UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Matheus Binotto Francescatto

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA NO USO DE ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Santa Maria, RS
2019

Matheus Binotto Francescatto

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA NO USO DE ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Roos

Santa Maria, RS
2019

Matheus Binotto Francescatto

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA NO USO DE ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em data:

_____

Cristiano Roos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____

Claudio Roberto Losekann, Dr. (UFSM)

_____

Roberto Portes Ribeiro, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

RESUMO

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA NO USO DE ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

AUTOR: Matheus Binotto Francescatto
ORIENTADOR: Cristiano Roos

Com a crescente busca por novas soluções tecnológicas para reduzir as emissões danosas ao meio ambiente, especialmente relacionadas ao setor automobilístico, aparecem em crescimento às vendas de veículos elétricos. Entretanto, é necessário que a infraestrutura de recarga destes veículos também seja desenvolvida. Desta maneira, são necessários estudos e pesquisas na área. Mediante a isto, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica envolvendo a utilização de diferentes modelos de estações de recargas para veículos elétricos no ambiente da Universidade Federal de Santa Maria. Para cumprir com este objetivo, foram analisados dez diferentes modelos de estações de recarga organizados conforme sua potência em equipamentos de nível 2, e em equipamentos de recarga rápida. Após, foram definidos 120 cenários envolvendo os modelos selecionados, as bandeiras tarifárias de energia elétrica vigentes e os horários de funcionamento do estacionamento abordado. O método de Engenharia Econômica utilizado foi o Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) e, em adição, foi realizado a determinação do valor do R$/kWh consumido de cada modelo. Os principais resultados obtidos foram, para os equipamentos classificados como nível 2, um CAUE máximo de R$ 184.399,35. Para as estações de recarga rápida, o CAUE máximo encontrado foi R$ 687.864,51. Junto a isso, os valores máximo do R$/kWh consumido obtido foram de 1,74 R$/kWh, e o valor mínimo foi de 0,73 R$/kWh. Conclusivamente, verificou-se que os modelos mais viáveis para o ambiente estudado são o POWERCHARGE P30DPN e o CSI 60K750-EJA.

Palavras-chave: Estações de Recarga. Engenharia Econômica. Veículos Elétricos.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY IN THE USE OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS

AUTHOR: Matheus Binotto Francescatto
ADVISOR: Cristiano Roos

With the increasing search for new technologic solution to reduce the damage to the environment caused by pollution, especially related to the automotive sector, the growth in sales of electric vehicles start appearing. However, it is necessary that the charging infrastructure of this type of automobiles also grow. Meaning that studies and researches are necessary in this area. Therefore, the objective of the present work is to perform a technical and economic feasibility analysis involving the use of different models of charging station for electric vehicles in the environment of the Federal University of Santa Maria. To fulfill this objective, ten different models of recharging stations classified according to their power in level 2 equipment and in fast charging equipment were analyzed. After that, 120 scenarios were defined involving the models, the tariffs of electric energy and the hour of operation of the parking lot approached. The Economic Engineering method used was the Equivalent Annual Uniform Cost (EAUC) and, in addition, the R$/kWh consumed value of each model was determined. The main results obtained were, for equipment classified as level 2, a maximum EAUC of R$ 184.399,35. For fast charging stations, the maximum EAUC found was R$ 687.864,51. Along with this, the maximum value of R$/kWh consumed obtained were 1,74 R$/kWh, and the minimum value was 0.73 R$/kWh. In conclusion, it was verified that the most viable models for the studied environment are the POWERCHARGE P30DPN and the CSI 60K750-EJA.

