Beskow pelo apoio e suporte para que se fosse alcançado este objetivo.

AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente meus pais pelo incentivo e suporte para realização deste trabalho.

À minha professora Laura Lisiane Callai dos Santos pelo esforço, dedicação e orientação com inteligência na execução deste trabalho.

À todos os professores, colegas e amigos que de alguma maneira contribuíram para realização do presente trabalho.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

(Albert Einstein)

RESUMO

ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO CONSIDERANDO CURVAS DE CARGA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

AUTOR: Luis Augusto Melo Bottlender
ORIENTADORA: Prof^ª. Dr^ª. Laura Lisiane Callai dos Santos

Pesquisas apontam que o mercado de Veículos Elétricos (VEs) deve crescer muito nos próximos anos. Os VEs são uma forma de oferecer aos consumidores maior economia e menor poluição, reduzindo a taxa de emissão de gases. O VE não é exclusivamente uma questão de sustentabilidade. Considerando seus gastos, a economia também é muito relevante. Os VEs necessitam de energia elétrica para recarregar suas baterias. Essa energia é suprida pela rede elétrica, e caso haja um grande número de VEs solicitando recarga ao mesmo tempo, é possível que haja uma sobrecarga no Sistema de Distribuição. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo analisar curvas de cargas residenciais com o aumento da carga ocasionado pela demanda dos VEs. Essa abordagem levará em conta a potência do VE a ser analisado, a frequência de carregamento, e o tipo de carregamento, determinando a curva de carga do VE utilizando o Método de Monte Carlo (MMC). A partir das curvas de carga residencial e do VE, será gerada uma nova curva de carga residencial. Também será analisado pelo MMC uma penetração dos VEs, e assim determinar uma nova curva de carga típica para consumidores residenciais com VEs. Após a aplicação da metodologia proposta, é realizado o estudo dos cenários abordados no trabalho, e conclui-se que a recarga coordenada evita um aumento significativo da demanda no horário de ponta, e esse aumento pode gerar uma sobrecarga no sistema. Observando a curva de carga típica, conclui-se que a essa curva dependerá das tarifas que as unidades consumidoras estão enquadradas.

Palavras-chave: Veículos Elétricos. Carregamento coordenado. Carga Residencial. Sistema de Distribuição. Método de Monte Carlo. Tarifa Residencial.

ABSTRACT

ANALYSIS OF PENETRATION OF ELECTRIC VEHICLES IN THE DISTRIBUTION SYSTEM CONSIDERING LOAD CURVES OF RESIDENTIAL CONSUMERS

AUTHOR: Luis Augusto Melo Bottlender
ADVISOR: Prof^a. Dr^a. Laura Lisiane Callai dos Santos

Recent researches show that the Electric Vehicle (EV) market is expected to grow a lot in the coming years. EVs are a way of offering consumers greater savings and less pollution, reducing the rate of gas emissions. The EV is not exclusively a question of sustainability. Comparing the cost of maintaining an EV, economy is also very relevant. Thus, it is known that EVs need electricity to recharge their batteries. This energy is provided by the electric grid, and if there is a large number of EVs requesting a recharge at the same time, there may be an overload in the operation of the Electric distribution system. Thus, the present work aims to build residential load curves with the load increment caused by EV demand. This approach will take into account the LV power, frequency on which the vehicle will be charged, and the type of charging, thus determining the LV load curve aided by the Monte Carlo Method (MMC). With the residential and EV load curves, a new residential load curve will be generated. The penetration of EVs will also be assumed by the MMC, thus determining a new load curve typical for residential consumers with EVs. After carrying out the proposed methodology and studying the scenarios covered in the work, the coordinated recharge is concluded, avoiding a significant increase in demand during peak hours, and this increase can generate an overload in the electrical system. Regarding the observation of the typical load curve, it is concluded that this curve will depend on the tariffs that the consumer units are framed.

Keywords: Electric vehicles. Coordinated charging. Residential Load. Distribution System. Monte Carlo method. Residential rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Requisitos do Sistema Elétrico de Potência.....	19
Figura 2 - Sistema de Transmissão Brasileiro, 2020	21
Figura 3 - Curva de Carga Típica, Consumidor Residencial.....	24
Figura 4 – Comparativo da tarifa branca e tarifa convencional	25
Figura 5- Publicidade do veículo Baker Electric – década de 1910 “Chegando com Estilo” ..	27
Figura 6. Jipe Lunar sendo utilizado na missão Apollo	28
Figura 7- Toyota Prius	29
Figura 8 - Principais componentes de um veículo totalmente elétrico.....	31
Figura 9 - JAC IEV20.....	38
Figura 10 - Modos de carregamento conforme IEC 61851	40
Figura 11- Exemplo de carregamento coordenado em carga residencial	41
Figura 12 - Exemplo de carregamento coordenado em carga não residencial	42
Figura 13 - Exemplo de carregamento descoordenado	43
Figura 14 - Exemplo de curvas de Frequência absoluta e acumulada.....	47
Figura 15 - Processo de Simulação.....	47
Figura 16 - Fluxograma dos procedimentos em análise para geração da nova curva de carga devido a penetração dos VEs.....	50
Figura 17 - Frequência de ocorrência exemplo de aplicação	52
Figura 18 - Horas de Carregamento do exemplo de aplicação.....	53
Figura 19 - Curva Residencial de Referência.....	55
Figura 20 - Horários de carregamento - Cenário 1	57
Figura 21 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 1.....	59
Figura 22 - Nova Curva Residencial - Cenário 1	60
Figura 23 - Horários de Carregamento - Cenário 2	61
Figura 24 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 2.....	62
Figura 25 - Nova Curva Residencial - Cenário 2	63
Figura 26 - Horários de Carregamento - Cenário 3	64
Figura 27 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 3.....	65
Figura 28 - Nova Curva Residencial - Cenário 3	66
Figura 29 - Horários de Carregamento - Cenário 4.....	67
Figura 30 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 4.....	68
Figura 31 - Nova Curva Residencial - Cenário 4	69

Figura 32 - Horários de Carregamento - Cenário 5	70
Figura 33 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 5.....	71
Figura 34 - Nova Curva Residencial - Cenário 5	72
Figura 35 - Horários de Carregamento - Cenário 6.....	73
Figura 36 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 6.....	74
Figura 37 - Nova Curva Residencial - Cenário 6	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Carro JAC iEV20	33
Tabela 2- veículo Renault Zoe.....	33
Tabela 3- Carro JAC iEV40	34
Tabela 4-Carro Chery Arrizo 5e.....	34
Tabela 5-Carro Chevrolet Bolt	35
Tabela 6-Carro Nissan Leaf.....	35
Tabela 7-Carro BMW i3.....	36
Tabela 8-Carro Jaguar I-Pace	36
Tabela 9 - Faixas de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais	51
Tabela 10 - Cenários analisados	56
Tabela 11 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 1.....	58
Tabela 12 - Taxas e Tarifas CPFL Energia	59
Tabela 13 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 2.....	61
Tabela 14 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 3.....	64
Tabela 15 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 4.....	67
Tabela 16 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 5.....	70
Tabela 17 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 6.....	73
Tabela 18 - Análise dos Cenários	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 MOTIVAÇÕES E JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA	18
2.1.1 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica	22
2.2 UNIDADE CONSUMIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA	22
2.2.1 Demanda Residencial	23
2.2.2 Tarifação Residencial	24
2.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	26
2.3.1 Veículos Híbridos.....	30
2.3.2 Veículos puramente elétricos.....	31
2.4 CARROS ELÉTRICOS EXISTENTES NO BRASIL.....	32
2.5 CARREGAMENTO DE CARROS ELÉTRICOS.....	38
2.6 MODOS DE CARREGAMENTO EM RELAÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	40
2.6.1 Carregamento Coordenado	40
2.6.2 Carregamento Descoordenado	42
2.7 IMPACTOS CAUSADOS PELO CARREGAMENTO DE VEs.....	44
2.8 MÉTODO DE MONTE CARLO (MMC)	45
2.9 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	48
3. METODOLOGIA	49
3.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	54
4. ESTUDO DE CASO.....	55
4.1 CURVA DE CARGA RESIDENCIAL.....	55
4.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE CARGA DO VE E NOVA CURVA DE CARGA.....	56
4.2.1 Cenário 1	57

4.2.2 Cenário 2	60
4.2.3 Cenário 3	63
4.2.4 Cenário 4	66
4.2.5 Cenário 5	69
4.2.6 Cenário 6	72
4.2.7 Análise dos Cenários	75
4.3 NOVA CURVA DE CARGA TÍPICA	77
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	78
5. CONCLUSÃO	79
5.1 TRABALHOS FUTUROS	80
6. REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A constante necessidade de locomoção é considerada um item básico na vida das pessoas, seja para ir a um lugar de lazer, quanto para o dia a dia no trabalho. Com o crescimento elevado da população e conseqüentemente da frota veicular, a procura por novas tecnologias automotivas tem ocorrido de forma intensa (EHSANI; RAHMAN; TOLIYAT, 1997).

Atualmente, é praticamente impossível pensar em mobilidade urbana sem considerar a presença dos automóveis. Uma parcela que vem ganhando lugar no mercado automotivo são os chamados Veículos Elétricos (VEs). Movimentos ambientalistas fizeram com que a mobilidade elétrica ressurgisse no século XXI. O maior motivo é porque os automóveis movidos à combustão passaram a ser vistos como uma das principais fontes de poluição atmosférica, devido à emissão de gases de seus escapamentos.

Mesmo sabendo que as baterias eletroquímicas possuem uma densidade energética inferior à gasolina, nos últimos anos tem sido resgatado o interesse pelo desenvolvimento dos VEs (LARMINIE; LOWRY, 2012). Contudo os VEs ainda estão em constante evolução, em busca de uma melhor autonomia, diminuindo as perdas e custos, aumentando assim sua eficiência, para que se tornem competitivos perante os veículos de motor a combustão interna (MCI).

1.2 MOTIVAÇÕES E JUSTIFICATIVA

Os carros elétricos têm sido uma das principais apostas mundiais da indústria para oferecer aos consumidores maior economia e menor poluição. Muitos países estão aderindo a essa tecnologia pelo fato de ser sustentável, pois irá contribuir para um planeta mais limpo, com uma grande redução de emissão de gases, sendo uma solução contra a poluição nos grandes centros urbanos. Outra vantagem dos VEs, é que não é necessária a utilização de gasolina, diesel ou gás, mas sim eletricidade.

A grande preocupação referente à entrada de carros elétricos no mercado mundial está relacionada à falta de infraestrutura e impactos gerados no sistema de energia, podendo ocasionar sobrecargas, tornando necessários investimentos e maiores cuidados em centros de distribuição.

Segundo Marah (2016), a inserção em massa dos VEs nos próximos anos poderá afetar o Sistema Elétrico, principalmente o Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE). Tal fato acontece, pois, a inserção dos VEs provoca uma variação na curva de carga e nos níveis de tensão. Há diversos modos de carregar um carro elétrico, mas divide-se em um âmbito geral em carregamento coordenado e carregamento descoordenado, geralmente utilizados de acordo com as necessidades de cada consumidor. O carregamento coordenado é realizado a partir de um gerenciamento de carga, onde é feito o controle para coordenar o carregamento do veículo de acordo com o uso mais eficiente de recursos energéticos disponíveis. Já o carregamento descoordenado é uma forma de carregamento manual e descentralizada, e geralmente coincidem com o pico de carga residencial.

É importante ressaltar que o carregamento descoordenado é uma forma de recarga sem nenhum tipo de controle, e pode gerar instabilidade na rede elétrica como sobrecargas em circuitos gerando falhas em equipamentos. Sendo assim, pode se esperar que com a transição de veículos com motor a combustão interna (MCI) para VEs terá um aumento significativo na demanda por energia elétrica e uma alteração no perfil de cargas do sistema.

Para que a implantação dos VEs ocorra de forma compatível e viável ao SDEE, é de extrema importância analisar qual a demanda de carga de uma residência que contém um VE. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo analisar curvas de cargas residenciais considerando a demanda por energia do carro elétrico da JAC, modelo IEV20, um dos modelos mais acessíveis no mercado atual, com uma autonomia de 400 km à cada recarga completa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a penetração dos veículos elétrico no sistema de distribuição considerando curvas de carga de consumidores residenciais.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Revisão sobre os VEs.
- Analisar as curvas de carga de consumidores residenciais.
- Determinar a curva dos VEs para diferentes formas de carregamento utilizando o método de Monte Carlo.
- Determinar a nova curva de carga dos consumidores com a penetração dos VEs.

- Analisar a penetração dos VEs no sistema de distribuição.

1.4 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Esse trabalho está dividido em seis capítulos, incluindo esse introdutório.

O capítulo dois apresenta uma revisão bibliográfica sobre o Sistema Elétrico de Potência, abordando o sistema de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Logo após, é apresentada as unidades consumidoras de energia elétrica, juntamente com os tópicos Demanda Residencial e os tipos de Tarifação. Neste capítulo é abordado também uma breve história dos VEs, e a diferença de Veículos Híbridos para Veículos Puramente Elétricos. Em seguida, é mostrado quais os VEs existentes no Brasil. Por fim, é apresentado os Tipos de Carregamentos que existem para VEs, relacionando com o Sistema de Distribuição de Energia Elétrica e os impactos causados pelo carregamento dos mesmos.

O capítulo três apresenta a metodologia proposta. Nela vai ser analisada curvas de cargas de consumidores residenciais. A partir dessas curvas, serão analisadas as características do VE escolhido. Então, com o auxílio do Método de Monte Carlo, irá ser gerada a curva de carga do VE, considerando a potência do veículo, tipo de carregamento e a frequência que irá ser carregado. Com a curva de carga residencial e a curva de carga do VE, é determinada uma nova curva de carga residencial. A partir dessa nova curva de carga e analisada a penetração dos VE é determinada uma curva de carga residencial típica de consumidores que possuam VE.

No capítulo quatro serão analisados seis cenários, diferentes em tipo de carregamento e estado de bateria (SOC). Portanto, nessa seção é construída a curva de carga do VE, e também a nova curva de carga residencial. Além disso, é feito uma comparação de cada cenário, analisando também o consumo pelas recargas do VE. Por fim, é analisado qual dos seis cenários apresentados no capítulo 4, irão possuir uma curva de carga típica de consumidores residenciais que possuam VE.

No capítulo cinco é feita a conclusão juntamente com considerações finais do trabalho e algumas sugestões de trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados conceitos relativos ao sistema elétrico de potência, abordando especificamente o sistema de distribuição de energia elétrica, os consumidores de energia elétrica, veículos elétricos (VEs) e seus modelos existentes no Brasil, modos de carregamento dos VEs e os impactos em relação a rede.

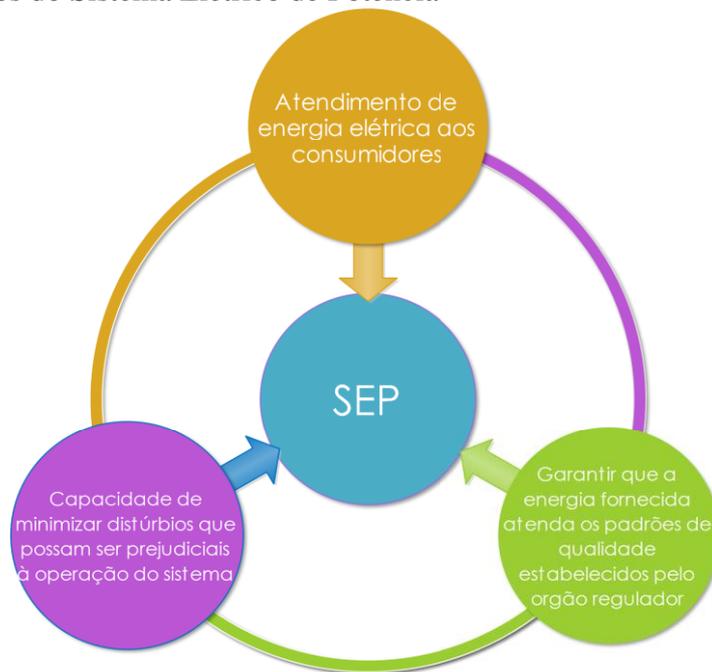
2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

A crescente demanda por energia tornou-se papel fundamental para cidadãos, indústrias e governos em todo o mundo, pois a oferta de energia é a condição para a existência da indústria, dos meios de transporte e até mesmo da agricultura e da vida urbana. Enfim, é a condição para a existência da sociedade. A energia elétrica é uma das principais formas de energia utilizadas pelo ser humano no atendimento às suas necessidades. Dessa forma, para que um país como o Brasil possa crescer, é necessário que haja disponibilidade de energia de boa qualidade e a preços acessíveis, caso contrário toda a perspectiva de crescimento e desenvolvimento econômico ficará comprometida.

Para fornecer a grande quantidade de energia que os diversos consumidores precisam, dentro dos padrões de qualidade e a preços economicamente viáveis, é necessário um complexo sistema por meio do qual a energia seja produzida, transmitida e distribuída. Deve se levar em conta minimizar impactos ambientais e sociais, de tal forma a atingir um equilíbrio entre produção energética, consumo e sustentabilidade (GOMES, DEOTTI, 2018).

Ainda, segundo Gomes; Deotti (2018), pode-se definir, então, um Sistema Elétrico de Potência (SEP) como um grande sistema de energia que deve possuir capacidade de gerar, transmitir e distribuir energia suficiente para atender as demandas de cargas, considerando as perdas ocorridas na conversão e no transporte da energia elétrica. Além das grandes centrais geradoras, ainda se tem a geração distribuída, uma produção de energia em menor escala, utilizando fontes renováveis de energia elétrica e que são próximas dos centros urbanos. A Figura 1 mostra os principais requisitos que um SEP deve atender.

Figura 1- Requisitos do Sistema Elétrico de Potência



Fonte: Gomes; Deotti (2018, p.11).

Pela análise da Figura 1, os requisitos que o SEP deve atender, se tem três fundamentais áreas: geração, transmissão e distribuição.

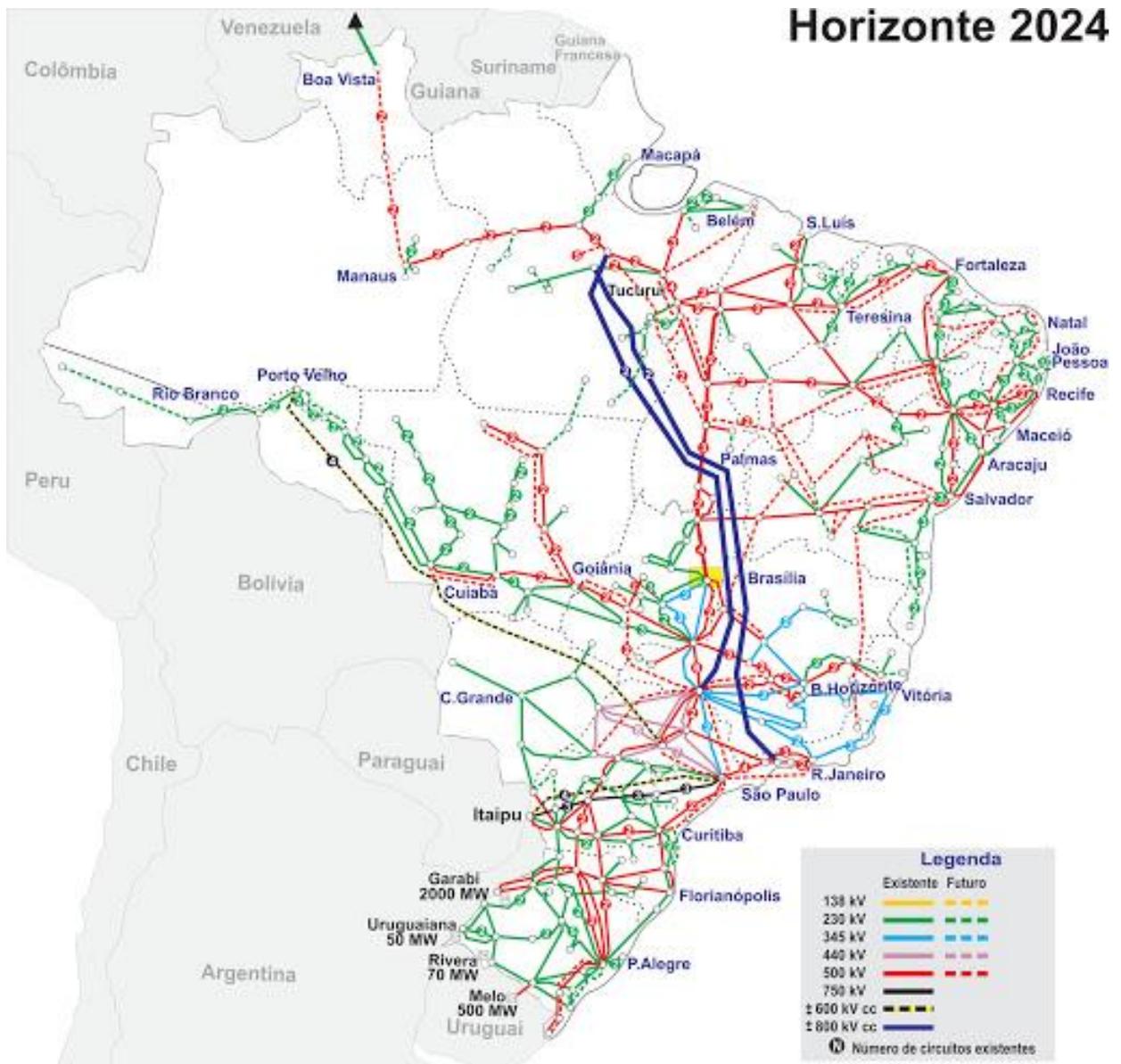
Sobre a geração de energia elétrica, fontes renováveis (força das águas, dos ventos ou a energia do sol) e recursos fósseis, estão entre os combustíveis usados para a geração da energia elétrica. Já por meio de turbinas e geradores, pode-se transformar outras formas de energia, como a mecânica e química, em eletricidade (CCEE, 2018).

Devido ao fato do território brasileiro ser abundantemente grande em cursos d'água, a fonte hidrelétrica está no topo da matriz elétrica brasileira. Mas por outro lado, políticas públicas que estão sendo implementadas nos últimos anos, têm feito aumentar a participação de outras fontes nessa matriz. Podendo citar também outras fontes de geração de energia elétrica como: Gás Natural, Petróleo, Eólica, Solar, Nuclear, Biogás, entre outras.

