

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE  
SANTACATARINA  
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

**LUCAS NUNES DE BRITO**

**VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA A CONEXÃO EM  
UM CONSUMIDOR CATIVO DO GRUPO A**

**FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2018.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA  
CATARINA  
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

**LUCAS NUNES DE BRITO**

**VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA A CONEXÃO EM  
UM CONSUMIDOR CATIVO DO GRUPO A**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa  
Catarina como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Tecnólogo em  
Sistemas de Energia.

Professor Orientador: Daniel Tenfen, Dr.  
Eng.

**FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2018.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Brito, Lucas

**VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA A CONEXÃO  
EM UM CONSUMIDOR CATIVO DO GRUPO A / Lucas Brito ; orientação  
de Daniel Tenfen. - Florianópolis, SC, 2019.**

96 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST  
em Sistemas de Energia. Departamento Acadêmico de  
Eletrotécnica.**

Inclui Referências.

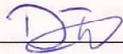
1. Veículos Elétricos. 2. V2G. 3. Consumo de Energia.
4. Baterias. I. Tenfen, Daniel. II. Instituto Federal  
de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.  
III. Título.

LUCAS NUNES DE BRITO

VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO PARA CONEXÃO EM UM  
CONSUMIDOR CATIVO DO GRUPO A

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em  
Sistemas de Energia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora  
abaixo indicada.

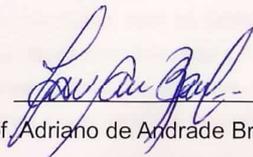
Florianópolis, 13 de Dezembro de 2018.



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Adriano de Andrade Bresolin, Dr. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Edison A. Cardoso Aranha Neto, Dr. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

A vida é uma caminhada construída com apoio das pessoas que amamos, todos os passos dados e etapas cumpridas devem ser dedicados à estes que confraternizaram com a nossa felicidade.

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, por me iluminar durante essa trajetória e ter me dado forças para nunca desistir, possibilitando a realização de mais um sonho na minha vida.

Agradeço ao meus pais por serem exemplos de humildade e dedicação, e por todo apoio e amor incondicional. À minha mãe, Isildete Ema Nunes de Brito, que fez de tudo para tornar os momentos difíceis mais brandos, me mostrando o caminho do certo e do justo. Ao meu pai, Adailton Genézio de Brito, que me proporcionou a tranquilidade e o conforto que tanto precisava, me dando forças e incentivos para continuar na luta. Eu jamais serei capaz de retribuir todo carinho e amor que recebi de vocês. Serei eternamente grato.

À minha namorada, Mirelly de Souza, por ter sido minha fiel companheira e refúgio nos momentos difíceis, sempre me amparando com muito amor. Agradeço por todo o apoio prestado, pelo carinho, pela sua paciência e bom humor.

Aos meus melhores amigos, Gabriel Cadete, Julia Weirich e Luiza Guimarães, por nunca me deixarem fraquejar, por me compreenderem e estarem comigo em mais esta conquista. Vocês são meus irmãos de coração.

Aos familiares e amigos, que sempre estiveram ao meu lado. Em especial, meus tios Altair Nunes, Izidro Nunes e Camila Nunes e aos grandes amigos da família Hamilton Serafim e Lilianny Sefarim (in memorian) por nunca me negarem apoio e por serem grandes incentivadores.

A todos os professores do DAE, por serem uma grande fonte de inspiração e por todo o auxílio prestado. Principalmente aos professores Rubiara Fernandes e Fabrício Takigawa, por terem me oferecido grandes oportunidades de aprendizado.

Por fim, e não menos importante, ao professor por quem tenho enorme admiração, meu orientador acadêmico, Daniel Tenfen. Sou grato pelo aceite em

orientar esse trabalho, por toda sua dedicação, suporte e disponibilidade. Obrigado por todo seu auxílio e influência.

## RESUMO

O atual consumo de energia e seu crescimento vem requerendo uma busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias para o seu uso mais eficiente. Visto que o consumo de energia elétrica no Brasil ainda pode crescer muito, levando em consideração o possível crescimento da economia, do PIB e a substituição de outras formas de energia pela energia elétrica, é eminente que o sistema elétrico seja afetado de maneira global. Uma possível substituição, que já é uma realidade em alguns locais, é a questão dos transportes, principalmente dos veículos elétricos automotivos. Para mitigar os impactos deste novo consumo, nesse trabalho é proposto um estudo da atual regulação e os impactos técnicos e econômicos que o uso desses veículos apresenta em um consumidor cativo de energia elétrica do grupo tarifário A. Os conceitos de veículos para rede (*Vehicles - To - Grid, V2G*) e rede para os veículos (*Grid - to - Vehicles, G2V*) são explorados como uma nova alternativa para equilibrar o consumo e promover a eficiência energética. O presente trabalho, aborda os impactos no perfil de consumo desses consumidores e as vantagens e desvantagens que este conceito proporciona às instalações e aos consumidores.

**Palavras-chave:** Veículos - para - Rede. V2G-G2V. Veículos Elétricos. Baterias. Tecnologias. Consumo de Energia Elétrica.

## ABSTRACT

*The current energy consumption and its growth are requiring a search for the development of new technologies for its more efficient use. Since electricity consumption in Brazil can still grow a lot, taking into account the possible growth of the economy, GDP and the substitution of other forms of energy by electric energy, it is eminent that the electric system is affected globally. A possible replacement, which is already a reality in some places, is the issue of transportation, especially of automotive electric vehicles. In order to mitigate the impacts of this new consumption, this study proposes a study of the current regulation and the technical and economic impacts that the use of these vehicles presents in a captive consumer of electric energy of tariff group A. The concepts of Vehicles - to - Grid (V2G) and Grid - to - Vehicles are explored as a new alternative to balance consumption and promote energy efficiency. The present work addresses the impacts on the consumption profile of these consumers and the advantages and disadvantages that this concept provides to the facilities and the consumers.*

**Keywords:** *Vehicles - to - Grid. V2G. Electric Vehicles. Batteries. Technologies. Electrical Consumption.*

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das Baterias Recarregáveis Disponíveis o Mercado .....	31
Tabela 2 - Níveis de Cargas na SAE J1772 .....	33
Tabela 3 - Cargas Previstas na IEC 62196 .....	34
Tabela 4 - Principais Diferenças entre a Rede Elétrica Convencional e a Rede Elétrica Inteligente .....	46
Tabela 5 - Comparativo das Versões do Nissan Leaf. ....	53
Tabela 6 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 1 .....	65
Tabela 7 - Chegada dos Veículos nos horários do Dia 1 .....	65
Tabela 8 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 2 .....	68
Tabela 9 - Chegada dos Veículos nos Horários do Dia 2 .....	68
Tabela 10 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 3 .....	70
Tabela 11 - Chegada dos Veículos nos Horários do Dia 3 .....	71
Tabela 12 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 4 .....	73
Tabela 13 - Chegada dos Veículos nos Horários do Dia 4 .....	74
Tabela 14 - Dados de Consumo e Demanda, ponta e fora ponta. ....	84
Tabela 15 - Tarifas e Impostos (Referência Ago/18) .....	85
Tabela 16 - Tarifas Com Impostos .....	86
Tabela 17 - Bandeiras Tarifárias .....	86
Tabela 18 - Faturamento em Tarifação Verde (26/02/2018) .....	88
Tabela 19 - Faturamento em Tarifação Azul (26/02/2018) .....	88
Tabela 20 - Faturamento em Tarifação Verde (05/07/2017) .....	89
Tabela 21 - Faturamento em Tarifação Azul (05/07/2017) .....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura do Veículo Elétrico a Bateria .....	20
Figura 2 - Nissan Leaf .....	21
Figura 3 - Arquitetura do Veículo Elétrico Híbrido .....	22
Figura 4 - Arquitetura do Veículo Elétrico Híbrido com Recarga Externa.....	24
Figura 5 - Toyota Prius.....	24
Figura 6 - Sistema Híbrido em Série .....	25
Figura 7 - Sistema Híbrido em Paralelo .....	26
Figura 8 - Sistema Híbrido Misto .....	26
Figura 9 - Arquitetura do VECC.....	27
Figura 10 - Honda FCX Clarity .....	28
Figura 11 - Conector SAE J1772.....	33
Figura 12 - Conector Mennekes .....	34
Figura 13 - Sentido do Fluxo de Elétrons .....	37
Figura 14 - Custo de degradação da Bateria devido ao desvio do SOC .....	39
Figura 15 - Custo de degradação da Bateria devido a potência de Carga.....	39
Figura 16 - Comportamento da Tensão .....	41
Figura 17 - Comportamento da Corrente .....	41
Figura 18 - Carregamento da Bateria de Íons de Lítio .....	43
Figura 19 - Potência da bateria no tempo .....	44
Figura 20 - Fluxograma básico do V2G.....	48
Figura 21 - Fluxo de Potência do V2G, G2V e V2H. ....	48
Figura 22 - Curva de Geração do IFSC em 18/12/2017 .....	51
Figura 23 - Curva de Geração do IFSC em 26/02/2018.....	51
Figura 24 - Curva de Carga do dia 21/06/2017 .....	55
Figura 25 - Curva de Carga do dia 05/07/2017 .....	55
Figura 26 - Curva de Carga do dia 18/12/2017 .....	56
Figura 27 - Curva de Carga do dia 26/02/2018 .....	56
Figura 28 - Fluxograma das Regras de Sorteio.....	64
Figura 29 - Consumo da Instalação com a adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 21/06/2017 .....	66
Figura 30 - Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 21/06/2017 .....	67

Figura 31 - Consumo da Instalação com adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 05/07/2017 .....	69
Figura 32 - Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 05/07/2017 .....	70
Figura 33 - Consumo da Instalação com a adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 18/12/2017.....	72
Figura 34- Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 18/12/2017 .....	73
Figura 35 - Consumo da Instalação com a adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 26/02/2018.....	75
Figura 36 - Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 26/02/2018 .....	76
Figura 37 - Fluxograma das Regras de Gerenciamento .....	78
Figura 38 - Aplicação V2G para Controle de Demanda .....	80
Figura 39 - Aplicação V2G para Controle do Consumo na Ponta. ....	81
Figura 40 - Controle de Demanda e Consumo Ponta (26/02/2018) .....	82
Figura 41 - Controle de Demanda e Consumo Ponta (05/07/2017) .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GLD - Geração pelo Lado da Demanda

G2V – *Grid To Vehicle*

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

IEC – *International Electrotechnical Commission*

MCI – Motor de Combustão Interna

PHEV – Veículo Elétrico Híbrido de Recarga Externa

SAE – *Society of Automotive Engineers*

SoC – *State of Charge* (Estado de Carga)

VE – Veículo Elétrico

VEB – Veículo Elétrico a Bateria

VEH – Veículo Elétrico Híbrido

V2B - *Vehicle to Building*

V2G – *Vehicle To Grid*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
1.3	OBJETIVO GERAL .....	15
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>VEÍCULOS ELÉTRICOS</b> .....	<b>17</b>
2.1	A HISTÓRIA .....	17
2.2	TIPOS DE VEÍCULOS .....	18
<b>2.2.1</b>	<b>Veículos Elétricos a Bateria</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Veículos Elétricos Híbridos</b> .....	<b>21</b>
2.2.2.1	Veículos Elétricos Híbridos de Recarga Externa -PHEV.....	22
2.2.2.2	Funcionamentos Veículos Elétricos Híbridos com Recarga Externa .....	25
<b>2.2.3</b>	<b>Outros tipos de veículos</b> .....	<b>27</b>
2.2.3.1	Veículos Elétricos a Célula Combustível (VECC) .....	27
2.2.3.2	Veículos Elétricos Solares.....	28
<b>3</b>	<b>BATERIAS</b> .....	<b>29</b>
3.1	HISTÓRICO DAS BATERIAS .....	29
3.2	CONCEITO DE FUNCIONAMENTO.....	30
3.3	CARREGADORES E RECARGAS .....	31
3.4	TERMINOLOGIAS .....	35
3.5	GRANDES POTENCIAIS.....	35
3.6	BATERIA DE ÍON-LÍTIO .....	36
<b>3.6.1</b>	<b>Parâmetros Químicos</b> .....	<b>36</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Parâmetros Elétricos</b> .....	<b>38</b>
3.6.2.1	Vida Útil e Custo .....	38
3.6.2.2	Restrições .....	40
3.6.2.3	Comportamento de Tensão e Corrente.....	40
3.6.2.4	Tempo de Recarga .....	43
<b>4</b>	<b>INTERLIGAÇÃO COM O SISTEMA ELÉTRICO</b> .....	<b>45</b>
4.1	REDE ELÉTRICAS INTELIGENTES .....	45
4.2	APLICAÇÃO DO CONCEITO V2G .....	47
<b>5</b>	<b>SIMULAÇÕES</b> .....	<b>50</b>
5.1	PREMISSAS .....	50
<b>5.1.1</b>	<b>Conceituação</b> .....	<b>50</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Veículos Elétricos Utilizados na Simulação</b> .....	<b>52</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Regulação</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Curvas de Potência do IFSC</b> .....	<b>54</b>
5.2	CONSIDERAÇÕES.....	57
<b>5.2.1</b>	<b>Veículo na Recarga Lenta</b> .....	<b>58</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Veículo na Recarga Rápida</b> .....	<b>59</b>

<b>5.2.3</b>	<b>Veículo como Gerador</b> .....	<b>60</b>
5.2.3.1	V2G.....	61
5.2.3.2	V2G - G2V em estacionamento Inteligente .....	62
5.3	ESTUDO DE CASO 1 .....	63
<b>5.3.1</b>	<b>DIA 1 - 21/06/2017</b> .....	<b>65</b>
5.3.1.1	Veículos como Carga.....	66
5.3.1.2	Veículos como Gerador.....	66
<b>5.3.2</b>	<b>DIA 2 - 05/07/2017</b> .....	<b>67</b>
5.3.2.1	Veículos como Carga.....	68
5.3.2.2	Veículos como Gerador.....	69
<b>5.3.3</b>	<b>DIA 3 - 18/12/2017</b> .....	<b>70</b>
5.3.3.1	Veículos como Carga.....	71
5.3.3.2	Veículos como Gerador.....	72
<b>5.3.4</b>	<b>DIA 4 - 26/02/2018</b> .....	<b>73</b>
5.3.4.1	Veículos como Carga.....	74
5.3.4.2	Veículos como Gerador.....	75
<b>5.3.5</b>	<b>Análise</b> .....	<b>76</b>
5.4	ESTUDO DE CASO 2 .....	77
<b>5.4.1</b>	<b>Controle da Demanda do IFSC</b> .....	<b>79</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Controle do Consumo do IFSC no Período de Ponta</b> .....	<b>80</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Controle de Demanda e Consumo na Ponta</b> .....	<b>81</b>
5.5	ESTUDO DE CASO 3 .....	83
<b>5.5.1</b>	<b>Modalidades Tarifárias</b> .....	<b>87</b>
5.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	89
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>92</b>
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	92
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>94</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A eletricidade tem se tornado cada vez mais indispensável na vida das pessoas. Desde a criação do sistema elétrico é de extrema importância o desenvolvimento de métodos capazes de aperfeiçoar e tornar o sistema mais eficiente. Por esse motivo, pesquisas estão sendo realizadas para buscar novas alternativas de geração, armazenamento e consumo eficiente de energia, garantindo o melhor serviço a um custo justo.

Como forma de promover a eficiência, de acordo com Costa (2017), na Alemanha o governo incentivou o uso de energia solar implantando painéis fotovoltaicos nas casas de seus consumidores, proporcionando a autoprodução, um sistema o qual o consumidor produz sua própria energia e que, quando não consumida, essa energia é transferida para a rede com uma tarifa *feed-in*<sup>1</sup>.

Atualmente os carros elétricos estão ganhando mais espaço no cenário mundial, isso proporcionou um estudo o qual a energia proveniente da bateria do carro pudesse compensar a energia utilizada dentro de uma instalação, visando reduzir os custos e agredir menos o meio ambiente. O conceito *Vehicles to Grid* (V2G) foi um ponto chave para esse desenvolvimento já que os veículos elétricos, de acordo com a *University of Delaware* (2017), carregam consigo a eletrônica de potência e a fonte de energia capaz de armazenar energia elétrica para uso na locomoção do veículo ou a utilização como suporte ao fornecimento de energia elétrica. Como exemplo, um veículo elétrico com as características de um veículo automotor padrão poderia suprir o fornecimento de cargas elétricas essenciais para até 10 casas por um breve período de tempo.

O consumo de energia no Brasil tem aumentado muito nos últimos anos. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015), o Brasil apresentou, entre 2010 e 2014, um aumento do consumo de energia elétrica de 59.764 GWh sendo que boa parte dessa energia é consumida pelos grupos residencial e industrial, que tem maior participação no mercado de energia.

<sup>1</sup> Política pública que visa incentivar a adoção de sistemas renováveis de geração, consistindo no pagamento de tarifas para as unidades geradoras que lidam com meios alternativos de produção energética.

## 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Grandes instalações possuem maquinários, pessoas e equipamentos que precisam de energia para funcionar. Portanto, devido à alta dependência desse insumo, o consumo de energia e o preço que se paga para poder utilizá-la ela é usualmente muito alto. Logo qualquer forma de amenizar esse custo é válida, seja a troca de iluminação, equipamentos e qualquer dispositivo por outros de melhor qualidade, ou a redução de consumo em períodos em que a energia se torna mais cara.

Os estudos de casos foram realizados com os dados do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Câmpus Florianópolis que, por se tratar de uma grande instituição tecnológica, possui muitos alunos e equipamentos de ponta, dentre eles computadores, condicionadores de ar e motores. Portanto, o grande consumo e dependência da energia elétrica vêm atrelado à essa necessidade energética e acaba implicando em gastos que podem ser reduzidos se houver o gerenciamento correto desta carga. O Instituto busca ser referência em sustentabilidade, assim, a utilização dos veículos elétricos é considerada uma possível ação para atingir esse objetivo.

Com a possibilidade de haver veículos elétricos conectados, futuramente, à rede do Instituto, é necessário verificar a regulação vigente e elaborar um gerenciamento correto do consumo para mitigar os impactos técnicos e econômicos que são advindos dessa conexão.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Uma das formas de reduzir custos de energia elétrica aos consumidores é elaborar um planejamento energético, observando quais equipamentos poderiam ser modificados, trocados, descartados ou utilizados.

Porém, mesmo com a redução de custos, geralmente, os preços pagos pela energia elétrica são relativamente altos. Com a conexão de veículos elétricos para carregamento e a aplicação do conceito V2G, que proporciona, com uso de carros elétricos, o fornecimento de energia à rede, pode-se obter menores impactos

econômicos. Esse carregamento, como citado anteriormente, se não gerenciado pode ser realizado em horários de ponta, onde o consumo de energia é elevado e a tarifa é alta, ou quando gerenciado, para a redução de picos de demanda, implicando no preço a se pagar no final de um mês.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo abordar e apresentar qual o impacto de se interligar automóveis elétricos à rede elétrica de um consumidor cativo ligado na rede de distribuição, classificado como Grupo A. Em outras palavras, o quão vantajoso é realizar o gerenciamento de carga através de um estacionamento inteligente, visando promover a eficiência elétrica e os custos atrelados.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como forma de alcançar o objetivo geral, este trabalho aborda e atinge alguns quesitos básicos para seu desenvolvimento, são eles:

- Levantar dados de veículos elétricos comerciais;
- Abordar e analisar os tipos de carregamentos dos veículos elétricos e o comportamento da tensão e corrente ao carregar sua bateria;
- Analisar os efeitos do carregamento dos veículos com e sem controle de carga para diferentes dias com dados reais de consumo do IFSC - Câmpus Florianópolis;
- Analisar a modalidade tarifária em que melhor se enquadram os diferentes comportamentos de consumo.

### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo é estruturado em seis capítulos, sendo que neste primeiro são apresentados a introdução, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 são observadas todas as informações necessárias sobre os veículos com propulsão elétrica, contextualizando a evolução destes automóveis e do sistema automotivo global, apresentando as vantagens e desvantagens do veículo elétrico, diferenciando os tipos de veículos elétricos existentes.

No Capítulo 3, são apresentadas as informações referente às baterias, abordando a evolução do equipamento, os potenciais que poderão vir a ser utilizados, as características elétricas e químicas deste armazenador de energia, a interação com a rede elétrica e os tipos de recargas e carregadores.

No Capítulo 4 são abordadas algumas informações sobre o sistema elétrico inteligente e também sobre algumas definições dentro do conceito V2G.

No Capítulo 5, são realizados os Estudos de Caso com a finalidade de apresentar os impactos causados com a conexão destes veículos à rede de um consumidor cativo de energia de alta tensão, demonstrando a alteração e os faturamentos com os veículos se comportando como carga (G2V), como Gerador (V2G) e realizando o gerenciamento de consumo. Neste capítulo, serão abordadas algumas considerações finais.

No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do desenvolvimento do presente trabalho.

## 2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos são automóveis capazes de se locomover através de propulsão elétrica, armazenada nas baterias internas destes automóveis. De acordo com Fernandes(2017), este não é um conceito recente visto que este tipo de veículo entrou em circulação no século XIX.

### 2.1 A HISTÓRIA

Nos anos de 1900, de acordo com Fernandes (2017), haviam três tipos de tecnologias que concorriam no mercado automotivo, são elas o carro a vapor, o veículo com motor de combustão interna movido a gasolina e o carro elétrico. Porém a ascensão de Henry Ford, com o desenvolvimento de produção em série, e o alto custo de tecnologias para o desenvolvimento de baterias fizeram com que os veículos movidos a eletricidade sofressem uma grande queda no mercado.

Tanto é verdade que somente o sistema de produção criado por Ford permitiu que os veículos movidos a gasolina custassem metade do valor de um veículo elétrico, tornando-os menos atrativos. Além disso, segundo Baran e Legey (2010), a descoberta de petróleo no Texas proporcionou o crescimento do uso da gasolina ocasionado pela redução do seu custo.

Ainda, segundo os autores, outro fator problemático para a ascensão do veículo elétrico foi a facilidade de manutenção do motor de combustão interna, que era realizada por especialistas em manutenção de bicicletas. Fato esse que não se aplicava aos motores elétricos, uma vez que eram poucos os mecânicos que entendiam o funcionamento desta máquina, bem como as baterias que os acompanhavam.

Com tantos empecilhos, a partir de 1930 os veículos elétricos começaram a ser fabricados de forma cada vez mais reduzidas, perdendo mais espaço no mercado automotivo. Contudo, foram observados alguns picos de produção destes veículos nos EUA e Reino Unido nos períodos da Primeira e Segunda Guerra

Mundial, onde houve o racionamento de combustível levando à busca de fontes alternativas.

Conforme os anos passavam, o desenvolvimento global ia se desencadeando, a população ia crescendo e cada vez mais se usava energia provinda de fontes fósseis.

A partir de 1960, em meio a tanta poluição, o mundo começou a se focar nos problemas ambientais, fator que atraiu os olhares das grandes montadoras para os veículos elétricos, enxergando-os como o veículo do futuro.

O primeiro veículo elétrico a ganhar força no mercado foi Veículo Elétrico-Híbrido, por não ser tão caro e ser capaz de utilizar como fonte secundária a gasolina, podia alcançar maiores distâncias. A Toyota, em 1997, conquistou o mercado japonês com a introdução do Prius Híbrido. A partir de então, segundo Baran e Legey (2010), os mercado dos híbridos vem aumentando gradativamente, tornando a concorrência entre as montadoras cada vez maior.

Nos dias atuais, os veículos híbridos são, os mais comuns e acessíveis no mercado de carros com propulsão elétrica. No Brasil, estes automóveis aos poucos vêm ganhando mais destaque, se tornando comum sua presença nas rodovias. Segundo Baran e Legey (2010), o Brasil segue, em passos mais acelerados que Índia, Coréia do Sul e China, na busca dos veículos elétricos.

## 2.2 TIPOS DE VEÍCULOS

Via de regra todos os veículos elétricos possuem baterias, mas eles não precisam ser exclusivamente elétricos, fato esse que caracteriza os tipos de veículos que existem circulando atualmente. Portanto, é possível classificar os veículos elétricos em veículos elétricos a bateria, veículos elétricos híbridos e veículos elétricos híbridos, com recarga externa.

### 2.2.1 Veículos Elétricos a Bateria

Este automóvel possui como fonte de energia, unicamente, a bateria, assim como mostrado na Figura 1. Esta fornece potência elétrica para o motor elétrico do veículo e tem a necessidade de ser recarregada.

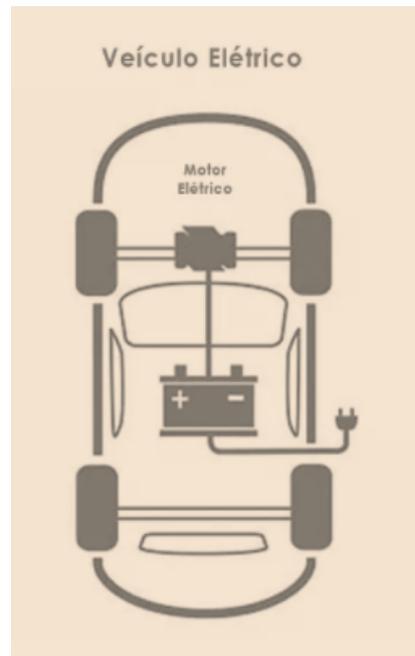
A alimentação da bateria é realizada, principalmente, por conexão com a rede elétrica que é dada por um sistema *plug-in*, permitindo que a bateria seja recarregada pela tomada desta rede. Porém, segundo Valle (2015), existe outra forma de carregá-las que é utilizando as frenagens regenerativas, onde se aproveita a energia cinética das frenagens convertendo-a em energia elétrica para os armazenadores.