Keywords: Charging Stations. Economic Engineer. Electric Vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do consumo de energia final no mundo por setor em 2016. 16
Figura 2 - Distribuição matriz energética Brasileira em 2014. 18
Figura 3 - Gráfico da evolução do custo e densidade das baterias. 20
Figura 4 - Esquema de um veículo HEV. 22
Figura 5 - Esquema de um veículo PHEV. 23
Figura 6 - Esquema de um veículo PEV e BEV. 24
Figura 7 - Estoque global de veículos elétricos ao longo dos últimos anos. 25
Figura 8 - Distribuição do market share mundial dos veículos elétricos. 26
Figura 9 - Custo de alguns veículos elétricos no Brasil em 2017. 28
Figura 10 -Gráfico do estoque Global de Veículos Elétricos em 2030. 28
Figura 11 -Funcionamento de uma estação de recarga. 32
Figura 12 - Conectores para recarga de veículos elétricos. 34
Figura 13 - Crescimento da infraestrutura de recarga ao longo dos anos. 35
Figura 14 - Distribuição mundial de carregadores públicos acessíveis. 36
Figura 15 - Estação de recarga Copel. 37
Figura 16 - Parâmetros para o cálculo do custo e receita da EVCS. 40
Figura 17 - Estacionamento Centro de Tecnologia UFSM. 46
Figura 18 - Possíveis distribuições da instalação das estações de recarga. 57
Figura 19 - Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira verde). 70
Figura 20 - Comparação do CAUE e carregadores rápidos (bandeira verde). 72
Figura 21 - Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira vermelha patamar 2). 73
Figura 22 - Comparação do CAUE e carregadores rápidos (bandeira vermelha patamar 2). .. 74
Figura 23 - R$/kWh consumido dos modelos para a bandeira verde. 75
Figura 24 - R$/kWh consumido dos modelos para a bandeira vermelha patamar 2. 76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Autonomia de alguns veículos elétricos. 20
Quadro 2 - Dados técnicos de recarga de alguns veículos elétricos. 34
Quadro 3 - Resultados Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis. 41
Quadro 4 - Pesquisa dos fornecedores de estações de recarga. 46
Quadro 5 - Métodos para análise econômica utilizados em cada referência. 48
Quadro 6 - Custo da energia ativa para o subgrupo A4 tarifa azul. 52
Quadro 7 - Bandeira Tarifárias. 52
Quadro 8 - Dados técnicos dos modelos de Nível 2. 56
Quadro 9 - Dados técnicos dos modelos de recarga rápida. 56
Quadro 10 - Quantidade de veículos recarregados por modelo. 58
Quadro 11 - Distribuição dos turnos do estacionamento. 58
Quadro 12 - Custo dos modelos de estações de recarga. 60
Quadro 13 - Custo estimado da instalação dos modelos. 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico da Inflação nos últimos 10 anos. 53
Tabela 2 - Histórico do índice de reajuste da tarifa elétrica nos últimos 8 anos. 54
Tabela 3 - Histórico de rendimento da poupança. 55
Tabela 4 - Energia consumida por dia. 63
Tabela 5 - Custo diário da energia e custo mensal. 63
Tabela 6 - Custo do equipamento adicionado os impostos e de instalação dos modelos. 65
Tabela 7 - Custo de manutenção e depreciação anual dos modelos. 65
Tabela 8 - Cenários definidos neste trabalho. 66
Tabela 9 - Resultados CAUE para a bandeira tarifária verde. 67
Tabela 10 - Resultados CAUE para a bandeira tarifária vermelho patamar 2. 68
Tabela 11 - Valores do R$/kWh para cada modelo. 69

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS **6**
LISTA DE QUADROS **7**
LISTA DE TABELAS **8**
1 INTRODUÇÃO **11**
1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA 12
1.2 JUSTIFICATIVAS 13
1.3 OBJETIVOS 14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO 14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **16**
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA 16
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS 18
2.2.1 Tipos de Veículos Elétricos **21**
2.2.2.1 Veículos Elétricos Híbridos (HEVs) 21
2.2.2.2 Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEVs) 22
2.2.2.3 Veículos Elétricos Plug-in ou Veículos Elétricos a Bateria (PEVs ou BEVs) 23
2.2.2.4 Veículos Elétricos a Célula de Combustível (FCEVs) 24
2.2.2 Estatísticas de Veículos Elétricos **25**
2.3 BATERIAS 29
2.3.1 Bateria Chumbo-Ácido **29**
2.3.2 Bateria Níquel-Metal-Hidreto **30**
2.3.3 Bateria Lítio-Íons **30**
2.4 ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS 31
2.4.1 Tipos de Estações de Recarga **32**
2.4.2 Estatísticas sobre Estações de Recarga **35**
2.4.3 Estudos técnicos aplicados envolvendo estações de recarga **38**
2.4.4 Estudos econômicos aplicados envolvendo estações de recarga **40**
2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA 41
2.5.1 Análise de Investimento **42**
2.5.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA) **43**
2.5.3 Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) **43**
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS **45**
3.1 CENÁRIO 45
3.2 MÉTODO DE PESQUISA 47
3.3 ETAPAS DE PESQUISA 48
4 RESULTADOS E ANÁLISES **50**
4.1 DADOS COLETADOS E ESTIMADOS PARA O ESTUDO TÉCNICO E DE VIABILIDADE ECONÔMICA 50
4.1.1 Dados básicos para o estudo de Viabilidade Econômica **50**
4.1.1.1 Energia elétrica 51
4.1.1.2 Correção monetária e reajuste da tarifa elétrica. 53
4.1.1.3 Taxa Mínima de Atratividade 54
4.1.2 Dados técnicos sobre as estações de recarga **55**
4.1.3 Dados econômicos sobre as estações de recarga **59**
4.1.3.1 Investimento para aquisição do equipamento 59
4.1.3.2 Despesas com a instalação do equipamento 60
4.1.3.3 Despesas com a manutenção do equipamento 61
4.1.3.4 Despesas com a energia elétrica consumida pelo equipamento 62
4.1.3.5 Despesas com a depreciação do equipamento 64