Uma estação de geração de energia gera eletricidade por algum dos vários métodos existentes. A tensão produzida é da ordem de 13 kV a 25 kV, em geral. O que não é apropriado para transmissão por longas distâncias. Desse modo, são utilizados transformadores que aumentam a tensão e reduzem a corrente, para diminuir as perdas no transporte dessa energia gerada (GRIGSBY, 2012). As linhas de transmissão (LT), então, têm a função de transportar a energia elétrica de onde foi produzida até os centros de distribuição, onde será entregue aos consumidores finais.

Os projetos de linhas de transmissão tem evoluído cada vez mais, para proporcionar melhor desempenho, visando uma transmissão de forma mais eficiente e com menos perdas, mas resistentes ao tempo, e aos fenômenos naturais. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o sistema de transmissão no Brasil em 2017, Figura 2, era composto por linhas de corrente contínua e alternada, de tensões entre 138 até 800 kV, ligando geração aos centros de carga. Totalizando um montante aproximado de 130.000 km de linhas e potência de transformação de mais de 320.000 MVA (ANEEL, 2017).

Figura 2 - Sistema de Transmissão Brasileiro, 2020



Fonte: (ANEEL, 2020).

Pela análise da Figura 2, pode-se observar o sistema de transmissão no Brasil em 2020 é composto por muitas linhas de CC e CA, na qual essas tem variações de 138 até 800 kV em seus níveis de tensão. Pode se observar também o quanto é interligado o sistema elétrico brasileiro, onde apenas a região norte do país está isolada. O sistema de transmissão brasileiro é chamado de Sistema Interligado Nacional pelo o motivo citado acima.

São consideradas linhas de transmissão, condutores projetados para transmitir energia por longas distâncias com pequenas perdas e distorções. Em geral, as linhas de transmissão operam em tensões superiores a 100 kV, podendo chegar até níveis superiores a 1000 kV, como em algumas linhas de Ultra High Voltage Direct Current (UHV DC) construídas na Ásia. Pode-

se classificar as linhas de transmissão de acordo com diversas características, as mais comuns são: quanto ao tipo de corrente e quanto à extensão.

Como o foco do trabalho é analisar as curvas de cargas residências, abaixo é feito um breve relato sobre o Sistema de Distribuição de Energia Elétrica.

2.1.1 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

O sistema de distribuição é a parte mais próxima das cargas (consumidores em geral de energia elétrica), com um papel fundamental de distribuir a energia gerada e transmitida nas demais partes do SEP até os consumidores finais, que podem ser atendidos tanto em média quanto em baixa tensão.

Normas e padrões são estabelecidos pela ANEEL, quanto a questão das atividades técnicas relativas à conexão, operação e planejamento da expansão do sistema de distribuição de energia elétrica através dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2016a). Sendo assim, para garantir a operação efetiva da rede, com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade, é executado esse conjunto de regras.

A ramificação desse sistema é muito diferente do sistema de transmissão, pois opera em níveis de tensão mais seguros e compatíveis aos equipamentos presentes nas instalações consumidoras. Geralmente as redes de distribuições apresentam topologia radial, isto é, existe só um caminho entre a subestação de distribuição e o ponto de consumo (GARCIA, 2012).

O sistema físico de distribuição é caracterizado pelas redes de energia elétrica urbanas, compostas por estruturas geralmente afixadas em postes que podem sustentar as linhas de média e baixa tensão, transformadores de distribuição, iluminação pública, e outros equipamentos de proteção, controle e medição. Existe também a configuração de sistema de distribuição subterrâneo em grandes centros urbanos, porém com custo bem mais elevado. No sistema de distribuição existem as unidades consumidoras de energia elétrica, as quais são atendidas em dois grupos, dependendo da tensão de atendimento.

2.2 UNIDADE CONSUMIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA

As unidades consumidoras de energia elétrica podem ser classificadas em dois grupos: A e B. O grupo A (alta tensão) é composto por unidades consumidoras que recebem energia em tensão igual ou superior a 2,3 quilo Volts (kV) ou são atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica (aplicada ao consumo e

à demanda faturável). No grupo A, subdividido em seis subgrupos (“a) subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; b) subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; c) subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV; d) subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV; e) subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e f) subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição”), geralmente se enquadram indústrias e estabelecimentos comerciais de médio ou grande porte.

Já o grupo B (baixa tensão), foco de estudo deste trabalho, é caracterizado por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV, com tarifa monômnia (aplicável apenas ao consumo). Está subdividido em quatro subgrupos: o consumidor do tipo B1 é o residencial, o consumidor rural é chamado de B2, enquanto estabelecimentos comerciais ou industriais de pequeno porte, como por exemplo uma pastelaria ou uma marcenaria, são classificados como B3, a iluminação pública é enquadrada no subgrupo B4 (ANEEL, 2010).

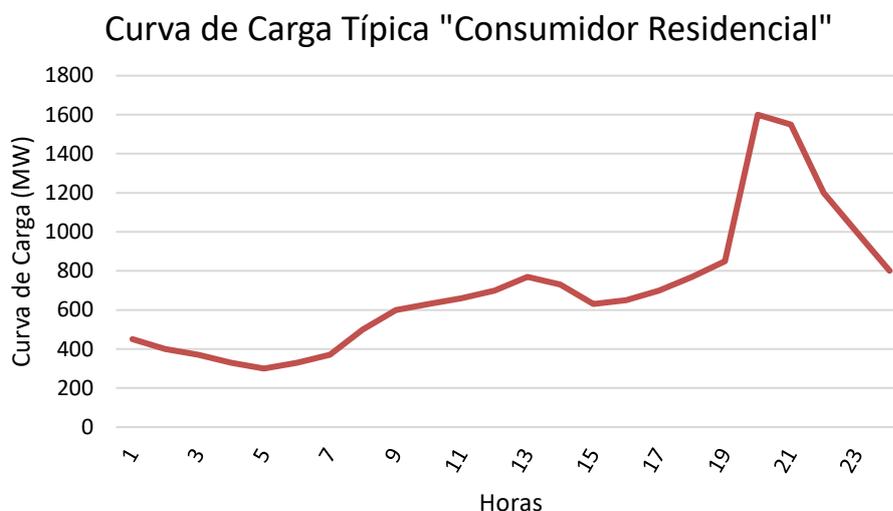
Dos quatro subgrupos do grupo B, no presente trabalho será analisado o consumidor do tipo B1. Desse modo, é necessário analisar a demanda residencial e as curvas de cargas desses consumidores.

2.2.1 Demanda Residencial

Ao longo dos anos, tem se registrado aumento da participação do setor residencial no consumo total da energia elétrica brasileira. O consumo de energia elétrica no país aumentou 1,1% em 2018 totalizando 467.161 gigawatts/hora (GWh). Os dados fazem parte da Resenha Mensal – Consumo de Energia Elétrica, de dezembro de 2018, divulgado em 31/01/2019 pela EPE. A indústria fechou o ano com o maior aumento de consumo: 1,3%; seguida do consumo residencial, com 1,2% (OLIVIERA, 2019).

Sabendo que o foco do trabalho é a análise da penetração dos veículos elétricos no sistema de distribuição considerando as curvas de carga de consumidores residenciais é necessário fazer uma análise quanto ao comportamento de uma curva típica de carga residencial, tudo isso, para conciliar as estratégias de carregamento, que serão abordadas posteriormente, de uma forma adequada. A Figura 3 apresenta uma curva de carga típica de um consumidor residencial.

Figura 3 - Curva de Carga Típica, Consumidor Residencial



Fonte: Autor.

Como pode ser observado na Figura 3, a característica deste tipo de consumidor é de um aumento significativo de consumo entre 18h e 21h, começando a baixar depois das 21h, mantendo-se baixo de madrugada e praticamente constante no decorrer do dia. O pico na demanda, ocorre devido ao retorno da população às residências após o dia de trabalho.

O período de ponta na curva de carga residencial ocorre devido ao hábito de consumo e devido a modalidade tarifária. Sendo assim, serão apresentadas as modalidades tarifárias que os consumidores residenciais se enquadram.

2.2.2 Tarifação Residencial

A tarifa de energia é, de maneira simplificada, o preço pago pela energia elétrica que o consumidor utiliza. A tarifa visa assegurar aos prestadores dos serviços receita suficiente para cobrir custos operacionais eficientes e remunerar investimentos necessários para expandir a capacidade e garantir o atendimento com qualidade (ANEEL, 2016).

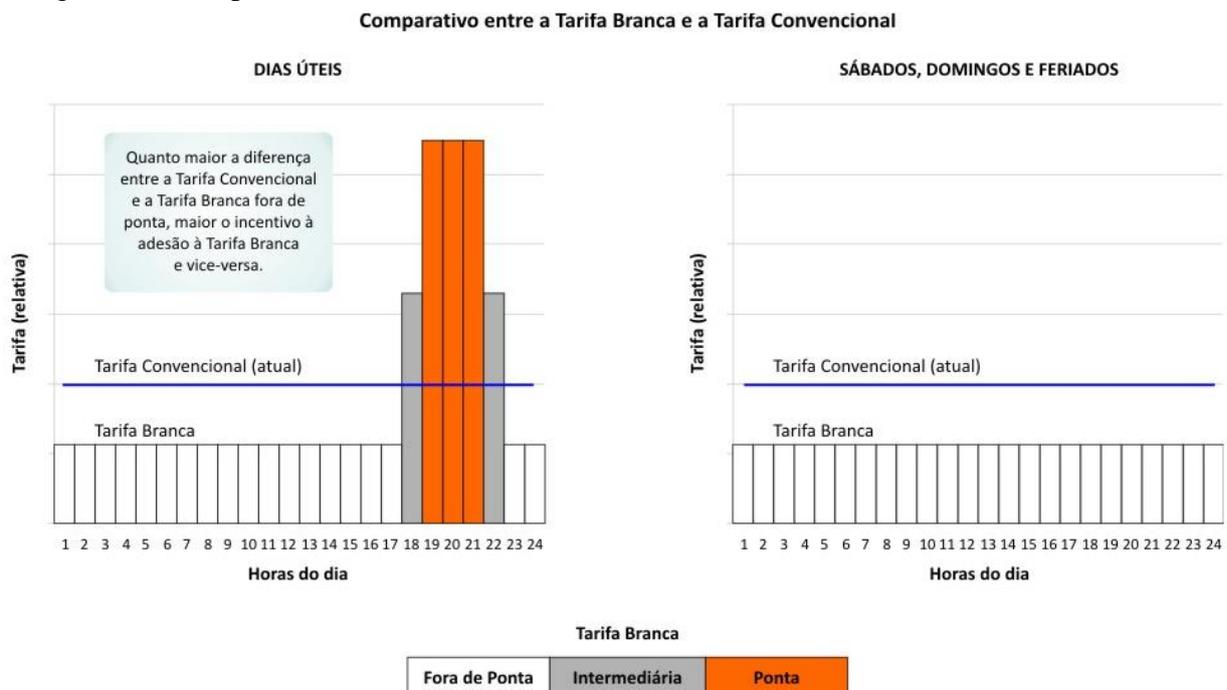
A tarifa convencional possui seu valor constante em todos os horários do dia e avalia apenas o consumo total mensal, em kWh, para a realização do seu cálculo tarifário. Em 2018, os consumidores do Grupo B passaram a ter mais de uma modalidade tarifária, a tarifa branca. Essa tarifa era destinada para consumidores que tem seu consumo anual com média mensal acima de 500 kWh. Em janeiro de 2020 a tarifa branca foi estendida para quase todos os brasileiros, exceto consumidores classificados como baixa renda, benefícios de desconto previsto por lei, e à iluminação pública. Ao optar pela Tarifa Branca, o consumidor pagará

preços diferentes para a energia utilizada. Esses são definidos de acordo com o horário e o dia da semana em que o consumo existe (ANEEL, 2017). Os períodos são três:

- **Horário de Ponta:** Período composto por três horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico (ANEEL, 2017). Se caracteriza por ser o período em que há maior demanda por energia elétrica.
- **Horário Intermediário:** período de horas conjugadas ao horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades consumidoras que optem pela Tarifa Branca. Pode variar de 1h à 1h30 antes e depois do horário de ponta.
- **Horário Fora de Ponta:** Período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas pelo horário de ponta e intermediário (ANEEL, 2017).

Esses horários, ainda podem ser diferentes, dependendo da concessionária. Na Figura 4 é apresentado um comparativo entre a tarifa branca e a convencional, na qual é possível observar a diferença de preços de acordo com os horários do dia, no valor cobrado pelo consumo de energia.

Figura 4 – Comparativo da tarifa branca e tarifa convencional



Fonte: (ANEEL, 2019).

Na Figura 4 pode-se observar um incentivo para que haja redução na demanda de energia elétrica nos horários de ponta e intermediário e aumentar o consumo durante os horários

restantes do dia. Então, o modo que terá mais incentivo à tarifa branca é quando houver uma maior diferença entre a tarifa convencional e a tarifa branca fora de ponta.

Sendo assim, com a inserção de veículos elétricos no sistema, estratégias de carregamento aliadas às modalidades tarifárias, podem ser uma solução aos problemas gerados pela recarga desses veículos. Ao decorrer do trabalho, são apresentadas e analisadas algumas dessas estratégias.

2.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Muitas pessoas acreditam que os veículos elétricos são uma tecnologia recente, mas não é verdade, eles surgiram em meados do século XIX. Segundo Barreto (1986), em 1837, na Inglaterra, foi construída a primeira carruagem elétrica. Portanto, quase 50 anos antes do primeiro automóvel a motor de combustão interna (ICEV), o Patentmotorwagen, de Karl Benz, construído em 1886.

Ainda segundo Barreto (1986), em 1897, surgiu uma frota de táxis elétricos em Londres, sendo que o ápice da produção e comercialização dos veículos elétricos (ou EVs) ocorreu entre os anos de 1890 e 1910. Estes veículos eram preferidos pela população por não trazer os inconvenientes dos automóveis à combustão interna (ICEV) e externa (veículos a vapor), tais como: barulho, fumaça, esforço e riscos à integridade física na partida à manivela, causada por contragolpes do motor de combustão interna, além da demora e do risco de incêndios, no caso dos motores de combustão externa. O veículo elétrico era a escolha de pessoas que o utilizavam para deslocamentos urbanos curtos e para eventos sociais, como demonstra a publicidade da época, Figura 5.

Figura 5- Publicidade do veículo Baker Electric – década de 1910 “Chegando com Estilo”



Fonte: (Vintage Ad Browser, 1910).

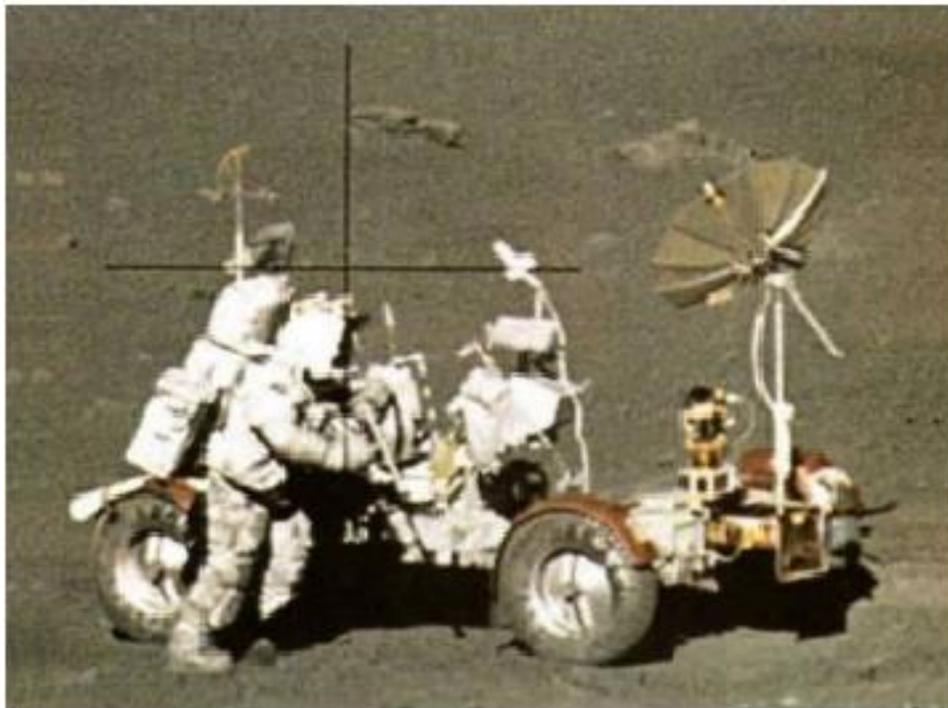
Após as descobertas de campos de petróleo na virada do século, bem como o desenvolvimento de técnicas de destilação em regime contínuo e o conseqüente custo em redução dos derivados de petróleo, todo o desenvolvimento tecnológico da indústria automobilística foi concentrado para os motores de combustão interna. O Cadillac 1912, por exemplo, marca o fim da primeira fase do carro elétrico por incorporar a partida elétrica ao invés da partida à manivela, característica que se estendeu gradativamente a todos os outros fabricantes. Em 1920, quase todos os automóveis já dispunham da partida elétrica.

Nesta época, poucos foram os veículos elétricos presentes no mercado como, por exemplo, o Brougham, que atingia 51,5 km/h e possuía uma autonomia de 97 km. Entretanto,

as vendas foram mínimas. Segundo Husain (2003), no final da década de 1950 e início da década de 1960, nos Estados Unidos as preocupações com os efeitos da poluição levaram a algumas iniciativas como o Henney Kilowatt, o qual era movido a baterias de chumbo-ácido, lançado em 1959.

Um dos veículos mais famosos dessa época deve-se ao programa espacial dos Estados Unidos, que criou o jipe lunar elétrico de 1969, mostrado na Figura 66.

Figura 6. Jipe Lunar sendo utilizado na missão Apollo



Fonte: NASA, 1971.

Já na década de 80, o conceito de desenvolvimento sustentável ganhou mais força e o mundo passou a se concentrar na criação de novas tecnologias e em fontes energéticas alternativas no intuito de gerar menos poluição no planeta. No Brasil a frota de ônibus elétricos trólebus (veículos alimentados por uma catenária de dois cabos superiores) começaram a crescer. Uma parceria criada pela estatal Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU), juntamente com o BNDE (atual BNDES) e o Ministério dos Transportes, criou diversos outros sistemas por todo o país, recebendo recursos para melhoria das ruas e avenidas das cidades, reformas, renovação e reestruturação das linhas elétricas e renovação das frotas veiculares (GUENTHER, 2016).

No Brasil, o movimento em favor do carro elétrico surgiu no final da década de 1970 e início da década de 1980, com a parceria da Gurgel S.A e Furnas Centrais Elétricas S.A que desenvolveram dois modelos de VEs, chamados Itaipu Elétrico e Itaipu 400, como alusão à usina hidrelétrica. Todavia, medidas de racionalização e substituição do petróleo no mesmo período, como Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool), e os problemas de elevado custo dos VEs, somados com a baixa autonomia dos veículos, fizeram com que estes carros não ganhassem espaço no mercado (BORBA, 2012).

A partir dos anos 90 o estímulo ao uso de carros elétricos e híbridos foi só aumentando. Novas tecnologias começaram a surgir e os países começaram a incentivar o uso através de leis e de regalias. Em 1990, o estado da Califórnia implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero. Em 1992, a Agenda 213 enfatizou a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, bem como a necessidade de redução do consumo de energia nos países desenvolvidos e de busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia. Ainda no ano de 1992, a União Europeia definiu uma política de transportes por meio da expressão “uma estratégia para a mobilidade sustentável” (BARAN, R.; LEGEY, 2011).

Ainda, segundo (BARAN, R.; LEGEY, 2011) junto a esse movimento, existia um movimento contrário muito forte, o das grandes companhias de petróleo, que tentavam barrar essas políticas a todo custo, objetivando somente o lucro máximo. Já no final da década de 90 e início do século XXI um automóvel híbrido de destaque mundial nasce, o Prius da Toyota, apresentado na Figura 7.

Figura 7- Toyota Prius



Fonte: VEÍCULOS, Toyota, 2018.

No Brasil no ano de 2012, foram registrados 115 carros elétricos, sendo que em 2013 houve um aumento de 389 carros elétricos em relação ao ano anterior, a maior parte veículos

híbridos, segundo dados da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016).

A passos curtos o país vai tentando se encaixar dentro dos bons costumes para um crescimento sustentável através de leis fiscais de estímulo, mas a infraestrutura extremamente escassa e os altos impostos que encarecem os veículos são grandes degraus ao objetivo, que é uma frota minimamente aceitável deste tipo de automóvel. Ainda segundo Anfavea (2016) alguns países, como os Estados Unidos, já têm mais de 4% da sua frota formada por veículos elétricos (puros e híbridos). Ainda é pouco comparando com o restante que está emitindo poluentes na atmosfera incessantemente. Nesse sentido, junto aos veículos puramente elétricos é feita uma breve descrição do funcionamento dos veículos híbridos.

2.3.1 Veículos Híbridos

Os veículos híbridos funcionam com dois tipos motores: um elétrico e outro movido a combustão, ou seja, etanol ou gasolina. A configuração mais comum é aquela em que ambos atuam no eixo dianteiro (caso do Prius e do Fusion). Mas outros se valem do motor elétrico no eixo traseiro para ter tração integral sem a necessidade do cardã, que aumenta a perda mecânica e o consumo, como é o caso do Volvo XC60 e família. Também há um caso raro: alguns carros "elétricos" utilizam um pequeno motor a gasolina para recarregar as baterias e aumentar a autonomia, exemplo do BMW i3 (ORÉFICE, 2019).

Ainda segundo Oréfice (2019) cada motor tem funções diferentes. O propulsor a combustão tem como objetivo a movimentação do veículo e atua sobretudo quando há alta demanda de potência ou torque - situação de aclives e alta velocidade, por exemplo. Especialistas explicam que, quando o sistema central do veículo reconhece que as baterias do motor elétrico estão baixas, a combustão entra em ação até com o carro parado ou no trânsito e ajuda a recarregar a energia.

Por sua vez, é a eletricidade que atua para tirar o veículo da inércia. Na hora que dá a partida, o silêncio é a resposta, mas o fôlego para rodar apenas com o motor elétrico em situações de baixa demanda, é curto. Híbridos convencionais percorrem poucos quilômetros nesse modo.