É possível implementar este método utilizando ultra capacitores, que segundo Valle (2015):

"Para auxiliar esse processo pode-se fazer uso de ultra-capacitores, capazes de absorver a energia gerada mais rapidamente que a bateria, podendo trabalhar também no fluxo inverso, garantindo rápida aceleração do veículo."

Além de emitir menos gases poluentes ao ambiente de maneira direta, o Veículo Elétrico a Bateria (VEB) apresenta um funcionamento bem mais simples se comparado aos veículos convencionais. Isso se dá pois este carro dispensa o uso do sistema de embreagem e é capaz de fornecer mais conforto ao motorista, apresentando um motor mais silencioso e com menos vibração.

Figura 1 - Arquitetura do Veículo Elétrico a Bateria



Fonte: Autor desconhecido

A maior desvantagem destes veículos é a dependência total das baterias. Este fato ocorre porque as tecnologias empregadas no sistema de armazenamento ainda são muito primitivas. Atualmente as baterias utilizadas no VEB, são os itens mais caros e pesados de todo o veículo, por assim dizer, quanto maior a necessidade de armazenamento da bateria, maior será o tamanho da mesma e, por consequência, maior o custo.

Por não haver a possibilidade de aumentar o tamanho da bateria de forma excessiva, os veículos elétricos são utilizados para o meio urbano, onde as viagens são mais curtas, já que existe o medo dos motoristas em correr o risco de faltar energia para a locomoção do automóvel, fator esse que restringe a entrada dos veículos elétricos no mercado de automóveis.

De acordo com Sodré (2017), o Nissan Leaf, apresentado na Figura 2, é o VEB mais vendido no mundo com 200 mil exemplares negociados por todo o globo. Embora já tenha completado 5 anos no mercado internacional, o automóvel ainda não circula pelas rodovias brasileiras, a previsão de chegada ao Brasil é em 2019.

Figura 2 - Nissan Leaf



Fonte: Folha de São Paulo (2017)

### 2.2.2 Veículos Elétricos Híbridos

Os Veículos Elétricos Híbridos (VEH) são automóveis que possuem mais de um tipo de motor e fonte de energia, assim como é mostrado na Figura 3. Segundo Calçado (2015), geralmente funcionam com a combinação do Motor de Combustão Interna (MCI) com um motor elétrico, ou seja, para movimentar este carro, é necessário armazenar combustível no tanque e energia elétrica em suas baterias.

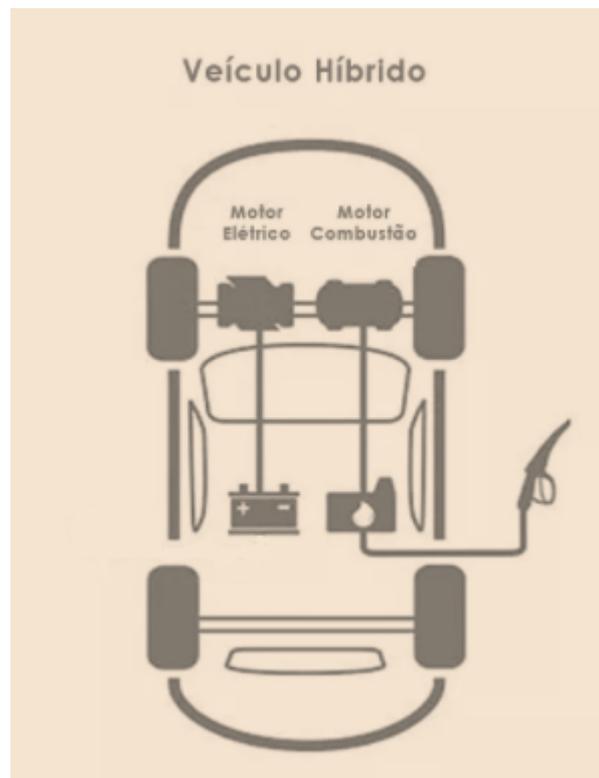
Neste automóvel, o MCI supre a necessidade de alto desempenho, como por exemplo, tirar o carro da inércia, enquanto que o motor elétrico realiza funções de baixo desempenho, nos momentos em que são necessárias rotações mais baixas. Porém, pode atuar também como gerador, recuperando a energia cinética provinda das frenagens (frenagens regenerativas).

Este tipo de veículo permite uma otimização dos MCI, visto que há redução de consumo de combustível, que segundo Borba (2012), gira em torno de 40% em áreas urbanas, até 20% em estradas e próximo a zero em auto-estradas, se comparado aos veículos convencionais.

De acordo com Fernandes (2017), existem três tipos de sistemas operação para os veículos híbridos:

- Sistema Híbrido Série: o MCI tem a função de gerar a energia para o funcionamento do motor elétrico, por meio de um gerador (convertendo energia mecânica em elétrica).
- Sistema Híbrido em Paralelo: os motores atuam de forma independente, variando conforme a necessidade do veículo.
- Sistema Híbrido Misto: combina os funcionamentos do sistema série e paralelo. Podendo utilizar somente o sistema elétrico ou os dois atuando simultaneamente.

Figura 3 - Arquitetura do Veículo Elétrico Híbrido



Fonte: Autor desconhecido

#### 2.2.2.1 Veículos Elétricos Híbridos de Recarga Externa -PHEV

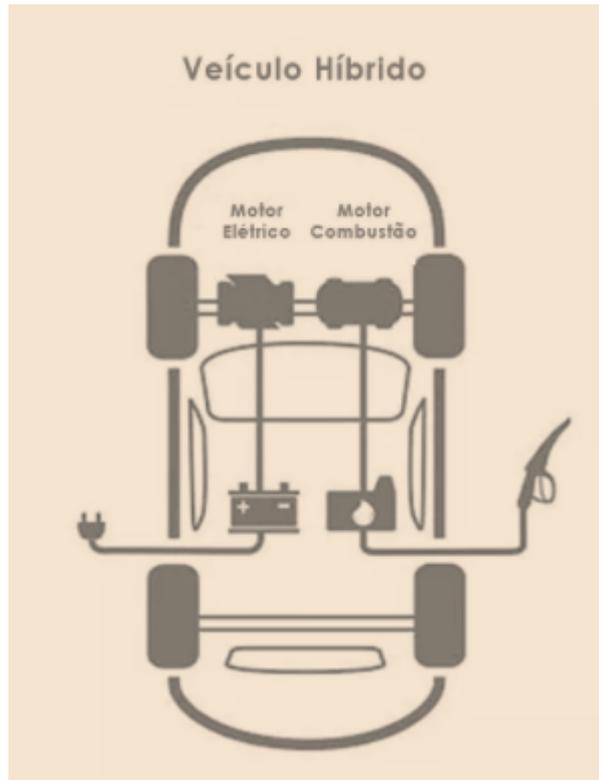
Os PHEV tem um princípio de funcionamento similar aos VEH, porém a principal diferença é a adição de um carregador (*Plug*) que permite a conexão dos veículos à rede elétrica para a recarga da bateria, assim como é mostrado na Figura 4. Assim como nos VEH e VEB, existe outra alternativa para recarregá-las que é a frenagem regenerativa.

Além do sistema de *Plug-in*, outro aspecto que difere ambos os modelos, é o tamanho da bateria, que no PHEV são maiores se comparados com os Híbridos convencionais.

Nesse modelo, o consumidor pode gerenciar o sistema energético do veículo de acordo com a fonte que permitirá a operação de forma mais eficiente possível. Segundo Valle (2015), existem alguns modos de gerenciamento, são eles:

- I. Modo de Sustentação de Carga: Nesse modelo, a principal fonte energética do veículo é o MCI, que opera constantemente, para manter a carga da bateria, praticamente, constante no decorrer do tempo.
- II. Modo Depleção de Carga: Nesse modelo, a principal fonte do veículo é a bateria, que descarrega durante o período em que se utilizar o carro.
- III. Modo Veículo Elétrico: Esse modelo opera de forma similar aos VEB, ou seja, o único motor em operação é o elétrico.
- IV. Modo Motor de Combustão Interna: Esse modelo opera de forma similar aos veículos convencionais, utilizando somente o motor de combustão.

Figura 4 - Arquitetura do Veículo Elétrico Híbrido com Recarga Externa



Fonte: Autor desconhecido

O PHEV mais vendido no mundo e o mais acessível no mercado automobilístico nacional, de acordo com Figo (2018) é o Toyota Prius, representado na Figura 5. Como o próprio nome sugere, este veículo foi criado pela montadora Toyota e corresponde à 60% dos mais de 11 milhões de Híbridos que a Toyota já vendeu pelo mundo.

Figura 5 - Toyota Prius



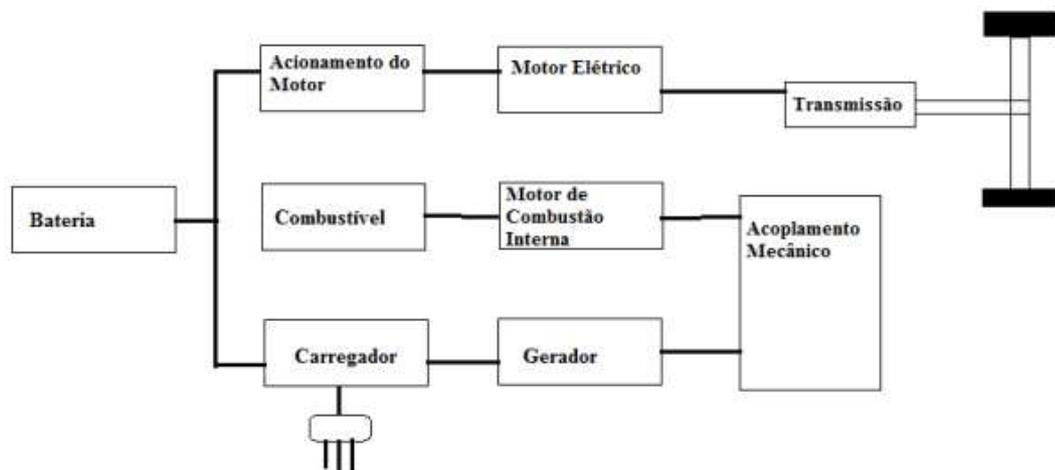
Fonte: Toyota (2018)

### 2.2.2.2 Funcionamentos Veículos Elétricos Híbridos com Recarga Externa

Os PHEV's, assim como os VEH's, podem ser classificados de acordo com os três tipos existentes de sistemas, que segundo Fernandes (2017), são:

- a) Sistema Híbrido em Série (Ilustrado na Figura 6): Onde o MCI transfere a potência ao gerador, carregando a bateria e por fim, fornecendo energia para o motor elétrico. Nesse caso há a conversão de energia mecânica para elétrica, que se dá por meio de um gerador.

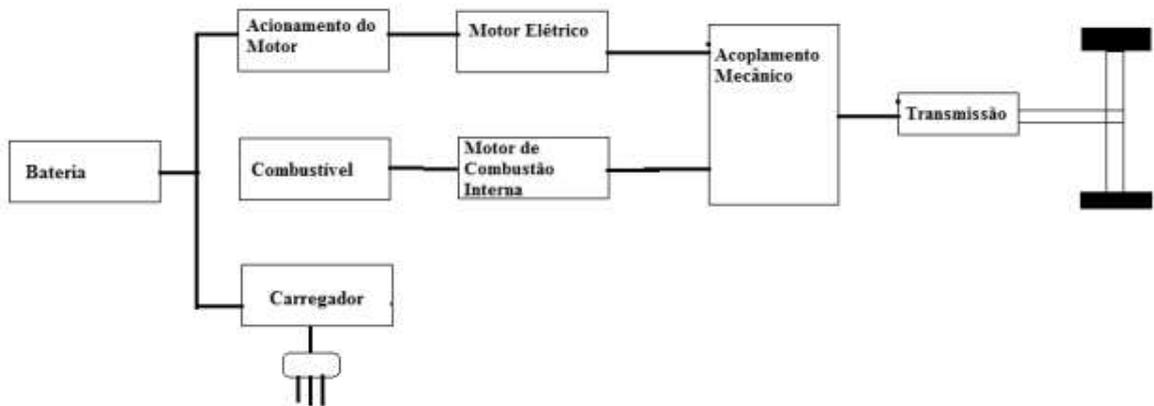
Figura 6 - Sistema Híbrido em Série



Fonte: Fernandes (2017)

- b) Sistema Híbrido em Paralelo (Ilustrado na Figura 7): nesse tipo de arquitetura o funcionamento dos motores ocorre de forma independente, ou seja, suas ações variam de acordo com a necessidade de carga do automóvel.

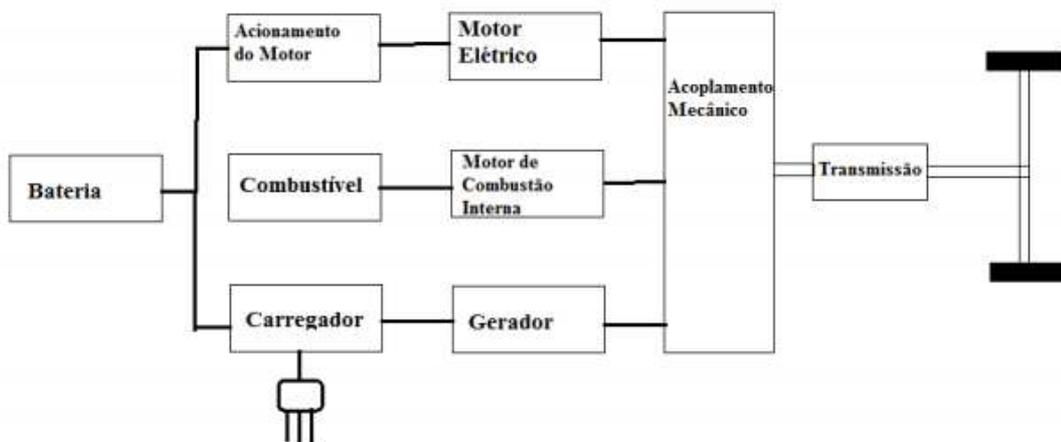
Figura 7 - Sistema Híbrido em Paralelo



Fonte: Fernandes (2017)

- c) Sistema Híbrido Misto (Ilustrado na Figura 8): O veículo pode operar tanto em série quanto em paralelo visando maximizar a eficiência de ambos os modelos. Segundo Fernandes (2017), o gerador converte a energia mecânica proveniente do MCI em energia elétrica, através do acoplamento mecânico, para o acionamento do motor elétrico, definido o comportamento em Série. O motor elétrico e o MCI estão conectados ao acoplamento mecânico, o que possibilita a operação em paralelo.

Figura 8 - Sistema Híbrido Misto



Fonte: Fernandes (2017)

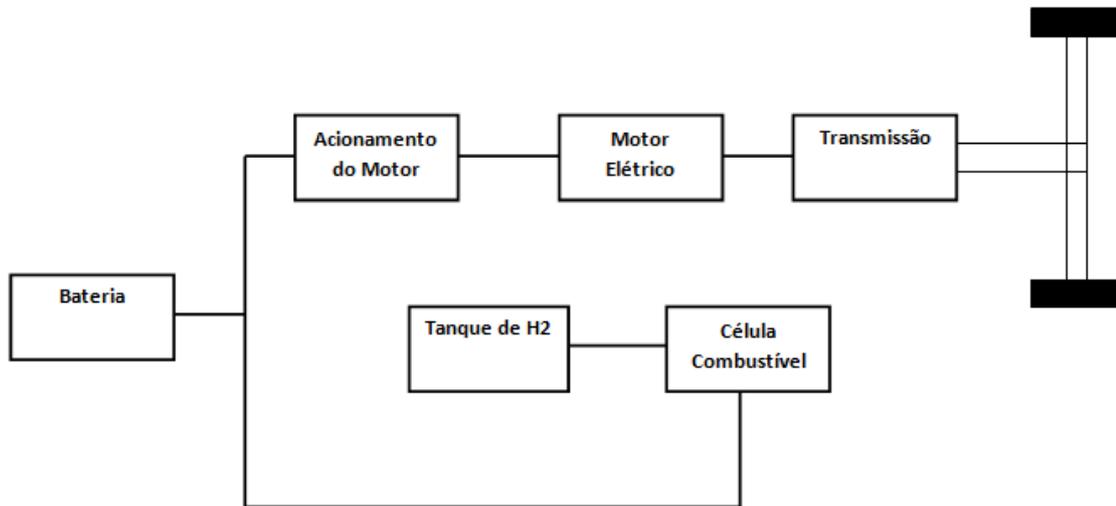
### 2.2.3 Outros tipos de veículos

Os VEB's, VEH's e PHEV's são os veículos elétricos mais comuns e acessíveis no mercado. Porém, segundo Calçado (2015), existem outros veículos, que utilizam tecnologias ainda em desenvolvimento e em período de testes, que visam otimizar e viabilizar cada vez mais esse nicho do Mercado Automobilístico.

#### 2.2.3.1 Veículos Elétricos a Célula Combustível (VECC)

Pesquisas vêm sendo realizadas para a implantação da tecnologia a Célula Combustível. Esta que, através de um processo eletro-químico, consegue transformar a energia do Hidrogênio em eletricidade. A arquitetura do veículo está disposta na Figura 9.

Figura 9 - Arquitetura do VECC



Fonte: Elaboração própria baseada em Fernandes (2017)

Segundo Valle (2015):

"Nesses modelos, a eletricidade é produzida no veículo, durante o processo de direção. A conexão com a rede é necessária para realizar a regeneração dos reagentes, que ocorre através da aplicação periódica de uma corrente elétrica, similar ao que ocorre com as pilhas recarregáveis."

Alguns pesquisadores afirmam que a célula combustível é a tecnologia do futuro, visto que são extremamente confiáveis, eficientes e possuem um custo-benefício mais baixo, se analisado a longo prazo. Além disso, segundo Fernandes (2017), é possível aumentar seu rendimento utilizando baterias de Íon-Lítio e ultracapacitores.

A montadora Honda lançou, em 2007, o primeiro veículo movido a Células Combustíveis, o Honda FCX, disponível na Figura 10, que só chegou a ser introduzido no mercado automobilístico em 2018, com apenas 200 exemplares.

Figura 10 - Honda FCX Clarity



Fonte: Hoffman (2015)

### 2.2.3.2 Veículos Elétricos Solares

Neste tipo de veículos a ideia é que as placas fotovoltaicas do veículo forneçam a energia necessária para sua locomoção. Porém, o grande problema está nas restrições de tamanho do veículo que limitam a dimensão dos painéis fotovoltaicos e, por sua vez, a potência gerada.

Logo, devido a baixa produção de energia dificilmente este veículo venha a ser introduzido no mercado de automóveis. Porém, muito se pesquisa a respeito e seu uso fica restrito às Universidades, com a finalidade de estudo.

### 3 BATERIAS

Dos tipos de veículos elétricos existentes, o presente trabalho é focado, principalmente, nos VEB's. Estes que, como mencionados anteriormente, utilizam como fonte as baterias elétricas que são recarregadas externamente por um sistema de *Plug-in*, permitindo a interação com a rede elétrica.

A bateria é a principal tecnologia que diferencia o VEB dos demais veículos elétricos. Isso se dá, pois o seu tamanho e sua capacidade de armazenamento são maiores nos VEB, se comparada com a do VEH. Porém este equipamento continua sendo o ponto fraco de todos os veículos movidos a eletricidade, pois além de ser o item mais caro de todo o automóvel, sua capacidade de armazenamento ainda muito limitada.

#### 3.1 HISTÓRICO DAS BATERIAS

Segundo Baran e Legey (2010), a história da bateria está diretamente conectada com o histórico dos veículos elétricos. Abaixo, segue o breve histórico do desenvolvimento da bateria.

- **Ano de 1859** - Muito utilizada nos veículos elétricos produzidos nos EUA, França e Reino Unido em 1880, a primeira bateria criada foi a de chumbo e ácido, desenvolvida por Gaston Planté;
- **Ano de 1901** - Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos elétricos, desenvolve a bateria de níquel-ferro, com 40% mais capacidade de armazenamento, porém com um custo elevado;
- **Ano de 1912** - Desenvolvimento da Bateria de Íon Lítio, por G. N Lewis.
- **Ano de 1970** - Bateria de íon Lítio entra no mercado.

Atualmente, a bateria é um dos fatores que estimulam pesquisas sobre novas tecnologias para o armazenamento de energia elétrica. No Brasil, a matriz energética é composta, principalmente, por Hidrelétricas e, segundo Valle (2015), a geração e a transmissão devem ser iguais a demanda consumida naquele momento, a chamada de Demanda Instantânea. Parte da situação é controlada no Brasil por grandes sistemas de armazenamento de energia, por meio dos reservatórios em

hidrelétricas mas seu percentual de capacidade de armazenamento tem diminuído com o passar dos anos. Esta situação poderia ser contornada, caso existissem mais baterias capazes de gerenciar o balanço entre a energia consumida e produzida.

### 3.2 CONCEITO DE FUNCIONAMENTO

Baterias, ou baterias eletro-químicas, são dispositivos capazes de armazenar energia, convertendo energia elétrica em energia química e vice-versa. São comumente encontradas nos equipamentos do dia a dia, como celulares, *notebooks*, controles, veículos elétricos, dentre outros.

De acordo com Pinho (2014), as baterias são classificadas como recarregáveis ou não-recarregáveis, de acordo com o tipo de célula que as compõe. Atualmente existem dois tipos de Células, as Primárias e Secundárias.

Uma bateria não recarregável é composta por Células Primárias e só pode ser carregada uma vez. Logo, quando sua carga se esgota completamente a vida útil se encerra, contudo devem ser descartas. Comumente são aplicadas em equipamentos que precisam de baixa potência, tais como relógios, controles, calculadoras, brinquedos e outros.

Já uma Bateria recarregável é composta por Células Secundárias, permitindo que a bateria seja recarregada a qualquer momento, desde que esteja acoplada a alguma fonte de tensão ou corrente. Pelo fato de ser recarregável, a vida útil deste equipamento é maior, o que proporciona sua utilização em aplicações que demandam mais tempo, tais como veículos elétricos, celulares, *notebooks*, dentre outros.

Definidas as classificações das baterias, é válido ressaltar os tipos de tecnologias mais usadas para o armazenamento de energia. Portanto, a Tabela 1 visa mostrar e caracterizar cada tipo de bateria existente e que são disponíveis comercialmente.

Tabela 1 - Características das Baterias Recarregáveis Disponíveis o Mercado

Tecnologia	Eletrólito	Densidade Energética [Wh/kg]	Densidade Energética [Wh/L]	Eficiência $\eta_{wh}$ [%]	Vida útil [anos]	Vida cíclica [ciclos]	Temperatura de operação		Aplicações típicas (exemplos)
							Carga padrão [°C]	Descarga [°C]	
Chumbo ácido <sup>7</sup> (Pb-ácido)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20–40	50–120	80–90	3–20	250–500	–10 a +40	–15 a +50	Uso estacionário, tração, automotiva
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30–50	100–150	60–70	3–25	300–700	–20 a +50	–45 a +50	Mesmo tipo de aplicações das baterias chumbo-ácido, ferramentas, veículos elétricos
Níquel-hidreto metálico (NiMH)	KOH	40–90	150–320	80–90	2–5	300–600	0 a +45	–20 a +60	Notebooks, celulares, câmeras fotográficas, veículos elétricos e híbridos, brinquedos
Íon de Lítio (Li-ion, Li-polímero)	Polímeros orgânicos	90–150	230–330	90–95	–	500–1000	0 a +40	–20 a +60	Notebooks, celulares, filmadoras, <i>smart cards</i> , veículos elétricos e híbridos
Bateria alcalina recarregável de Manganês (RAM) <sup>8</sup>	KOH	70–100	200–300	75–90	–	20–50	–10 a +60	–20 a +50	Produtos de consumo, brinquedos
Cloreto de Níquel e Sódio (NaNiCl)	$\beta''$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~100	~150	80–90	–	~1000	+270 a +300	+270 a +300	Veículos elétricos e híbridos (possíveis aplicações estacionárias)

Fonte: Pinho (2014)

Apesar de existirem vários tipos de baterias, a mais usual é a de Chumbo-Ácido, fato esse ocasionado pela atratividade econômica, já que existem tecnologias mais modernas para a aplicação de baterias, tais como a de Íon de Lítio e Níquel-hidreto metálico, que promovem maior eficiência e maior vida útil, porém são de custos mais elevados.

### 3.3 CARREGADORES E RECARGAS

Segundo Valle (2015), as recargas podem ser classificadas em dois métodos, o indutivo e o condutivo.

A recarga Indutiva, também chamada de recarga *Wireless*, é aquela que através de uma fonte de carga induz a passagem de corrente para um receptor "recarregável". Nesta fonte existe uma bobina, que gera fluxo magnético alternado, induzindo corrente em uma outra bobina acoplada ao dispositivo que se deseja

carregar. Este método não é utilizado para aplicações em veículos elétricos, pois embora não contenha partes expostas, possuindo maior segurança e tendo alta durabilidade, a ineficiência e o tempo de recarga o tornam desprezíveis para sua utilização.