4.1.3.6 Despesas com os impostos sobre equipamento 64
4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA 65
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS 70
4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 77
5 CONCLUSÃO 79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82

1 INTRODUÇÃO

A frota atual de veículos é uma das principais responsáveis pela poluição ambiental no Brasil, segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (2018), em 2017 a porcentagem de veículos elétricos equivalia a apenas 0,2% da frota total, sendo o restante composto em sua maioria por veículos automotores de combustão interna. A poluição ambiental é um dos problemas que mais gera preocupação para o futuro da humanidade. As consequências vão desde problemas de saúde para as pessoas até a degradação do ecossistema. Segundo o relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2016), no ano de 2016 ocorreu a emissão de 331 mil toneladas de monóxido de carbono, 73 mil toneladas de hidrocarbonetos não metânicos, 180 mil toneladas de NOx, 4,7 mil toneladas de dióxido de enxofre, e 1,7 mil toneladas de aldeídos por automóveis de combustão interna apenas no estado de São Paulo, sendo todas essas emissões prejudicais ao meio ambiente e a saúde. Além disso, veículos de combustão interna também são responsáveis por 72,6% das emissões dos gases do efeito estufa, segundo um estudo realizado pela Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2017), em 2017, na cidade de São Paulo.

Devido ao crescente aumento no número de automóveis no Brasil, se tornam necessárias mudanças para se reduzir os índices de emissões. Uma das soluções é o aumento da utilização de veículos elétricos na frota brasileira. Segundo FGV Energia (2017), o automóvel elétrico faz parte do grupo de veículos denominados “emissões zero”, nome dado devido ao fato de que esse tipo de automóvel quase não emite nenhum poluente atmosférico e sonoro quando está sendo utilizado. Além disso, os veículos elétricos convertem entre 59% e 62% de energia elétrica da rede para potência nas rodas, enquanto os veículos de combustão interna convertem apenas entre 17% e 21% da energia disponibilizada pelo combustível em potência. (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2018). Porém, a grande vantagem está no fato da independência de combustíveis fósseis que esses veículos dispõem. Assim, junto com o aumento do uso de veículos elétricos ocorrerá uma diminuição na poluição causada pelo uso de combustíveis no setor automotivo.

Atualmente, a popularização dos veículos elétricos é algo que está sendo cada vez mais incentivado e apoiado por entidades governamentais em diversos países. Entre eles destacam-se a China como líder mundial em novos registros, seguida pelos EUA, juntamente com o crescimento em países como a Noruega e a Holanda o *market share* desses veículos chega a 23% e 10%, respectivamente (FGV ENERGIA, 2017). Ainda mais, segundo a International Energy Agency (2016), estima-se que em 2020 o *market share* global dos veículos elétricos

chegará até 1,7%, o que representa um aumento significativo comparado com os dados de 2017, onde, de acordo com FGV Energia (2017), os veículos ocupavam apenas 0,1% do estoque mundial.

No Brasil, tanto a presença quanto os incentivos para o consumidor de carros elétricos ainda são muito pequenos quando comparados com outros países. Em adição, existe ainda o problema relacionado com a falta de estrutura para a recarga dos veículos elétricos, pois sem a presença de estações de recargas espalhados pelo território brasileiro, a utilização desses automóveis se torna pouco viável. Existe uma forte ligação entre o número de estações de recarga com o número de veículos elétricos. É inviável o crescimento da utilização dos veículos elétricos sem a presença de uma infraestrutura que suporte esses números. Em países mais desenvolvidos, existem incentivos para a implementação dos postos de recarga facilitando a inserção desses automóveis no mercado. Segundo Vaz et al. (2015), principalmente na Europa, na América do Norte e na Ásia, os incentivos para a infraestrutura de recarga variam de valores entre 70 milhões de euros (Dinamarca) até valores como 360 milhões de dólares (EUA). Entretanto, no Brasil, apesar de ocorrer a presença de incentivos fiscais, os mesmo não são suficientes para que haja um grande aumento nos veículos elétricos e na sua infraestrutura, criando assim uma barreira para essa tecnologia.