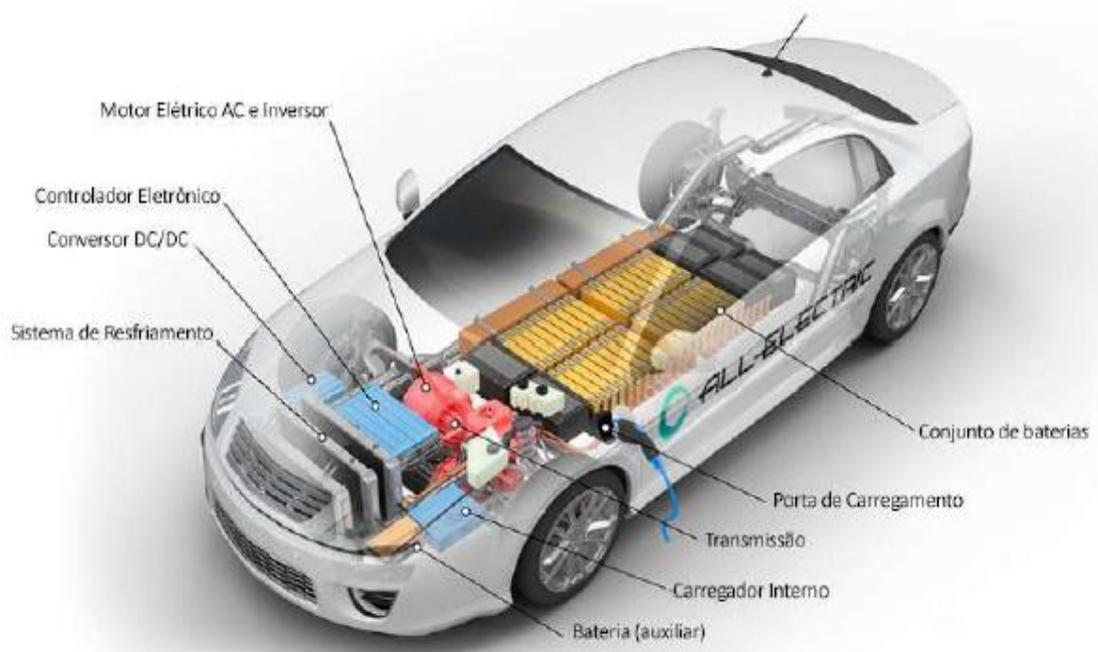
Sabendo que os veículos Híbridos funcionam com dois motores, um elétrico e um movido a combustão, no item a seguir são mostrados os veículos que possuem motor elétrico de corrente alternada usando apenas baterias como fonte de energia.

2.3.2 Veículos puramente elétricos

Os veículos puramente elétricos ou Veículo Elétrico (VE) são assim chamados porque possuem apenas a bateria como fonte de energia. Em termos de desempenho, os VEs já se equiparam aos veículos com motor de combustão interna, mas é na autonomia, no tempo de recarga e no custo que ainda estão os maiores entraves dessa abordagem tecnológica (PUPO, 2012). Com o desenvolvimento acelerado desse mercado, tal problema está deixando de ser o maior empecilho na expansão dos VEs. Uma vez que, atualmente, existam veículos como o Tesla Model S, que possui autonomia de até 500 km.

Veículos puramente elétricos possuem um motor elétrico de corrente alternada ao invés de motores de combustão interna. O veículo usa um grande conjunto de baterias para transmitir a potência necessária para o motor elétrico e por conta disso, precisa ser conectado a uma estação de carregamento ou a um carregador externo para realizar sua recarga. Por funcionar via eletricidade o veículo não emite ruídos e não necessita dos equipamentos normalmente instalados em veículos de combustão, reduzindo, assim, a quantidade de equipamentos necessários para seu funcionamento (ENERGY, 2019). Na Figura 8 são apresentados os principais componentes de um veículo totalmente elétrico.

Figura 8 - Principais componentes de um veículo totalmente elétrico



Fonte: Adaptado de (ENERGY, 2019).

- Bateria (auxiliar): em um veículo com tração elétrica, a bateria auxiliar fornece eletricidade para alimentar os acessórios do veículo.

- Porta de carregamento: a porta de carga permite que o veículo se conecte a uma fonte de alimentação externa para carregar a bateria de tração.
- Conversor CC / CC: Este dispositivo converte energia CC de alta voltagem da bateria de tração para a energia CC de baixa voltagem necessária para executar os acessórios do veículo e recarregar a bateria auxiliar.
- Motor elétrico de tração: Usando a energia da bateria de tração, este motor aciona as rodas do veículo. Alguns veículos usam geradores de motores que executam as funções de acionamento e regeneração.
- Carregador a bordo: Utiliza a eletricidade CA de entrada fornecida pela porta de carregamento e a converte em energia CC para carregar a bateria de tração. O carregador monitora as características da bateria, como tensão, corrente, temperatura e estado da carga, enquanto carrega o pacote.
- Controlador de eletrônica de potência: Esta unidade gerencia o fluxo de energia elétrica fornecida pela bateria de tração, controlando a velocidade do motor de tração elétrica e o torque que produz.
- Sistema térmico (resfriamento): este sistema mantém uma faixa adequada de temperatura operacional do motor, motor elétrico, eletrônica de potência e outros componentes.
- Bateria de tração: armazena eletricidade para uso do motor de tração elétrico.
- Transmissão (elétrica): a transmissão transfere energia mecânica do motor de tração elétrico para acionar as rodas.

Nas seções acima foram mostradas as diferenças dos veículos híbridos e veículos puramente elétricos. A partir disso, são apresentados a seguir, os carros puramente elétricos encontrados atualmente no Brasil.

2.4 CARROS ELÉTRICOS EXISTENTES NO BRASIL

Com o passar dos anos, os carros elétricos no Brasil tiveram um aumento, contendo seis modelos no país. Contudo, entre os novos modelos que foram lançados, nenhum pode ser considerado acessível economicamente. O problema não é exclusividade brasileira, já que veículos com essa estrutura são mais caros em todo o mundo. Devido à importação e impostos, o problema se agrava (AUTOPAPO, 2019).

Ainda assim, a popularização de carros elétricos no Brasil está mais próxima que antes. A seguir é apresentada uma lista de opções de carros elétricos no Brasil que já estão à venda. A lista foi organizada em ordem crescente de preço (AUTOPAPO, 2019).

1. JAC IEV20: Apresentado em setembro de 2019, o JAC iEV20 chegou roubando a posição até então ocupada pelo Renault Zoe: a de ser o mais barato entre os carros elétricos no Brasil. A Tabela 1 apresenta as características do carro JAC IEV20.

Tabela 1- Carro JAC iEV20

MODELO	JAC IEV20
Preço	R\$ 119.990,00
Potência/Torque	68 cv/ 21,9 kgfm
Autonomia Máxima	400 km(NEDC)
Velocidade Máxima	113 km/h
Bateria	41 kWh
Forma de carregamento	Carregador doméstico, ou Wall Box
Recarga rápida	4 hrs para ir de 15% à 80%
Recarga completa	---

Fonte: Autopapo, 2019.

2. Renault Zoe: O Renault Zoe requer a instalação de um carregador doméstico próprio, podendo ser uma desvantagem. O empecilho, contudo, também deve ser considerado para outros carros elétricos no Brasil. A razão é que, ainda que o carregador domiciliar não seja obrigatório, a recarga pode ser muito lenta sem ele. No caso da Renault, o equipamento custa R\$ 5.130, mais o custo da instalação. A Tabela 2 apresenta as características do carro Renault Zoe.

Tabela 2- veículo Renault Zoe

MODELO	Renault Zoe
Preço	R\$ 149.990,00
Potência/Torque	88 cv/ 22 kgfm
Autonomia Máxima	300 km(NEDC)
Velocidade Máxima	135 km/h
Bateria	41 kWh
Forma de carregamento	Carregador doméstico deve ser instalado
Recarga rápida	80% em 1:40 hora
Recarga completa	De 2:40 horas a 7:18 horas

Fonte: Autopapo, 2019.

3. JAC iEV40: O JAC iEV40 foi o penúltimo lançamento do tipo no país, tendo sido apresentado no início de 2019. Ele foi desenvolvido em parceria com a Volkswagen na China, de onde será importado para o Brasil. A Tabela 3 apresenta as características do carro JAC IEV40.

Tabela 3- Carro JAC iEV40

MODELO	JAC iEV40
Preço	R\$ 153.500,00
Potência/Torque	115 cv/ 30,6 kgfm
Autonomia Máxima	300 km(NEDC)
Velocidade Máxima	130 km/h
Bateria	40 kWh
Forma de carregamento	Tomada de 220 volts
Recarga rápida	80% em 1 hora
Recarga completa	8 hrs

Fonte: Autopapo, 2019.

4. Chery Arrizo 5e: No início de outubro de 2019, foi a vez da Caoa Chery apresentar sua aposta para o setor dos carros elétricos no Brasil. Importado da China, um dos grandes diferenciais do modelo é ser o único sedã da categoria, o que também lhe serve de diferencial. A Tabela 4 apresenta as características do carro Chery Arrizo 5e.

Tabela 4-Carro Chery Arrizo 5e

MODELO	Chery Arrizo 5e
Preço	R\$ 159.990,00
Potência/Torque	122 cv/ 28,1 kgfm
Autonomia Máxima	322 km(Inmetro)
Velocidade Máxima	152 km/h
Bateria	53 kWh
Forma de carregamento	Carregador ou tomada de 3 pinos
Recarga rápida	1 hora (eletropostos especiais)
Recarga completa	8 horas (carregador)

Fonte: Autopapo, 2019.

5. Chevrolet Bolt: A Chevrolet também já entrou na onda dos carros elétricos no Brasil e trouxe para cá seu compacto Bolt. O modelo foi equipado com um sistema similar ao e-Pedal da Nissan. Quando o motorista solta o pedal do acelerador, o veículo freia. Assim,

é possível controlá-lo com apenas um pedal quando este modo de condução está ativado.

A Tabela 5 apresenta as características do carro Chevrolet Bolt.

Tabela 5-Carro Chevrolet Bolt

MODELO	Chevrolet Bolt
Preço	R\$ 175.000,00
Potência/Torque	203 cv/ 36 kgfm
Autonomia Máxima	416 km(EPA)
Velocidade Máxima	148 km/h
Bateria	66 kWh
Forma de carregamento	Tomada de 220 volts ou carregador doméstico
Recarga rápida	80% em uma hora (carregador)
Recarga completa	---

Fonte: Autopapo, 2019.

6. Nissan Leaf: O Nissan Leaf é o elétrico mais vendido do mundo, e também a opção mais antiga da categoria. Ele foi lançado em 2010, e demorou para se tornar um dos carros elétricos no Brasil. Tabela 6 apresenta as características do carro Nissan Leaf.

Tabela 6-Carro Nissan Leaf

MODELO	Nissan Leaf
Preço	R\$ 195.000,00
Potência/Torque	149 cv/ 33 kgfm
Autonomia Máxima	389 km(NEDC)
Velocidade Máxima	143 km/h
Bateria	40 kWh
Forma de carregamento	Cabo portátil ou carregador doméstico
Recarga rápida	80% em 40 minutos
Recarga completa	20 horas (cabo) ou 8 horas (carregador)

Fonte: Autopapo, 2019.

7. BMW i3: O BMW i3 foi o primeiro elétrico a ser vendido para o público no país e, por muito tempo, representou a categoria dos carros elétricos no Brasil sozinho. Para carregar o i3, o motorista pode utilizar uma tomada doméstica de 220 volts. Outra opção é comprar o carregador da marca, que acelera o tempo de carregamento. A Tabela 7 apresenta as características do carro BMW i3.

Tabela 7-Carro BMW i3

MODELO	BMW i3
Preço	R\$ 205.950,00 a R\$ 257.950,00
Potência/Torque	170 cv/ 25 kgfm
Autonomia Máxima	335 km (NEDC)
Velocidade Máxima	150 km/h
Bateria	42,2 kWh
Forma de carregamento	Tomada de 230 volts ou carregador doméstico
Recarga rápida	80% em 39 minutos (carregador) ou 6 horas (tomada)
Recarga completa	---

Fonte: Autopapo, 2019.

8. Jaguar I-Pace: O Jaguar I-Pace foi o último dos carros elétricos a chegar no Brasil, lançado em maio de 2019. Ele é o mais caro – de longe – da categoria, mas também se caracteriza por ser um utilitário esportivo de luxo com performance destacada. A Tabela 8 apresenta as características do carro Jaguar I-Pace.

Tabela 8-Carro Jaguar I-Pace

MODELO	Jaguar I-Pace
Preço	R\$ 437.000,00
Potência/Torque	400 cv/ 696 kgfm
Autonomia Máxima	470 km (WLTP)
Velocidade Máxima	200 km/h
Bateria	90 kWh
Forma de carregamento	Carregador 100 kW ou 7,4 kW
Recarga rápida	80% em 40 minutos (100kW)
Recarga completa	10 horas (7,4kW)

Fonte: Autopapo, 2019.

Após a análise dos VEs que estão sendo vendidos no Brasil, é decidido qual veículo terá a maior ênfase para a análise do presente trabalho. Se não for levar em conta o preço dos VE acima, o melhor carro é o Jaguar I-Pace. Entretanto, é visível que a grande maioria da população hoje em dia, procura a melhor relação custo-benefício.

Em conta disso, observa-se o carro JAC IEV20. O veículo possui 400 quilômetros de autonomia, ou seja, se estiver carregado por completo, pode rodar toda essa distância sem

precisar de uma nova carga. A marca diz que o custo por quilômetro rodado é de cerca de 5 centavos de real, ou seja, custo de R\$5,00 a cada 100 km (10kWh para 100km). Para “encher o tanque”, a montadora informa que seriam necessários aproximadamente 23 reais em energia elétrica. Segundo a JAC, esse valor é sete vezes mais barato do que o carro mais econômico do mercado brasileiro.

O IEV20 possui 68cv de potência, gerando um torque imediato de 215 Nm, chegando a uma velocidade máxima de 113 km/h. Diferentemente dos veículos a combustão, os VEs entregam toda sua força de arranque imediato. Sua bateria é de 41 kWh de capacidade e gerenciamento térmico de todo o sistema elétrico. O veículo chega de (0-50 km/h) em apenas 4,9 segundos.

Outro aspecto interessante é que a linha IEV oferece um sistema inteligente, ao tirar o pé do acelerador, o motor elétrico se transforma em gerador e recarrega a bateria, podendo elevar a autonomia do veículo em até 20%.

O valor do IEV 20 é a partir de R\$ 119.990,00. O tempo de recarga desse veículo varia em função do carregador utilizado, da carga atual da bateria e sua vida útil, da temperatura ambiente, ou seja, por diversas variáveis. Todos os carros da linha IEV vem com um carregador portátil no porta malas. É possível carregar o veículo utilizando este carregador em uma tomada residencial de 220V, mas é recomendável que os consumidores tenham um “Wall Box” em casa. Carregando dessa forma, uma recarga completa é feita em cerca de 8 horas. Uma carga de 20% a 80% é feita em menos de 5 horas.

A linha de elétricos da JAC possui ainda um aplicativo para smartphones que permite a verificação da carga da bateria, da autonomia, situação de recarga durante o carregamento, também torna possível o controle elétrico dos vidros, abertura das portas e acionamento do ar-condicionado de forma remota. Segundo Autopapo (2019), a quilometragem rodada por ano em um veículo no Rio Grande do Sul é de 12.200 km. Com isso, e sabendo da autonomia do IEV20 (Tabela 1), fica fácil identificar a frequência por semana que o usuário irá carregar seu VE. A Figura 9 mostra o exterior do veículo.

Figura 9 - JAC IEV20



Fonte: JAC motors, 2019.

Portanto, após escolher o veículo JAC IEV20, que será analisado no decorrer do trabalho, são mostrados os tipos de recarga existentes para os VEs.

Contudo, com a inserção dos VEs ao passar dos anos, pode-se ter alguns picos de consumo da demanda indesejáveis, se os mesmos forem recarregados de maneira não coordenada. Ao decorrer do trabalho, será feita uma descrição das melhores maneiras de carregamento. Além disso, essa recarga sem uma coordenação adequada, pode sobrecarregar transformadores e ultrapassar os limites técnicos das linhas de transmissão (SALDANHA, 2017).

2.5 CARREGAMENTO DE CARROS ELÉTRICOS

Além da autonomia, o tempo de carregamento associado à quantidade de postos de recarga é outro obstáculo enfrentado pelos proprietários de veículos elétricos (Martins e Brito, 2011). De acordo com GE (2012), para cada veículo elétrico em circulação são necessárias 1,5 estações de carregamento, que podem estar localizadas nos domicílios, trabalho, shoppings e estacionamentos. Segundo dados divulgados (GE, 2012), 60% destes veículos elétricos serão recarregados no trabalho e em seus domicílios.

São conhecidos no mercado atualmente, dois tipos de carregamentos: o carregamento lento e o rápido. Segundo Noce (2009), existe ainda a proposta de mais outras duas formas de carregamento; a troca rápida de bateria e a recarga em movimento, prevista para estradas automatizadas. A troca rápida de bateria consiste na substituição da bateria por outra que já

esteja carregada. Esta manobra poderia ser realizada por um operador ou pelo próprio motorista. Para Noce (2009), o tempo de troca seria inferior se comparado com o abastecimento com gasolina.

Ainda Noce (2009), evidencia que na recarga em movimento, o veículo deve ser conduzido sobre uma faixa de rolagem específica, em uma rodovia com infraestrutura adequada, onde a energia transferida ao veículo é feita a partir de um barramento, por indução ou contato, em uma taxa maior que aquela gasta pelo veículo.

Já o carregamento lento é a forma mais econômica de recarregar um veículo elétrico porque é realizada em baixa potência. Esse tipo de carregamento pode demorar algumas horas para que o veículo possa ter carga completa, e geralmente ocorre por meio de tomadas domésticas (GE, 2012).

Segundo GE (2012), na recarga rápida, deve ser levado em consideração cabos de maior seção e dispositivos de proteção de sobrecarga, devido aos altos valores de corrente. Obviamente, devido ao aumento da corrente, é necessária maior potência. Geralmente este tipo de recarga costuma demorar algumas dezenas de minutos para o carregamento completo.

Apesar da divisão entre carregamento rápido e lento, a norma IEC 61851-1:2010 Electric Vehicle Conductive Charging System determina a recarga de veículos elétricos em 4 modos de carregamento (IEC, 2010).

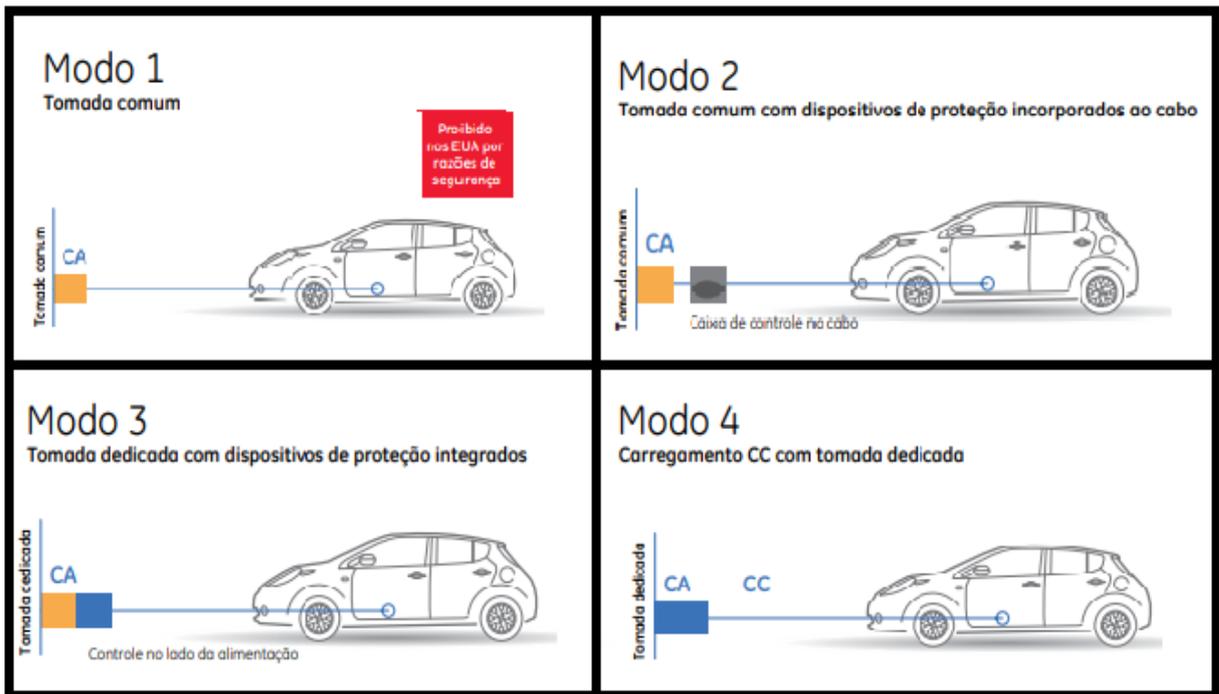
- Modo 1: Carregamento do VE em rede corrente alternada (CA), utilizando uma tomada comum que não exceda 16 A. Este modo de carregamento é proibido nos EUA por questões de segurança.

- Modo 2: Carregamento do VE em rede de alimentação CA, utilizando uma tomada comum com dispositivo de proteção incorporado ao cabo, para ligação monofásica ou trifásica que não exceda 32 A.

- Modo 3: Carregamento do VE com a rede de alimentação CA, utilizando uma tomada dedicada com dispositivos de proteção integrados, para ligação monofásica ou trifásica que não exceda 63 A.

- Modo 4: Carregamento do VE em alta potência, por meio de corrente contínua (CC) com tomada dedicada. Neste modo de carregamento, a corrente é fornecida diretamente para a bateria do carro. A Figura 10 apresenta os 4 modos de carregamento:

Figura 10 - Modos de carregamento conforme IEC 61851



Fonte: Adaptado GE, 2012.

Conhecendo os 4 modos de carregamento de um VE, e observando o objetivo do trabalho, é de grande importância fazer uma citação de como a rede de energia elétrica se comporta devido a recarga dos VEs. Na seção a seguir, é explicado o que é o carregamento coordenado e descoordenado.

2.6 MODOS DE CARREGAMENTO EM RELAÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Sabe-se que são usados diversos tipos de baterias em VEs, e essa diversidade estabelece diferentes características aos carregadores, da mesma forma que as diferentes características de rede estabelecem diferentes padrões de recarga.

Antes de analisar a penetração de veículos no sistema de distribuição, deve-se saber que existem dois métodos de carregamentos em relação ao sistema, esses são divididos em dois modos: carregamento coordenado e descoordenado (KARFOPOULOS e HATZIARGYRIOU, 2016). Os dois modos se diferem em relação ao horário de conexão à rede para recarga e também na estratégia de controle deste processo.