Já a recarga Condutiva é a mais aplicada, pois possibilita a conexão física do veículo elétrico à fonte de alimentação. Se no método Indutivo a recarga era de forma lenta e pouco eficiente, no método condutivo a recarga se dá de forma mais rápida, otimizada e prática, podendo carregar uma bateria em menos de uma hora. Segundo Valle (2015), "essa conveniência ajuda na maior aceitação desse método de recarga".

Como já mencionados anteriormente, a bateria do VEB é maior e necessita de mais energia para se completar, já que o veículo utiliza, exclusivamente, energia elétrica para a locomoção. Enquanto que os PHEV's possuem uma bateria menor, portanto, para sua recarga é necessário uma quantidade de energia menor.

Para recarregar as baterias do VEB são necessários pontos que fornecem maiores quantidades de energia, portanto, nada melhor do que pontos públicos exclusivos para esta finalidade. Contudo, é de extrema importância o planejamento e investimento nestes pontos públicos de recarga e, como sugerido por Valle (2015), antes da construção destes "postos" em larga escala, deve-se fazer um levantamento e padronização de carregadores, bem como procedimentos de comunicação entre veículos e infraestrutura.

Nos EUA e Japão, o protocolo utilizado é a SAE J1772, de 2009. O objetivo desta norma é definir um sistema de Carga Condutiva para os veículos elétricos, analisando a função mecânica e elétrica do carregador. Segundo o protocolo, o conector utilizado é o J1772-2009, disponível na Figura 11, além disso a norma especifica os modos de cargas, dividindo-os em cinco níveis, disponíveis na

Tabela 2.

Figura 11 - Conector SAE J1772



Fonte: Fernandes (2015)

Tabela 2 - Níveis de Cargas na SAE J1772

	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (kW)
<b>CA Nível 1</b>	120	16	1,92
<b>CA Nível 2</b>	240	80	19,2
<b>CC Nível 1</b>	200 - 450	80	36
<b>CC Nível 2</b>	200 - 450	200	90
<b>CC Nível 3</b>	200 - 600	400	240

Fonte: Valle (2015)

Na Europa, a norma utilizada é a IEC 62196, que é baseada na IEC 61851, sendo aplicada para todos os *plugs*, tomadas conectores e cabos de veículos elétricos, utilizados para recarga condutiva. No modelo, são especificados os 4 níveis de cargas, que estão disponíveis na Tabela 3. Ainda, de acordo com a norma, o carregador utilizado é o Conector Mennekes, ilustrado na Figura 12.

No Brasil, a norma utilizada é a IEC 61851, que foi adotada pela ABNT, se tornando a ABNT NBR IEC 61851:2013, a qual trata sobre todos os conectores e tomadas para aplicação em veículos elétricos.

Figura 12 - Conector Mennekes



Fonte: Lugenergy (2018)

Tabela 3 - Cargas Previstas na IEC 62196

Modo de Carga	Método de Carga	Descrição	Conexão	Tensão (V)	Corrente (A)	Aplicação
1	Potência Normal	Carga lenta através de tomada residencial	CA - 1ϕ	250 (1ϕ) 480 (3ϕ)	16 CA	Doméstica
2	Média Potência	Carga lenta através de tomada residencial com equipamento interno de proteção	CA - 1ϕ ou 3ϕ	250 (1ϕ) 480 (3ϕ)	32 CA	Maior parte Pública
3	Alta Potência	Carga lenta ou rápida através de um ponto específico para VE com sistema de controle e proteção	CA - 3ϕ	-	32 / 250 CA	Pública
4	Alta Potência	Carga rápida usando um carregador externo	CC	-	400 CC	Pública

Fonte: Elaboração Própria baseada em Valle (2015) e Fernandes (2017).

### 3.4 TERMINOLOGIAS

Vários são os termos aplicados com finalidades técnicas, portanto vale destacar algumas definições muito importantes para o estudo das baterias. Segundo Fernandes (2017), os principais termos usuais são:

- **Capacidade:** é a quantidade de ampères-hora que é possível de se retirar da mesma, quando está em plena carga. A unidade usual é dada em Watts-hora (Wh);
- **Estado de Carga:** informa a quantidade de carga que ainda está disponível na bateria, geralmente mostrado em percentual;
- **Profundidade de Descarga:** informa a quantidade de carga que foi retirada da bateria. Sendo o complementar do Estado de carga, também é mostrado em percentual;
- **Ciclo:** é a sequência de carga-descarga, até atingir certa Profundidade de descarga.

### 3.5 GRANDES POTENCIAIS

Os avanços tecnológicos, influenciados principalmente pela geração de energia elétrica provinda a partir das fontes solares e dos ventos, permitiram o crescimento do mercado de Armazenamento de Energia, que hoje é essencial para todo o setor elétrico e o principal motivo de discussão na área.

Segundo Junges (2016), do site Gazeta do Povo, "Como não é possível estocar sol e vento, o grande desafio desse setor é desenvolver tecnologias capazes de guardar a energia gerada por essas fontes quando elas estão disponíveis e a demanda é baixa."

Ainda, segundo Junges (2016), por serem fontes usadas como suplemento de energia, provocam o aumento da necessidade de armazenamento deste insumo que é primordial no desenvolvimento global. Esta necessidade de acumulação de energia está movendo as grandes empresas e muitos centros de pesquisas ao investimento em estudos para descobrir novas formas de guardar energia.

A preocupação com a tecnologia de baterias é tão grande que até o departamento de energia da empresa sul coreana, Samsung, focou suas pesquisas na busca de aprimoramento dos armazenadores dos veículos elétricos.

Durante a exposição do Auto Show, realizada em Detroit em janeiro de 2018, a empresa confirmou e apresentou, oficialmente, a descoberta da possibilidade de criar baterias utilizando Bolas de Grafeno. O estudo teve início em 2017, tomando como premissa as explosões das baterias do Galaxy Note 7. O smartphone utilizava a mesma tecnologia, porém com as ocorrências de explosões a empresa se preocupou em pesquisar mais a fundo a aplicação destes equipamentos, conseguindo finalizar sua pesquisa de forma positiva.

Segundo Souza (2015), esta tecnologia é capaz de proporcionar um carregamento de até 5 vezes mais rápido e possuir uma capacidade de armazenamento 45% maior do que as baterias de Íon-Lítio.

Embora seja novidade nas baterias de veículos elétricos, os compostos de Grafeno são comuns no ambiente automobilístico. As bolas de Grafeno são feitas de Dióxido de Silício, ou Sílica, composto muito utilizado na fabricação dos pneus de carros.

### 3.6 BATERIA DE ÍON-LÍTIO

Embora sejam muitos os estudos promissores que buscam evoluir estes armazenadores, nenhum deles é capaz de alcançar atualmente as Baterias de Íons de Lítio.

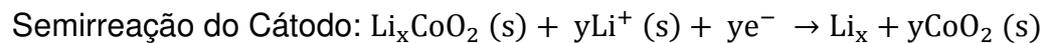
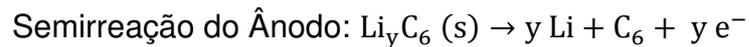
Esta tecnologia é a mais empregada nos sistemas que demandam maiores quantidades de energia. Por ser a tecnologia mais recente a ser aplicada, teve um rápido crescimento e hoje é a de maior valor no mercado.

#### 3.6.1 Parâmetros Químicos

O funcionamento da bateria se baseia em um cátodo no formato de lâmina, geralmente constituído por Lítio misturado com outros componentes

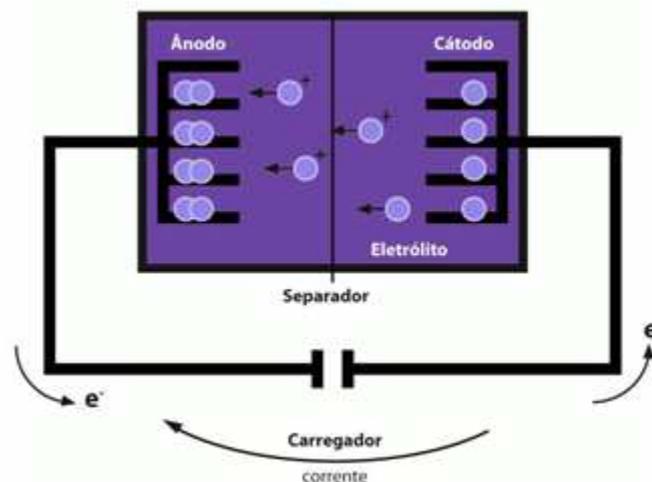
metálicos, e um Ânodo, formado por grafita e cobre, construindo estruturas hexagonais de carbono, formando a seguinte substância:  $Li_yC_6$ . E ainda um eletrólito, composto orgânico contendo sais de Lítio a transferência de íons de Lítio.

Sendo assim, temos a reação química, que segundo Fogaça (2018), é dada pelas semi reações abaixo.



Por ser uma bateria recarregável, basta impor uma corrente elétrica externa capaz de provocar uma transferência de íons de Lítio no sentido inverso, que a bateria pode ser novamente utilizada. A Figura 13, mostra os sentidos dos fluxos de elétrons com a descarga e recarga da bateria.

Figura 13 - Sentido do Fluxo de Elétrons



Fonte: Fogaça (2018)

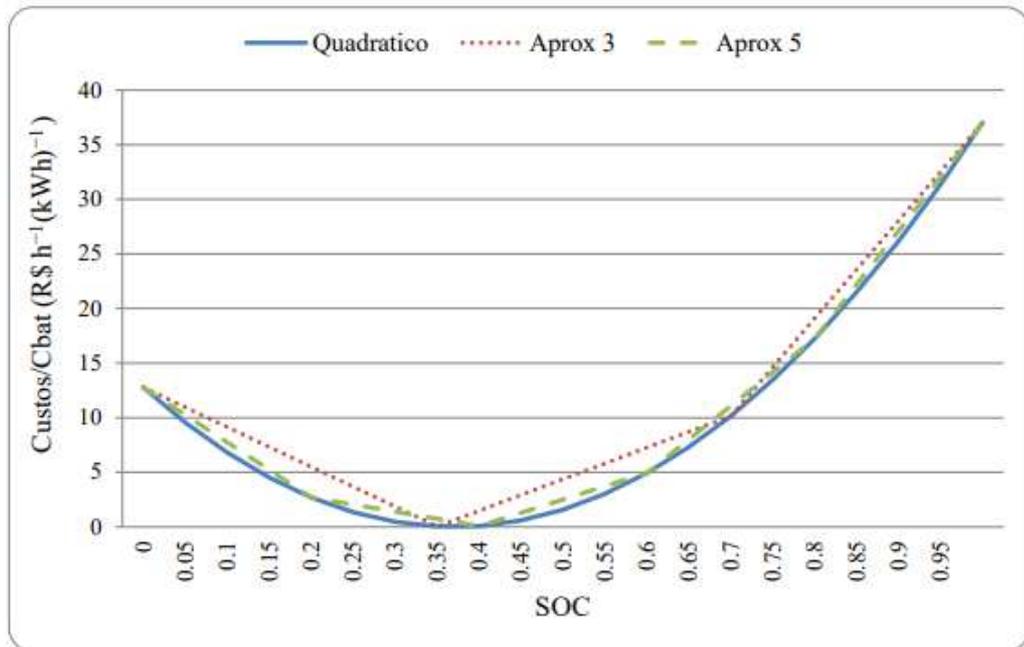
## 3.6.2 Parâmetros Elétricos

### 3.6.2.1 Vida Útil e Custo

Segundo Tenfen (2015), para um modelo específico de baterias de íons de lítio, as curvas presentes nas Figura 14 e Figura 15 ilustram a relação entre o carregamento, o estado de carga (SoC - *State of Charge*) e o custo de degradação. É possível observar que ao manter o estado de carga entre os intervalos de 30% e 40%, a vida útil da bateria é maximizada

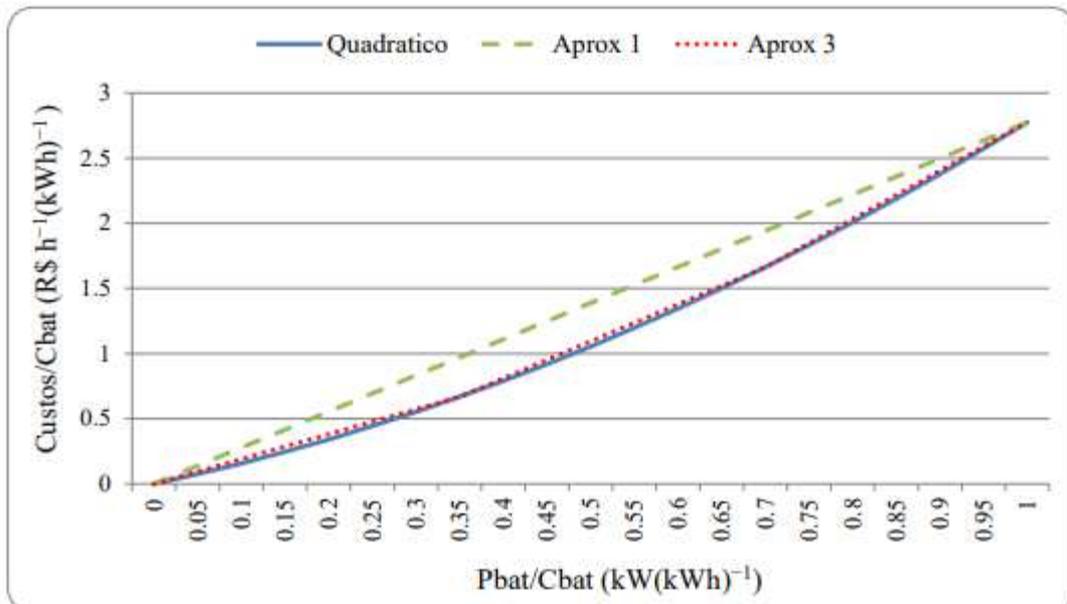
Ainda, segundo Tenfen (2015), "Os custos de degradação foram desenvolvidos para a aquisição da bateria de íons de lítio com 1.480 R\$/kWh, embora os parâmetros sejam proporcionais se o preço de aquisição for diferente." Ou seja, os parâmetros podem ser alterados, caso haja uma mudança no valor de aquisição da bateria.

Figura 14 - Custo de degradação da Bateria devido ao desvio do SOC



Fonte: Tenfen (2015).

Figura 15 - Custo de degradação da Bateria devido a potência de Carga



Fonte: Tenfen (2015).

### 3.6.2.2 Restrições

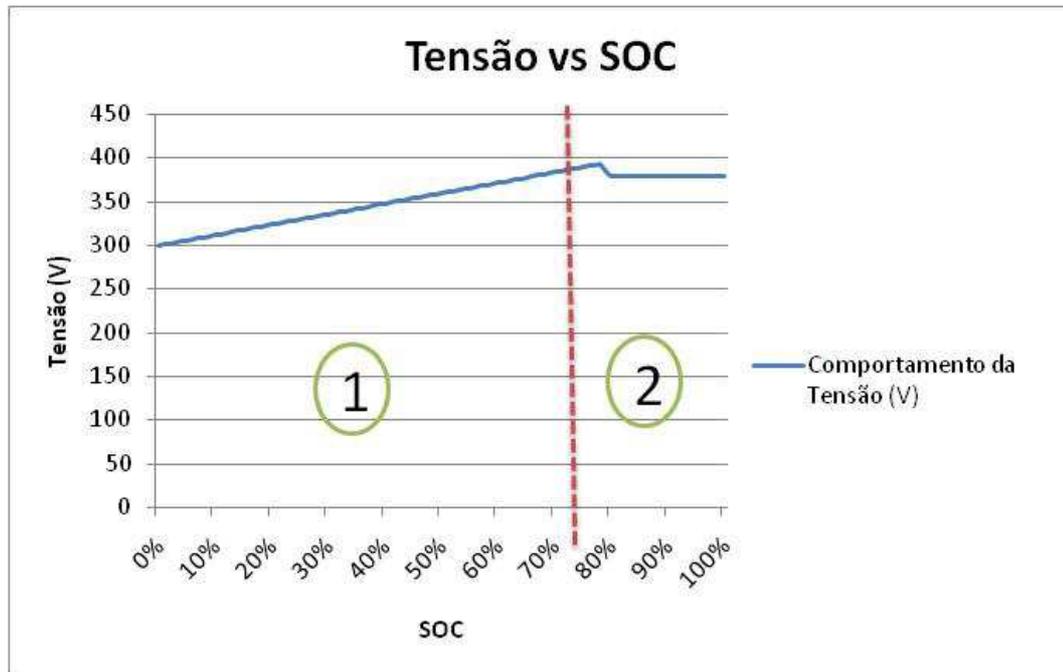
De acordo com Tenfen (2015), existem algumas características da bateria que devem ser consideradas diante de qualquer generalização do serviço de armazenamento. Tais como:

- Rendimento aumenta com o calor e diminui com baixas temperaturas;
- Vida útil da bateria é reduzida com o calor;
- Evitar excesso de descarga e carregamento;
- Descargas moderadas são melhores do que descargas em pulsos;
- A bateria não exige ser totalmente carregada periodicamente, visto que não ocorre efeito de memória, não exigindo, portanto, ciclos completos.

### 3.6.2.3 Comportamento de Tensão e Corrente

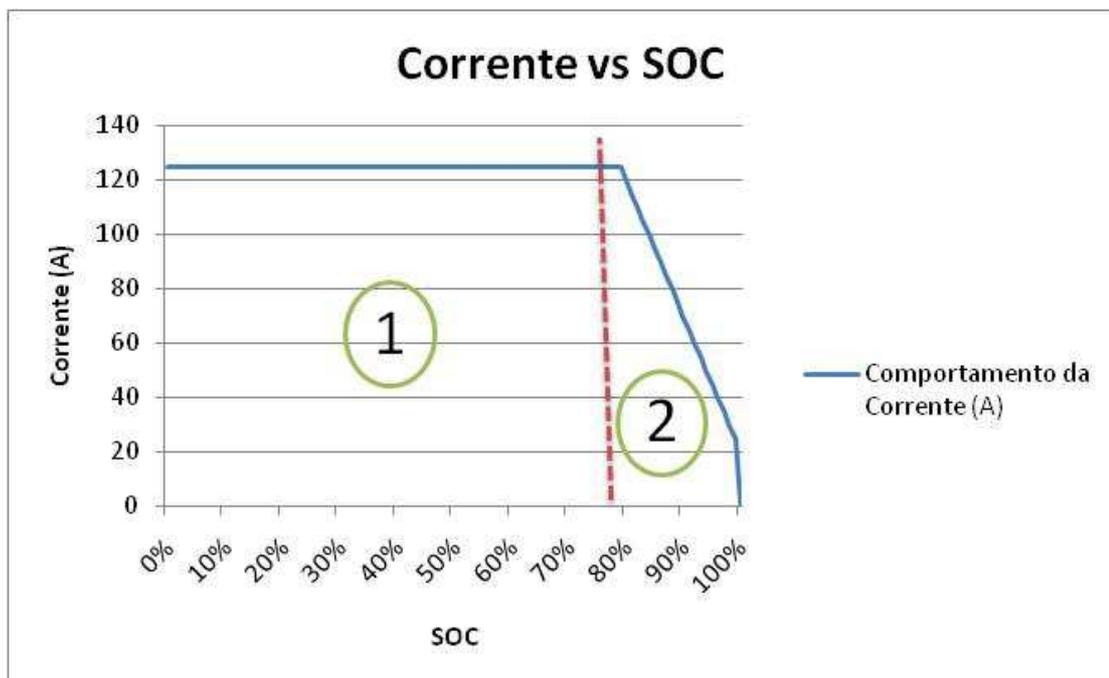
O comportamento elétrico de carga e descarga da bateria está ligado, principalmente, à corrente e tensão aplicadas ao equipamento. Para comprovar tais afirmações, desenvolveu-se os gráficos apresentados na Figura 16 e Figura 17, que representam o comportamento da tensão e corrente, respectivamente.

Figura 16 - Comportamento da Tensão



Fonte: Elaboração Própria baseado nos dados de Tensão previstos na IEC 62196.

Figura 17 - Comportamento da Corrente



Fonte: Elaboração Própria baseado nos dados de corrente previstos na IEC 62196.

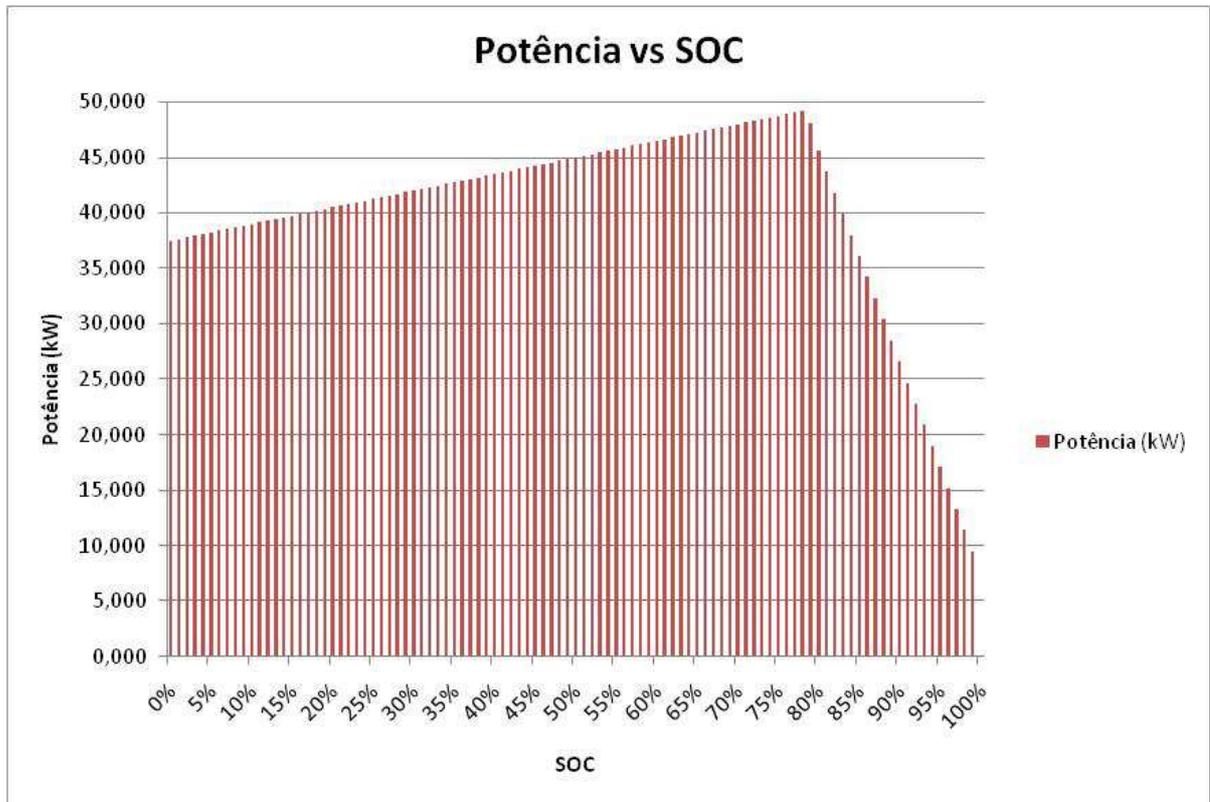
Analisando ambas as imagens, podemos dividir os gráficos em dois estágios, assim como mencionado em Tenfen (2015).

Estágio 1 - Para o bom funcionamento da bateria de Íon de Lítio, inicialmente, se fixa a corrente em um determinado valor. Em geral, o fabricante do equipamento disponibiliza ao consumidor a corrente máxima que a bateria é capaz de suportar sem que sofra algum dano. Durante o início do seu carregamento, enquanto a corrente é fixada até atingir um valor pré determinado de energia (que geralmente gira em torno de 80% da SOC), a tensão sofre um leve aumento.

Estágio 2 - Após a SOC ultrapassar, aproximadamente, os 80%, o valor de tensão é fixado com a corrente diminuindo, gradativamente, até chegar ao limite da capacidade de armazenamento.

Por fim, ao realizar a multiplicação entre tensão e corrente é possível obter o comportamento da potência, resultante no gráfico da Figura 18. Onde é observado que a potência de carregamento da bateria cresce, com o leve aumento da tensão, até atingir um valor máximo. A partir deste ponto a potência decresce, de forma não linear, até atingir a capacidade máxima da bateria alcançando, aproximadamente, 100% da SOC.

Figura 18 - Carregamento da Bateria de Íons de Lítio

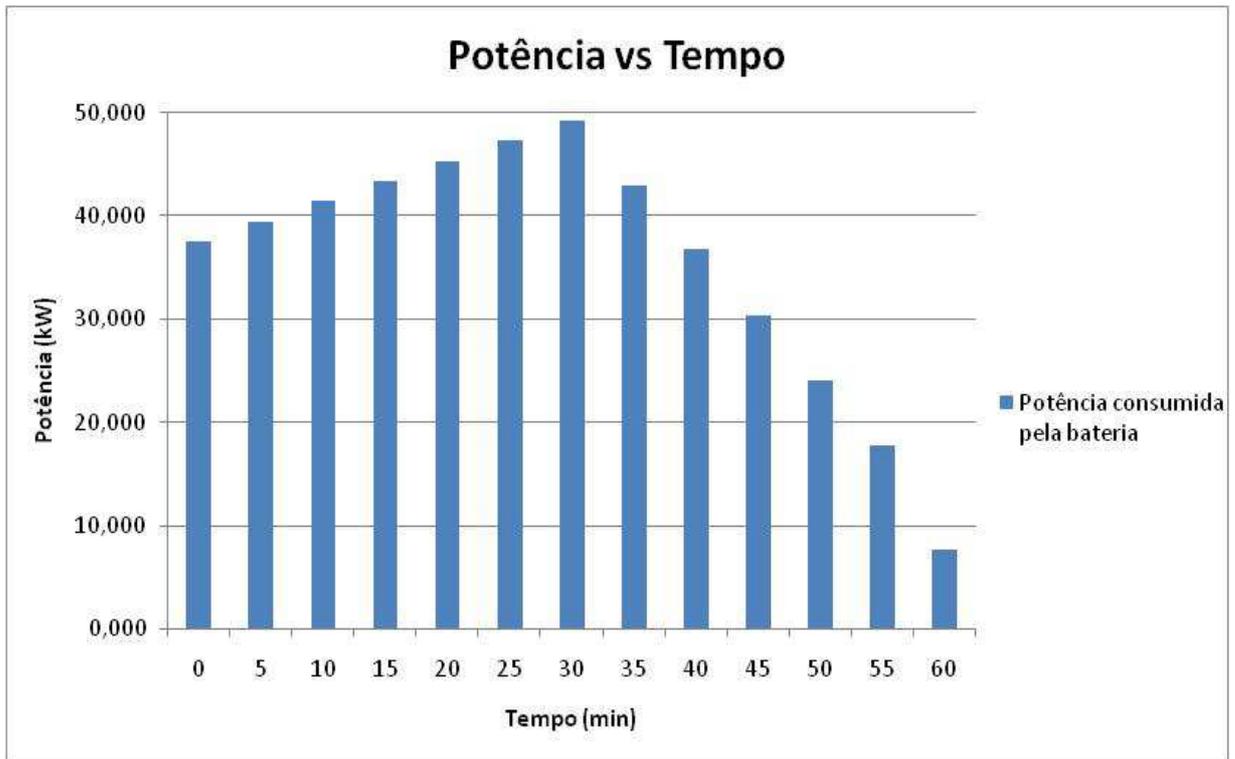


Fonte: Elaboração Própria.

#### 3.6.2.4 Tempo de Recarga

Todos os fatores vistos até agora servem como base para explicar o carregamento da bateria de íon de lítio ao decorrer do tempo. Na Figura 19, é possível notar a variação do tempo de recarga completa da bateria de acordo com a potência da mesma no carregamento rápido.

Figura 19 - Potência da bateria no tempo



Fonte: Elaboração Própria.

Como premissa para a construção do gráfico anterior, é de extrema relevância destacar que utilizou-se como base o tempo de Recarga Rápida do Veículo, que é definido pelo fabricante, girando entorno de 30 minutos para recarregar 80% da bateria, considerando a carga máxima permitida, enquanto que os 20% restantes são estimados em 30 - 45 minutos de recarga. Além disso, o carregamento destes 20% finais da SoC não se dá de forma linear, porém devido à similaridade linear encontrou-se os valores dos intervalos do gráfico utilizando uma equação de primeiro grau representada em (1).

$$Pq = \delta.T + Pi \quad (1)$$

Sendo:

$Pq$  a potência qualquer que se quer descobrir;

$Pi$  a potência inicial do intervalo que se está analisando;

$\delta$  o gradiente linear da equação de carga da bateria (inclinação da reta);

$T$  o intervalo de tempo da potência a ser calculada (em minutos).

## **4 INTERLIGAÇÃO COM O SISTEMA ELÉTRICO**

A busca por veículos movidos à eletricidade está cada vez mais alta. Segundo Ruffo (2018), o número de Veículos Elétricos a Bateria e Híbridos comercializados em 2017 quase triplicou se comparado ao mesmo período do ano anterior.

### **4.1 REDE ELÉTRICAS INTELIGENTES**

O conceito de Rede Elétrica Inteligente é um tema que vem sendo de interesse para o setor elétrico, pois proporciona uma maior autonomia ao consumidor e ao seu papel no processo do consumo de energia elétrica. Neste sistema, o consumidor final é capaz de gerenciar o seu consumo de forma segura e eficaz, acompanhando e monitorando o consumo e o transporte de energia até seu destino final.

Segundo Fernandes (2017), "As principais características da Rede Elétrica Inteligente, são a presença de medidores inteligente, comunicação com a rede e a possibilidade de controle descentralizado."

Ainda, de acordo com Fernandes (2017), o desenvolvimento tecnológico e a aplicação de novas tecnologias para o setor energético, proporcionou a criação de um novo agente no ambiente elétrico, o "prossumidor". Esta nomenclatura destaca o papel que o consumidor tem com sua proatividade e participação neste cenário, acompanhando a geração de energia e o consumo.

A Tabela 4 caracteriza os principais aspectos que diferenciam o Sistema Elétrico Convencional e a Rede Elétrica Inteligente.

Tabela 4 - Principais Diferenças entre a Rede Elétrica Convencional e a Rede Elétrica Inteligente

<b>Comparação entre a Rede Elétrica Atual e a Rede Elétrica Inteligente</b>		
<b>Principais características</b>	<b>Rede Elétrica Atual</b>	<b>Rede Elétrica Inteligente</b>
Participação ativa do consumidor	Consumidores não são informados e não participam	Consumidores informados e envolvidos no processo, resposta a demanda e fontes de energia distribuídas
Acomodação de toda a geração e opções de armazenamento	Dominado pela geração centralizada, muitos obstáculos existentes para fontes de energia distribuída e interconexão	Muitas fontes de energia distribuída com <i>plug-e-play</i> e focado em fontes renováveis
Novos produtos, serviços e mercados	Limitado, integração fraca com o mercado, oportunidades limitadas para os consumidores	Integração forte com o mercado, crescimento de um novo mercado de eletricidade para consumidores
Garantir qualidade de potência para uma economia digital	Focado em interrupções, resposta demorada com problemas na qualidade da energia	Qualidade de energia como prioridade com variações nas opções de preço e qualidade, rápida resolução de problemas
Otimização de ativos e operação eficiente	Pouca integração de dados operacionais com gerenciamento de ativos	Ótima expansão de aquisição de dados dos parâmetros da rede, focado na prevenção e minimização de impactos aos consumidores
Antecipar respostas de distúrbios do sistema	Prevenção de dados futuros, focado em proteger ativos seguidos de uma falta	Detecção automática e respostas aos problemas, focado na prevenção
Resiliência contra ataques cibernéticos e desastres naturais	Vulnerável para ações maliciosas de terrorismo e desastres naturais, resposta lenta	Resiliente a ataques cibernéticos e desastres naturais, rápida capacidade de reestruturação

Fonte: Fernandes (2017)

Devido à alta importância e interesse neste tipo de modelo, no Brasil existem alguns projetos públicos que visam implantar a Rede Elétrica Inteligente no cenário elétrico nacional.

## 4.2 APLICAÇÃO DO CONCEITO V2G

Como a operação das redes elétricas requerem coincidir a geração com a demanda instantânea do sistema, várias unidades geradoras devem ser ligadas e desligadas a todo o momento para compensar a falta ou excesso de energia na rede.

Para diluir os problemas causados pelo aumento irregular do consumo e melhorar a eficiência da produção energética, é possível utilizar unidades de armazenamento de energia que permitem que as usinas operem sem grandes variações durante o maior período possível. Devida à alta quantidade de energia armazenada nos veículos elétricos, a utilização das baterias automotivas se mostra interessante para aplicação do conceito V2G.

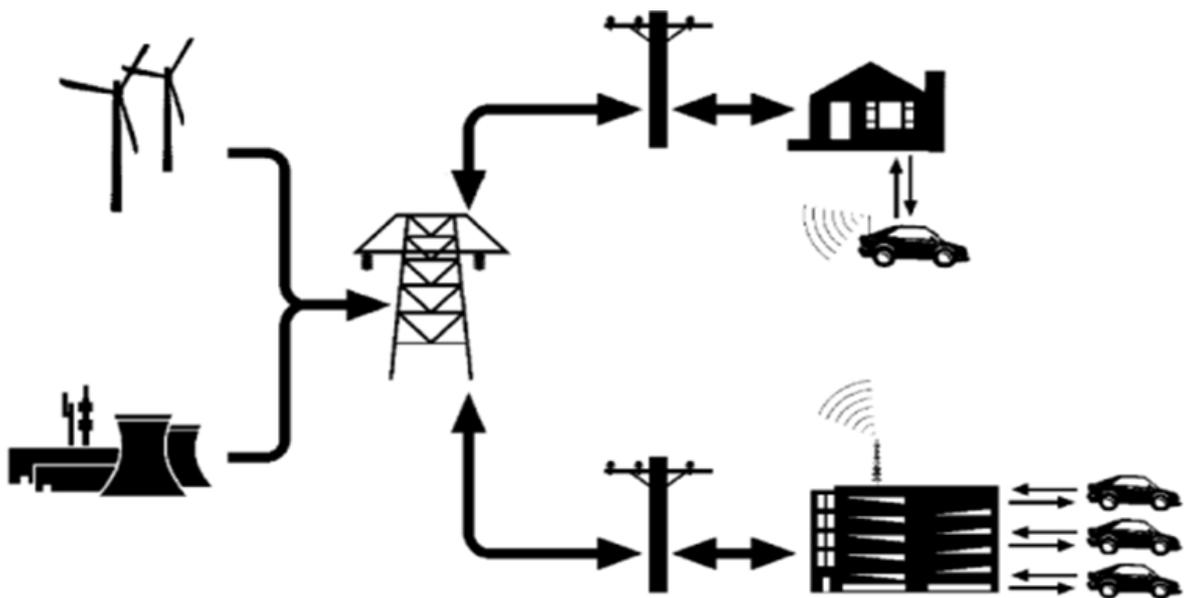
Com a aplicação das Redes Elétricas Inteligentes e com o aumento da busca por veículos elétricos acabou se desenvolvendo outro conceito, o V2G. Também conhecido como *Vehicles to Grid*, ou Veículos para Rede, este sistema consiste basicamente na interação de veículos elétricos com a rede. Esta interação ocorre de forma física, conectando os veículos em tomadas ou em postos rápidos desenvolvidos para exercer o abastecimento das baterias destes automóveis. Com este novo modo de operação, o consumidor pode verificar os momentos em que é mais viável conectar este automóvel à sua rede elétrica, conseguindo abraçar os melhores benefícios econômicos para sua instalação e seu veículo, tornando um agente ativo dentro do sistema elétrico. O fluxograma aplicado nos V2G, está disposto na Figura 20.

O conceito V2G é amplo e pode englobar outras definições. Segundo Fernandes (2017), é possível classificar o conceito de acordo com o fluxo de potência e de acordo com seu ponto de conexão. Especificamente, o termo V2G é usado quando o veículo é conectado à rede e assume o perfil de gerador, passando a fornecer energia para as linhas de transmissão ou distribuição, tornando mais eficiente e otimizada a interação entre o veículo e a rede. Porém existe o conceito inverso, chamado de G2V - *Grid to Vehicle*, usado quando o veículo é conectado à rede, que fornece a energia necessária para carregar sua bateria.

Por fim, existe a classificação V2H - *Vehicle to Home*, ou V2B - *Vehicles to Building*, no qual o veículo é conectado a rede de uma instalação e ocorre um envolvimento mútuo entre as partes, ou seja, quando necessário o veículo serve como um gerador de energia para a residência ou edificação, podendo ser utilizado em caso de interrupção da rede elétrica ou como redutor de alto consumo em horários onde a energia possui um preço elevado, podendo assim, diminuir custos "desnecessários". E quando houver necessidade, a casa ou a edificação fornece energia para a bateria do automóvel, para que ele possa trafegar, tranquilamente, nas rodovias.

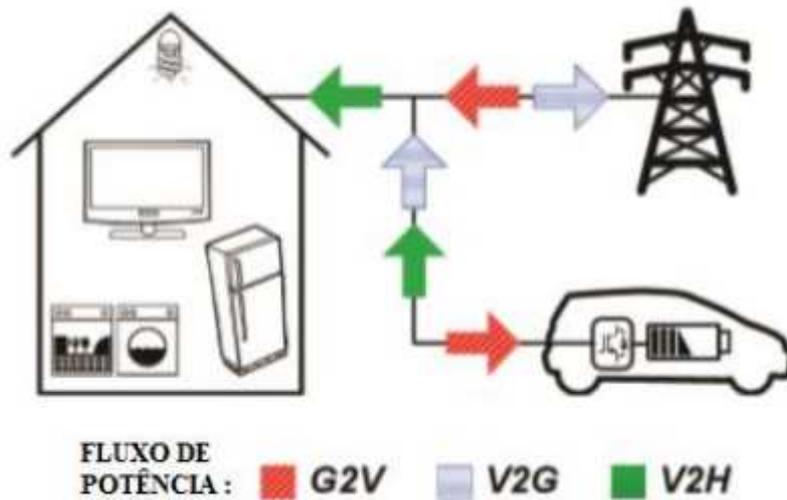
A Figura 21 ilustra o fluxo de potência, das possíveis aplicações dos veículos elétricos no cenário energético.

Figura 20 - Fluxograma básico do V2G



Fonte: Baez (2016).

Figura 21 - Fluxo de Potência do V2G, G2V e V2H.



Fonte: Fernandes (2017)

Atualmente, um dos principais fatores que limitam a aplicação deste conceito no sistema elétrico nacional são as tecnologias das baterias utilizadas para o armazenamento de energia elétrica. O uso deste equipamento tornaria o sistema mais eficiente, porém as tecnologias empregadas nesses armazenadores ainda possuem um valor muito alto.

A outra Barreira que esse conceito enfrenta, principalmente no Brasil, é a aquisição do veículo elétrico. O custo para aquisição deste tipo de veículo é muito elevado no país, ocasionando assim a baixa procura pelo modelo elétrico. Em média um veículo híbrido, que não interessa muito no conceito V2G, de acordo com Figo (2018), custa no Brasil um valor na casa dos 120 mil reais, ou seja, só é possível comprar um veículo deste tipo se o indivíduo se enquadrar na Classe Média Alta, ou acima dela. Além disso, o alto custo da aquisição de novas peças e os poucos "postos de abastecimento de energia elétrica" a disposição do cliente são outros problemas que a aplicação deste sistema possa vir a enfrentar.

## 5 SIMULAÇÕES

### 5.1 PREMISSAS

Segundo o anuário estatístico de 2017, o Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis, comportava em sua totalidade 4854 alunos equivalentes (modalidade presencial), 391 docentes e 212 técnicos administrativos. Uma comunidade que usufrui de salas de aula, laboratórios, lanchonete, biblioteca, papelaria, dentre outros estabelecimentos, que possuem grande variedade de equipamentos e demandam muita energia. Além disso, o Instituto possui uma subestação própria para realizar a transformação de energia de média para baixa tensão.

Portanto, é visto na aplicação V2G ou Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) uma possibilidade para o bom gerenciamento de consumo com a entrada de veículos elétricos, evitando aumentos consideráveis na conta de energia.

#### 5.1.1 Conceituação

Para realizar a simulação, foram coletados os dados de consumo da instituição em Instituto Federal de Santa Catarina (2018), que disponibiliza no site Labsmart os dados compreendidos entre 23 de Janeiro de 2016 até Agosto de 2018. As curvas de carga fornecida para o presente trabalho compreendem a energia que a instituição demandou, durante os períodos analisados, que é medida a cada 5 minutos e também considera a energia gerada pela própria instituição, que possui uma microgeração solar fotovoltaica em seus telhados.

A Figura 22 e a

Figura 23 mostram a curva de geração de dois dias escolhidos para os futuros estudos.

Figura 22 - Curva de Geração do IFSC em 18/12/2017

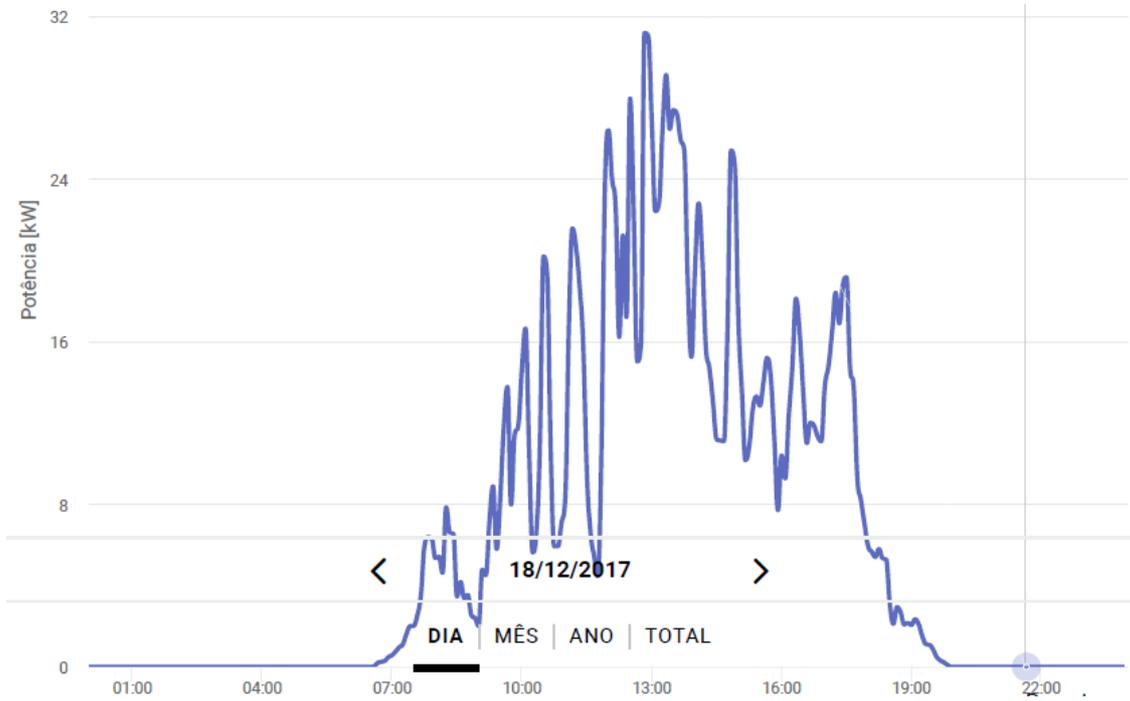
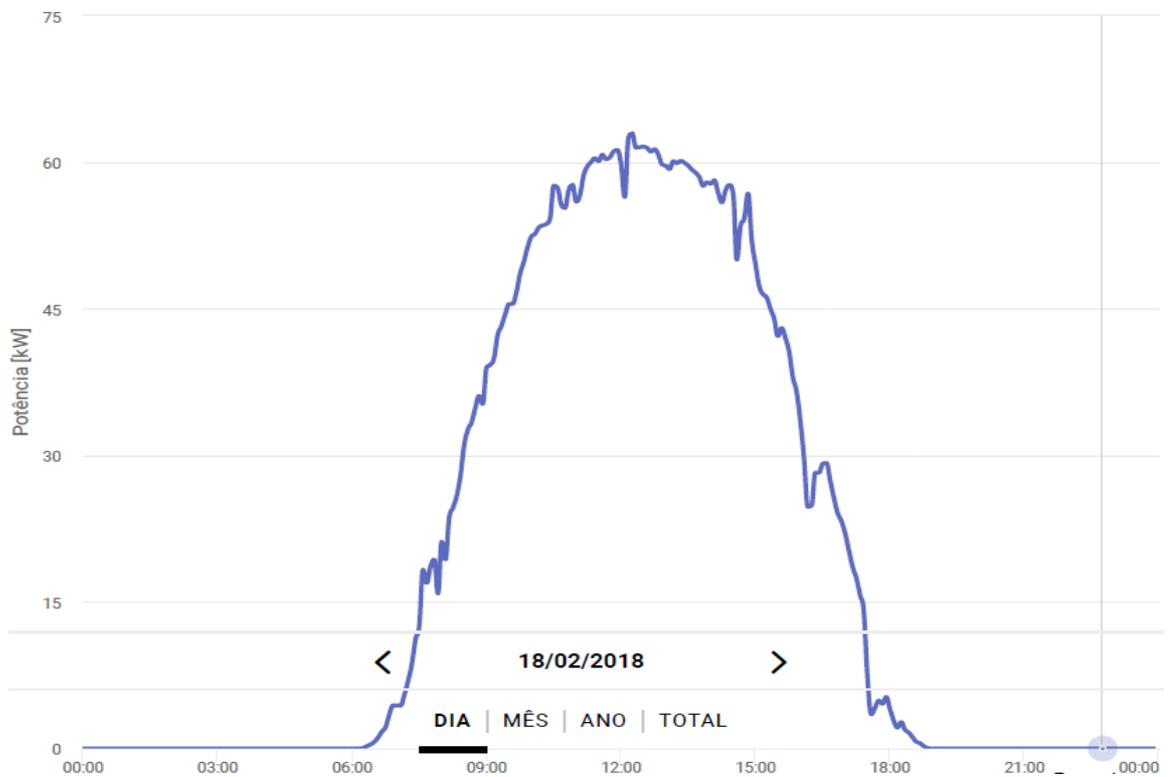


Figura 23 - Curva de Geração do IFSC em 26/02/2018



Além destas considerações, vale destacar também que a fim de facilitar os cálculos, para as futuras análises, foi desconsiderado o comportamento real da bateria de Íons de Lítio já visto anteriormente. Logo pressupõe-se que o comportamento de carregamento da bateria é *flat*, ou seja, a potência é contínua e linear durante todo o processo de energização da bateria.

### **5.1.2 Veículos Elétricos Utilizados na Simulação**

Para as simulações considerou-se em todos os casos a utilização de uma frota, unicamente, constituída por VEB's. A opção escolhida para realizar as simulações foi a utilização de veículos do modelo Nissan Leaf.

A primeira versão do modelo foi lançado em 2010 apenas para o continente europeu, porém para 2019 já existe uma nova versão do carro que chegará à América Latina e ao Brasil. A nova versão apresenta maior rendimento da bateria e maior autonomia, bem como um design mais "luxuoso". As diferenças entre as versões estão disponíveis na Tabela 5.

Dentre as duas possíveis, a escolhida para usar na simulação é a mais antiga pois no início do desenvolvimento deste estudo haviam poucas informações à respeito da versão 2019. Logo frota é composta por veículos do modelo Nissan Leaf 2010.

Especificada a versão do veículo, é possível destacar o tempo máximo que o automóvel leva para completar a carga de sua bateria e como já visto existem dois tipos de recargas que podem ser realizadas.

Tabela 5 - Comparativo das Versões do Nissan Leaf.

Comparativo das Versões do Nissan Leaf		
Versões / Ano	2010	2019
Design		
Tipo da Bateria	Íon de Lítio	Íon de Lítio
Capacidade da Bateria (kWh)	24	40
Autonomia (km)	100	241

Fonte: Elaboração própria a partir de Cavalcante (2018).

### 5.1.3 Regulação

No início do presente trabalho não haviam regulamentações no Brasil que tratavam a respeito, especificamente, dos veículos elétricos e sua utilização para finalidades comerciais.

A resolução existente e tomada como base durante quase todo o estudo foi a Resolução Normativa N<sup>o</sup> 482/2012, que estabelece as condições gerais e as premissas para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de energia elétrica.

Porém, em 19 de junho de 2018 entrou em vigor a Resolução Normativa N<sup>o</sup> 819, que estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos por meio das concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica.

Pela Resolução Normativa 819, de acordo com o "Art. 9<sup>o</sup> é permitida a recarga de veículos elétricos de propriedade distinta do titular da unidade

consumidora, inclusive para fins de exploração comercial a preços livremente negociados."

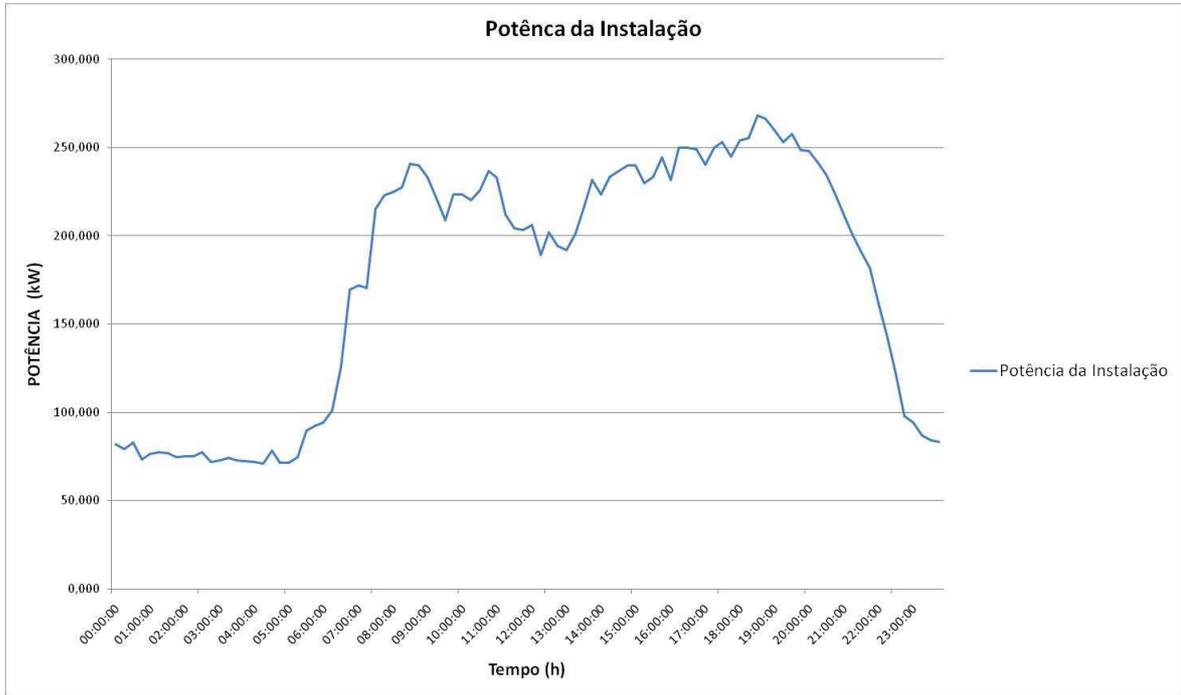
Porém, segundo o "Art. 10, é vedada a injeção de energia elétrica na rede de distribuição a partir dos veículos elétricos, bem como a participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012."