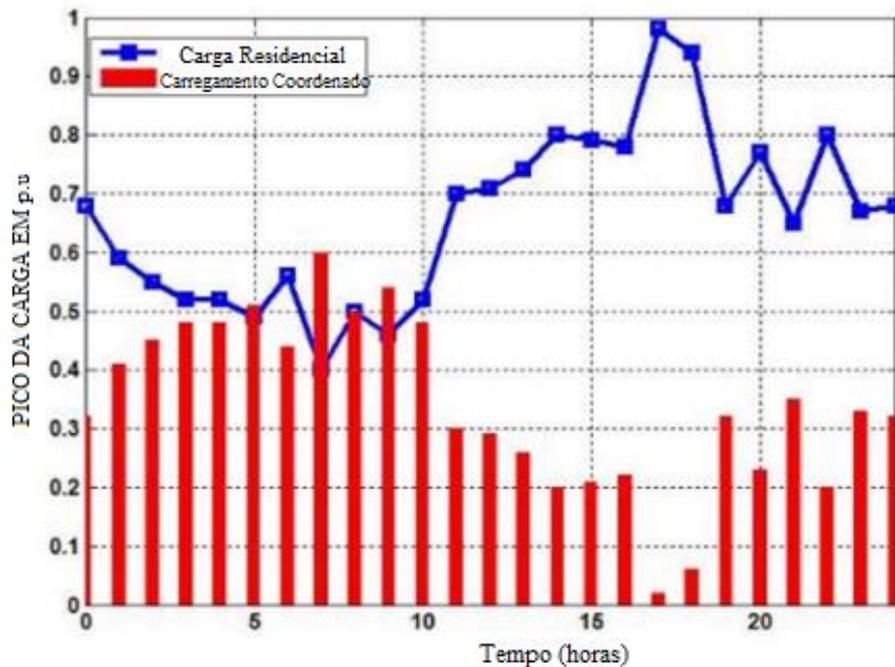
2.6.1 Carregamento Coordenado

No carregamento coordenado, também conhecido como carregamento inteligente ou *smart charging*, se tem uma gestão automática do processo de recarga a partir de uma entidade ou um agente controlador (HOOG et al., 2013). Esse agente controlador é responsável por

determinar quando um veículo ou um grupo de veículos devem recarregar, além de impor restrições em prol do uso mais eficiente dos recursos energéticos disponíveis, com a finalidade de evitar violações de limites operativos de equipamentos da rede.

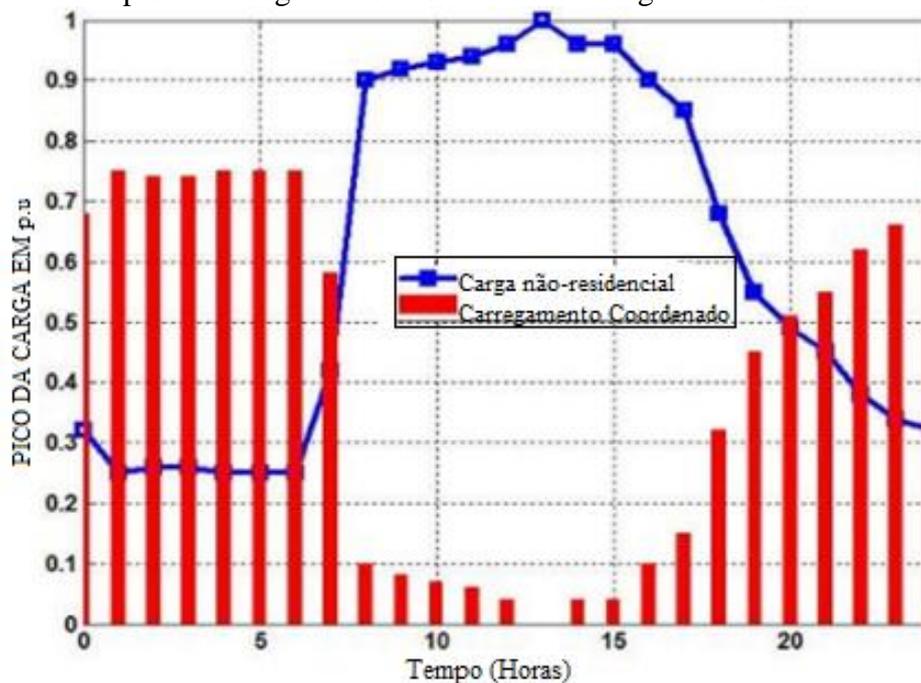
O método de recarga coordenado, geralmente, está relacionado ao gerenciamento de carga, seja centralizado ou distribuído, onde é feito algum tipo de controle para coordenar o carregamento de cada veículo de acordo com suas características e preferências dos seus respectivos usuários. As Figura 11 e Figura 12 mostram um exemplo de carregamento de VEs em relação a cargas residências e não residenciais (em p.u), respectivamente, usando o carregamento coordenado.

Figura 11- Exemplo de carregamento coordenado em carga residencial



Fonte: Adaptado de (ABUL'Wafa; EL'GARABLY; MOHAMED, 2017)

Figura 12 - Exemplo de carregamento coordenado em carga não residencial



Fonte: Adaptado de (ABUL'WAFI; EL'GARABLY; MOHAMED, 2017).

A partir da Figura 11 e a Figura 12, percebe-se que a recarga dos VEs no modo coordenado é feita com o objetivo de garantir uma curva de carga contínua ao longo do dia, aumentando proporcionalmente o número de recargas de veículos em períodos de baixa demanda de energia, reduzindo recargas em períodos de maior demanda, assim, evitando sobrecargas da rede. A partir disso, é analisado o método descoordenado de recarga em VEs.

2.6.2 Carregamento Descoordenado

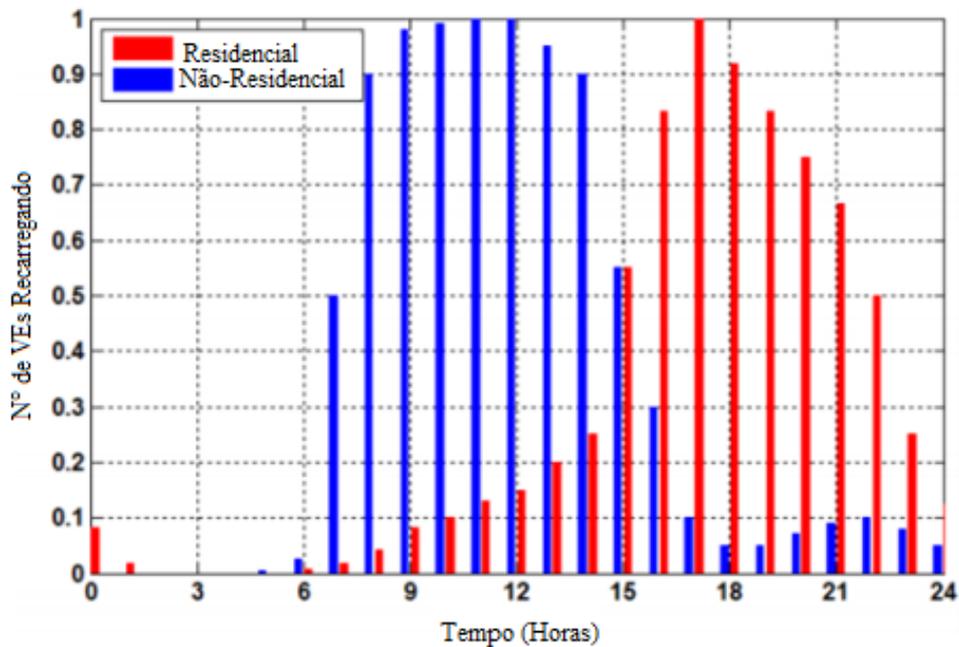
O carregamento descoordenado ou também conhecido como não controlado é uma prática manual e descentralizada do processo de recarga dos VEs, dividido em duas estratégias: econômico e *dumb charging*. No carregamento econômico, os horários de pico são evitados, sendo assim, a conexão para recarga é realizada em períodos de tarifação energética menos custosos, se disponível.

Quando associada a redes com predominância de consumidores residenciais, deve prevalecer o consumo em períodos de maior disponibilidade de carga, isso só acontece na tarifa branca, pois a tarifa convencional é o mesmo valor durante todos os horários. De maneira oposta, o *dumb charging* ou carregamento burro, quase sempre coincide com o pico de carga residencial, pois corresponde no caso em que o usuário pluga seu veículo à rede quando necessita, independentemente do horário. Nesse modo de recarga, seu início geralmente

coincide quando o usuário chega do seu trabalho, da sua viagem habitual em sua residência e coloca seu veículo para carregar.

Assim, pode-se concluir que o modo *dumb charging* não utiliza nenhuma forma de incentivo econômico para regradar o comportamento do processo de recarga. A Figura 13 apresenta um exemplo de carregamento descoordenado de VEs, referente a hora de chegada do usuário em ambientes residenciais e não residenciais ao número total de consumidores (em p.u) (ABUL'WAF; EL'GARABLY; MOHAMED, 2017).

Figura 13 - Exemplo de carregamento descoordenado



Fonte: Adaptado de (ABUL'WAF; EL'GARABLY; MOHAMED, 2017).

Na Figura 13 observa-se que o carregamento dos veículos é feito em horários de pico de demanda por energia, tanto para um sistema residencial ou não residencial, e essa forma de recarga pode ocasionar sobrecargas na rede.

O carregamento descoordenado é uma forma de carregamento em VEs não planejada, sem um agente controlador, sem um gerenciamento de carga que cada carro elétrico com suas respectivas características precisam. O carregamento descoordenado pode ocasionar danos no sistema de distribuição, e por se tratar de uma forma não planejada, seu dano é difícil de ser previsto. Na seção a seguir, são abordados alguns impactos causados pelo carregamento de VEs no sistema de distribuição de energia elétrica.

2.7 IMPACTOS CAUSADOS PELO CARREGAMENTO DE VEs

Após analisar as formas de carregamento de um VE, e perceber que ao passar dos anos terá uma implantação em massa desses automóveis, pode-se ter noção, que em algum momento, irá afetar as redes de distribuição de BT. Esse fato acontece, pois a rede se depara com uma variação na curva de carga e também nos níveis de tensão. Pode acontecer também uma mudança no fator de potência, distorções harmônicas e variações de potência que podem prejudicar o sistema de proteção instalado (MARAHA, 2016).

O carregamento descoordenado é uma forma de recarga sem nenhum tipo de controle, e pode gerar instabilidade à rede, então, deve se evitar ao máximo esse carregamento, caso a rede já esteja com alguma sobrecarga. Nessa seção será abordado alguns impactos que a penetração em massa de VEs podem causar no SDEE. Com uma penetração em massa dos VEs, pode ser necessário a expansão e reforço do sistema de distribuição, principalmente no caso de carregamentos descoordenados.

O mais usual para engenheiros eletricitistas é uma sobrecarga nos circuitos provocar falhas nos equipamentos. Segundo Moreira (2016) o problema não é uma rede mal conservada, mas sim uma rede sobrecarregada. As sobrecargas provocam estresse no isolamento e posterior falhas provocadas por curtos-circuitos, fazendo assim uma grande liberação de energia durante o defeito.

A sobrecarga em um Transformador de Distribuição (TD) é o resultado da circulação de um fluxo excessivo de corrente no enrolamento secundário do transformador, causando aumento adicional de temperatura. Esta elevação da temperatura pode causar a deterioração do material isolante, afetando a vida útil do equipamento. Em casos extremos, a sobrecarga pode provocar a avaria definitiva do transformador (ZIMATH, 2014).

Ainda, de acordo com Zimath (2014) é consenso atualmente nas empresas de distribuição que o número de avarias em TDs poderia ser significativamente reduzido por meio de procedimentos de manutenção preventiva se algum dispositivo de proteção, instalado de forma simples e rápida no circuito de baixa tensão dos transformadores de distribuição, alertasse as equipes da concessionária, com uma certa antecedência, da presença de sobrecargas de longa duração e, desta forma, as equipes de manutenção efetuassem a troca dos TDs identificados com sobrecarga.

O fator de potência (FP) é definido pela relação entre potência ativa e a potência aparente. Valores baixos de FP resultam em perdas de energia nos condutores e resultam na necessidade de aumentar a geração de energia (JENKINS, 2018). Sabe-se que os veículos

elétricos são vistos pela rede como baterias, ou seja, cargas não lineares. Ao fazer uma análise do FP decorrente da penetração de VE no SDEE, sempre que houver aumento da potência reativa, o ângulo de defasagem entre a tensão e corrente, irá aumentar, prejudicando o valor do FP, conseqüentemente, influenciando na estabilidade do sistema (SILVA et al., 2016). Outra questão que pode causar impacto na rede elétrica é as chamadas distorções harmônicas.

As distorções harmônicas podem ser geradas a partir de dispositivos envolvidos no carregamento de VEs, juntamente com bancos de capacitores, relés de proteção, transformadores e etc. As distorções podem ser tratadas com técnicas de modulação e análises, como o chamado *Total Harmonic Distortion* (THD). As harmônicas resultam no aumento de perdas na energia distribuída e numa menor qualidade da mesma. Outro fator de grande importância na rede de distribuição é a estabilidade de tensão.

Estabilidade de tensão é definida como a capacidade de um sistema elétrico em manter tensões aceitáveis em todas as barras da rede sob condições normais e após ser submetido a distúrbios. Um sistema perde sua estabilidade de tensão quando uma perturbação, um aumento na demanda de carga, ou outro tipo de alteração nas condições do sistema, causa um declínio progressivo e incontrolável na tensão (KUNDUR, 1994). Garantir a estabilidade nos níveis de tensão em linhas de distribuição de BT será um dos grandes desafios das concessionárias, devido a alta demanda com penetração de veículos elétricos. Devido a isso, a inserção de novas tecnologias será de grande necessidade para evitar colapsos na rede de distribuição.

Para se analisar uma curva de carga, é necessário ter valores e resultados de demanda, consumo de energia que certo consumidor utiliza a cada hora do dia. Abaixo, tem-se uma explicação de um método que irá ser utilizado para auxílio de simulações para geração de curvas de carga que irão ser feitas no decorrer do trabalho.

2.8 MÉTODO DE MONTE CARLO (MMC)

Em 1946 um matemático chamado Stanislaw Ulam tentou calcular as probabilidades de sucesso de uma determinada jogada utilizando a tradicional análise combinatória durante um jogo de paciência. Após gastar bastante tempo fazendo cálculos percebeu que uma alternativa mais prática seria simplesmente realizar inúmeras jogadas, por exemplo, cem ou mil, e contar quantas vezes cada resultado ocorria. Ainda nessa época Ulam sugeriu o uso de métodos de amostragem estatística para solucionar o problema da difusão de nêutrons em material sujeito a fissão nuclear, difundindo assim sua aplicação (SOBOL, 1994).

Portanto, esse método ficou conhecido como Método de Monte Carlo, nome inspirado em um tio de Ulam, que jogava constantemente no famoso cassino de Monte Carlo, cujo aspecto aleatório de suas roletas também está intimamente ligado ao método. A Simulação de Monte Carlo (SMC) pode ser denominada como um experimento de gerar números aleatórios de qualquer distribuição de probabilidade ou processo estocástico para avaliar de forma numérica, indireta ou artificial um modelo matemático que permite estimar o comportamento de um sistema ou processo que envolve variáveis estocásticas (Zapata, 2010).

O conceito do Método de Monte Carlo pode ser definido por (Andrade, 2011):

Seja x uma variável aleatória com as seguintes características:

- Função de distribuição de probabilidade: $f(x)$
- Função cumulativa de probabilidades: $F(x)$.

Se define uma nova variável aleatória $y = F(x)$, esta tem uma distribuição uniforme sobre o intervalo fechado $(0,1)$. Assim, como a função cumulativa de probabilidades representa as características aleatórias da variável em questão, a função $y = F(x)$ é uma relação entre duas variáveis:

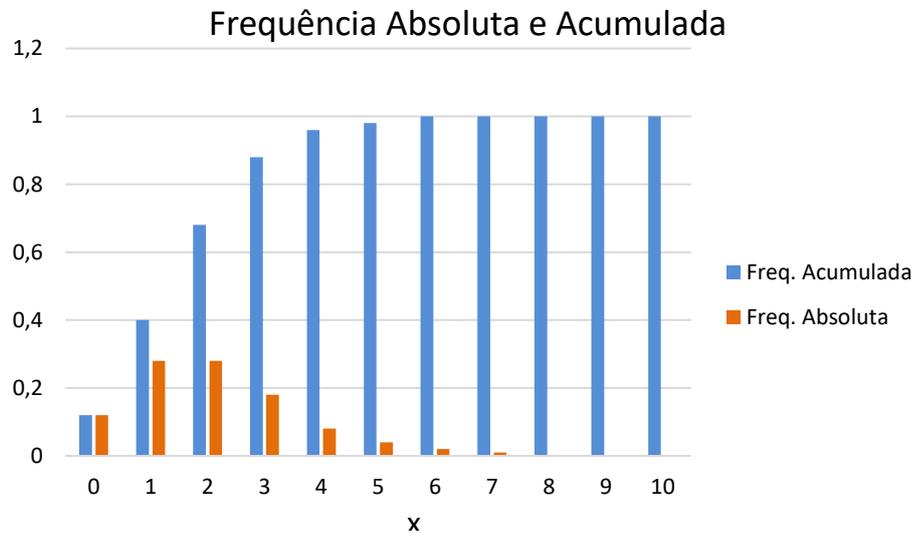
- Variável x , com distribuição aleatória própria;
- Variável y , com distribuição uniforme, entre 0 e 1.

Pode se dizer que o Método de Monte Carlo consiste nos seguintes passos:

- Dada a função cumulativa de probabilidades da variável em simulação $F(x)$, toma-se um número, gerado aleatoriamente, nos intervalos $(0,1)$ ou $(0$ a $100)$.
- Usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável x que corresponde ao número aleatório gerado.

Na Figura 14 é apresentado um processo de simulação hipotético em termos de frequência absoluta e acumulada.

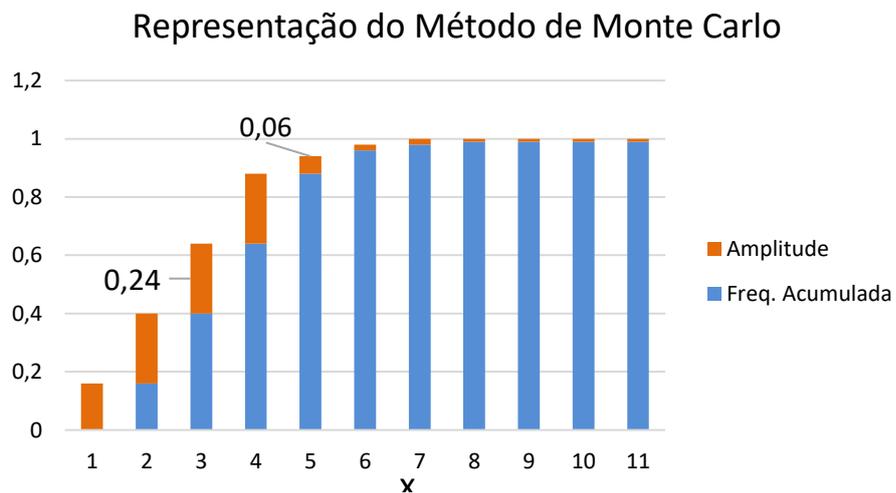
Figura 14 - Exemplo de curvas de Frequência absoluta e acumulada.



Fonte: Adaptado de (Andrade, 2011).

A curva em azul, na Figura 14, representa a frequência acumulada ($F(x)$) e a laranja representa a frequência absoluta ($f(x)$). Na Figura 15 é mostrado o processo de simulação, onde o sorteio corresponde a variável aleatória $y = F(x)$.

Figura 15 - Processo de Simulação.



Fonte: Adaptado de (Andrade, 2011).

Observa-se, na Figura 15, que a probabilidade de encontrar o número 3 é dada pela amplitude do segmento em laranja, que neste caso corresponde a 0,24. A probabilidade de encontrar o número 5 seria de 0,06, e assim pode ser encontrada a probabilidade para os outros números.

A base do método de simulação de Monte Carlo é a geração de números aleatórios. Os números aleatórios de qualquer distribuição são gerados utilizando números aleatórios uniformes, designados com a letra U, que devem cumprir as seguintes propriedades (Zapata, 2010):

- Uniformidade: pertencem a uma distribuição de probabilidade uniforme definida entre 0 e 1.
- Independência: os números gerados não têm relações entre si.

Este método garante que na simulação, os valores tenderão a produzir a probabilidade verdadeira do evento (Andrade, 2011).

2.9 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Esse capítulo apresentou uma revisão sobre o Sistema Elétrico de Potência. Nessa seção foram incluídas breves revisões literárias sobre as partes que constituem um SEP, dando foco para o SDEE. Posteriormente, foi feita uma abordagem na unidade consumidora de energia elétrica. Foram relatados os dois tipos de consumidores existentes. O grupo A (alta tensão) e o grupo B (baixa tensão). Nessa seção ainda consta a análise de uma curva de carga típica de um consumidor residencial, visto que ao decorrer do trabalho, o domínio dessa análise irá ser de grande importância.

Consta também toda a história dos VEs, desde sua origem até os dias de hoje. Nesta etapa, foram diferenciados os veículos híbridos dos veículos puramente elétricos. Ainda, encontra-se no capítulo uma pesquisa dos tipos e marcas de VEs que estão sendo inseridos no mercado brasileiro. Foi declarado que a continuidade do trabalho, se dará com o carro da marca JAC modelo IEV20. Em seguida, é feito um relato sobre os tipos de carregamentos que podem ser feitos nos VEs e também os tipos de carregamentos relacionado ao SDEE. A partir disso, é classificado em recarga coordenada e recarga descoordenada. Foi relatado os impactos que o carregamento descoordenado pode gerar no sistema elétrico. Por fim, foi explicado o funcionamento do Método de Monte Carlo.

3. METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA PROPOSTA

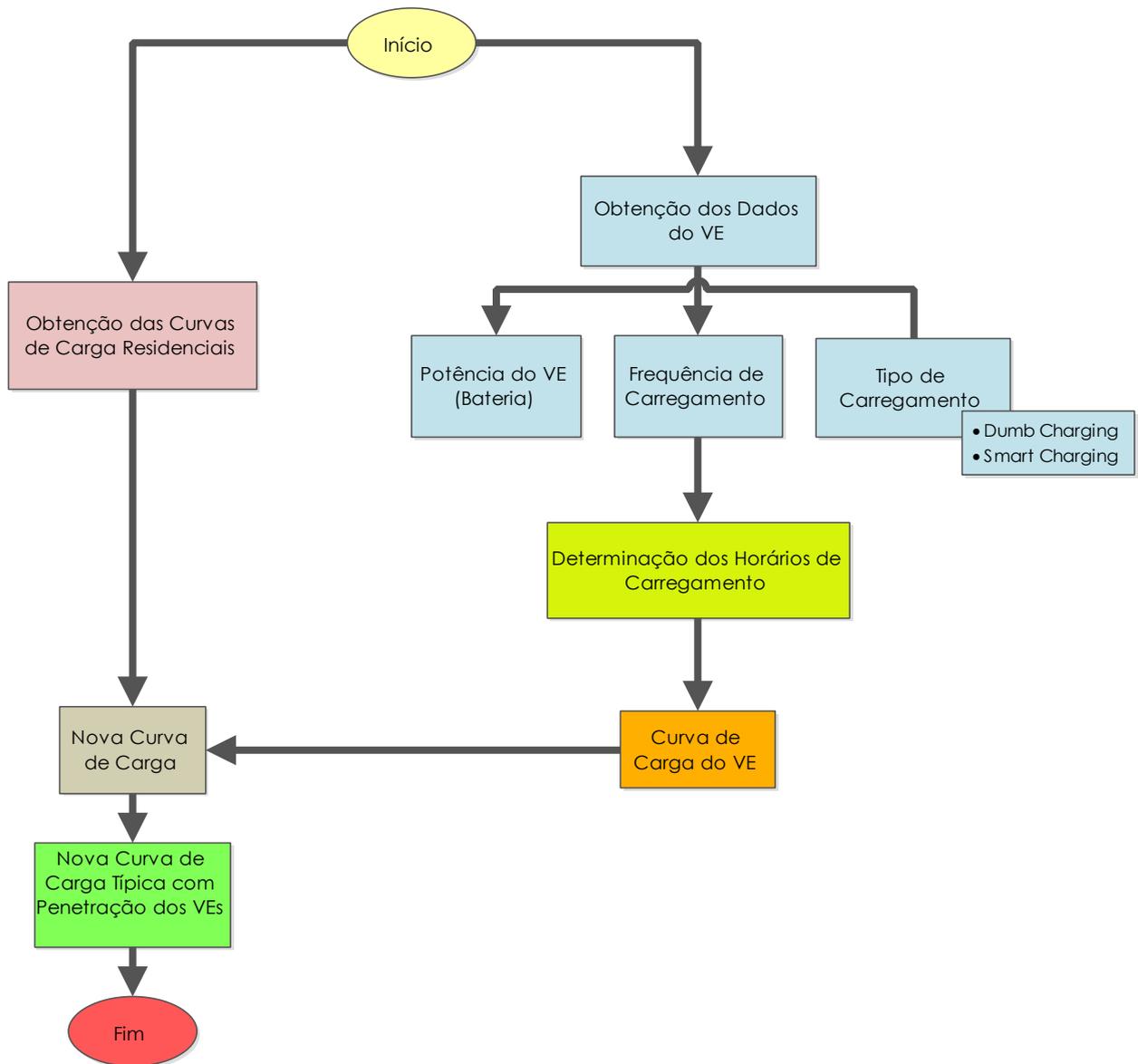
Atualmente, os veículos elétricos vêm ganhando espaço considerável no mercado. Os VEs tem sido a principal aposta mundial da indústria para oferecer aos consumidores maior economia e menor poluição. Muitos países estão aderindo pelo fato de ser sustentável, pois irá contribuir para um planeta mais limpo, com redução na emissão de gases, sendo assim uma grande solução contra a poluição nas grandes cidades.

Atualmente, os VEs ainda custam mais caro na hora da compra, porém, ao longo do tempo, a redução dos gastos em combustível e até mesmo em IPVA pode fazer o investimento de comprar um VE valer a pena. Esse investimento é considerado valido porque a energia elétrica, em geral, é mais barata que os combustíveis fósseis, e a eficiência de um VE chega a ser de 90%, no que diz respeito ao consumo de energia, enquanto um carro a combustão tem uma média de 40% de eficiência. Ou seja, no modelo elétrico, a energia necessária é menor para se fazer o mesmo esforço.

Os VEs vem sendo utilizados em vários países, inclusive no Brasil, e o abastecimento do VE é semelhante ao carregamento de um celular, ou um notebook. Pluga-se uma extremidade do carregador na tomada, e outra no veículo. É algo que pode ser bem vantajoso, mas a demanda de energia para carregar um VE acarretará em uma mudança no planejamento e operação do SDEE. Desse modo a metodologia proposta nesse trabalho tem por objetivo analisar a penetração dos Veículos Elétricos no sistema de distribuição considerando curvas de carga de consumidores residenciais.

A metodologia proposta é apresentada na Figura 16. O fluxograma da Figura 16 indica as etapas que serão necessários para construção da curva de carga do VE e as novas curvas de carga residencial de consumidores que irão adquirir o VE.

Figura 16 - Fluxograma dos procedimentos em análise para geração da nova curva de carga devido a penetração dos VEs



Fonte: Autor.

Conforme Figura 16, a primeira etapa da metodologia proposta compreende a obtenção das curvas residências, no subcapítulo 2.2.1 foi apresentada uma curva típica de um consumidor residencial, na qual tem como característica o aumento de consumo entre às 18 e 21 horas, conforme Figura 3, devido a isso tem-se um pico na demanda por energia nesses horários. Portanto, na Etapa 1 é feita a aquisição e análise de curvas de carga residenciais. Cabe ressaltar que, para o presente trabalho, as curvas de consumidores residenciais estão divididas nas faixas apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Faixas de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais

Tipo de Consumidor	Faixa (kWh)
<i>Residencial</i>	0 à 30
<i>Residencial</i>	31 à 100
<i>Residencial</i>	101 à 160
<i>Residencial</i>	161 à 300
<i>Residencial</i>	301 à 500
<i>Residencial</i>	Acima de 500

Fonte: Autor.

Na Etapa 2, Figura 16, é necessária a obtenção de todas as informações e características necessárias para a construção da curva de carga do VE. Pode-se citar que é necessário saber a potência do VE, a frequência de carregamento e também os tipos de carregamento do VE, os quais foram detalhadas no capítulo 2.

A Etapa 3 é a determinação das horas que o VE irá carregar. O tipo de carregamento é determinado a partir do horário que o usuário irá recarregar seu veículo. Caso o usuário faça a recarga em algum horário de ponta, automaticamente a recarga que ele estará utilizando é descoordenada. Se a recarga não compreender o horário de ponta, será coordenada.

A próxima etapa da metodologia, etapa 4, consiste na determinação da curva de carga do VE. Para a geração da curva de carga do VE é aplicado o MMC. O método trabalha com a geração de números aleatórios distribuídos dentro de um intervalo de 0 a 1. Após a geração dos números, é estimado uma frequência de ocorrência para cada determinada hora que o veículo irá carregar, através da Equação (1), então o método calcula a frequência de ocorrência para cada hora de carregamento, sendo que a frequência de ocorrência total deve ser igual a 1.

$$"SE(E(\text{Análise da Hora}; \text{tipo de carregamento}); \text{frequência}; \text{falso})" \quad (1)$$

Depois de determinar a frequência de ocorrência para cada hora que o veículo estará carregando, o sistema faz uma contagem da quantidade de números aleatórios que está dentro de cada faixa de frequência das horas de carregamento.

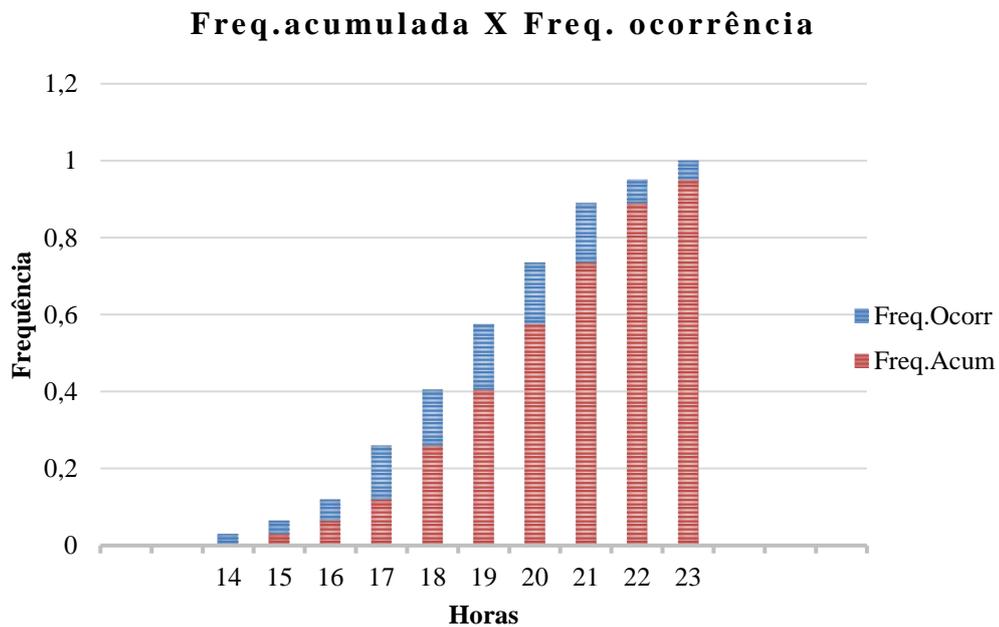
Com isso, aplicação do MMC vai fazer uma escolha coerente dos horários que o veículo vai carregar. Cabe salientar que quanto maior a quantidade de números aleatórios dentro do intervalo de 0 a 1, menor a probabilidade de erro na simulação. A quantidade de casos na

próxima etapa vai ser determinada pelo tipo de carregamento e também pelo estado da bateria (SOC). A seguir, é mostrado um exemplo didático para entendimento da etapa 4 da metodologia proposta, determinação da curva de carga do VE.

a. Exemplo de aplicação

Supondo que um veículo com seu estado de bateria, SOC = 60% e que o carregamento deve ser descoordenado e contínuo. Esse carregamento com SOC = 60% leva um tempo de 4 horas, e para cada hora são calculadas a frequência de ocorrência considerando as variáveis: tipo e frequência de carregamento. A Figura 17 apresenta a frequência de ocorrência para as horas que o veículo irá carregar. Foram simuladas 10 horas para o MMC indicar as possíveis 4 horas que o VE irá carregar estando com estado de SOC = 60%.

Figura 17 - Frequência de ocorrência exemplo de aplicação



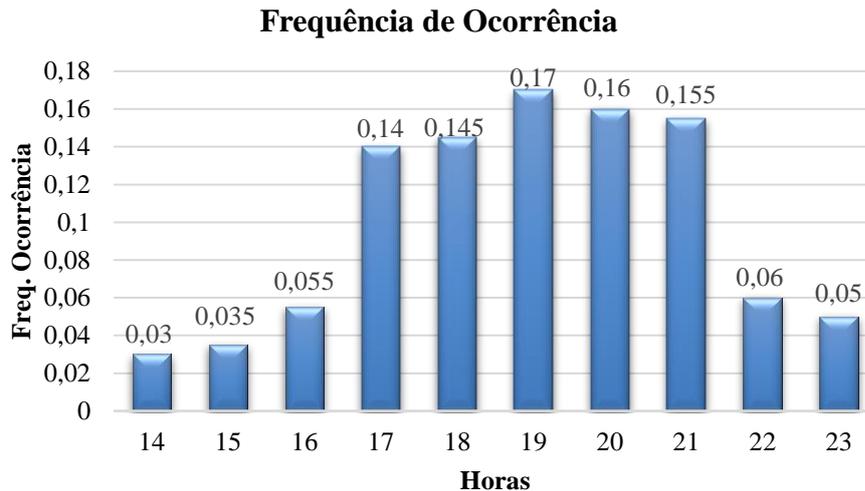
Fonte: Autor.

A análise da Figura 17 indica as frequências de ocorrência para cada hora. Como foi mencionado que nesse exemplo de aplicação o VE demora 4 horas para recarga total, e que o tipo de carregamento usado, é o carregamento descoordenado, são gerados 5000 números aleatórios que variam de 0 a 1. Esses números gerados, são aplicados nos intervalos das 10

horas observadas na Figura 17, determinando assim a probabilidade de cada hora que o VE irá carregar.

A Figura 18 mostra a frequência de ocorrência para cada hora simulada.

Figura 18 - Horas de Carregamento do exemplo de aplicação



Fonte: Autor.

Como nesse exemplo o veículo demora 4 horas para recarga total, a Figura 18 mostra as horas com a maior probabilidade de o VE carregar. O MMC mostra para esse exemplo que o veículo irá carregar às 18, 19, 20, 21, isso por estar considerando um carregamento descoordenado, sem nenhum controle.

Então, com essas informações das etapas anteriores, pode ser realizado a geração da curva de carga do veículo.

A Etapa 5, Figura 16, é a determinação da nova curva de carga, adicionando a demanda residencial com a demanda solicitada pela recarga do VE. É de grande importância gerar essa nova curva de carga para ter um maior controle de como o sistema funcionará com a inserção de VEs nas residências, e também saber qual a demanda na rede que esse novo equipamento está necessitando.

Justificadas todas as vantagens de possuir um VE, é de grande valia saber que com o passar dos anos pode-se ter uma grande penetração dos VEs, tal penetração pode gerar uma mudança significativa na curva de carga dos consumidores residenciais, impactando no sistema de distribuição. Diante disso, é de grande importância fazer uma análise geral, levando em

consideração essa entrada de veículos elétricos na atualidade. Então na Etapa 6, é analisada a nova curva de carga residencial com a inserção dos VEs.

3.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a metodologia para análise da penetração de VEs no sistema de distribuição de energia elétrica. A metodologia proposta é uma análise de curvas de carga residenciais, geração de uma curva de carga para o veículo escolhido e determinação de uma nova curva de carga residencial, agora tendo em vista a demanda que o VE irá precisar para ser carregado. Ainda se inclui na metodologia uma análise da penetração de VEs no sistema para gerar uma nova curva de carga típica de consumidores residenciais. A metodologia proposta será validada no próximo capítulo através de estudos de caso.

4. ESTUDO DE CASO

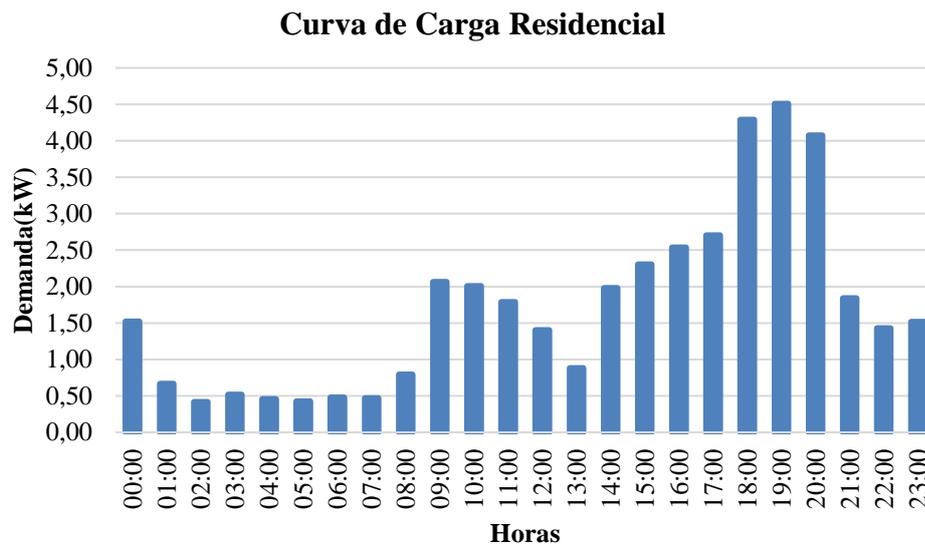
Este capítulo tem a finalidade de validar a metodologia proposta, Figura 16, a partir de estudo de caso. No capítulo 2 foram apresentados 8 modelos de veículos, sendo diferentes em seu preço, potência, autonomia, velocidade, aparência, entre outras. No Estudo de Caso é feita a análise de um veículo apenas, mas cabe ressaltar que a metodologia proposta pode ser aplicada para qualquer VE existente.

Neste capítulo, são apresentadas as curvas de cargas residenciais utilizadas como referência, a geração da curva do VE escolhido para cada cenário de carregamento abordado. Com isso, é gerada a nova curva de carga residencial, e por fim feita a nova curva de carga típica. Após, são discutidos os resultados obtidos nas simulações de cada cenário.

4.1 CURVA DE CARGA RESIDENCIAL

Conforme a Figura 16, a primeira etapa consiste na obtenção das curvas residenciais. Desse modo, a Figura 19 apresenta a curva de carga residencial que é utilizada nos cenários simulados.

Figura 19 - Curva Residencial de Referência



Fonte: Adaptado de distribuidora do Sul do Brasil.

A curva de carga mostrada na Figura 19, irá servir de base para todas as simulações. A amostra é uma curva de um consumidor residencial com demanda aproximada de 1039,90 kWh, se enquadrando na faixa acima de 500 kWh. São considerados apenas os dias úteis para simulação, visto que a frequência de recarga do IEV20 é apenas uma vez por semana. A próxima etapa consiste na construção da curva de carga do VE. Para isso, são considerados cenários de simulação com diferentes variáveis de entrada (potência do veículo, tipo de carregamento, frequência de carregamento, estado da bateria).

4.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE CARGA DO VE E NOVA CURVA DE CARGA

Para a determinação da curva de carga do VE, foi considerado o VE da JAC IEV20. A etapa em questão é feita a análise nas quais vão envolver o estado da bateria do veículo, na qual consta suas informações na Tabela 1, e o tempo necessário para recarga completa que são de 10 horas.

Com a definição da seção 2.4 que um veículo percorre por ano 12.200 km, e que a média de um veículo no Rio Grande do Sul percorre por dia é de 34 km, portanto, para um usuário que esteja na média, o VE necessitará de carga completa apenas uma vez por semana. Então, essa frequência de carregamento irá ser base para as simulações. Vão ser considerados seis cenários com estado da bateria em SOC = 0%, SOC = 50%, SOC = 25% e carregamento coordenado e descoordenado. A Tabela 10 apresenta as premissas dos cenários analisados.

Tabela 10 - Cenários analisados

Cenários	Variáveis
Cenário 1	Carregamento Descoordenado, SOC = 0%, frequência=1x semana
Cenário 2	Carregamento Descoordenado, SOC = 50%, frequência=1x semana
Cenário 3	Carregamento Descoordenado, SOC = 25%, frequência=1x semana
Cenário 4	Carregamento Coordenado, SOC = 0%, frequência=1x semana
Cenário 5	Carregamento Coordenado, SOC = 50%, frequência=1x semana
Cenário 6	Carregamento Coordenado, SOC = 25%, frequência=1x semana

Fonte: Autor.

De acordo com a Tabela 10, são analisados três cenários com carregamento descoordenado, e três cenários com carregamentos coordenados, com baterias em diferentes estados de carga. Cada cenário resultar em uma curva de carga do VE.

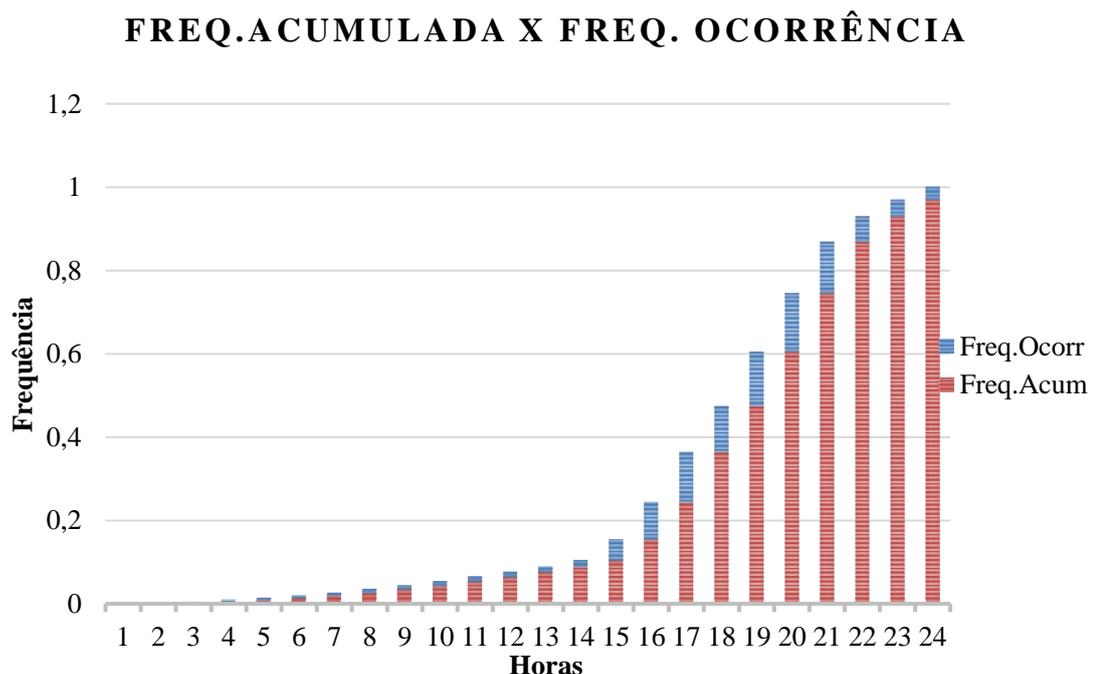
4.2.1 Cenário 1 – Carregamento Descoordenado e SOC = 0%

No primeiro cenário analisado, foi considerado o tipo de carregamento descoordenado com SOC=0%. Primeiramente, a partir da Equação (1), foi criado a frequência de ocorrência para cada hora simulada.

A Equação (1) analisa cada hora separadamente, se a hora observada for maior que 17 e menor que 21 (Horário de Ponta e intermediário), e se o tipo de carregamento for o de interesse do cenário, o MMC irá atribuir uma frequência de ocorrência para tal hora, caso contrário, o método não irá contabilizar a frequência para hora em questão.

Caso a hora requerida pelo carregamento for fora do horário de ponta, o método atribui uma frequência menor, no caso de uma recarga descoordenada. É importante ressaltar que todos os carregamentos de todos os cenários, são carregamentos contínuos, ou seja, não tem uma interrupção até o VE estar com carga completa. A Figura 20 mostra a determinação dos horários de carregamento do veículo IEV20 para o cenário 1.

Figura 20 - Horários de carregamento - Cenário 1



Fonte: Autor.

Sabendo que no cenário 1, SOC = 0%, e para recarga completa o tempo mínimo é de 10 horas, através da análise da Figura 20 é possível observar as 10 horas com uma maior frequência de ocorrência: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24 e as horas com menor frequência de ocorrência: restante das horas. Posteriormente, foi feito a geração de 5000 números aleatórios em um intervalo de 0 a 1 para serem distribuídos em cada hora simulada, essa quantidade alta de números foi gerada para diminuição de erro e para aplicação do MMC. A Tabela 11 mostra a quantidade desses 5000 números que se enquadram em cada hora.