Sendo assim, de acordo com o artigo 9 torna possível a implantação de estações de recarga com finalidades comerciais, assim como será abordado no presente estudo. Enquanto que o artigo 10 não afetará as análises futuras, visto que esta análise não envolve o sistema de compensação de energia.

#### **5.1.4 Curvas de Potência do IFSC**

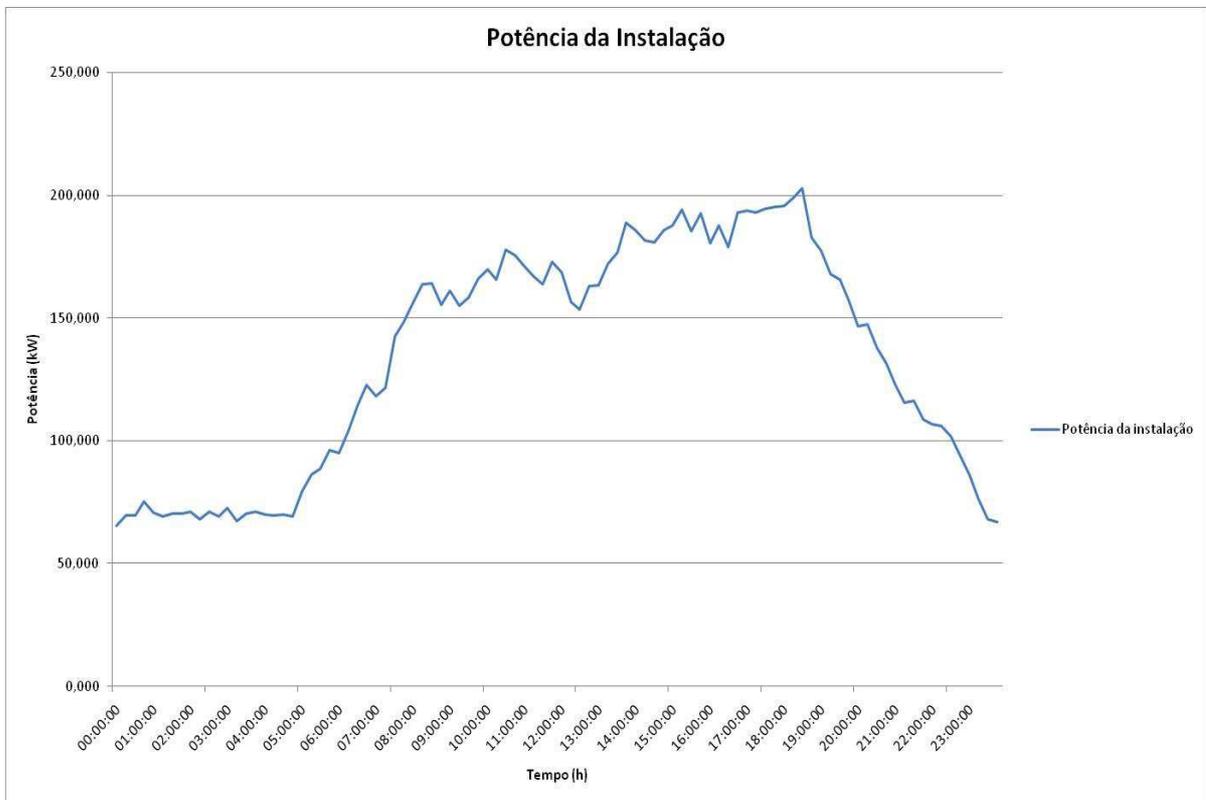
Como já mencionado anteriormente, foram realizados estudos em 4 dias escolhidos, um em cada trimestre, de acordo com os diferentes tipos de perfis de consumo do IFSC num período de 12 meses. As curvas de demanda e potência foram produzidas no software Excel, baseado nos dados de consumo disponibilizados pelo Labsmart. Para o desenvolvimento das curvas, utilizou-se a medição a cada 15 minutos, iniciando a contagem a partir das 00h do dia analisado. As curvas de cargas estão representadas a partir da Figura 24 à Figura 27.

Figura 24 - Curva de Carga do dia 21/06/2017



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2018)

Figura 25 - Curva de Carga do dia 05/07/2017



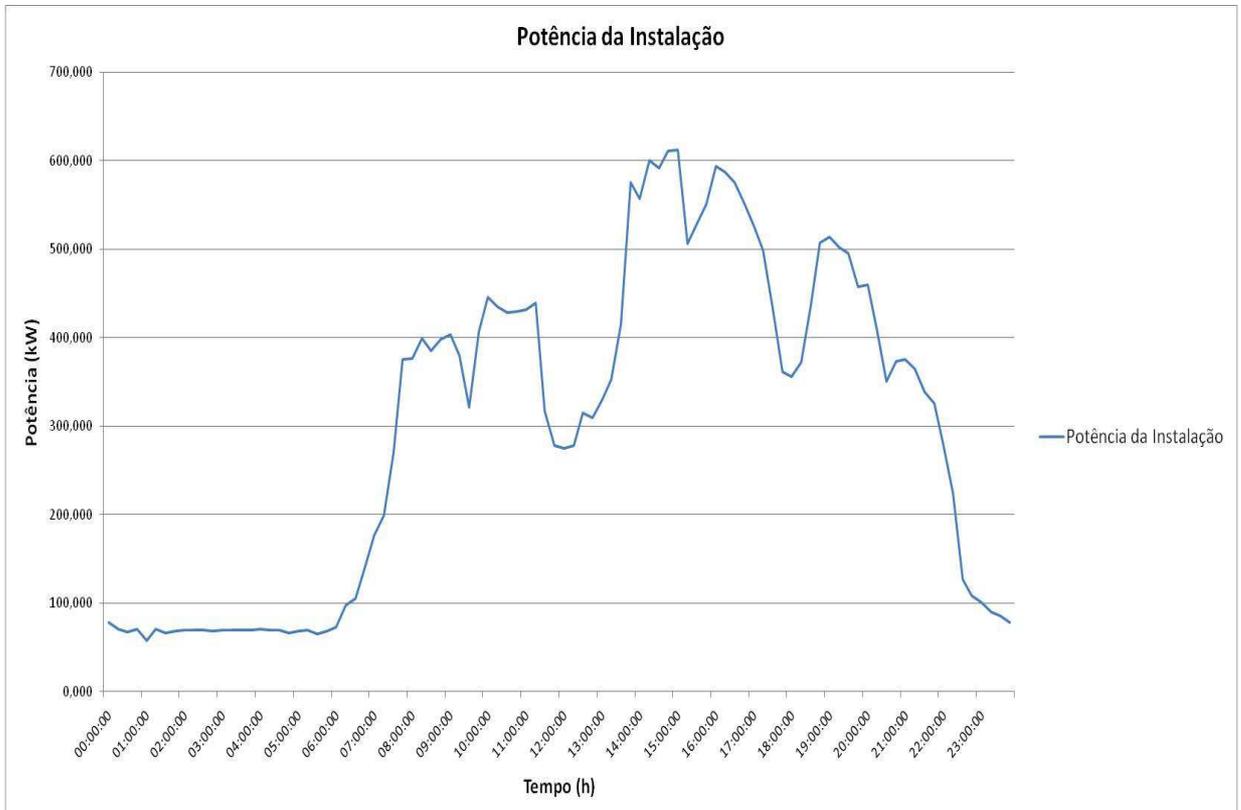
Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2018)

Figura 26 - Curva de Carga do dia 18/12/2017



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2018)

Figura 27 - Curva de Carga do dia 26/02/2018



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina (2018)

## 5.2 CONSIDERAÇÕES

Como já visto, foram realizados os levantamentos das curvas de carga do IFSC de 4 dias e também definido o modelo e versão do veículo a ser utilizado. Porém para a simulação e realização dos estudos de caso, algumas considerações foram realizadas, tais como:

- O tipo de recarga utilizado nos Estudos de Caso foi a Recarga Rápida;
- Para as simulações foi desconsiderado o comportamento real de recarga da bateria. Presumindo, portanto, que o carregamento ocorre de forma "flat" até 90% da SoC, com uma potência máxima de 24 kW no carregamento;
- A descarga de potência à rede pode ser variável e gerenciável desde que não ultrapasse a potência máxima do carregador, que é limitada a 24 kW;
- O tempo máximo de descarga é de 1 hora, sendo que a bateria pode descarregar até atingir, no máximo, 50% da SoC;
- Baseado na distância média percorrida pelo autor até sua chegada ao IFSC, determinou-se assim que cada veículo percorrerá 34,5 km. A frota será composta por 24 veículos Nissan Leaf, versão 2010;
- As curvas de carga da Instituição já consideram a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos;
- O proprietário do automóvel inicia o uso do veículo com uma SoC de 100% e, sem desviar da rota, ao chegar no IFSC conecta o veículo à rede;
- O principal objetivo desta simulação é abordar o comportamento da carga do IFSC, analisando o funcionamento do veículo como consumidor e também com o conceito V2G;
- Para as simulações foi determinado que os possíveis horários de chegada dos veículos ocorre entre as 7h00 e às 20h59, dividindo-os em 3 períodos;
- O primeiro período compreende os horários entre às 6h00 e 11h59, o segundo entre às 12h00 e às 17h59 e o último entre às 18h00 e às 20h59. Visto que o período da última aula se encerra às 22h30, desconsiderou-se chegadas após às 21h00.

### 5.2.1 Veículo na Recarga Lenta

De acordo com a Cavalcante (2018), assim como destacado na Tabela 5, a autonomia do Nissan Leaf (versão 2010) é de 100km no pior dos rendimentos, ou seja, o veículo com um SoC de 100% pode realizar um trajeto de 100km sem grandes problemas, e sua capacidade de armazenamento é de 24kWh. Isso implica que o veículo, em condições normais de direção, consegue realizar aproximadamente 4,167km/kWh. A nova versão do Nissan Leaf não foi analisada, mas possui, para fins comparativos, uma autonomia de 6,025 km/kWh.

Logo, para o desenvolvimento das simulações, o primeiro passo é realizar os cálculos conforme (2) e (3) para determinar do Estado de Carga (SoC) da bateria quando o veículo se conecta à rede do Instituto. Como já mencionado, os veículos percorrem uma distância média de 34,5km, logo:

$$E_{cb} = \frac{\text{Distância Percorrida}}{\text{Consumo Médio de Carga}} \quad (2)$$

$$E_{cb} = \frac{34,5 \text{ (km)}}{4,167 \left(\frac{\text{km}}{\text{kWh}}\right)} = 8,280 \text{ kWh}$$

$$SoC_c = \frac{\text{Capacidade da Bateria} - E_{cb}}{\text{Capacidade da Bateria}} \quad (3)$$

$$SoC_c = \frac{24 \text{ kWh} - 8,280 \text{ kWh}}{24 \text{ kWh}} = 0,655 = 65,5\%$$

Sendo:

- $E_{cb}$  a energia consumida da bateria durante o trajeto do veículo;
- $SoC_c$  o Estado de Carga da bateria ao chegar no IFSC.

Encontrado o valor da SoC do Nissan Leaf ao chegar ao Instituto Federal, é possível descobrir o tempo necessário para a recarga total da bateria. Foi visto que

o veículo chega ao IFSC com uma carga de 65,5%, logo para atingir 100% do SoC da bateria com recarga lenta de 3,6 kW, é necessário o tempo representado em (4).

$$T_{rl} = \frac{E_{cb}}{\text{Potência de Carregamento Lento}} \quad (4)$$

$$T_{rb} = \frac{8,280 \text{ kWh}}{3,6 \text{ kW}} = 2,3 \text{ h} = 2\text{h}18\text{min} \cong 2\text{h}15\text{min}$$

Os cálculos desenvolvidos nesta seção são apenas para efeitos ilustrativos e comparativos, visto que para o desenvolvimento dos Estudos de Caso será aplicada a Recarga do tipo Rápida.

### 5.2.2 Veículo na Recarga Rápida

Na Recarga Rápida, a energia injetada na bateria depende da capacidade do carregador e da capacidade de armazenamento da própria bateria. Portanto, no presente trabalho, fica determinado que a potência injetada deve ser limitada a capacidade do carregador (24 kW) e a energia de carregamento não pode ultrapassar a capacidade da bateria (24 kWh).

Limitando estes parâmetros é possível verificar que o tempo de carregamento para atingir 90% da SoC é de 54 minutos como mostrado em (5), enquanto que a duração dos 10% restantes é de 15 minutos, como verificado na Figura 19. Totalizando, portanto, 69 minutos para o carregamento total da bateria.

Entretanto, ao fixar o tempo em 15 minutos para o carregamento dos 10% finais, a potência média de entrada se altera assim como é mostrado em (6).

$$Cb \times SoC = Pot \times T$$

$$24 \text{ kWh} \times 90\% = 24 \text{ kW} \times T \quad (5)$$

$$T = 0,9\text{h} = 54 \text{ min}$$

$$Cb \times SoC = Pot \times T$$

$$24 kWh \times 10\% = Pot \times 0,25h \quad (6)$$

$$Pot = 9,6 kW$$

Sendo:

- $Cb$  = Capacidade da Bateria;
- $T$  = Tempo de Recarga;
- $Pot$  = Potência Injetada na Bateria (24kWh)
- $SoC$  = Percentual de Carregamento/Descarregamento desejado.

Como os veículos conectam à rede do instituto com 65,5% de SoC, o tempo de carregamento se altera. O cálculo para carregar o veículo de 65,5% à 100% é descrito em (7) e (8).

$$T1 = (SoC_{Limite} - SoC_{Chegada}) \times 60 min \quad (7)$$

$$T1 = (90\% - 65,5\%) \times 60 min = 14,7min \cong 15 min$$

$$T_t \cong T1 + T_2 = 15 min + 15 min = 30 min \quad (8)$$

Sendo:

- $T1$  = Tempo de recarga de 65,5% à 90% da SoC;
- $T2$  = Tempo de recarga dos 10% finais da SoC;
- $T_t$  = Tempo total de recarga.
- $SoC_{Limite}$  = É a SoC limite no carregamento Linear (90%);
- $SoC_{Chegada}$  = É a SoC com que os veículos chegam ao IFSC (65,5%).

### 5.2.3 Veículo como Gerador

Foram listados abaixo, dois casos existentes que podem ocorrer nesta análise.

### 5.2.3.1 V2G

Neste primeiro caso é considerado que os usuários, ao conectarem seus veículos elétricos na rede do IFSC com um estado de carga de 65,5%, "optaram" por não recarregar suas baterias. Logo, sem que ocorra grandes problemas, é possível utilizar os veículos elétricos como geradores, descarregando sua bateria até a SoC reduzir à 50%.

Portanto, é necessário verificar o quanto de energia será "gerada" e o tempo em que essa energia será injetada à rede. Diante disso, o resultado está demonstrado em (9):

$$\begin{aligned}
 Egb_{50} &= SoC_g \times \text{Capacidade da Bateria} \\
 Egb_{50} &= 15,5\% \times 24 \text{ kWh} \\
 Egb_{50} &= 3,720 \text{ kWh}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Sendo:

- $Egb_{50}$  a energia gerada pela bateria até atingir 50% da SoC;
- $SoC_g$  é o quanto o Estado de Carga da bateria deve reduzir até atingir 50%.
  - $SoC_g = SoC_{CHEGADA} - SoC_{Limite\ Min} = 65,5\% - 50\% = 15,5\%$ .

Encontrado o valor da energia a ser injetada pelos veículos, resta agora descobrir o tempo necessário para a descarga da bateria. Como visto que o veículo descarrega 15,5% da SoC da bateria, necessitando de um tempo de 9 minutos, como apresentado em (10).

$$\begin{aligned}
 T_{gb} &= \frac{Egb}{\text{Potência máxima do Carregador}} \\
 T_{gb} &= \frac{3,720 \text{ kWh}}{24 \text{ kW}} = 0,155 \text{ h} = 9 \text{ min}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

No entanto, como já mencionado, o tempo de descarga ( $T_{gb}$ ) foi estabelecido como sendo de 1 hora. Neste contexto, o limite de descarga do carregador deve ser reduzido à 3,720 kW assim como mostrado em (11).

$$T_{gb} = \frac{E_{gb}}{\text{Potência máxima do Carregador}} \quad (11)$$

$$\text{Potência máxima no Carregador} = \frac{3,720 \text{ kWh}}{1 \text{ h}} = 3,720 \text{ kW}$$

### 5.2.3.2 V2G - G2V em estacionamento Inteligente

Já para o segundo caso é considerado que conforme os veículos chegam na instituição e se conectam à rede, sua bateria vai recarregando normalmente até atingir 100%.

Porém, nos períodos em que ocorrem os picos, os veículos podem ser utilizados como geradores, descarregando até atingir, no máximo, 50% da SoC com a finalidade de diminuir a potência elevada nestes horários .

Portanto, assim como desenvolvido em (12), foi verificado o quanto de potência que será injetada à rede, no período de 1 hora, considerando a disponibilidade de uso de 50% da SoC.

$$P_c = \frac{SoC_g \times \text{Capacidade da Bateria}}{T_{gb}}$$

$$E_{gb} = \frac{50\% \times 24 \text{ kWh}}{1 \text{ h}} \quad (12)$$

$$E_{gb} = 12 \text{ kW}$$

Definidas as premissas é possível dar início às simulações das curvas de carga.

### 5.3 ESTUDO DE CASO 1

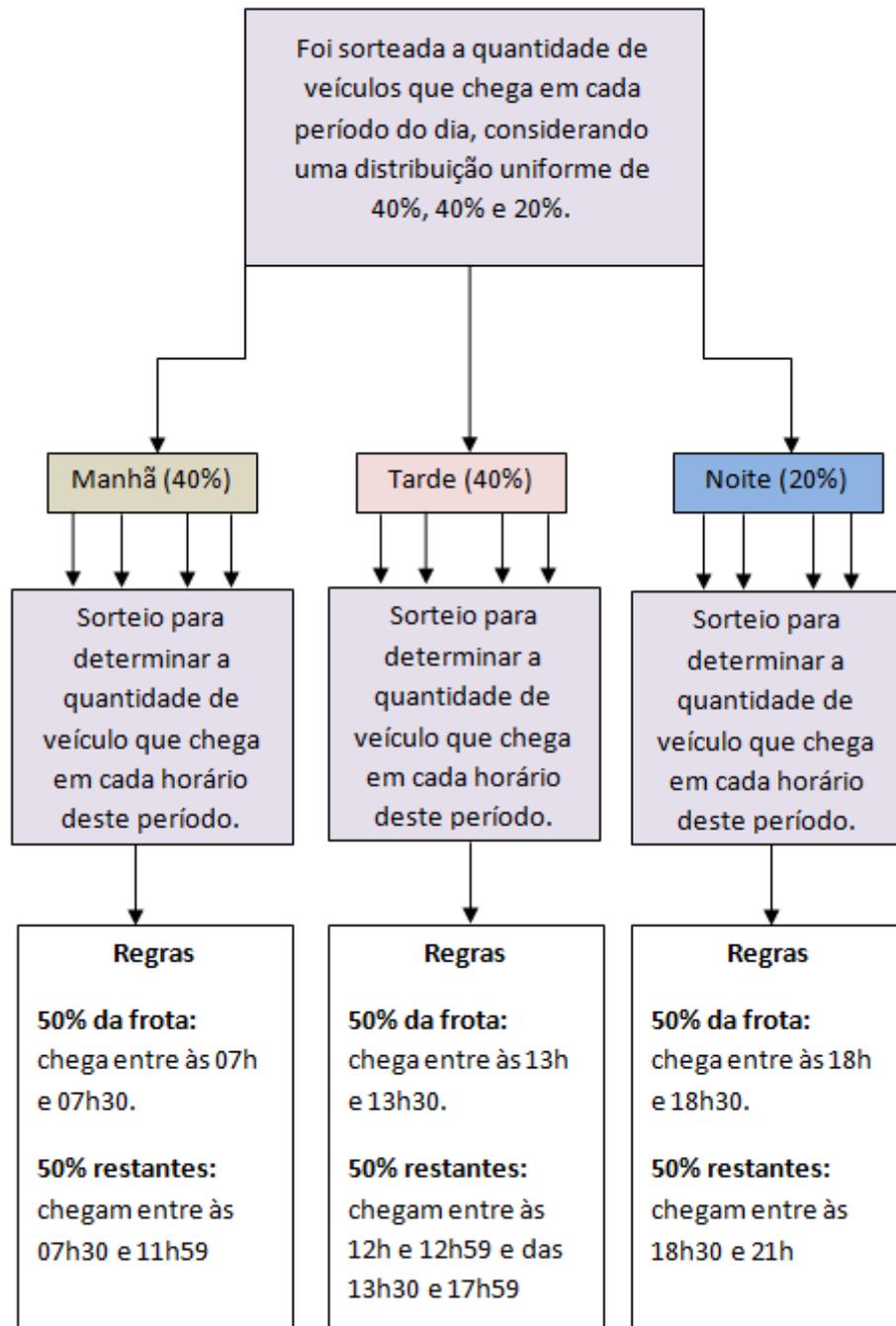
O Estudo de Caso 1 consiste na verificação do comportamento da curva de Carga do IFSC conectando os VE's só como geradores ou só como carga, comparando as mudanças gráficas e os resultados obtidos.

Para que os veículos chegassem de forma aleatória, foram realizados sorteios estimando a quantidade de automóveis que comparecem no IFSC em cada período do dia: manhã, tarde e noite. Com exceção do Dia 1, onde ficou determinado que a quantidade de veículos seria igual em todos os períodos.

Determinado o número de veículos em cada período foi realizado um novo sorteio em, pelo menos, dois dos dias analisados a fim de verificar a quantidade de veículos que chegaria a cada quarto de hora. Os dias escolhidos para realizar esse sorteio são os dias 1 e 4.

Na Figura 28 é destacado o fluxograma ilustrando as regras determinadas.

Figura 28 - Fluxograma das Regras de Sorteio



Fonte: Elaboração Própria

### 5.3.1 DIA 1 - 21/06/2017

Para esta análise é considerado o mesmo número de veículos nos três períodos, assim como é mostrado na Tabela 6. Porém, como já especificado, é realizado outro sorteio para determinar o número de veículos que chegam entre as horas compreendidas em cada intervalo, como ilustrado na Tabela 7.

Tabela 6 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 1

Intervalo de Chegada	Número de veículos	Probabilidade de Chegada
Manhã	8	33%
Tarde	8	33%
Noite	8	33%

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 7 - Chegada dos Veículos nos horários do Dia 1

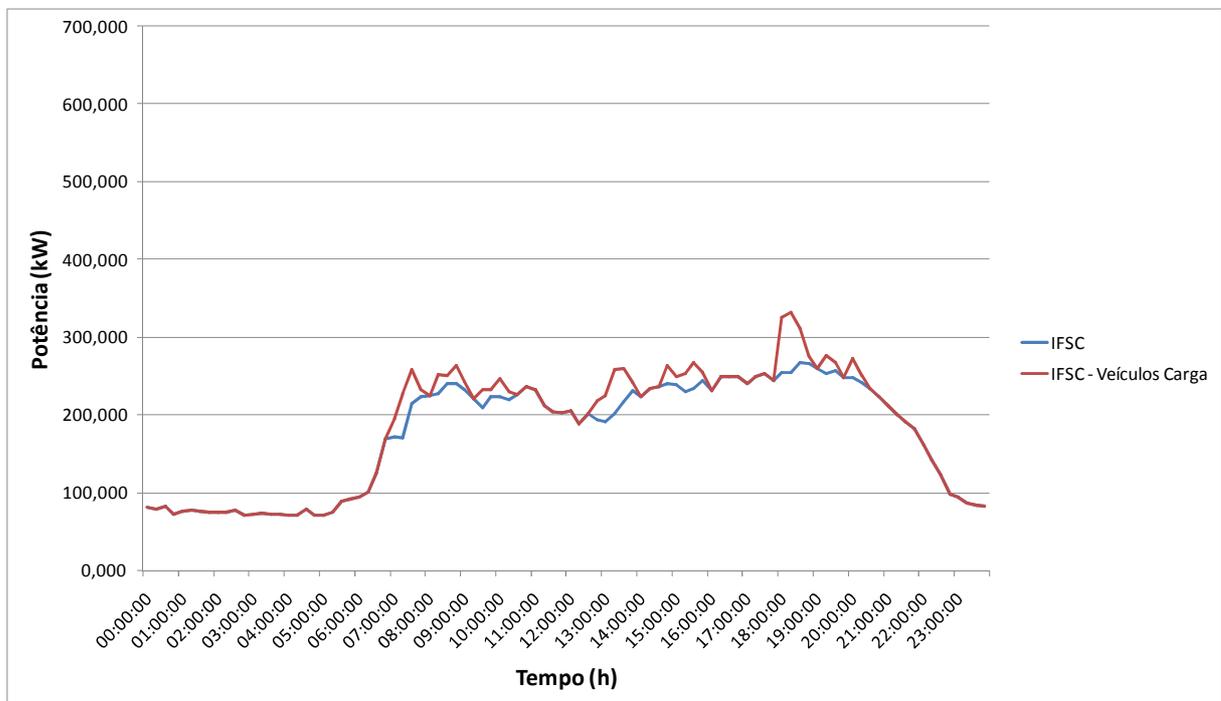
Horário de Chegada 6h-11h	Número de veículos	Probabilidade de Chegada	Horário de Chegada 12h-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chegada	Horário de Chegada 12h-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chegada
06:00:00	0	0%	12:00:00	0	0%	18:00:00	3	39%
06:15:00	0	0%	12:15:00	0	0%	18:15:00	2	26%
06:30:00	0	0%	12:30:00	0	0%	18:30:00	1	13%
06:45:00	0	0%	12:45:00	1	13%	18:45:00	0	0%
07:00:00	1	13%	13:00:00	1	13%	19:00:00	0	0%
07:15:00	2	26%	13:15:00	2	26%	19:15:00	1	13%
07:30:00	1	13%	13:30:00	1	13%	19:30:00	0	0%
07:45:00	0	0%	13:45:00	0	0%	19:45:00	0	0%
08:00:00	0	0%	14:00:00	0	0%	20:00:00	1	13%
08:15:00	1	13%	14:15:00	0	0%	20:15:00	0	0%
08:30:00	0	0%	14:30:00	0	0%	20:30:00	0	0%
08:45:00	1	13%	14:45:00	1	13%	20:45:00	0	0%
09:00:00	0	0%	15:00:00	0	0%	21:00:00	0	0%
09:15:00	0	0%	15:15:00	1	13%			
09:30:00	1	13%	15:30:00	1	13%			
09:45:00	0	0%	15:45:00	0	0%			
10:00:00	1	13%	16:00:00	0	0%			
10:15:00	0	0%	16:15:00	0	0%			
10:30:00	0	0%	16:30:00	0	0%			
10:45:00	0	0%	16:45:00	0	0%			
11:00:00	0	0%	17:00:00	0	0%			
11:15:00	0	0%	17:15:00	0	0%			
11:30:00	0	0%	17:30:00	0	0%			
11:45:00	0	0%	17:45:00	0	0%			

Fonte: Elaboração Própria.

### 5.3.1.1 Veículos como Carga

Neste primeiro momento os veículos que foram conectados à rede da instituição, apenas recarregaram a bateria até atingir 100% de sua capacidade máxima. Essa análise tem por objetivo verificar o comportamento da curva de carga do IFSC com o carregamento dos veículos em recarga rápida. O resultado da simulação está apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Consumo da Instalação com a adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 21/06/2017



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

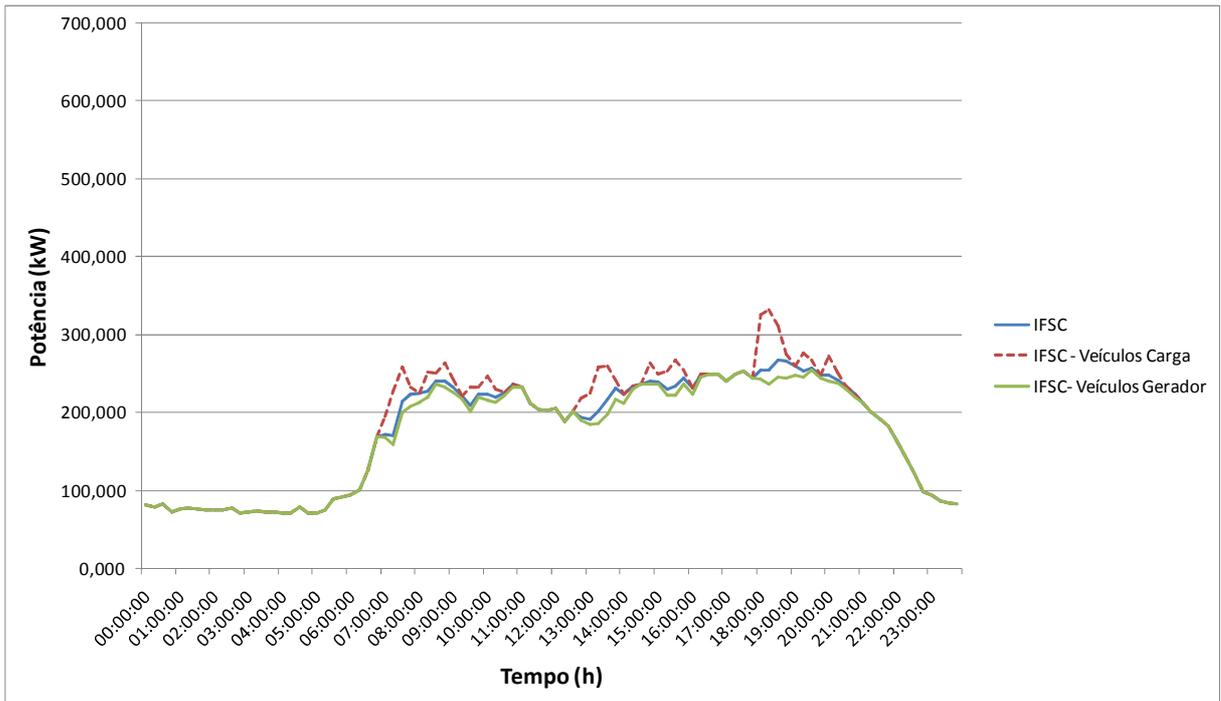
### 5.3.1.2 Veículos como Gerador

Com o embasamento nas Tabela 6 e Tabela 7 foi possível analisar o comportamento da curva de carga do IFSC utilizando os veículos como "geradores".

Nesta análise os veículos foram conectados à rede da instituição com a SoC de 65,5% e, sem haver o abastecimento do automóvel, descarregam sua energia até atingir 50% da capacidade máxima da bateria.

O resultado referente ao dia em questão está ilustrado na Figura 30, onde é destacada a comparação da curva de carga do Instituto Federal sem a conexão elétrica dos veículos, a curva de carga com o carregamento rápido e com a aplicação V2G.

Figura 30 - Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 21/06/2017



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.3.2 DIA 2 - 05/07/2017

Para a segunda análise foram sorteados os números de veículo que chegam em cada um dos períodos, como está destacado na Tabela 8. Porém foi considerado que todos chegaram e conectaram os veículos ao mesmo tempo, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 8 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 2

Intervalo de Chegada	Número de veículos	Probabilidade de Chagada
Manhã	10	42%
Tarde	12	54%
Noite	2	4%

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 9 - Chegada dos Veículos nos Horários do Dia 2

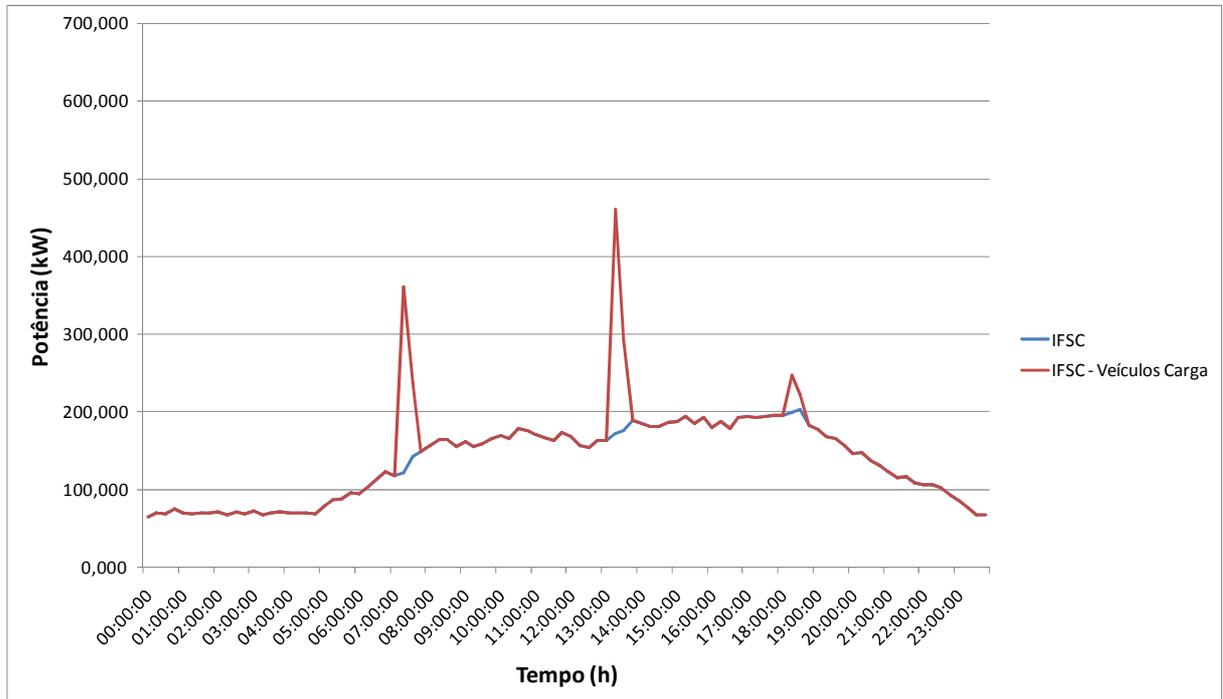
Horário de Chegada 6h-11h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada	Horário de Chegada 12h-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada	Horário de Chegada 12h-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada
06:00:00	0	0%	12:00:00	0	0%	18:00:00	0	0%
06:15:00	0	0%	12:15:00	0	0%	18:15:00	2	100%
06:30:00	0	0%	12:30:00	0	0%	18:30:00	0	0%
06:45:00	0	0%	12:45:00	0	0%	18:45:00	0	0%
07:00:00	0	0%	13:00:00	0	0%	19:00:00	0	0%
07:15:00	10	100%	13:15:00	12	100%	19:15:00	0	0%
07:30:00	0	0%	13:30:00	0	0%	19:30:00	0	0%
07:45:00	0	0%	13:45:00	0	0%	19:45:00	0	0%
08:00:00	0	0%	14:00:00	0	0%	20:00:00	0	0%
08:15:00	0	0%	14:15:00	0	0%	20:15:00	0	0%
08:30:00	0	0%	14:30:00	0	0%	20:30:00	0	0%
08:45:00	0	0%	14:45:00	0	0%	20:45:00	0	0%
09:00:00	0	0%	15:00:00	0	0%	21:00:00	0	0%
09:15:00	0	0%	15:15:00	0	0%			
09:30:00	0	0%	15:30:00	0	0%			
09:45:00	0	0%	15:45:00	0	0%			
10:00:00	0	0%	16:00:00	0	0%			
10:15:00	0	0%	16:15:00	0	0%			
10:30:00	0	0%	16:30:00	0	0%			
10:45:00	0	0%	16:45:00	0	0%			
11:00:00	0	0%	17:00:00	0	0%			
11:15:00	0	0%	17:15:00	0	0%			
11:30:00	0	0%	17:30:00	0	0%			
11:45:00	0	0%	17:45:00	0	0%			

Fonte: Elaboração Própria.

### 5.3.2.1 Veículos como Carga

Como já mencionado anteriormente, nesta análise os veículos somente recarregam a bateria até a SoC atingir 100%. O resultado deste estudo está disponível na Figura 31.

Figura 31 - Consumo da Instalação com adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 05/07/2017



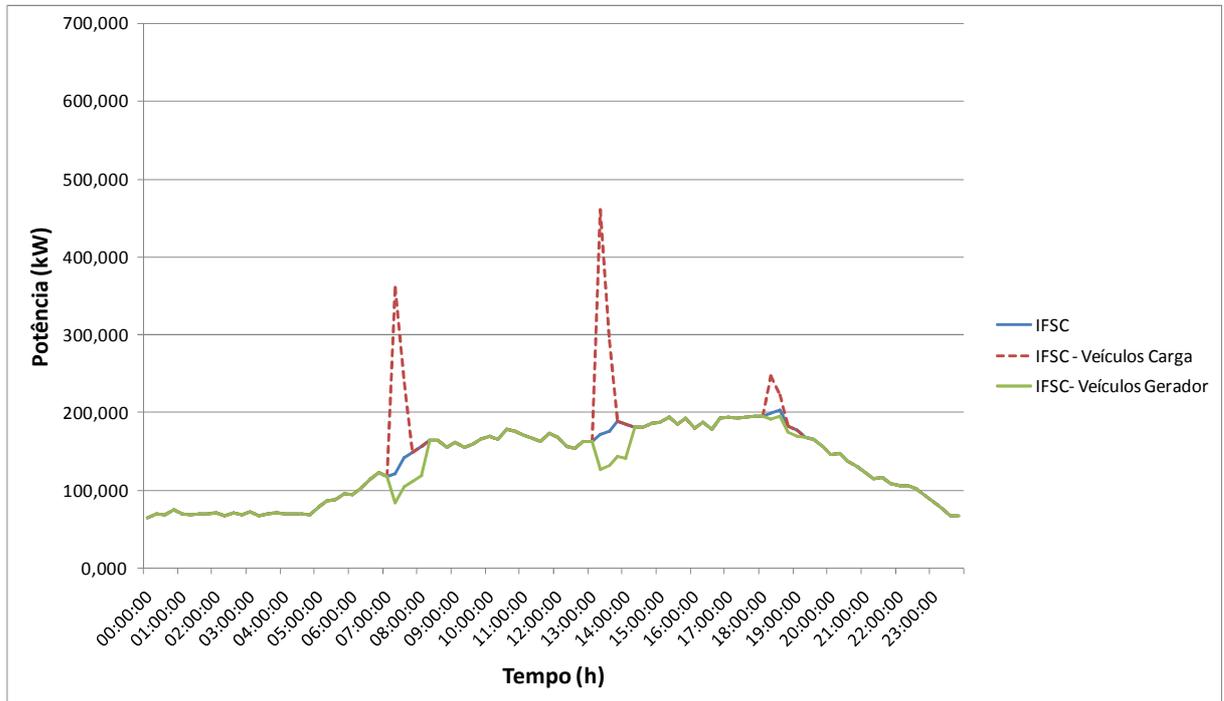
Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.3.2.2 Veículos como Gerador

Os veículos conectados à rede da instituição apenas descarregam sua energia até atingir 50% da capacidade máxima da bateria a partir do Estado de Carga em que chegaram ao IFSC, que é de 65,5%.

O Resultado está disponível na Figura 32, que leva em consideração a curva de carga real da instituição, a curva de carga com o carregamento em Recarga Rápida e com a aplicação V2G.

Figura 32 - Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 05/07/2017



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.3.3 DIA 3 - 18/12/2017

Nessa simulação foram sorteados os números de veículo que chegam em cada um dos períodos, como está destacado na Tabela 10, porém considerando que todos se conectam à rede ao mesmo tempo, assim como mostrado na Tabela 11.

Tabela 10 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 3

Intervalo de Chegada	Número de veículos	Probabilidade de Chagada
Manhã	10	38%
Tarde	14	63%
Noite	0	0%

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 11 - Chegada dos Veículos nos Horários do Dia 3

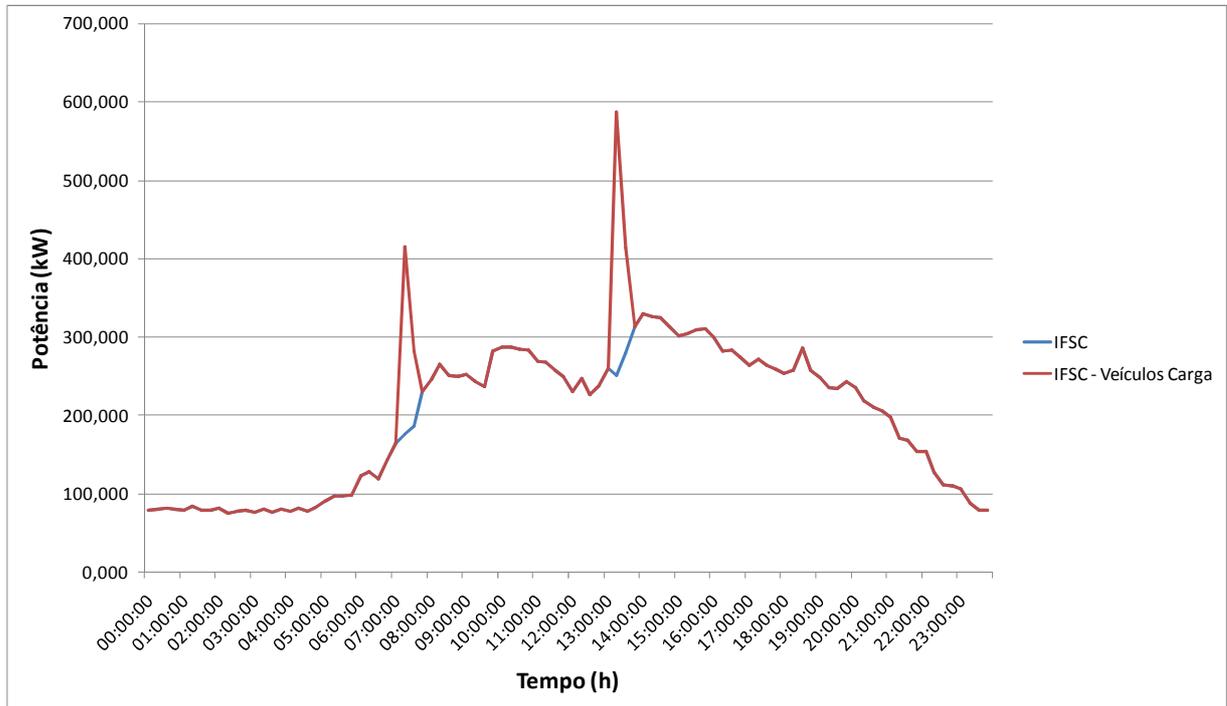
Horário de Chegada 6h-11h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada	Horário de Chegada 12h-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada	Horário de Chegada 12h-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada
06:00:00	0	0%	12:00:00	0	0%	18:00:00	0	0%
06:15:00	0	0%	12:15:00	0	0%	18:15:00	0	0%
06:30:00	0	0%	12:30:00	0	0%	18:30:00	0	0%
06:45:00	0	0%	12:45:00	0	0%	18:45:00	0	0%
07:00:00	0	0%	13:00:00	0	0%	19:00:00	0	0%
07:15:00	10	100%	13:15:00	14	100%	19:15:00	0	0%
07:30:00	0	0%	13:30:00	0	0%	19:30:00	0	0%
07:45:00	0	0%	13:45:00	0	0%	19:45:00	0	0%
08:00:00	0	0%	14:00:00	0	0%	20:00:00	0	0%
08:15:00	0	0%	14:15:00	0	0%	20:15:00	0	0%
08:30:00	0	0%	14:30:00	0	0%	20:30:00	0	0%
08:45:00	0	0%	14:45:00	0	0%	20:45:00	0	0%
09:00:00	0	0%	15:00:00	0	0%	21:00:00	0	0%
09:15:00	0	0%	15:15:00	0	0%			
09:30:00	0	0%	15:30:00	0	0%			
09:45:00	0	0%	15:45:00	0	0%			
10:00:00	0	0%	16:00:00	0	0%			
10:15:00	0	0%	16:15:00	0	0%			
10:30:00	0	0%	16:30:00	0	0%			
10:45:00	0	0%	16:45:00	0	0%			
11:00:00	0	0%	17:00:00	0	0%			
11:15:00	0	0%	17:15:00	0	0%			
11:30:00	0	0%	17:30:00	0	0%			
11:45:00	0	0%	17:45:00	0	0%			

Fonte: Elaboração Própria.

### 5.3.3.1 Veículos como Carga

Essa análise considera somente que os veículos recarregam a bateria até a SoC atingir 100% em recarga rápida. O gráfico deste estudo está ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Consumo da Instalação com a adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 18/12/2017



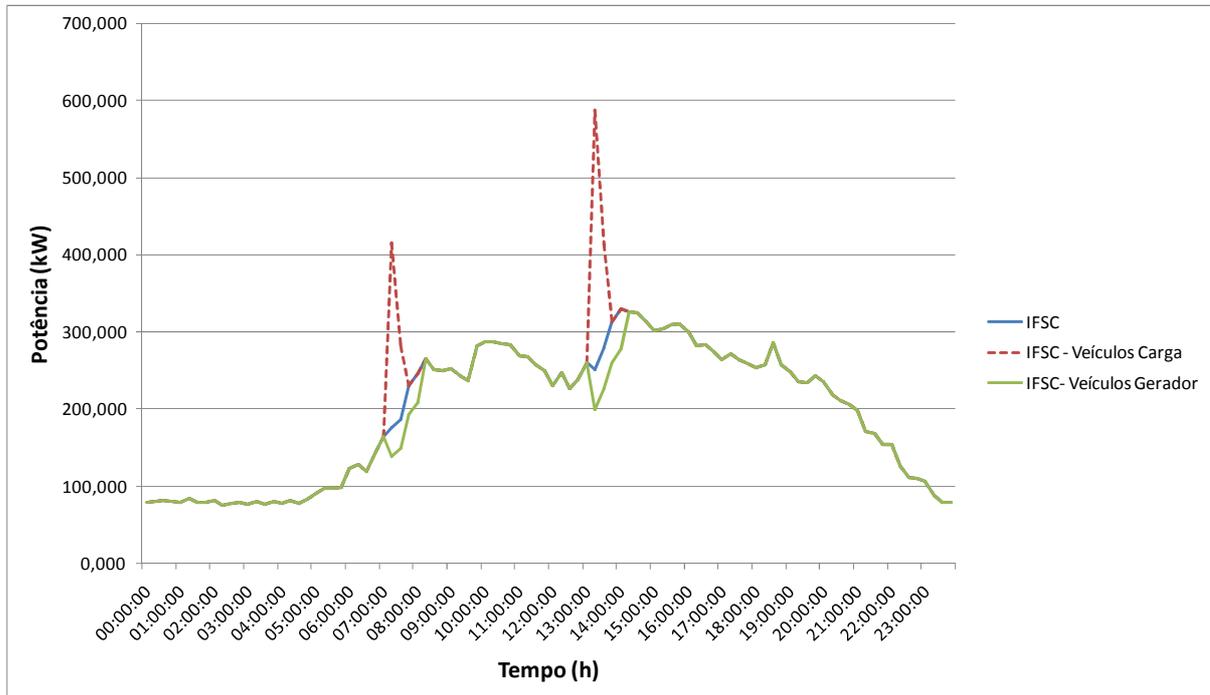
Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.3.3.2 Veículos como Gerador

Os veículos conectados à rede da instituição, apenas descarregam sua energia até atingir 50% da capacidade máxima da bateria, a partir do Estado de Carga em que chegaram ao IFSC que é de 65,5%.

O Resultado está disponível na Figura 34 que leva em consideração a curva de carga real da instituição, a curva de carga com o carregamento em Recarga Rápida e com a aplicação V2G.

Figura 34- Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 18/12/2017



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.3.4 DIA 4 - 26/02/2018

Nesta simulação foram sorteados tanto o número de veículos que chegam nos períodos, quanto nas horas que o compreendem, representados respectivamente na Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 12 - Chegada dos Veículos nos Períodos do Dia 4

Intervalo de Chegada	Número de veículos	Probabilidade de Chagada
Manhã	10	42%
Tarde	10	42%
Noite	4	17%

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 13 - Chegada dos Veículos nos Horários do Dia 4

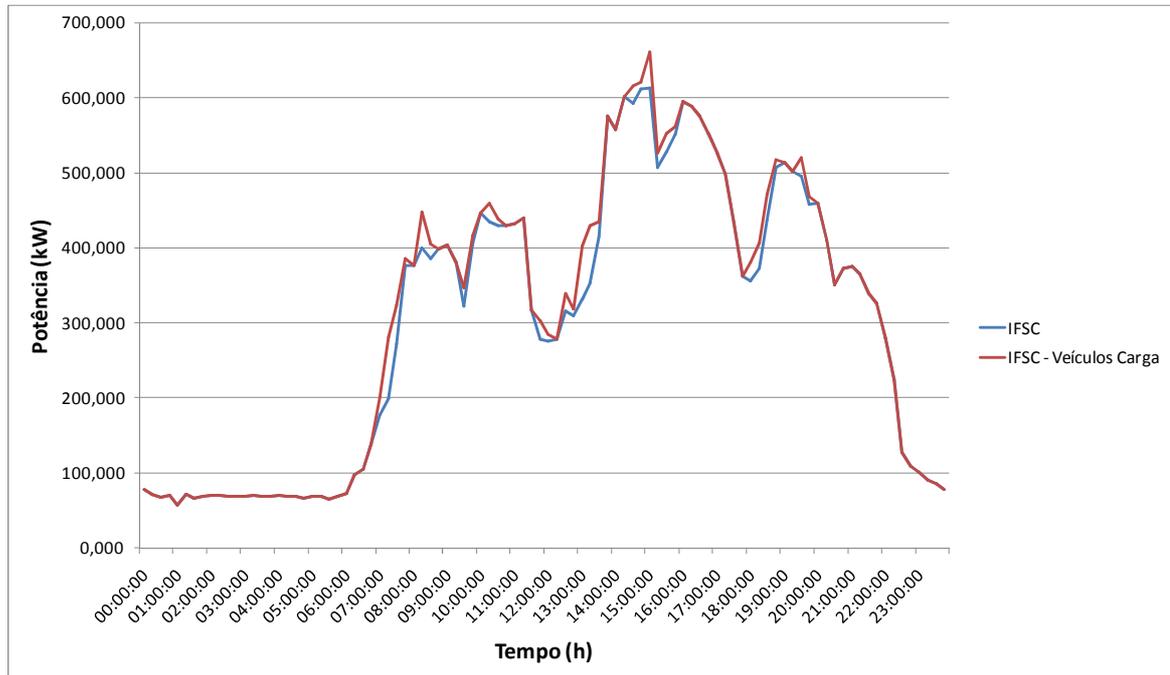
Horário de Chegada 6-11h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada	Horário de Chegada 12-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada	Horário de Chegada 12-17h	Número de veículos	Probabilidade de Chagada
06:00:00	0	0%	12:00:00	0	0%	18:00:00	1	25%
06:15:00	0	0%	12:15:00	0	0%	18:15:00	1	25%
06:30:00	0	0%	12:30:00	1	10%	18:30:00	1	25%
06:45:00	0	0%	12:45:00	0	0%	18:45:00	0	0%
07:00:00	1	10%	13:00:00	3	30%	19:00:00	0	0%
07:15:00	3	30%	13:15:00	2	20%	19:15:00	0	0%
07:30:00	1	10%	13:30:00	0	0%	19:30:00	1	25%
07:45:00	0	0%	13:45:00	0	0%	19:45:00	0	0%
08:00:00	0	0%	14:00:00	0	0%	20:00:00	0	0%
08:15:00	2	20%	14:15:00	0	0%	20:15:00	0	0%
08:30:00	0	0%	14:30:00	1	10%	20:30:00	0	0%
08:45:00	0	0%	14:45:00	0	0%	20:45:00	0	0%
09:00:00	0	0%	15:00:00	2	20%	21:00:00	0	0%
09:15:00	0	0%	15:15:00	0	0%			
09:30:00	1	10%	15:30:00	1	10%			
09:45:00	0	0%	15:45:00	0	0%			
10:00:00	0	0%	16:00:00	0	0%			
10:15:00	1	10%	16:15:00	0	0%			
10:30:00	0	0%	16:30:00	0	0%			
10:45:00	0	0%	16:45:00	0	0%			
11:00:00	0	0%	17:00:00	0	0%			
11:15:00	0	0%	17:15:00	0	0%			
11:30:00	0	0%	17:30:00	0	0%			
11:45:00	1	10%	17:45:00	0	0%			

Fonte: Elaboração Própria.