Tabela 11 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 1

<i>Horas</i>	<i>Freq.Ocorrência</i>	<i>Freq.Acumulada</i>	<i>Quantidade</i>	<i>FREQ.TOTAL</i>
1	0,005	0	20	0,005
2	0,006	0,005	23	0,011
3	0,007	0,011	25	0,018
4	0,008	0,018	32	0,026
5	0,009	0,026	43	0,035
6	0,01	0,035	47	0,045
7	0,011	0,045	43	0,056
8	0,012	0,056	65	0,068
9	0,013	0,068	61	0,081
10	0,014	0,081	75	0,095
11	0,015	0,095	75	0,11
12	0,016	0,11	76	0,126
13	0,017	0,126	81	0,143
14	0,018	0,143	96	0,161
15	0,04	0,161	219	0,201
16	0,05	0,201	258	0,251
17	0,09	0,251	474	0,341
18	0,11	0,341	547	0,451
19	0,13	0,451	644	0,581
20	0,145	0,581	718	0,726
21	0,124	0,726	628	0,85
22	0,06	0,85	290	0,91
23	0,05	0,91	252	0,96
24	0,04	0,96	208	1
<i>Soma</i>	1		5000	

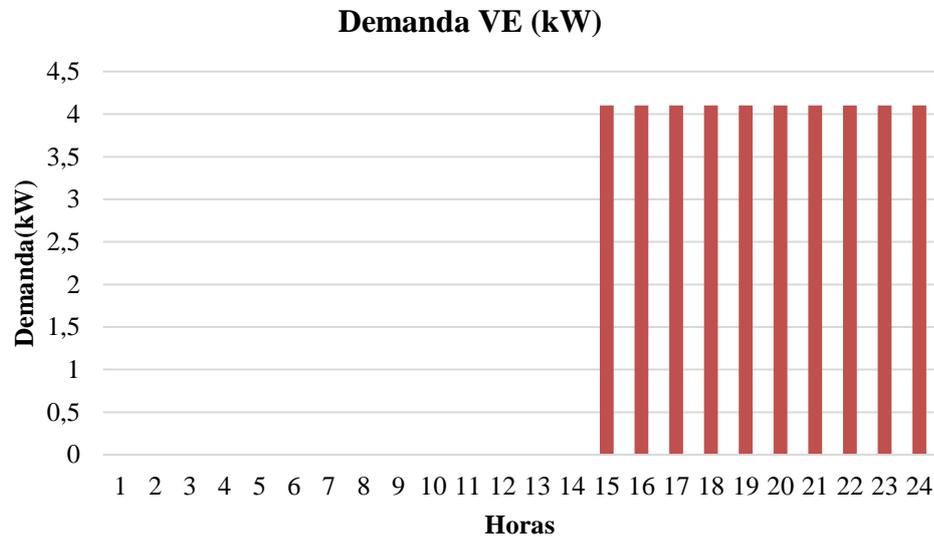
Fonte: Autor.

Conforme a Tabela 11, pode-se perceber a quantidade dos 5000 números que se enquadram em cada hora. Como o carregamento é descoordenado, o método indica uma maior frequência de ocorrência no horário de ponta, e sorteia o restante das frequências nos outros

horários. Como o carregamento é contínuo, o carregamento não pode ser intercalado, ou seja, o VE irá carregar 10 horas contínuas.

Com a análise da Figura 20 pode-se construir a curva de carga do IEV20. Para recarga completa o veículo necessitará de uma demanda de 41kWh. A curva do IEV20 é a soma das demandas de cada hora simulada. É importante ressaltar que as demandas de cada hora simulada vão ser constantes, no cenário 1, cada uma das 10 horas vão demandar uma potência de 4,1kW. Então, não vai ser considerada uma possível variação na recarga da bateria. A Figura 21 mostra a curva de carga do IEV20 para o primeiro cenário.

Figura 21 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 1



Fonte: Autor.

Referente a Figura 21, tem-se a demanda necessária para recarga do veículo com SOC = 0%, em uma recarga descoordenada. Para achar o consumo mensal para recarga do IEV20 para o cenário 1 tem-se segundo CPFL (2021) a Tabela 12, considerando os impostos sobre as tarifas.

Tabela 12 - Taxas e Tarifas CPFL Energia

Tarifa	Custo (R\$/kWh)
Tarifa convencional	0,58957
Tarifa branca ponta	1,0552
Tarifa branca intermediária	0,67648

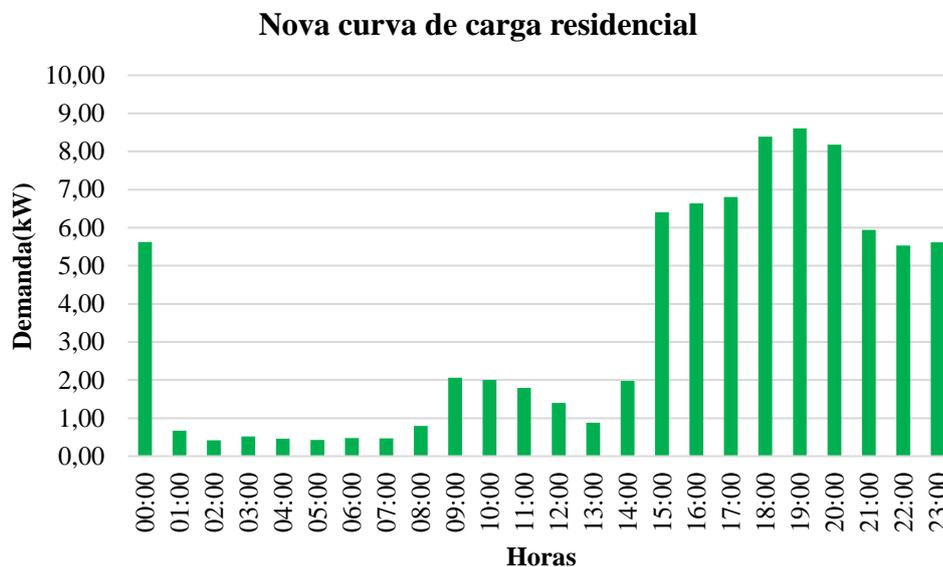
Tarifa branca fora ponta	0,47338
--------------------------	---------

Fonte: Adaptado de (CPFL, 2021)

Com auxílio da Tabela 12 calcula-se o consumo mensal para recarga do VE. O valor para tarifa branca é de R\$ 122,46 e para tarifa convencional é de R\$ 96,68. Para esse cenário a tarifa branca não se torna atrativa.

Tendo em vista a demanda do veículo, pode-se somar a curva de carga do VE com demanda da residência e gerar a nova curva de carga para esse primeiro cenário. A Figura 22 mostra essa nova curva.

Figura 22 - Nova Curva Residencial - Cenário 1



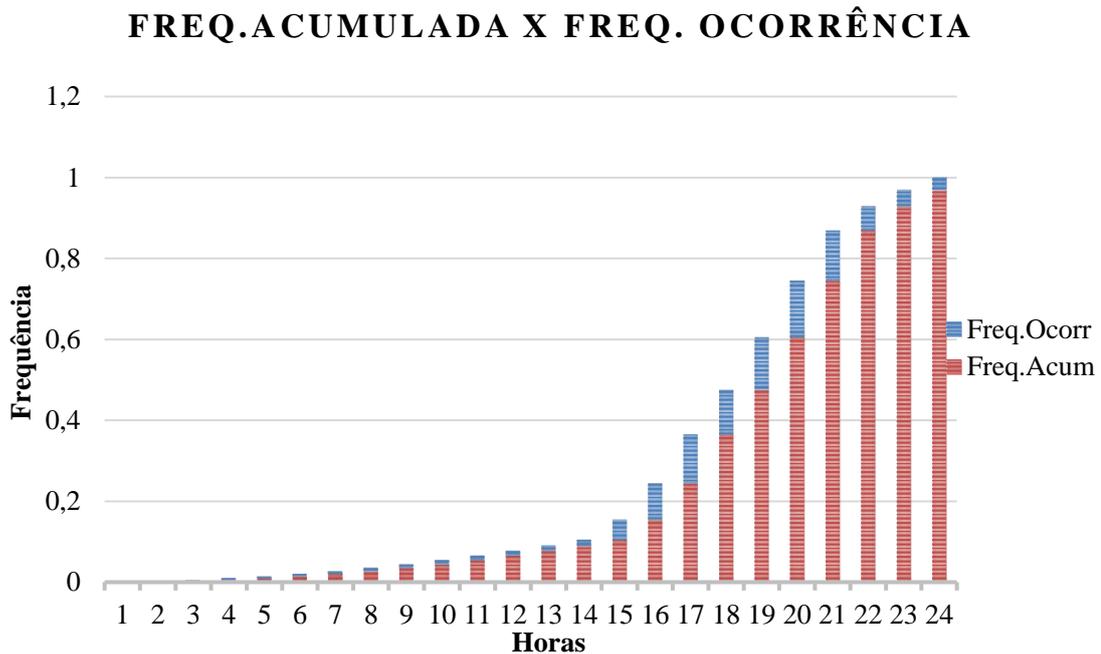
Fonte: Autor.

A Figura 22 apresentou a nova curva de carga da residência com a demanda solicitada pelo VE em uma recarga descoordenada. A simulação do cenário 1 é um carregamento realizado das 15 às 24 horas. A seguir tem-se a simulação do cenário 2.

4.2.2 Cenário 2 – Carregamento Descoordenado e SOC = 50%

No segundo cenário, foi considerado um carregamento descoordenado, mas com SOC = 50%. Portanto, o VE irá carregar em 5 horas. A Figura 23 mostra a determinação dos horários de carregamento para o cenário 2, utilizando a Equação (1).

Figura 23 - Horários de Carregamento - Cenário 2



Fonte: Autor.

Sabendo que no cenário 2, SOC = 50% e carregamento descoordenado, o tempo para a bateria recarregar totalmente é de 5 horas, portanto o método gera frequências maiores nos horários de ponta, ou seja, a recarga vai ocorrer no horário de ponta, por ser um carregamento descoordenado. Através da análise da Figura 23, é possível observar as 5 horas que possuem uma maior frequência de ocorrência: 17, 18, 19, 20, 21. As horas com menor frequência são descartadas para recarga nesse caso. A Tabela 13 mostra a quantidade dos 5000 números aleatórios gerados que se enquadram em cada hora.

Tabela 13 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 2

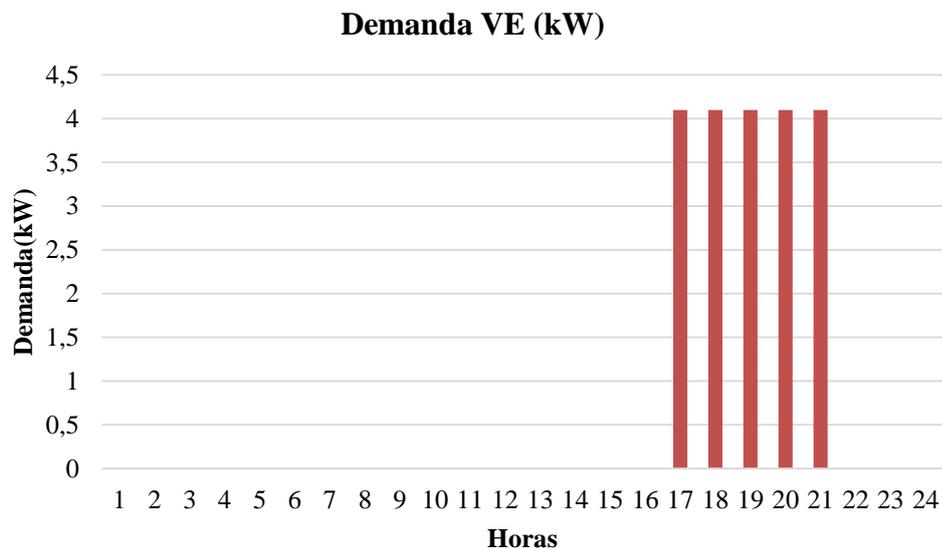
<i>Horas</i>	<i>Freq. Ocorrência</i>	<i>Freq.Acumulada</i>	<i>Quantidade</i>	<i>FREQ.TOTAL</i>
1	0,001	0	3	0,001
2	0,002	0,001	13	0,003
3	0,003	0,003	13	0,006
4	0,004	0,006	13	0,01
5	0,005	0,01	23	0,015
6	0,006	0,015	39	0,021
7	0,007	0,021	48	0,028
8	0,008	0,028	43	0,036
9	0,009	0,036	42	0,045
10	0,01	0,045	50	0,055
11	0,011	0,055	56	0,066
12	0,012	0,066	76	0,078

13	0,013	0,078	72	0,091
14	0,014	0,091	70	0,105
15	0,05	0,105	232	0,155
16	0,09	0,155	456	0,245
17	0,12	0,245	569	0,365
18	0,11	0,365	577	0,475
19	0,13	0,475	665	0,605
20	0,14	0,605	701	0,745
21	0,124	0,745	582	0,869
22	0,06	0,869	316	0,929
23	0,04	0,929	174	0,969
24	0,031	0,969	167	1
<i>Soma</i>	1		5000	

Fonte: Autor.

Com a Tabela 13, pode-se perceber a quantidade dos números aleatórios que se encaixam em cada hora. Como o carregamento é descoordenado e acontece em 5 horas, o MMC enquadra uma maior parte da quantidade dos números aleatórios nos horários de ponta, horários que nesse cenário, o VE irá carregar. Partindo dessa análise, pode-se construir a curva do IEV20 para o cenário 2, Figura 24.

Figura 24 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 2



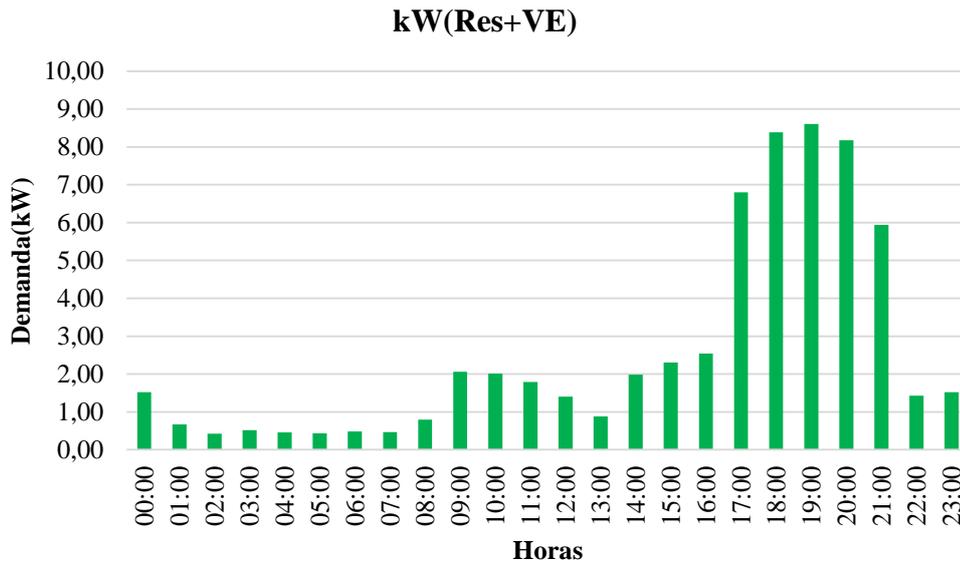
Fonte: Autor.

A Figura 24 ilustra a curva do VE que em SOC = 50%, necessita de uma potência de 20,5 kW para recarga completa. Com auxílio da Tabela 12, calcula-se o consumo mensal para

recarga do VE. O valor para tarifa branca é de R\$ 80,31 e para tarifa convencional é de R\$ 48,34, mostrando que a tarifa branca não se torna atrativa para esse cenário.

Para obter a nova curva de carga da residência, soma-se a demanda do VE, com a demanda da residência. A Figura 25 mostra a nova curva de carga residencial para o cenário 2.

Figura 25 - Nova Curva Residencial - Cenário 2



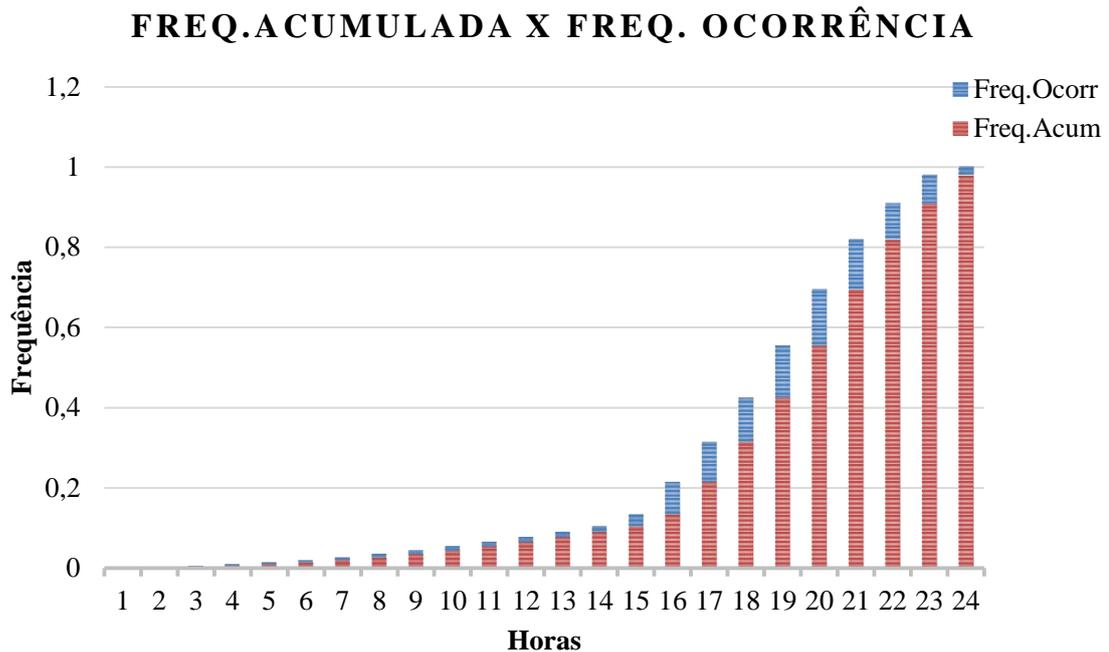
Fonte: Autor.

A Figura 25 mostra a nova curva de carga residencial com a demanda que o veículo necessita em uma recarga descoordenada com SOC = 50%. A simulação do cenário 2 é um carregamento feito das 17 às 21 horas. A seguir tem-se a simulação do cenário 3.

4.2.3 Cenário 3 – Carregamento Descoordenado e SOC = 25%

No terceiro cenário, foi considerado um carregamento descoordenado, mas com SOC = 25%. Portanto, o VE irá carregar em aproximadamente 8 horas. A Figura 26 mostra a determinação dos horários de carregamento para o cenário 3, utilizando a Equação (1).

Figura 26 - Horários de Carregamento - Cenário 3



Fonte: Autor.

Através da análise da Figura 26 é possível observar as 8 horas que possuem uma maior frequência de ocorrência: 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23. Portanto, o método faz a simulação das 24 horas, e a frequência de ocorrência nos horários de ponta é maior. O restante das horas recebem uma menor frequência, desde que o carregamento seja contínuo. A Tabela 14 mostra a quantidade dos 5000 números aleatórios gerados que se encaixam em cada hora.

Tabela 14 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 3

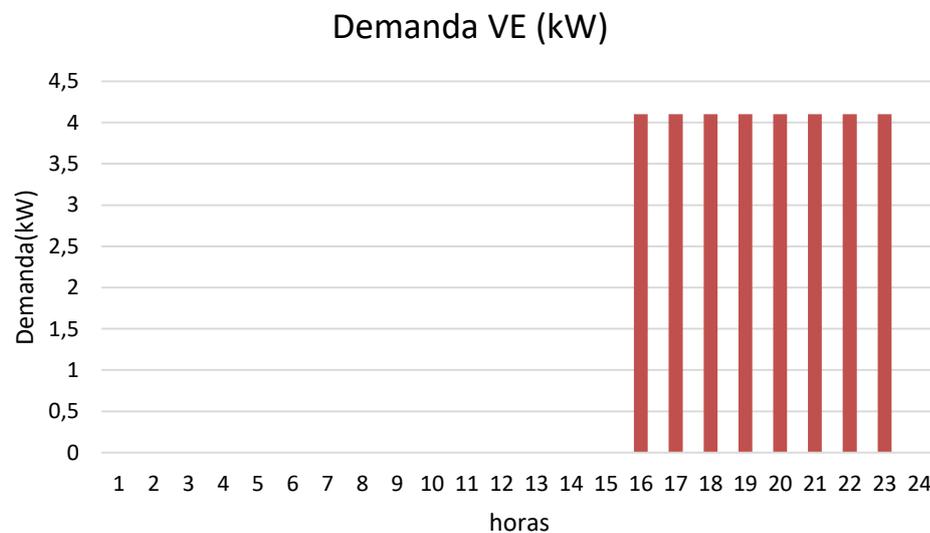
<i>Horas</i>	<i>Freq.Ocorrência</i>	<i>Freq.Acumulada</i>	<i>Quantidade</i>	<i>FREQ.TOTAL</i>
1	0,001	0	5	0,001
2	0,002	0,001	12	0,003
3	0,003	0,003	9	0,006
4	0,004	0,006	18	0,01
5	0,005	0,01	29	0,015
6	0,006	0,015	24	0,021
7	0,007	0,021	42	0,028
8	0,008	0,028	49	0,036
9	0,009	0,036	52	0,045
10	0,01	0,045	64	0,055
11	0,011	0,055	64	0,066
12	0,012	0,066	54	0,078
13	0,013	0,078	69	0,091
14	0,014	0,091	85	0,105

15	0,03	0,105	148	0,135
16	0,08	0,135	393	0,215
17	0,1	0,215	508	0,315
18	0,11	0,315	547	0,425
19	0,13	0,425	650	0,555
20	0,14	0,555	683	0,695
21	0,124	0,695	599	0,819
22	0,09	0,819	438	0,909
23	0,07	0,909	341	0,979
24	0,021	0,979	117	1
<i>Soma</i>	1		5000	

Fonte: Autor.

Com a Tabela 14, pode-se perceber a quantidade dos números aleatórios que se enquadram em cada hora. A próxima etapa é a construção da curva do IEV20 para o cenário 3, ilustrado pela Figura 27.