#### 5.3.4.1 Veículos como Carga

Nessa análise os veículos realizam o carregamento da bateria até a SoC atingir 100%. O gráfico resultante deste estudo está ilustrado na Figura 35.

Figura 35 - Consumo da Instalação com a adição de Veículos em Recarga Rápida - Dia 26/02/2018



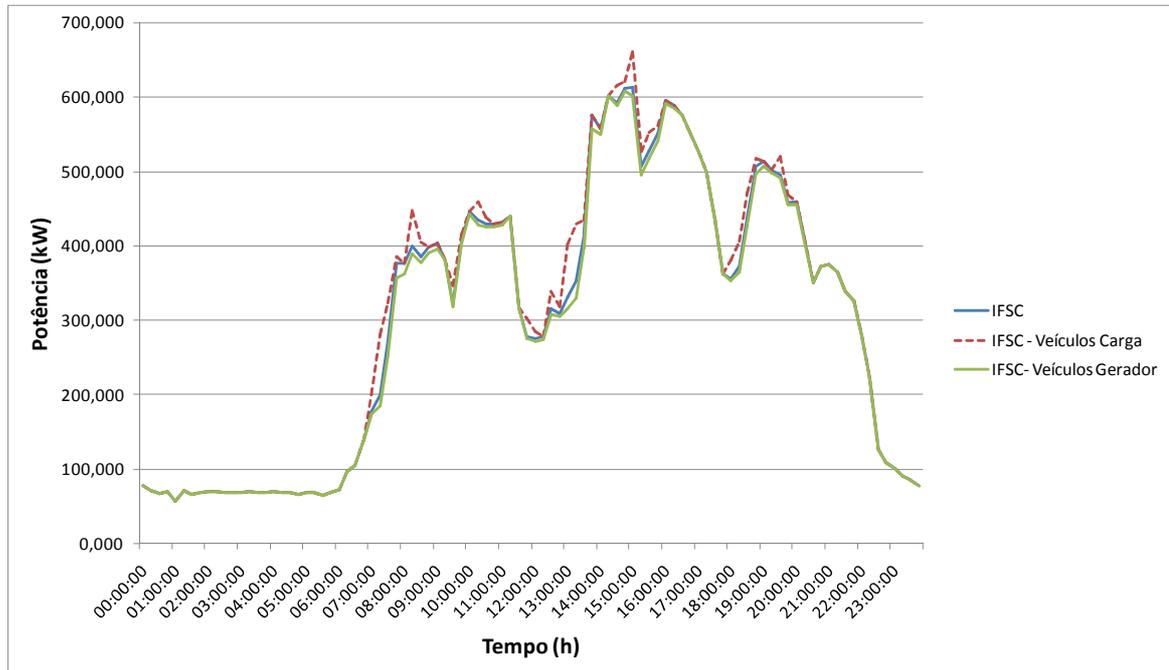
Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

#### 5.3.4.2 Veículos como Gerador

Os veículos conectados à rede da instituição, apenas descarregam sua energia até atingir 50% da capacidade máxima da bateria, a partir do Estado de Carga em que chegaram ao IFSC que é de 65,5%.

O resultado está disponível na Figura 36, que leva em consideração a curva de carga real da instituição, a curva de carga com o carregamento em Recarga Rápida e com a aplicação V2G.

Figura 36 - Consumo da Instalação com aplicação de Veículos em V2G e Recarga Rápida - Dia 26/02/2018



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.3.5 Análise

Observando os gráficos resultantes é possível concluir que o impacto no comportamento da curva de carga quando ocorre a aplicação do V2G, e portanto o veículo passa a ser gerador, depende da alocação do número de veículos nos períodos determinados.

Tomando como base a conexão dos veículos à rede do IFSC com 65,5% da SoC e a possibilidade de gerar energia até atingir 50%, a potência injetada à rede do IFSC é muito baixa.

É possível verificar este fato nas simulações referentes aos dias 1 e 4, quando os veículos chegam de forma mais dispersas e as curvas de carga apresentam uma queda suave. Enquanto que nos dias 2 e 3, quando os veículos se conectam todos ao mesmo tempo, é possível perceber que há a existência de "vales", onde ocorrem picos de redução na curva de carga da instituição. Nota-se também que, independente do dia, houve uma elevação da demanda, tanto no

horário de ponta, quanto no horário fora de ponta, o que poderia implicar em multa dependendo do valor contratado.

#### 5.4 ESTUDO DE CASO 2

Nesse Estudo de Caso é feita a verificação da Curva de Carga do IFSC, em relação aos horários de carregamento e descarregamento, com base em uma alocação inteligente dos veículos, elaborando um GLD baseado em regras. Nesta análise, os veículos são utilizados para o controle da Demanda e redução do Consumo Ponta.

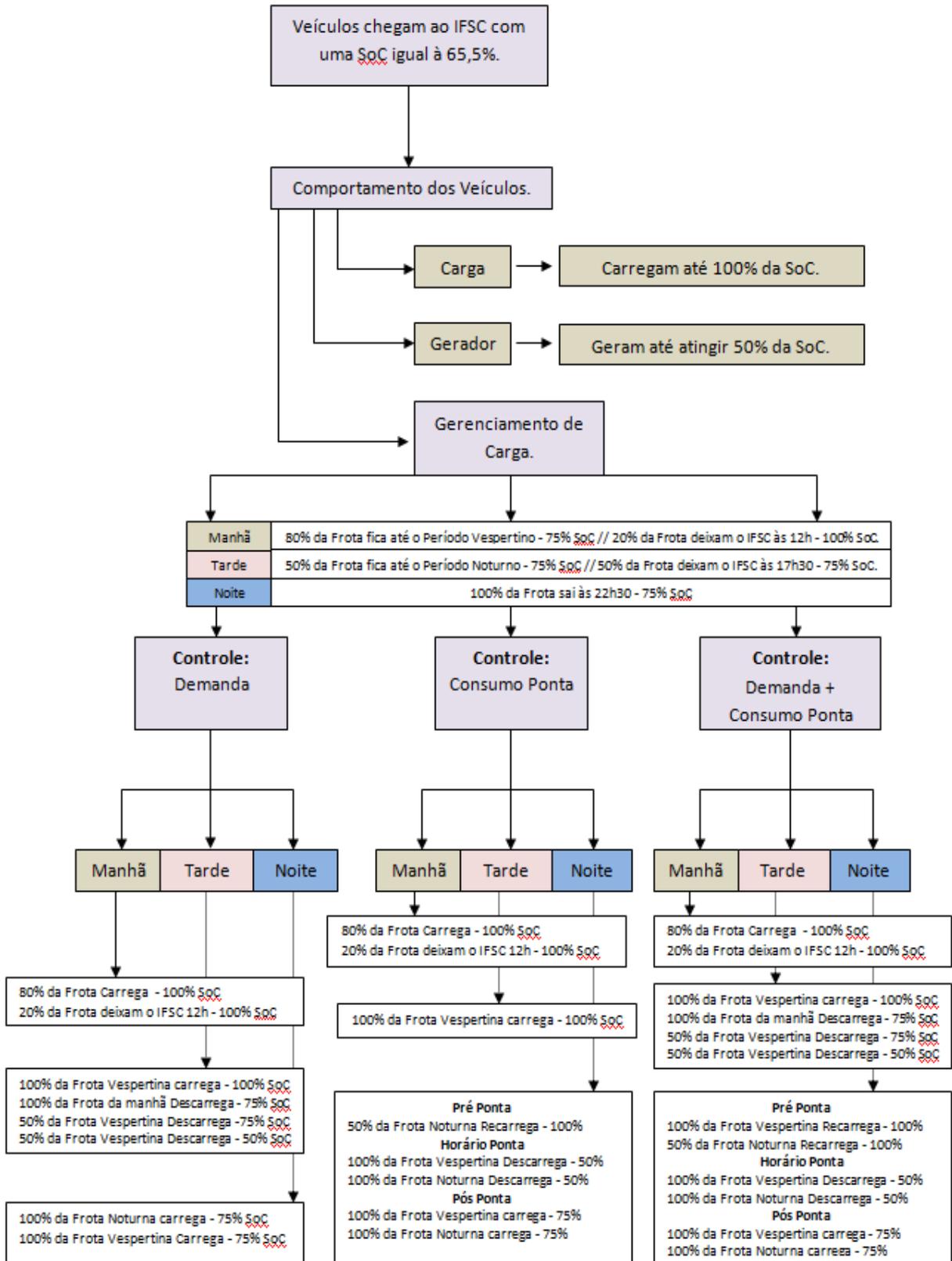
Para essa simulação julgou-se relevante o dia em que a demanda e o consumo se mostraram mais elevados. Logo, o 4º dia (26/02/2018) foi o que atingiu aos dois quesitos desejados.

As chegadas dos veículos do dia em questão, são as mesmas consideradas no Estudo de Caso 1, onde definiu-se, através de um sorteio, a quantidade de veículos que chega em cada período e em cada horário, assim como foi mostrado nas Tabela 12 e Tabela 13.

Lembrando que os veículos chegam com 65,5% de Estado de Carga e são carregados até atingir 100% da capacidade da bateria. Porém, é válido destacar que todos os veículos podem descarregar até atingir no máximo 50% da SoC.

Ainda, nesse estudo os automóveis serão descarregados e recarregados de acordo com a necessidade da instituição e respeitando as algumas regras, assim como é mostrado na Figura 37.

Figura 37 - Fluxograma das Regras de Gerenciamento



Fonte: Elaboração Própria.

Além de tudo, algumas observações que devem ser destacadas, tais como:

- ✓ Com base em (5) é possível observar que a duração da Recarga dos veículos que precisam carregar de 50% à 75% é de aproximadamente 15 minutos.
- ✓ Ainda, com base em (5), é possível descobrir a potência de descarga em cada um dos momentos em que o veículo se comporta como gerador. Abaixo estão listados os três tipos de ocasiões existentes.
  - Descarga de SoC 100% - 50%: 12 kW
  - Descarga de SoC 100% - 75%: 6 kW
  - Descarga de SoC 65,5% - 50%: 3,720 kW

#### **5.4.1 Controle da Demanda do IFSC**

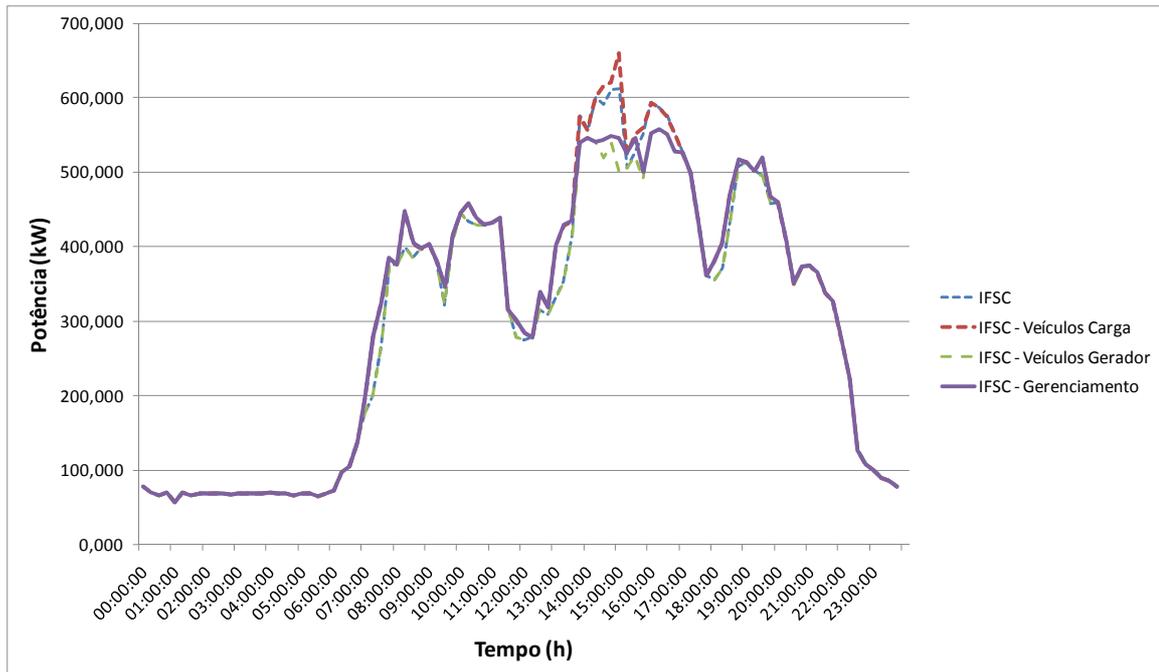
Nessa simulação cabe verificar o comportamento da curva de carga do Instituto Federal, com o intuito de reduzir somente os picos de demanda.

Em geral, essa potência elevada se compreende nos horários entre 13h30 e 17h45 se tornando um fator determinante para o contrato da demanda. Visto que o dia em questão é um dia típico de verão, equipamentos como condicionadores de ar, por exemplo, e a conexão dos próprios veículos elétricos impactam no aumento do consumo do IFSC que já é, por natureza, elevado.

Contudo, o controle da alta demanda do Instituto é e será um fator importante para a análise, principalmente, no que se diz respeito aos faturamentos da energia. Tais comprovações, serão descritas na próxima subseção.

Como premissa a ser seguida, foi atribuído que a demanda contratada com a conexão dos veículos fosse de 533 kW e a medida não devesse ultrapassar 560 kW (ultrapassagem máxima tolerada). O resultado obtido com a simulação está destacado na Figura 38, onde é possível verificar os grandes aumentos nos períodos da manhã e da noite, enquanto que no período da tarde a potência conseguiu ser controlada.

Figura 38 - Aplicação V2G para Controle de Demanda



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

#### 5.4.2 Controle do Consumo do IFSC no Período de Ponta

Nessa simulação o objetivo principal é a verificação do comportamento da curva de carga do IFSC, com o intuito de reduzir o consumo no período de ponta.

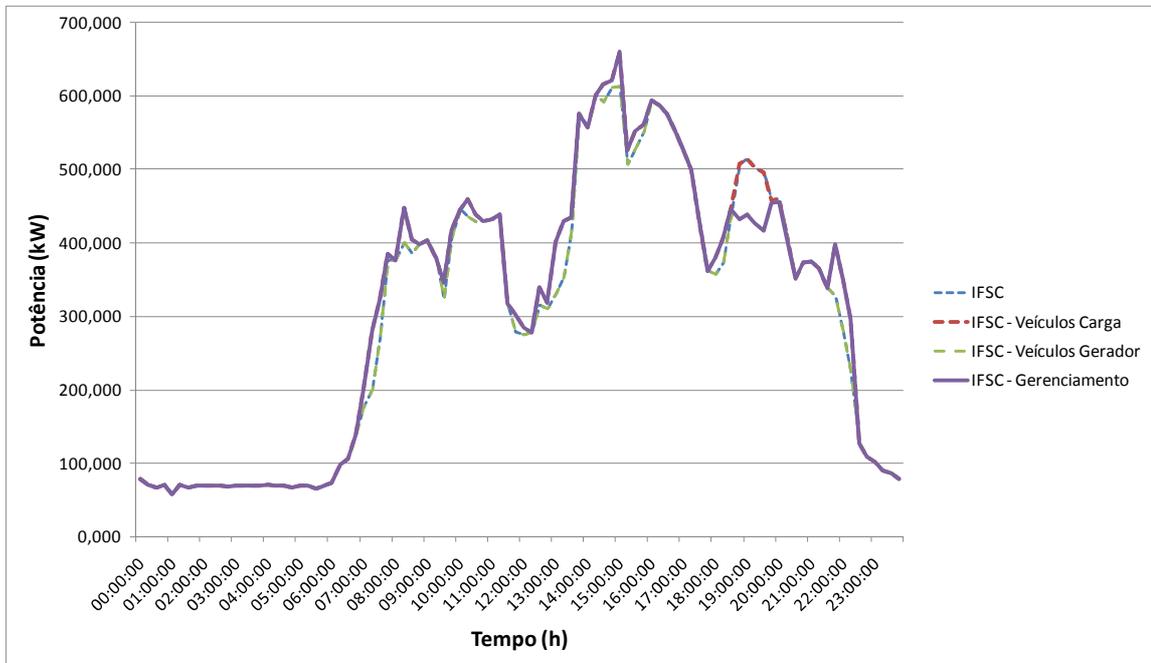
O Período de Ponta é um intervalo de 3 horas, diárias e consecutivas, onde existe o maior consumo de energia elétrica registrada pelas concessionárias de Energia. Normalmente, é um período em que boa parte do Comércio e Indústrias ainda está em funcionamento e a maioria das pessoas está em casa tomando banho e ligando seus aparelhos domésticos.

Esse intervalo é definido pela Distribuidora de Energia, sendo diferente para cada estado brasileiro. No caso do IFSC - Câmpus Florianópolis, por estar situado na capital de Santa Catarina, o Período de Ponta compreende os horários das 18h30 e 21h30 determinado pela Celesc Distribuição, que é a concessionária de energia da Região.

Como premissa determinou que o consumo total na ponta não deveria ultrapassar 1.210 kWh. O gráfico obtido está apresentado na Figura 39 onde é

possível perceber os graves aumentos de potência no período da manhã, tarde e ao final da noite. Enquanto que nas 3 horas de ponta, o consumo apresentou uma queda relevante.

Figura 39 - Aplicação V2G para Controle do Consumo na Ponta.



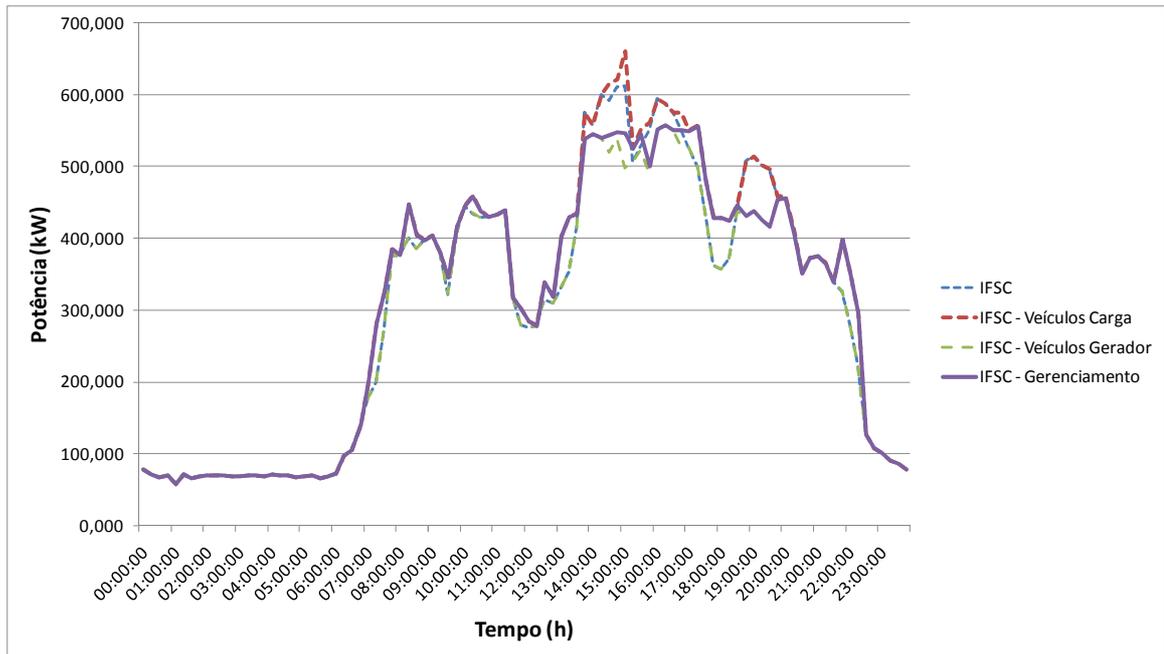
Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

### 5.4.3 Controle de Demanda e Consumo na Ponta

Cabe nessa simulação verificar o comportamento da curva de carga do IFSC, ao reduzir o Consumo da Ponta e a demanda da Instituição.

É possível perceber na Figura 40 que tanto a potência no período da tarde, quanto o consumo na Ponta houveram diminuição. Porém, para que esse controle tivesse sucesso, fez-se necessário conectar os veículos nos momentos em que a demanda de energia é mais baixa, geralmente na troca de turnos, visando promover a eficiência e diminuir os custos.

Figura 40 - Controle de Demanda e Consumo Ponta (26/02/2018)



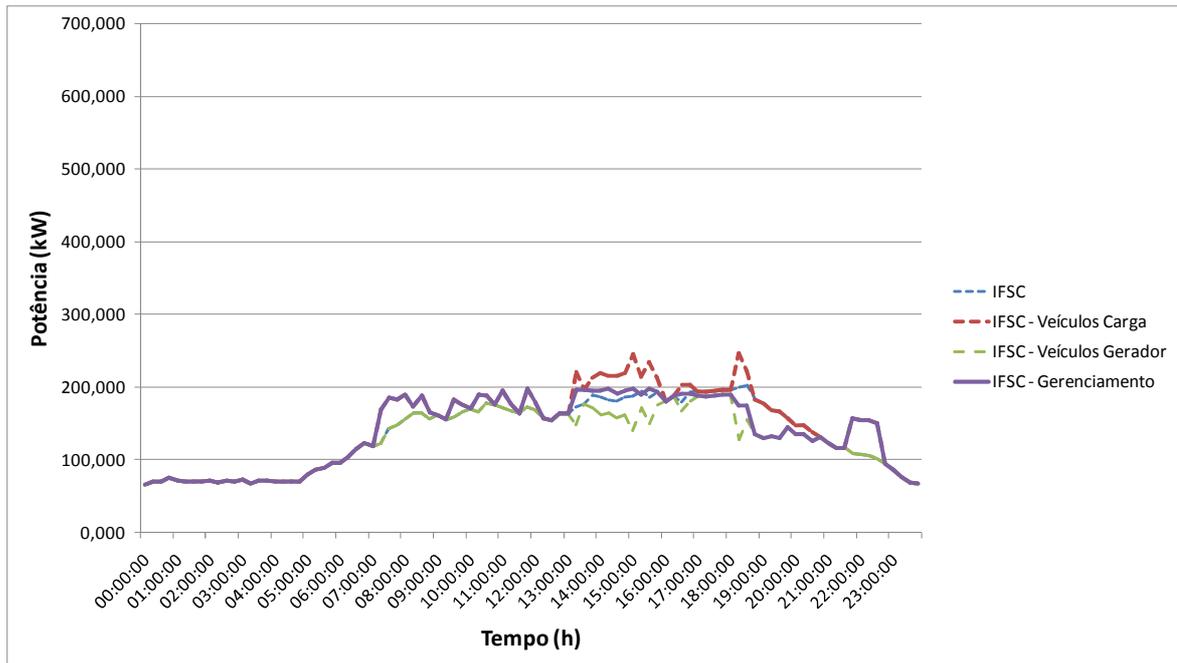
Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

Aplicando os mesmos princípios utilizados para curva de carga anterior, realizou-se o controle de demanda e consumo ponta para o dia em que houveram os menores registros. O Dia 2 (05/07/2017) é um dia típico de inverno e de vésperas de férias de julho, sendo utilizado como referência para comparar e ilustrar os perfis de consumo mais divergentes do Instituto.

A Figura 41, realça o comportamento da curva de carga do dia em questão. Para seu desenvolvimento, determinou que a Demanda Medida possua um valor de no máximo 205 kW e o consumo total na ponta não poderia ultrapassar 390 kWh. Como o IFSC não possui sazonalidade de demanda, atribuiu-se como demanda contratada o mesmo valor utilizado para o Dia 4 (533 kW).

Esse estudo mostra que o impacto de 24 veículos elétricos, mesmo em condições de baixo consumo, não seria capaz de exportar energia para rede da distribuidora. Portanto, não sendo afetado pelas regulamentações descritas na subseção 3.1.3.

Figura 41 - Controle de Demanda e Consumo Ponta (05/07/2017)



Fonte: Elaboração Própria baseada em Instituto Federal Santa Catarina (2018).

## 5.5 ESTUDO DE CASO 3

Por fim, o Estudo de Caso 3 se resume na verificação do faturamento, por parte do IFSC, com o gerenciamento de carga aplicando o V2G-G2V. O intuito dessa análise é determinar em qual modalidade tarifária melhor se enquadra a instituição, bem como as vantagens financeiras obtidas com a utilização dos veículos no controle de carga.

São comparados os resultados em cada modalidade tarifária para os seguintes casos: Consumo do IFSC sem a conexão dos veículos, Consumo do IFSC ao conectar os veículos como carga, Consumo do IFSC com a conexão dos veículos como geradores e Consumo do IFSC aplicando o gerenciamento com o V2G-G2V. Nesse estudo, o gerenciamento do veículo como carga e como gerador se dá por meio do GLD.

Para realizar o estudo, primeiramente fez-se o levantamento de demanda e consumo para cada um dos casos discutidos. Visto que nos dias em questão é possível estimar a Demanda Contratada, sem que haja qualquer

sobredimensionamento, evitando ultrapassagens das limitações elétricas e eventuais danos aos equipamentos, nem subdimensionamento evitando qualquer tipo de penalização por contratar abaixo do necessário.

Baseado nisso, a Tabela 14 apresenta as demandas e consumos, ponta e fora ponta, que serão tomados como base para o faturamento nos seus respectivos casos

Tabela 14 - Dados de Consumo e Demanda, ponta e fora ponta.

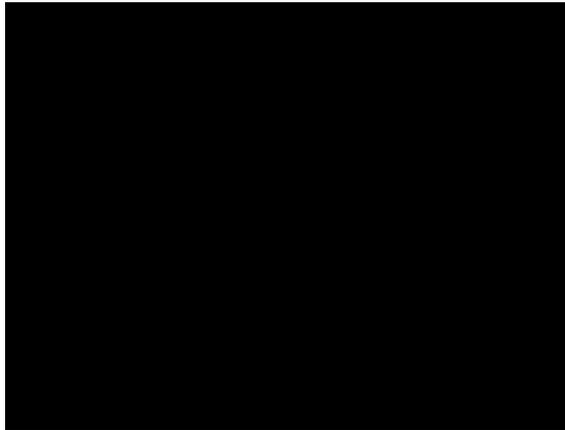
Casos		Medição			
		Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Demanda Ponta (kW)	Demanda Fora Ponta (kW)
Dia 2 (05/07/2017)	IFSC	464,223	2760,980	182,866	202,938
	IFSC - Veículos Carga	469,023	3005,780	182,866	247,053
	IFSC - Veículos Gerador	398,223	2664,980	145,205	189,765
	IFSC -Gerenciamento	403,023	2909,780	145,205	197,623
Dia 4 (26/02/2018)	IFSC	1312,293	5849,683	513,990	612,510
	IFSC - Veículos Carga	1314,693	6158,083	513,990	660,510
	IFSC - Veículos Gerador	1232,853	5711,683	455,800	557,870
	IFSC -Gerenciamento	1235,253	6020,083	455,800	557,870

Fonte: Elaboração Própria.

Para evitar que seja cobrada multas por ultrapassagem de demanda, foi considerado o uso da própria demanda medida, nos casos em que esta apresentou-se superior à 5% da demanda contratada. Foi considerado que o IFSC apresenta uma demanda contratada de 550 kW (portanto o tolerável é até 577,5 kW), enquanto que para o controle de carga a demanda contratada passou a ser de 533 kW (sendo o tolerável de 560 kW).

Para dar continuidade ao estudo é de extrema importância destacar as tarifas e impostos que são utilizados na análise, visto que para a projeção de faturamento estes dados são fundamentais na construção do problema. Portanto desenvolveu-se a Tabela 15, que contempla as seguintes parcelas:

Tabela 15 - Tarifas e Impostos (Referência Ago/18)



Fonte: Celesc (2018).

É importante salientar que para todos os cálculos de faturamentos neste subcapítulo foi considerada a aplicação de impostos. Como as tarifas disponibilizadas pela Celesc não contemplam tais tributos, em (13) é destacado o cálculo realizado para que a inserção desta parcela nos faturamentos.

$$Tarifas\ c/\ impostos = \frac{Tarifa\ s/impostos}{1 - \left(\frac{Pis+Cofins+ICMS}{100}\right)} \quad (13)$$

As "tarifas sem impostos" referidas na equação anterior, são as tarifas de consumo e demanda, tanto ponta quanto fora ponta, aplicadas nos faturamentos. O mesmo é válido para as bandeiras tarifárias, tarifas de ultrapassagem e as tarifas de todos os outros grupos de tensão.

O resultado respectivo para cada tarifa apresentada na tabela anterior, está disponível na Tabela 16.

Tabela 16 - Tarifas Com Impostos (Referencia Ago/18)

Tarifas	Azul		Verde	
Pis	0,70%			
Cofins	3,23%			
ICMS	25%			
Consumo Ponta	R\$	0,64135	R\$	1,62697
Consumo Fora Ponta	R\$	0,43715	R\$	0,43715
Demanda Ponta	R\$	40,63599	R\$	17,79935
Demanda Fora Ponta	R\$	17,79935	R\$	-

Fonte: Elaboração Própria baseado em Celesc (2018).

Ainda assim, para que o estudo se torne completo, é importante considerar algumas variáveis que impactam no valor final do faturamento, logo se incluiu na análise o sistema de bandeiras tarifárias.

O sistema de bandeiras Tarifárias foi desenvolvido em 2015 pela ANEEL, com o objetivo de sinalizar o custo real da energia gerada. Segundo a Agência Nacional de Energia elétrica, o funcionamento das bandeiras tarifárias é simples: as cores verde, amarela ou vermelha (nos patamares 1 e 2) indicam se a energia custará mais ou menos em função das condições de geração."

Os valores unitários a serem aplicados com o acionamento das bandeiras estão dispostos na Tabela 17. Nela é possível verificar a comparação das tarifas com o uso de impostos e sem o uso.

Tabela 17 - Bandeiras Tarifárias

Bandeira	Tarifa (R\$/kWh)		Tarifa com impostos (R\$/kWh)	
Verde	R\$	-	R\$	-
Amarela	R\$	0,01	R\$	0,01
Vermelha 1	R\$	0,03	R\$	0,04
Vermelha 2	R\$	0,05	R\$	0,07

Fonte: Aneel (2018)

Vale destacar que para todo este estudo foi considerada a utilização de impostos nos cálculos para a projeção das contas de energia.

### 5.5.1 Modalidades Tarifárias

Primeiramente é importante frisar a diferença entre os tipos de faturamentos analisados.

Tanto na modalidade verde quanto na azul, o consumo na ponta e o fora ponta são índices faturados, porém com valores distintos. A diferença está na demanda, enquanto que na tarifação azul os valores da demanda na ponta e fora ponta são diferentes, na tarifação verde a demanda é única, existindo apenas a contratação de uma potência com um único valor.

Como já mencionado, o intuito dessa análise é verificar em qual modalidade tarifária a instituição melhor se enquadra, partindo do princípio que não haja qualquer tipo de irregularidades nem ultrapassagens de demanda. Outro detalhe é no que se diz respeito da bandeira tarifária, visto que o mês de referência é Agosto de 2018, utilizou-se a bandeira Vermelha patamar 2 que teve seu acionamento durante este período.

Os resultados destes faturamentos foram obtidos em (14) e (15) e estão disponíveis nas Tabela 18 e Tabela 19 .

$$\text{Valor Faturamento (R\$)} = I_f = \text{Gradenza Faturada} \times \text{Tarifa} \quad (14)$$

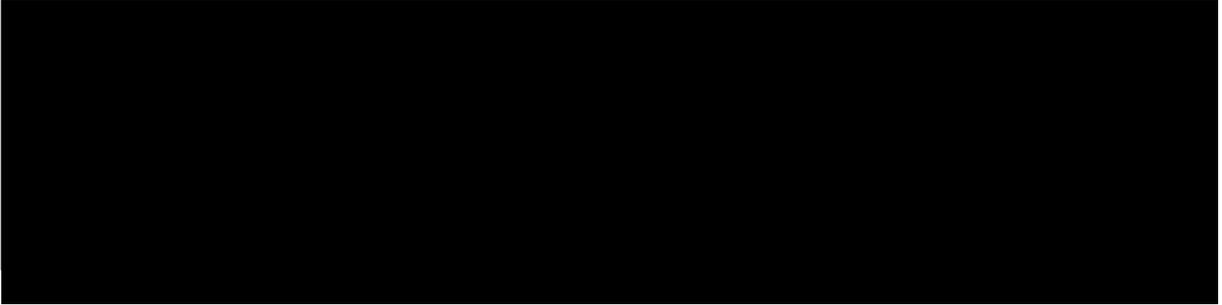
$$\begin{aligned} \text{Conta Total (R\$)} \\ = I_{f_{\text{Consumo Ponta}}} + I_{f_{\text{Consumo F.P}}} + I_{f_{\text{Demanda Ponta}}} \\ + I_{f_{\text{Demanda F.P}}} + \text{Bandeira} \end{aligned} \quad (15)$$

Sendo:

- Grandeza a ser Faturada: Consumo Ponta, Consumo Fora Ponta, Demanda Ponta e Demanda Fora Ponta.
- Tarifa = Tarifa Correspondente à grandeza a ser faturada.

Abaixo seguem os resultados:

Tabela 18 - Faturamento em Tarifação Verde (26/02/2018)

A large black rectangular box redacting the content of Tabela 18.

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 19 - Faturamento em Tarifação Azul (26/02/2018)

A large black rectangular box redacting the content of Tabela 19.

Fonte: Elaboração Própria.

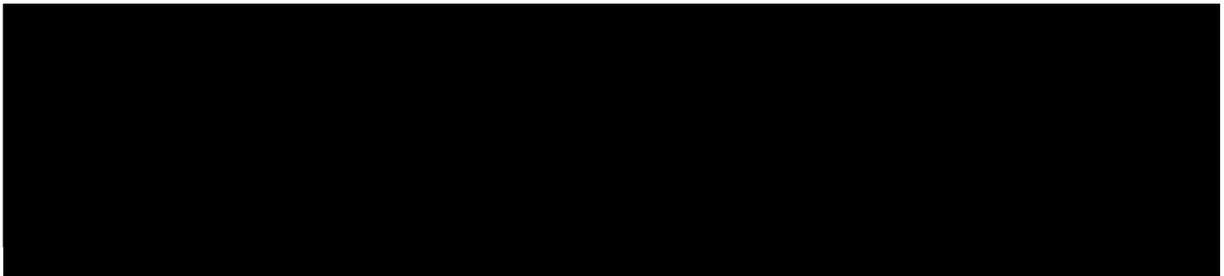
Comparando os valores disponíveis nas tabelas anteriores é possível concluir que para o IFSC - Câmpus Florianópolis, em qualquer um dos casos analisados, a tarifa Azul apresenta melhor viabilidade do que a Verde. Isso porquê a parcela correspondente ao consumo da ponta, na tarifação azul, é muito menor.

Ao projetar o faturamento para um mês padrão, com 22 dias úteis, os consumos, ponta e fora ponta, são multiplicados por 22 que corresponde aos dias em que o IFSC está operando. Logo, como o consumo ponta na tarifa azul é muito inferior à verde, o faturamento azul se torna mais vantajoso.

Vale destacar que no faturamento mensal abordado nas análises não se teve ultrapassagem da demanda, mas somente o seu ajuste para não se ter o valor ótimo de demanda.

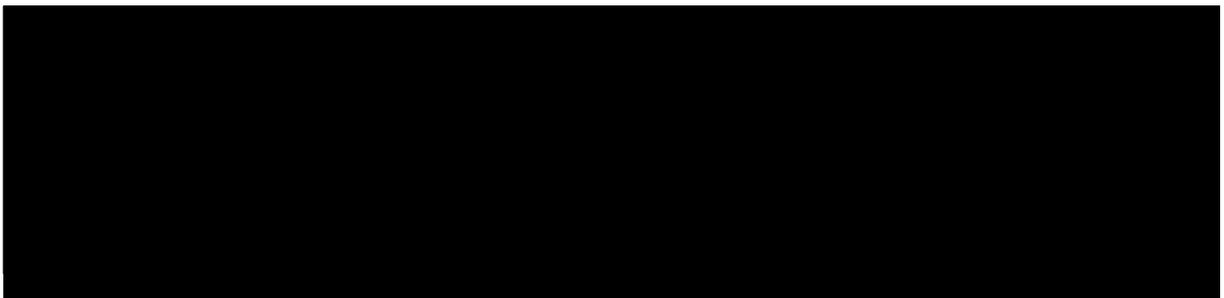
Por fim, como comparativo, ao aplicar (14) e (15) para o Dia 2 (05/07/2017) é possível verificar os valores gastos pelo Instituto no dia em que o consumo se apresenta mais baixo. Os resultados deste faturamento estão disponíveis nas Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 20 - Faturamento em Tarifação Verde (05/07/2017)

A large black rectangular redaction box covering the content of Tabela 20.

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 21 - Faturamento em Tarifação Azul (05/07/2017)

A large black rectangular redaction box covering the content of Tabela 21.

Fonte: Elaboração Própria.

## 5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 14 à Tabela 21, a utilização dos veículos para o gerenciamento da carga no Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis proporcionou uma redução do consumo ponta e no pico da demanda, que reflete nos faturamentos elétricos, em ambos os dias analisados. Como já destacado, com o intuito comparativo, fez-se a análise dos comportamentos de consumo mais divergentes da instituição.

O Dia 2, 05/07/2017, é um dia típico de inverno e véspera de férias, contemplando os menores índices de consumo dentre os quatro dias analisados. O pico de demanda Ponta para este dia foi reduzido em 37,661 kW enquanto que na

Fora Ponta reduziu apenas 5,315 kW. Já o Consumo diminuiu 61,200 kWh na Ponta e aumentou em 148,800 kWh em Fora Ponta.

O impacto mensal deste gerenciamento na conta de luz da instituição ao comparar com a Fatura sem a conexão dos veículos, foi de:

- No faturamento Verde: R\$ 861,70 a menos.
- No faturamento Azul: R\$ 1.185,70 a menos.

Já o Dia 4, 26/02/2018, é um dia típico de verão e de volta às aulas, contemplando os maiores índices de consumo registrados dentre os quatro dias analisados. Neste caso, o pico de demanda Ponta teve uma redução de 58,190 kW, enquanto que na Fora Ponta uma redução de 54,640 kW. A demanda contratada reduziu de 550 kW para 533 kW e o consumo diminuiu 77,040 kWh na Ponta e aumentou 170,400 kWh em Fora Ponta.

O impacto deste gerenciamento de carga na conta de luz, ao comparar com a Fatura sem a conexão dos veículos, foi de:

- No faturamento Verde: R\$ 2.389,48 a menos.
- No faturamento Azul: R\$ 3.083,58 a menos.

Tentando equilibrar os benefícios para ambas as partes envolvidas no controle de carga, é possível perceber que por mais que haja a diminuição dos picos de Demanda e do Consumo que, eletricamente, agregam vantagens ao IFSC, o veículo também deve ser beneficiado com a conexão, desta forma ele deverá ser recarregado em períodos onde existem os "vales" na curva de carga, que não prejudicam na análise essencial: o "gerenciamento da curva".

Ao todo, o bom gerenciamento de carga rende ao IFSC uma economia de R\$ 2.389,48 na conta de luz, que juntamente com a troca da modalidade tarifária, gera uma redução de custos nos casos analisados, aproximada, de R\$ 10.652,36 em meses de alto consumo.

Outra observação que cabe destaque, se diz respeito ao comportamento dos veículos para o gerenciamento de carga. Nas simulações, enquanto que alguns proprietários disponibilizaram seus veículos para o GLD, não havendo nenhum ônus pelo uso do estacionamento, outros optaram por não oferecer seus veículos à esta finalidade. Estes últimos estão sujeitos à uma taxa pelo uso do estacionamento,

correspondente à tarifa de consumo referente ao período em que consumiram e à quantidade que consumiram.

No entanto, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 37 e com os horários de chegada dos veículos apresentados, para o dia de baixo consumo, na Tabela 8 e Tabela 9, e para o dia de alto consumo, na tabela Tabela 12 e Tabela 13, foi possível calcular a taxa aplicada à estes veículos que não auxiliam no GLD.

Observando as tabelas acima, em ambos os dias a quantidade de automóveis que apenas carregam é a mesma: 2 veículos no período da manhã (Fora Ponta) carregando 34,5% da capacidade da bateria, correspondendo à 8,280 kWh. Portanto para carregar de 65,5% de SoC à 100%, cada veículo teria que desembolsar um total de R\$ 3,62 pelo uso do estacionamento.

Outra questão importante é no que se diz respeito ao carregamento da bateria. Como visto, ao optar por recarregar a bateria com uma SoC de 50% e deixá-la sujeita aos pulsos de recarga, existe uma grande possibilidade de desgastá-la mais rápido, aumentando seu custo de degradação e diminuindo sua vida útil.

## 6 CONCLUSÃO

Com a possibilidade do uso dos veículos V2G e G2V, pelo lado do Instituto Federal foi possível promover a melhora na curva de carga e sua eficiência. Já pelo lado dos usuários dos veículos, não precisarem pagar qualquer taxa pela energia carregada, portanto o custo de deslocamento e de recarga são reduzidos, contudo mais estudos são necessários para se verificar a degradação das baterias com esse tipo de uso.

Com as simulações realizadas e os resultados obtidos é possível verificar que, ao utilizar os veículos para o gerenciamento, houve redução no consumo da instituição proveniente do bom desenvolvimento da estratégia de operação, impactando diretamente no faturamento com a energia elétrica.

Embora os resultados tenham sido positivos, é válido reforçar que uma frota com 24 Veículos proporcionou um aumento do consumo de energia em 93.360 kWh num dia de verão, reduzindo a demanda, na melhor das hipóteses, em 54,640 kW. No entanto, a utilização de uma frota composta por mais veículos, impactaria no aumento ainda maior no consumo.

No entanto, sempre há a necessidade de buscar novos métodos de operações, capazes de promover o gerenciamento de carga e operação dos veículos de forma que possam agregar mais vantagens para as partes envolvidas.

### 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos estudos realizados no presente projeto, alguns temas para trabalhos futuros podem surgir, são eles:

- O desenvolvimento de outros métodos de gerenciamento para a verificação dos impactos técnicos e econômicos que a aplicação do conceito V2G pode proporcionar.
- Realizar um estudo de viabilidade financeira para implantação de um estacionamento inteligente, com fins lucrativos, para o gerenciamento de carga, verificando as taxas a serem cobradas pelo uso da vaga.

- A verificação da viabilidade financeira para a implantação das estruturas de carregamento ("eletropostos") de VE's no IFSC que permita a bidirecionalidade do fluxo de potência, considerando a economia na fatura de energia elétrica.
- Fazer uma análise de economia, ao aplicar o gerenciamento de carga em Recarga Lenta em um consumidor cativo de alta tensão e em um consumidor cativo de baixa tensão (residencial ou comercial).
- Desenvolver uma metodologia para determinar o montante de energia que causaria o preço de indiferença entre o valor pago atualmente pelo IFSC sem e com a conexão dos veículos elétricos no sistema de gerenciamento.
- Analisar o custo de degradação das baterias quando utilizadas para injetar potência na rede e verificar a viabilidade econômica de se utilizar desta maneira.

## 7 REFERÊNCIAS

BAEZ, J. C. **Vehicles-to-Grid.** Disponível em: <<https://johncarlosbaez.wordpress.com/2016/05/08/vehicle-to-grid/>>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

BARAN, Renato; LEGEY, F.L. **Veículos Elétricos: história e perspectivas no Brasil.** Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf)>. Acesso em: 07 de agosto de 2018.

BORBA, Bruno. **Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro.** Tese de Doutorado - Programa de Planejamento Energético - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012, Rio de Janeiro. Disponível em: <[://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/bruno\\_borba.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/bruno_borba.pdf)>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informação de Geração. Novembro de 2018.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 24 de Novembro de 2018.

BRASIL. Centrais Elétricas de Santa Catarina - CELESC. **Aliquotas.** Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/pis-cofins>>. Acesso em: 19 de agosto de 2018.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Setembro de 2015.** Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>>. Acesso em: 05 de novembro de 2017.

CALÇADO, T. E. O. **Estudo Preliminar de Implantação de Estações de Recarga de Veículos Elétricos no Centro de Tecnologia da UFRJ.** Projeto de Graduação - Graduação Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014214.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

CAVALCANTE, Ulisses. **Nissan Confirma Leaf para o Brasil. E nós já andamos no elétrico.** Quatro Rodas, Las Vegas, 9 de Março de 2018. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/testes/nissan-confirma-leaf-para-o-brasil-e-nos-ja-andamos-no-eletrico/>>. Acesso em: 16 de julho de 2018.

COSTA, Melina. **Alemanha: o país em que a energia solar vingou até demais.** Estadão, São Paulo, 29 de setembro de 2017. Disponível em:

<<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,alemanha-o-pais-em-que-a-energia-solar-vingou-ate-demais-imp-,1567777>>. Acesso em: 24 de novembro de 2018.

FERNANDES, L. M. **Estudo para a Implantação do Conceito *Vehicle To Grid* na Rede Elétrica do CT/UFRJ**. Projeto de Graduação - Graduação Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019849.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

FIGO, Anderson. **Quais são e quanto custam os carros elétricos e híbridos no Brasil**. Exame, 31 de julho de 2018. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/quais-sao-e-quanto-custam-os-carros-eletricos-e-hibridos-no-brasil/>>. Acesso em: 27 de novembro de 2018.

FOGAÇA, J. R. V. **Pilhas e Baterias de Lítio**. Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/pilhas-baterias-litio.htm>>. Acesso em 25 de novembro de 2018.

HOFFMANN, Eduardo. **Honda FCX Clarity: Um Tiozão Movido À Hidrogênio**. 8 de novembro de 2015. Disponível em: <<https://motorsa.com.br/honda-fcx-clarity/>>. Acesso em: 26 de Março de 2018

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Projeto Smart IFSC: Monitoramento Inteligente do Consumo de Energia Elétrica do IFSC**. Disponível em: <<http://labsmart.ifsc.edu.br/energia/index>>. Acesso em: 05 de Maio de 2018

JUNGES, Cíntia. **Crescimento das Fontes Eólica e Solar Cria Novo Mercado Para Estocar Energia**. Gazeta do Povo, 14 de setembro de 2016. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade/crescimento-das-fontes-eolica-e-solar-cria-novo-mercado-para-estocar-energia-3hgq7iv72nhnop3s5teca0gli>>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

LUGENERGY. **Conector Tipo 2 Veículo elétrico**. Disponível em: <<https://www.lugenergy.pt/conector-tipo-2-mennkes-camaleon-coche-electrico/>>. Acesso em: 27 de Novembro de 2018.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 03 de maio de 2018.

RUFFO, Gustavo. Kelley Blue Book. **Vendas de elétricos e híbridos são quase 3 vezes maiores no Brasil em 2017. Até novembro....** Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/eletricos-hibridos-vendas-em-alta/?ID=348>>. Acesso em: 24 de novembro de 2018.

SODRÉ, Eduardo. **Elétrico mais vendido do mundo, Nissan Leaf chega ao país em 2019**. Folha de S. Paulo, São Paulo, 29 de outubro de 2017. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/sobretudo/rodas/2017/10/1931012-eletrico-mais>-

vendido-do-mundo-nissan-leaf-chega-ao-pais-em-2019.shtml>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

SOUZA, Gustavo. **Baterias Samsung para Carros Elétricos carregam 5 Vezes mais Rápido**. Disponível em: <<https://carroeletrico.com.br/blog/baterias-samsung/>>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

SOUZA, G. F. B. **Uma Análise da Evolução da Capacidade de Armazenamento dos Reservatórios de Hidrelétricas no Brasil**. Projeto de Graduação - Graduação Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013542.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro de 2017.

TENFEN, Daniel. **Desenvolvimento de um modelo de programação linear inteira mista para o problema do gerenciamento energético de Microrredes**. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Catarina, 2015, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/160573>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

THESING, Leandro. **Redes Elétricas**. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAeubEAC/redes-eletricas>>. Acesso em: 17 de Julho de 2018.

TOYOTA. **Prius, seu primeiro híbrido**. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/modelos/prius/>>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

UNIVERSITY OF DELAWARE, **What is V2G?**. Disponível em: <http://www1.udel.edu/V2G/index.html>. Acesso em: 02 de novembro de 2017.

VALLE, H. B. M. **Aplicação do Conceito Vehicle-To-Grid Para Nivelamento de Carga e Suprimento de Pico de Demanda**. Projeto de Graduação - Graduação Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015208.pdf>>. Acesso em: 30 de Outubro de 2017.