Figura 27 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 3

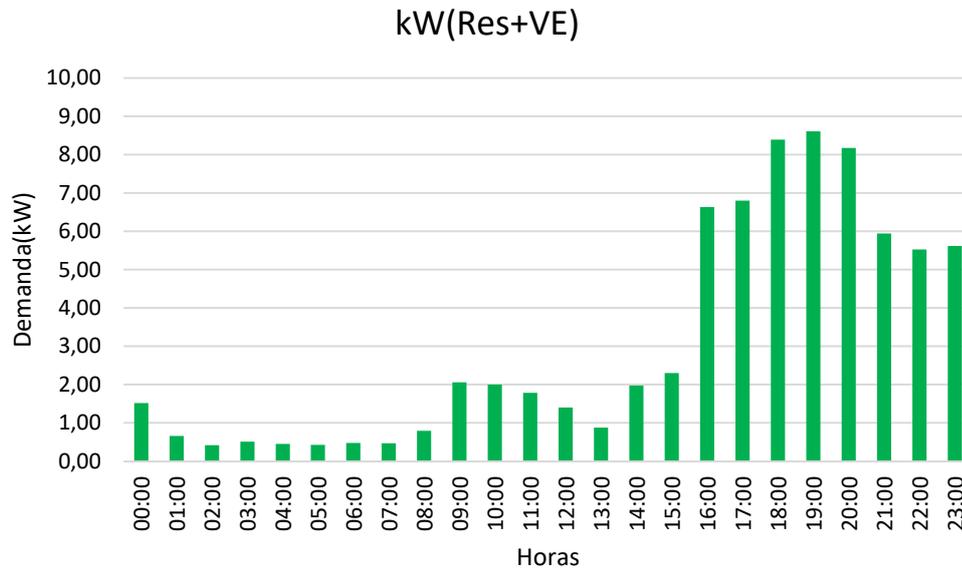


Fonte: Autor.

A Figura 27 ilustra a curva do VE que em SOC = 25%, necessita de uma potência de 32,8 kW para recarga completa. Nesse caso foi analisado o carregamento como uma distribuição dos 4,1kW nas horas de carregamento. Com auxílio da Tabela 12, calcula-se o consumo mensal para recarga do VE. O valor para tarifa branca é de R\$ 106,93 e para tarifa convencional é de R\$ 77,35.

Para obter a nova curva de carga da residência, soma-se a demanda do VE com a demanda anterior da residência. A Figura 28 mostra a nova curva.

Figura 28 - Nova Curva Residencial - Cenário 3



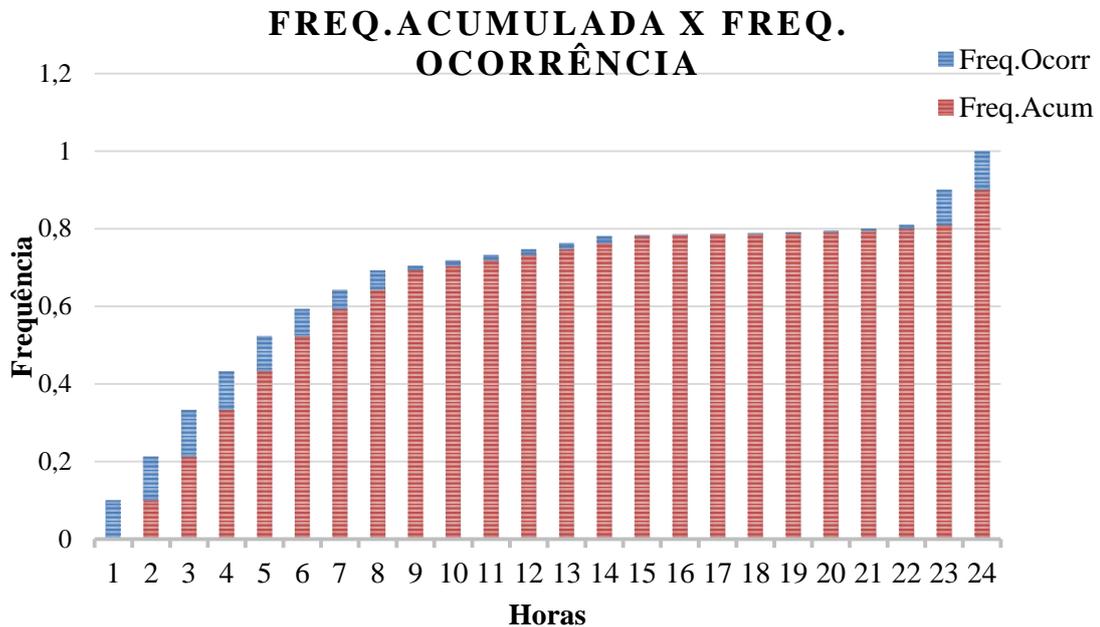
Fonte: Autor.

A Figura 28 mostra a nova curva de carga residencial com a demanda que o veículo necessita em uma recarga descoordenada com tempo de 8 horas. A simulação do cenário 3 é um carregamento realizado das 16 às 23 horas. Os próximos cenários são considerados carregamentos coordenados, ou seja, não é considerado carregamento do veículo elétrico nos horários de ponta.

4.2.4 Cenário 4 – Carregamento Coordenado e SOC = 0%

No cenário 4 é considerado uma recarga coordenada, com SOC = 0%. Então, assim como o cenário 1, o VE irá carregar em 10 horas, pois seu estado de bateria se encontra em 0%. A Figura 29 mostra a determinação dos horários de carregamento, a partir da frequência de ocorrência, Equação (1).

Figura 29 - Horários de Carregamento - Cenário 4



Fonte: Autor.

Através da análise da Figura 29 é possível observar as 10 horas com uma maior frequência de ocorrência: 23, 24, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08. Os outros horários simulados, recebem uma frequência menor. A metodologia da geração dos 5000 números aleatórios continua igual. A Tabela 15 mostra a quantidade dos 5000 números aleatórios gerados que se enquadram em cada hora.

Tabela 15 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 4

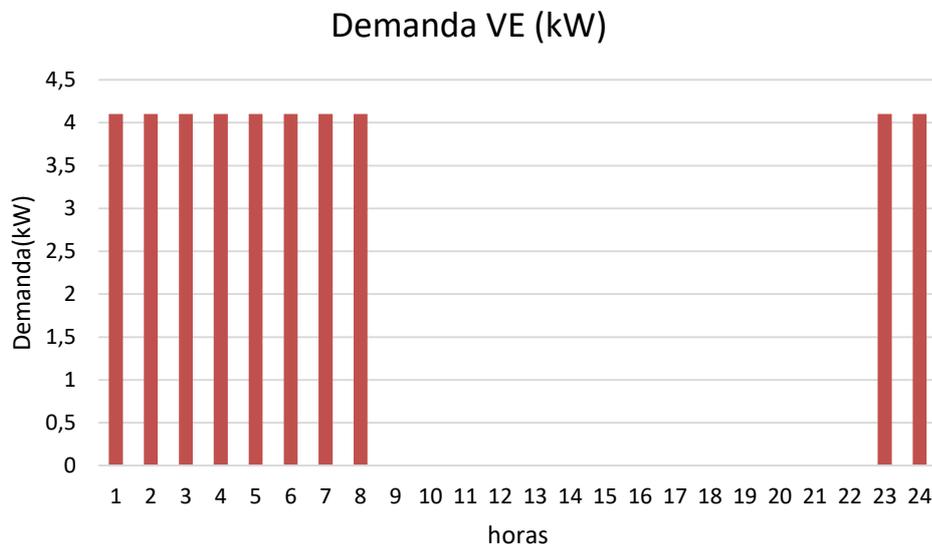
<i>Horas</i>	<i>Freq.Ocorrência</i>	<i>Freq. Acumulada</i>	<i>Quantidade</i>	<i>FREQ.TOTAL</i>
1	0,1	0	502	0,1
2	0,113	0,1	543	0,213
3	0,12	0,213	623	0,333
4	0,1	0,333	514	0,433
5	0,09	0,433	462	0,523
6	0,07	0,523	346	0,593
7	0,05	0,593	262	0,643
8	0,05	0,643	262	0,693
9	0,012	0,693	61	0,705
10	0,013	0,705	54	0,718
11	0,014	0,718	60	0,732
12	0,015	0,732	65	0,747
13	0,0161	0,747	81	0,7631

14	0,018	0,7631	92	0,7811
15	0,0019	0,7811	12	0,783
16	0,002	0,783	12	0,785
17	0,001	0,785	5	0,786
18	0,002	0,786	14	0,788
19	0,003	0,788	23	0,791
20	0,004	0,791	20	0,795
21	0,005	0,795	20	0,8
22	0,01	0,8	54	0,81
23	0,09	0,81	436	0,9
24	0,1	0,9	477	1
Soma	1		5000	

Fonte: Autor.

Com a Tabela 15, pode-se perceber a quantidade dos números aleatórios que se enquadram em cada hora para o carregamento coordenado. A medida que a simulação se afasta dos horários ponta, a frequência de ocorrência começa a aumentar. Após a geração dos 5000 números aleatórios, acontece a definição das horas que o VE irá carregar: 23, 24, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08. A próxima etapa é a construção da curva do IEV20 para o cenário 4. A Figura 30 mostra a mesma.

Figura 30 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 4

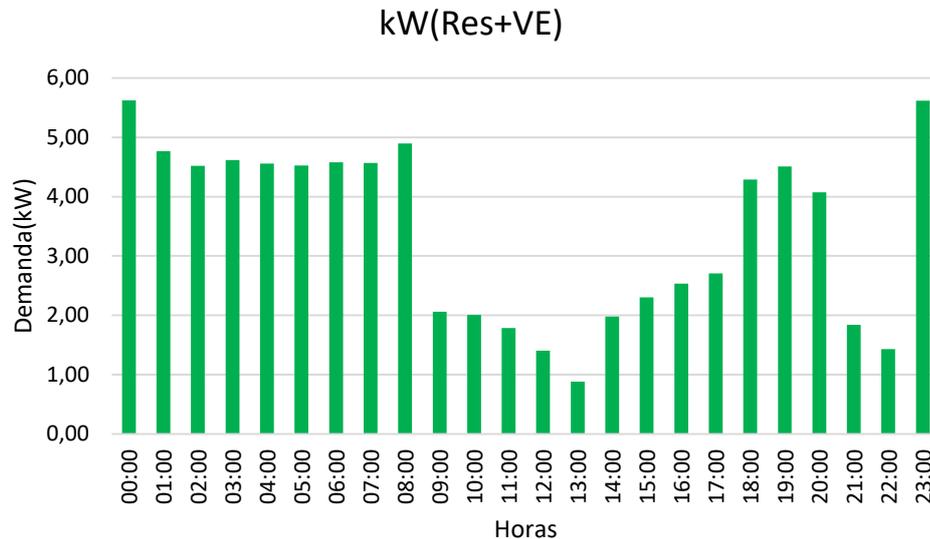


Fonte: Autor.

Na Figura 30 é possível observar a curva do VE para um carregamento coordenado em SOC = 0%, necessita de uma potência de 41 kW para recarga completa. Nesse caso, assim como no cenário 1, foi analisado o carregamento como uma distribuição dos 4,1kW contínuos nas 10

horas. Com auxílio da Tabela 12, calcula-se o consumo mensal para recarga do VE. O valor para tarifa branca é de R\$ 77,63 e para tarifa convencional é de R\$ 96,68. Então, a próxima etapa é a nova curva da residência, observada na Figura 31.

Figura 31 - Nova Curva Residencial - Cenário 4



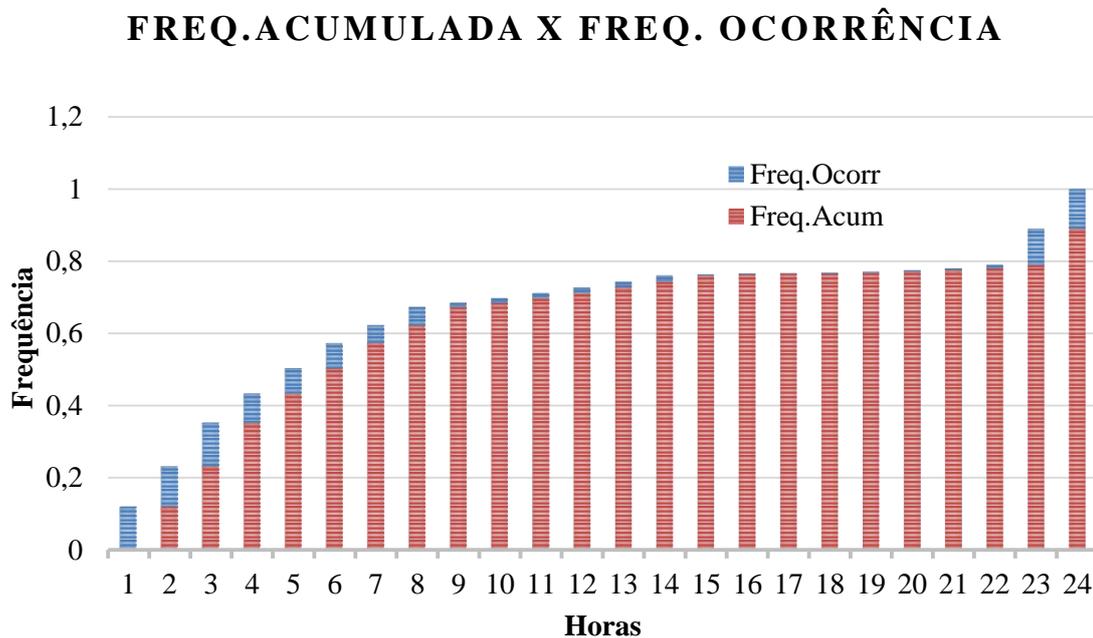
Fonte: Autor.

Na nova curva de carga residencial do cenário 4, pode-se notar que o horário de ponta não sofre ainda mais um acréscimo na demanda como nos cenários anteriores com carregamento descoordenado. No carregamento coordenado, a recarga do VE é feita sempre com intenção de não gerar uma sobrecarga no sistema elétrico. Portanto, pode-se ter uma noção mais concreta da importância de se ter um controle da recarga de VEs. O carregamento do quarto caso é feito das 23 às 08 horas. A seguir tem-se a simulação do cenário 5.

4.2.5 Cenário 5 – Carregamento Coordenado e SOC = 50%

No quinto cenário, é feita a simulação da recarga do IEV20 com SOC = 50%, considerando carregamento coordenado. Assim como no cenário 2, a recarga do veículo vai acontecer em 5 horas. A Figura 32 mostra a determinação dos horários de carregamento para o cenário 5.

Figura 32 - Horários de Carregamento - Cenário 5



Fonte: Autor.

Através da análise da Figura 32 é possível observar as 5 horas com uma maior frequência: 23, 24, 01, 02, 03. A simulação das horas de horário ponta recebem uma frequência de ocorrência baixa, por se tratar de uma recarga coordenada. A Tabela 16 mostra a quantidade dos 5000 números aleatórios gerados que se enquadram em cada hora.

Tabela 16 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 5

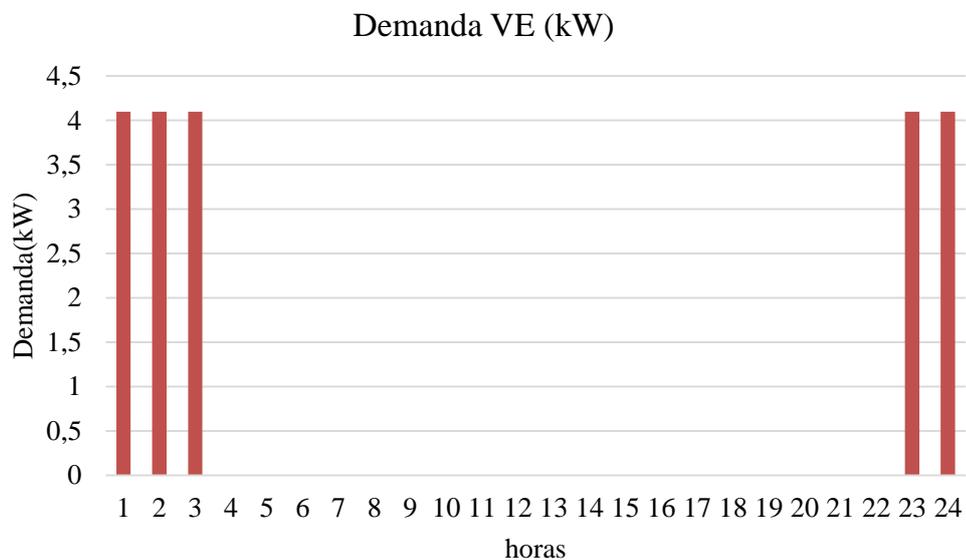
<i>Horas</i>	<i>Freq. Ocorrência</i>	<i>Freq. Acumulada</i>	<i>Quantidade</i>	<i>FREQ.TOTAL</i>
1	0,12	0	623	0,12
2	0,113	0,12	578	0,233
3	0,12	0,233	632	0,353
4	0,08	0,353	402	0,433
5	0,07	0,433	351	0,503
6	0,07	0,503	347	0,573
7	0,05	0,573	235	0,623
8	0,05	0,623	245	0,673
9	0,012	0,673	76	0,685
10	0,013	0,685	60	0,698
11	0,014	0,698	64	0,712
12	0,015	0,712	71	0,727
13	0,0161	0,727	82	0,7431
14	0,018	0,7431	84	0,7611

15	0,0019	0,7611	10	0,763
16	0,002	0,763	11	0,765
17	0,001	0,765	7	0,766
18	0,002	0,766	10	0,768
19	0,003	0,768	10	0,771
20	0,004	0,771	21	0,775
21	0,005	0,775	22	0,78
22	0,01	0,78	55	0,79
23	0,1	0,79	467	0,89
24	0,11	0,89	537	1
soma	1		5000	

Fonte: Autor.

Após a geração dos 5000 números aleatórios, pode-se perceber as horas que o VE irá carregar: 23, 24, 01, 02, 03. A próxima etapa é a construção da curva do IEV20 para o cenário 5, Figura 33.

Figura 33 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 5

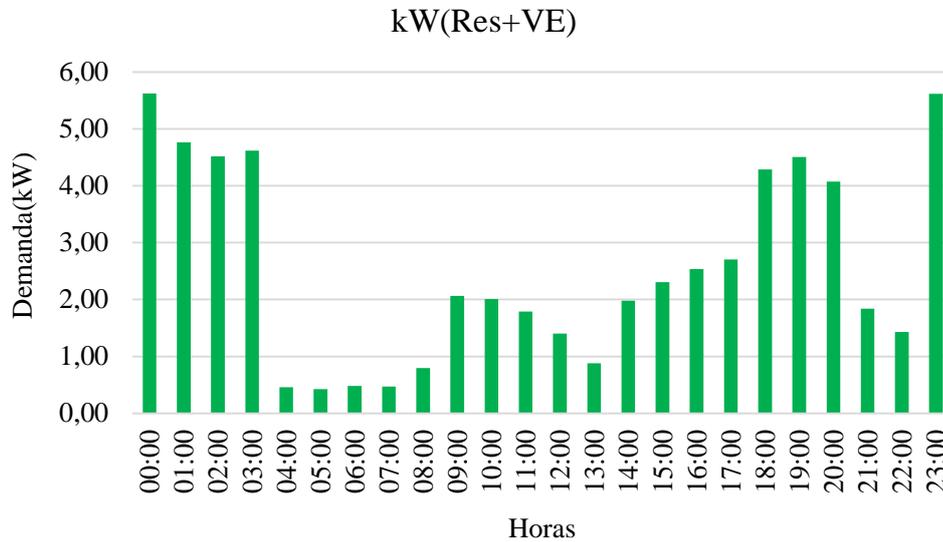


Fonte: Autor.

A Figura 33 ilustra a curva de carga do IEV20 para o caso 5. Essa recarga é requerida uma potência 20,5 kW, ou seja, a bateria se encontra com metade da carga. O método propõe 5 horas de recarga fora do horário de ponta. Com auxílio da Tabela 12, calcula-se o consumo mensal para recarga do VE. O valor para tarifa branca é de R\$ 38,81 e para tarifa convencional

é de R\$ 48,34. Agora, constrói-se a nova curva da residência, mostrada na Figura 34, utilizando a curva do VE e a curva de carga residencial

Figura 34 - Nova Curva Residencial - Cenário 5



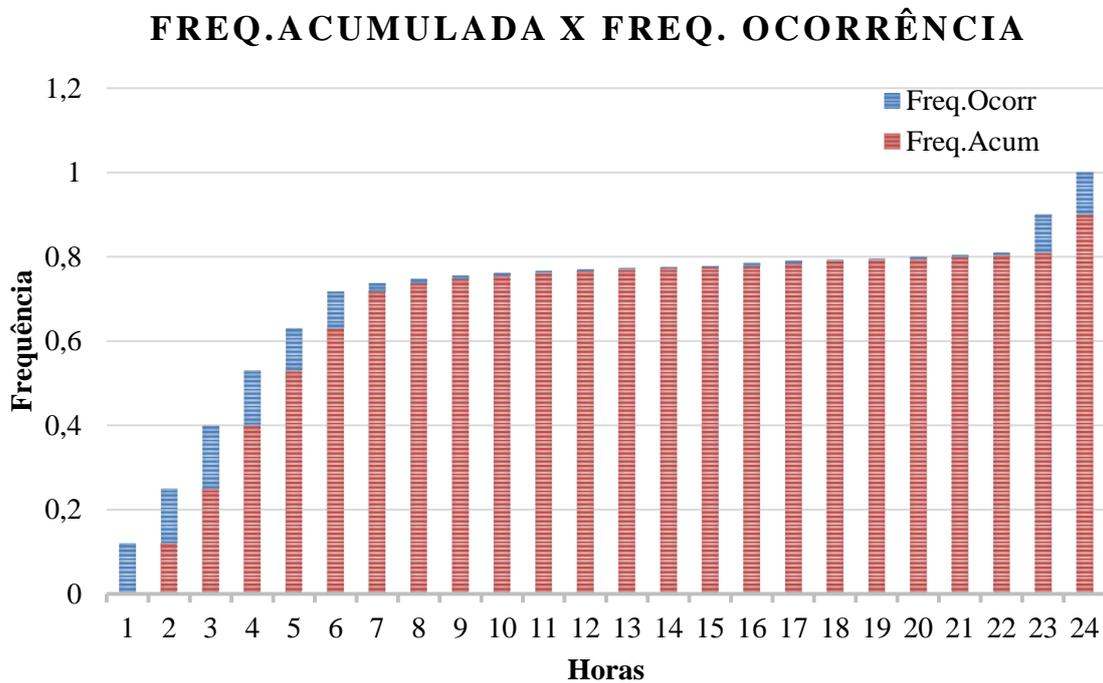
Fonte: Autor.

A Figura 34, assim como no cenário 4, mostra que com o carregamento coordenado, não se tem aumento na demanda nos horários de ponta. É feito um controle para que o sistema elétrico, no horário de ponta, não fique ainda mais sobrecarregado. O carregamento do caso 5 é feito das 23 às 03 horas. A seguir tem-se a simulação do sexto e último cenário.

4.2.6 Cenário 6 – Carregamento Coordenado e SOC = 25%

No cenário 6, é considerado um carregamento coordenado com SOC = 25%. Semelhante ao cenário 3, o VE irá carregar em aproximadamente 8 horas, mas de uma maneira coordenada e contínua. A Figura 35 mostra a determinação dos horários de carregamento para o cenário 6.

Figura 35 - Horários de Carregamento - Cenário 6



Fonte: Autor.

Através da análise da Figura 35, é possível observar as 8 horas que possuem uma maior frequência de ocorrência: 23, 24, 01, 02, 03, 04, 05, 06. A Tabela 17 mostra a quantidade dos 5000 números aleatórios gerados que se enquadram em cada hora.

Tabela 17 - Simulação das horas de carregamento - Cenário 6

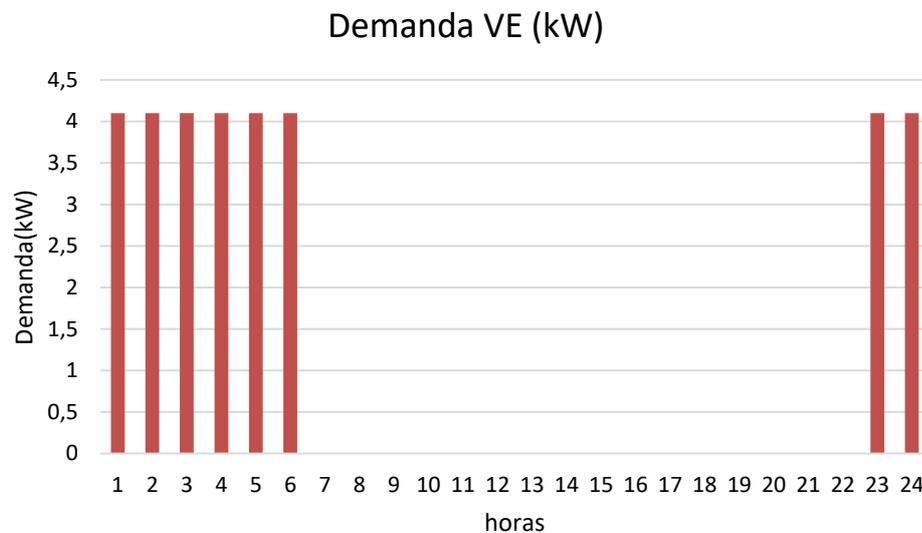
<i>Horas</i>	<i>Freq. Ocorrência</i>	<i>Freq. Acumulada</i>	<i>Quantidade</i>	<i>FREQ.TOTAL</i>
1	0,12	0	617	0,12
2	0,13	0,12	646	0,25
3	0,15	0,25	746	0,4
4	0,13	0,4	685	0,53
5	0,1	0,53	517	0,63
6	0,087	0,63	412	0,717
7	0,02	0,717	94	0,737
8	0,01	0,737	52	0,747
9	0,008	0,747	38	0,755
10	0,006	0,755	38	0,761
11	0,005	0,761	24	0,766
12	0,004	0,766	18	0,77
13	0,003	0,77	12	0,773
14	0,002	0,773	6	0,775
15	0,002	0,775	5	0,777

16	0,008	0,777	38	0,785
17	0,005	0,785	17	0,79
18	0,002	0,79	7	0,792
19	0,003	0,792	10	0,795
20	0,004	0,795	19	0,799
21	0,005	0,799	24	0,804
22	0,006	0,804	25	0,81
23	0,09	0,81	456	0,9
24	0,1	0,9	494	1
soma	1		5000	

Fonte: Autor.

Após a geração dos 5000 números aleatórios, pode se observar as horas que VE irá carregar: 23, 24, 01, 02, 03, 04, 05, 06. Portanto, é construída a curva do IEV20 para o cenário 6, mostrada na Figura 36.

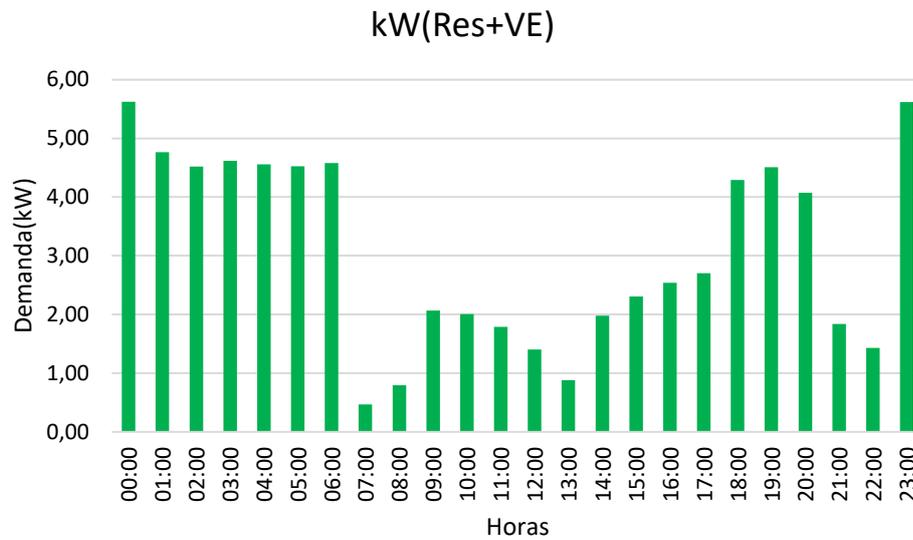
Figura 36 - Curva de Carga IEV20 - Cenário 6



Fonte: Autor.

Assim como no cenário 3, o veículo necessita de uma carga de 32,8 kW para ser carregado totalmente. Com auxílio da Tabela 12, calcula-se o consumo mensal para recarga do VE. O valor para tarifa branca é de R\$ 62,10 e para tarifa convencional é de R\$ 77,35. A nova curva de carga da residencial para o cenário 6 é indicada na Figura 37.

Figura 37 - Nova Curva Residencial - Cenário 6



Fonte: Autor.

Assim como nas simulações dos dois cenários anteriores, que as recargas do VE são feitas de uma forma coordenada, essa última simulação de recarga, também faz com que o usuário do veículo não obtenha um acréscimo na demanda no horário de ponta. Assim, tendo um aumento no horário fora ponta, horário base que o consumidor não está consumindo tanta energia. A seção a seguir mostra a análise dos 6 cenários abordados.

4.2.7 Análise dos Cenários

A Tabela 18 apresenta um resumo dos cenários analisados, abordando os dois tipos de carregamentos, coordenado e descoordenado, assim como o estado da bateria (SOC) e a variação do consumo da recarga do IEV20, considerando dois modelos tarifários (tarifa convencional e tarifa branca).

Tabela 18 - Análise dos Cenários

Cenários	Variáveis	Resultados
1	Carregamento Descoordenado, SOC = 0%,	Carregamento Horário de Ponta = 10 horas, Tarifa Branca: Preço Recarga (R\$/dia) = 30,61 Preço Recarga (R\$/mês) = 122,46 Tarifa Convencional: Preço Recarga (R\$/dia) = 24,17 Preço Recarga (R\$/mês) = 96, 68
2	Carregamento Descoordenado, SOC= 50%,	Carregamento Horário de Ponta = 5 horas, Tarifa Branca:

		Preço Recarga (R\$/dia) = 20,07 Preço Recarga (R\$/mês) = 80,31 Tarifa Convencional: Preço Recarga (R\$/dia) = 12,08 Preço Recarga (R\$/mês) = 48,34
3	Carregamento Descoordenado, SOC = 25%,	Carregamento Horário de Ponta = 8 horas, Tarifa Branca: Preço Recarga (R\$/dia) = 26,73 Preço Recarga (R\$/mês) = 106,93 Tarifa Convencional: Preço Recarga (R\$/dia) = 19,33 Preço Recarga (R\$/mês) = 77,35
4	Carregamento Coordenado, SOC = 0%,	Carregamento Horário Fora Ponta = 10 horas, Tarifa Branca: Preço Recarga (R\$/dia) = 19,40 Preço Recarga (R\$/mês) = 77,63 Tarifa Convencional: Preço Recarga (R\$/dia) = 24,17 Preço Recarga (R\$/mês) = 96,68
5	Carregamento Coordenado, SOC = 50%	Carregamento Horário Fora Ponta = 5 horas, Tarifa Branca: Preço Recarga (R\$/dia) = 9,70 Preço Recarga (R\$/mês) = 38,81 Tarifa Convencional: Preço Recarga (R\$/dia) = 12,08 Preço Recarga (R\$/mês) = 48,34
6	Carregamento Coordenado, SOC = 25%	Carregamento Horário Fora Ponta = 8 horas, Tarifa Branca: Preço Recarga (R\$/dia) = 15,52 Preço Recarga (R\$/mês) = 62,10 Tarifa Convencional: Preço Recarga (R\$/dia) = 19,33 Preço Recarga (R\$/mês) = 77,35

Os três primeiros cenários são simulações de carregamentos descoordenados. Levando em consideração o estado da bateria, para o cenário 1 o tempo de recarga é de 10 horas, com um consumo para tarifa branca e convencional respectivamente de R\$122,46, R\$96,68 por mês, apenas com a recarga do VE, não considerando a demanda da residência. Para o cenário 2, o tempo de recarga é de 5 horas, com consumo de R\$80,31 por mês para tarifa branca e R\$ 48,34 para tarifa convencional. Já para o cenário 3, o tempo de recarga é de aproximadamente 8 horas, com consumo para tarifa branca e convencional por mês, respectivamente de R\$106,93, R\$ 77,35.

Os cenários 4, 5, 6 são simulações de carregamentos coordenados. Para o cenário 4, o tempo de recarga é de 10 horas, com consumo de R\$ 77,63 por mês para tarifa branca e R\$ 96,68 para convencional. O cenário 5 leva um tempo de recarga de 5 horas, com consumo por mês de R\$ 38,82 para tarifa branca e R\$ 48,34 para convencional. O sexto e último cenário, tem um tempo de recarga do VE de 8 horas, com consumo de R\$ 62,10 por mês para tarifa

branca e R\$ 77,35 para tarifa convencional. O consumo foi analisado para todos os cenários com uma frequência de carregamento de uma vez por semana.

Para consumidores que se enquadram na tarifa convencional, não irão se importar com o horário de carregamento do VE, e conseqüentemente, com o tipo de recarga, uma vez que a tarifa convencional não muda seu valor conforme os horários. Já para consumidores que estão enquadrados na tarifa branca, é de grande valia optar pelo carregamento coordenado. É importante porque o consumo vai reduzir durante um carregamento coordenado, pois esse tipo de recarga é feito apenas nos horários fora ponta, e na tarifa branca, o valor tarifado é menor nesses horários.

As simulações das recargas do VE foram todas analisadas com apenas um consumidor, ou seja, foram construídos 6 cenários para um consumidor. A próxima etapa da metodologia proposta, é analisar qual curva de carga residencial dos cenários se torna uma curva de carga típica de consumidores que possuem VE.

4.3 NOVA CURVA DE CARGA TÍPICA

Hoje em dia, é notório que os preços de combustíveis fósseis no Brasil não obedecem uma lógica de mercado, diferente do que acontece no mercado internacional, a estatal fixa os preços de acordo com um critério próprio, com argumento de que dessa forma, a empresa não transmite volatilidade ao consumidor.

Pensando dessa forma, na realidade da mobilidade elétrica, um dos pontos principais que se busca em um VE é a redução do consumo. Portanto, para construção da nova curva de carga típica é considerado a questão das modalidades tarifárias para consumo de energia elétrica.

Para analisar qual das curvas dos 6 cenários anteriores vão se tornar uma curva de carga típica, primeiramente é analisado o estado da bateria SOC. É fácil comparar essa questão com um veículo de motor a combustão interna, uma vez que o carro a combustão chega seu nível de combustível a reserva, o usuário deve ir a um posto e repor o combustível. O VE não é diferente, portanto, o primeiro critério a ser escolhido é o cenário em que o estado da bateria estiver em 25%.

O segundo critério a ser analisado é a questão do tipo da tarifa. A Tabela 18 mostra que, para carregamentos descoordenados, o consumo na tarifa convencional, é menor. Isso porque a tarifa não muda em nenhum horário. Já para a tarifa branca, é importante o consumidor optar pelo carregamento coordenado, uma vez que nesse tipo de recarga, o VE carrega apenas nos

horários fora ponta, na qual, esses horários tem um menor valor de tarifa. Esses valores podem ser observados na Tabela 12.

Então, são consideradas duas curvas de carga típica: Uma para tarifa convencional e outra para tarifa branca. A primeira curva de carga típica é a curva residencial do cenário 3. Essa curva é escolhida como curva de carga típica, pois consumidores que estiverem na tarifa convencional não vão se importar com o horário de carregamento, ou seja, vão colocar seu VE a carregar no horário que mais o convém.

A segunda curva de carga típica foi escolhida para consumidores que se enquadram na tarifa branca, e é a curva do cenário 6, mostrada na Figura 37. Então, essa segunda curva típica é escolhida pois para consumidores que se enquadram na tarifa branca, a tarifa nos horários fora ponta é mais barata, e a recarga coordenada só é feita nesses horários. Sendo assim, o usuário que estiver enquadrado na tarifa branca deve optar pelo carregamento coordenado para ter uma maior economia. Como resultado, pode-se concluir que o método de carregamento coordenado é, capaz de reduzir o aumento de carga causado pela conexão desses VEs.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o estudo de caso do trabalho. Nessa seção foram apresentados seis cenários diferentes, na qual se diferem por tipo de carregamento e estado de bateria. Então, foi feita uma simulação baseada no MMC para descoberta das horas que o VE irá carregar em cada cenário para construção da curva de carga do VE. Posteriormente, foram construídas as novas curvas de carga residenciais para cada cenário. Essas novas curvas são a soma da antiga curva da residência com a curva de carga do VE.

Ainda, nesse capítulo foi feita uma análise e comparação dos cenários abordados, comentando os consumos da recarga do VE para cada cenário. Por fim, é analisada qual das novas curvas residenciais dos cenários abordados se torna uma curva de carga típica de consumidores possuindo VE.

5. CONCLUSÃO

Em dias atuais, a mobilidade urbana tem uma possível solução para assegurar o deslocamento com impactos ao meio ambiente muito reduzidos. Essa possível solução pode-se chamar de Veículos Elétricos. Apesar desses veículos ainda não estarem com um preço muito acessível no Brasil, o quesito economia, e manutenção do automóvel é bastante reduzida.

Para o funcionamento do VE é preciso que suas baterias estejam carregadas. A energia que carrega essas baterias é adquirida da rede elétrica, entretanto, um aspecto que deve ser notado é que o uso de eletricidade pelo setor de transportes, está relacionado ao aumento da demanda elétrica e a possível necessidade de aumento da capacidade de geração de energia elétrica.

No presente trabalho, foi desenvolvida uma metodologia capaz de analisar a penetração de VEs no sistema de Distribuição. Para tal fato, é escolhido um veículo específico e observadas suas características, como potência do VE, frequência de carregamento, tipo de carregamento, e determinação dos horários a ser carregado. Essas características irão ser aplicadas em um método estatístico chamado Método de Monte Carlo. Esse método auxilia na geração da Curva de Carga do VE escolhido.

Após a geração da curva de carga do VE, foi construída a nova curva de carga residencial, agora somando a demanda da residência com a demanda necessária para recarga do VE. Então, essa nova curva de carga residencial possibilitou observar o aumento de carga causado pela penetração de veículos elétricos. Ainda, foi analisado a penetração de VEs, para a determinação da possível curva de carga típica de consumidores residenciais que possuam VE. Para viabilizar o uso do carregamento coordenado e incentivar as unidades consumidoras a realizar a recarga fora do horário de ponta, foi considerado o estado da bateria, e duas modalidades tarifárias.

Com isso, conclui-se que consumidores que se enquadram na tarifa convencional, geralmente irão optar por fazer uma recarga descoordenada, pois nessa modalidade tarifária, o preço tarifário não muda conforme o horário. E para consumidores que se enquadram na tarifa branca, é de interesse dos mesmos, fazerem a recarga coordenada, porque nesse tipo de carregamento, a recarga do veículo é feita apenas em horários fora ponta, onde o preço da tarifa é menor. Portanto, se o usuário carregar o veículo nos horários fora ponta, o consumo será menor, ou seja, a economia será maior. Outro fator importante a ser concluído, é que carregamentos coordenados geram um menor impacto no sistema elétrico nos horários de ponta.

Além da metodologia proposta nesse trabalho, cabe a análise de outras metodologias para evitar a sobrecarga do sistema, como utilização de baterias externas para armazenar energia em períodos de baixa demanda e descarregar essa energia armazenada, apenas em horários de ponta. No entanto, o preço de baterias impossibilita o uso dessa alternativa, que pode se tornar viável a partir do desenvolvimento e otimização de novas tecnologias relacionadas, tornando a utilização de baterias para redução na demanda em períodos de ponta.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado no decorrer do trabalho, a penetração dos VEs pode afetar o bom funcionamento do sistema elétrico, então cabe a realização de estudos abrangendo outros métodos de carregamentos e novas tecnologias. A análise realizada nesse trabalho pode ser expandida através de trabalhos futuros, como:

- Análise dos impactos técnicos causados pela penetração de VEs;
- Previsão do número de consumidores com VE conectados à rede utilizando o MMC ou outros métodos estatísticos;
- Utilização de outras formas de carregamento coordenado para evitar sobrecargas na rede;
- Pesquisas sobre os impactos sociais e ambientais, reaproveitamento e reciclagem das baterias;
- Aprofundar o estudo em relação às políticas praticadas até hoje no Brasil e fazer uma projeção das medidas que devem ser adotadas, com base nas políticas implantadas no Japão e EUA.
- Analisar a necessidade de recarga mais de 1x por semana, podendo considerar carregamento coordenado e descoordenado.

6. REFERÊNCIAS

ABUL'WABA, A. R.; EL'GARABLY, A.; MOHAMED, W. F. Uncoordinated vs Coordinated Charging of Electric Vehicles in Distribution Systems Performance. V.1, p. 54-65, Ago 2017.

ANNEE. DIREITOS E DEVERES DO CONSUMIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA: RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414. **CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**, [s. l.], 2010.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica; **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 1**. Brasília, 2016a.

ANNEE. **A Tarifa de Energia Elétrica**. [S.I.], 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/tarifas>>.

ANNEE, **Estrutura Tarifária DEMEI**. [S.I.], 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2017/012/documento/estrutura_tarifaria_demei_ap_12-2017.pdf>.

AUTOPAPO. Carros elétricos no Brasil: veja todos os modelos e preços. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://autopapo.com.br/noticia/carros-eletricos-no-brasil-modelos-precos/>. Acesso em: 30 jan. 2020.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011.

BARRETO, Gilmar. **Veículo elétrico à bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto**. 1986. 360f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BORBA, B. S. M. C. **Modelagem integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no sistema Energético Brasileiro**. 2012.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica: **Fontes de Energia Elétrica** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes>.

COUTINHO, P. C.; ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. O ONS e a operação do sistema nacional – SIN. Brasília - DF. 05/03/2010.

EHSANI, Mehrdad; RAHMAN, Khwaja M; TOLIYAT, Hamid A. Propulsion system design of electric and hybrid vehicles. IEEE Transactions on industrial electronics, IEEE, 1997.

ENERGY, U. D. of. Alternative Fuels Data Center: How Do All-Electric Cars Work? [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-eletric-cars-work>>.

GARCIA, D. A. A.; DUZZI Jr., F. E.; **Tópicos de sistema de transmissão e de distribuição de energia elétrica**. 2012. Revista O Setor Elétrico. São Paulo.

GE ENERGY MANAGEMENT. Soluções para Carregamento de Veículos Elétricos. DuraStation – Catálogo de Produtos. Edição 08.2012.

GRIGSBY, LEONARD L. **The Electrical Engineer Handbook, Electric Power Generation, Transmission, and Distribution**. Estados Unidos: CRC Press, Edição 3, 2012.

GOMES, Flavio Wanderson; DEOTTI, Lucas Meirelles Pires. **SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA: CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS**. 1. ed. Brasília: NT Editora, 2018. ISBN 978-85-8416-250-5.

GUENTHER, P. R.; PADILHA, T. D. **Estudo de viabilidade para substituição de veículos a combustão por veículos de tração elétrica em uma linha de ônibus de Curitiba**.

HUSAIN, Iqbal: **Electric and Hybrid Vehicles: Design fundamentals**. Boca Raton: CRC Press LCC, 2003. 270p.

IEC – International Electrotechnical Commission. Electric Vehicle Conductive Charging System – Part.1: General Requirements. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2010.

JENKINS, J. **A closer lookat power factor correction**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://chargedevs.com/features/a-closer-look-at-power-factor-correction/>>.

KARFOPOULOS, E. L. and HATZIARGYRIOU, N. D. **Distributed Coordination of Electric Vehicles Providing V2G Services**. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 1, p. 329-338, Jan. 2016.

KUNDUR, P. “Power System Stability And Control”, McGraw-Hill, 1994.

LARMINE, James; LOWRY, John. **Electric vehicle technology explained**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.

MARAH, B. et al. Impact of electric vehicle charging systems on low voltage distribution networks. 2016.

MARTINS, Jorge; BRITO, Francisco. Carros Elétricos. 1.ed. Porto: Publindústria, Edições Técnicas LTDA, 2011.

MOREIRA, B. **Rede sobrecarregada**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/rede-sobrecarregada/>>.

ORÉFICE, GIOVANA. *In*: AUTO ESPORTE (Brasil) (ed.). **COMO FUNCIONAM OS CARROS HÍBRIDOS?**. [S.l.], 25 jun. 2019. Disponível em: <https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2019/06/como-funcionam-os-carros-hibridos.html>. Acesso em: 4 mar. 2020.

OLIVEIRA, Nielmar. **Consumo de energia fecha 2018 com aumento de 1,1%**. Rio de Janeiro: Agência Brasil, 31 jan. 2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-01/consumo-de-energia-fecha-2018-com-aumento-de-11>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

PUPPO, A.S. Análise de possibilidades para a introdução de veículos elétricos no tráfego urbano da cidade de São Paulo: Uma abordagem por meio da análise morfológica. V. 4, n. 2, p. 03-20, 2012.

SILVA, D. F. et al. Impact analysis of plug-in electric vehicle connected in real distribution network. V. 14, n. 5, MAY 2016.

SOBOL, L. M. A. Primer for the Monte Carlo Method. CRC Press Florida: Boca Raton, 1994.

VEÍCULOS Toyota. 2018. Disponível em: < <https://www.toyota.com.br/>>.

ZAPATA, C. J. Análisis Probabilístico y Simulación. 2010.

ZIMATH, S. **Manutenção de Transformadores.** [S.l.], 2014. Disponível em:
<<https://www.osetoreletrico.com.br/manutencao-de-transformadores/>>.