Com este contexto em mente, a fim de popularizar os veículos elétricos no Brasil, é necessário antes viabilizar a infraestrutura de postos de recarga. Para esse intuito, se fazem necessários estudos de viabilidade técnica e econômica comparando diversos fornecedores de estações de recarga.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA

Atualmente, segundo Vital (2018), mediante a assinatura do acordo de Paris em 2015, 189 países concordaram em definir metas individuais de redução de dióxido de carbono, a fim de evitar que a temperatura da Terra se eleve mais de 2°C, em relação aos níveis pré-industriais, até 2050. Um dos setores mais afetados foi o setor automobilístico, pois possui uma influência muito elevada em relação à quantidade de emissões de poluentes na atmosfera. Segundo Deign (2016), países como Alemanha, Noruega e Índia buscam banir os veículos de combustão interna após 2030, gerando assim uma busca por substitutos aceitáveis. Assim, novas soluções começam a ser aceitas e consideradas a fim de se adequar às mudanças futuras. Entre elas, surge o veículo elétrico, o qual se torna uma das melhores opções para a resolução desses problemas devido aos benefícios que o mesmo apresenta no âmbito das emissões e seus danos. Contudo,

junto ao crescente interesse pelos veículos elétricos se torna importante atentar-se para a demanda por infraestrutura de recarga necessária para a introdução efetiva desses automóveis.

Ao se abordar infraestrutura de recarga, está se referindo na disponibilidade de estações de recarga espalhadas em diversos pontos do território de um país. A presença desses itens se faz essencial para que a entrada do veículo elétrico no mercado obtenha sucesso. Atualmente, postos de recarga vem sendo um conceito cada vez mais comum em países desenvolvidos. Segundo relatório da Nissan (2016), no Japão, o número de pontos de recarga para veículos elétricos disponíveis já ultrapassa o de bombas de combustível. Esse tipo de investimento na infraestrutura de recarga vem sendo realizado em países onde há interesse pela utilização dos veículos elétricos.

Com isto em mente, países como o Brasil, onde os incentivos para esse tipo de tecnologia não estão muito presentes, se torna importante a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica voltado para a infraestrutura de recarga desses veículos, sendo esse o tema deste trabalho de conclusão de curso. Ao realizar um investimento, são necessários estudos que mostrem suas chances de sucesso, mediante isso, o problema de pesquisa deste trabalho é: dentre diferentes fabricantes, quais modelos de estações de recarga são mais viáveis técnica e economicamente para a Universidade Federal de Santa Maria?

1.2 JUSTIFICATIVAS

Devido ao fato da não necessidade de utilizar combustíveis fósseis e devido ao fato da crescente busca por soluções mais adequadas ambientalmente, o veículo elétrico começa a ganhar espaço no mercado mundial e nacional (FGV ENERGIA, 2017). Mediante isso, tornam-se necessários mais estudos relacionados com esta nova tecnologia. Isto com o intuito de gerar mais conhecimento nesta área, de forma que ocorra a popularização desta tecnologia resultando em um possível aumento na sua participação no cenário automotivo atual.

Segundo Lee et al. (2016), campos universitários agem como uma incubadora de novas ideias, pois são lugares onde ocorre o incentivo a pesquisa. Deste modo, o presente trabalho de pesquisa ganha importância. Isto porque a instalação de uma infraestrutura de recarga no ambiente universitário poderá proporcionar uma plataforma para o crescimento local desta tecnologia, ou seja, tanto a universidade como a cidade em que ela está inserida poderá usufruir dos benefícios. No Brasil, entretanto, ainda existe uma carência quando se trata desta tecnologia, dificultando a utilização de automóveis elétricos no território brasileiro.

Deste modo, uma das soluções para este problema é desenvolver uma infraestrutura de recarga para veículos elétricos o suficientemente grande para atender todo o país, além de incentivar o consumidor por meio da redução de taxas relacionadas com esta tecnologia. Todavia, para atingir essa solução, são necessários estudos envolvendo a viabilidade técnica e econômica dos diferentes modelos de estações de recarga disponíveis no mercado atual. E neste contexto se justifica o presente trabalho de conclusão de curso.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica envolvendo a utilização de diferentes modelos de estações de recargas para veículos elétricos no ambiente da Universidade Federal de Santa Maria. A fim de complementar o objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Coletar de diferentes fornecedores dados técnicos e econômicos sobre estações de recarga de veículos elétricos.
- Dimensionar e analisar tecnicamente a instalação destas estações de recarga dentro da Universidade Federal de Santa Maria.
- Analisar economicamente a instalação destas estações de recarga dentro da instituição de ensino em questão.
- Indicar a melhor solução para o problema proposto considerando as análises técnicas e econômicas realizadas para os diferentes fornecedores.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Ao realizar o presente trabalho, optou-se por uma divisão em cinco seções principais. Com isto em mente, a primeira seção é constituída pela introdução, onde foi apresentado o tema do trabalho, o problema de pesquisa, os motivos que levaram a escolha de realizar este estudo, juntamente com seus objetivos gerais e específicos. Em seguida, realizou-se a revisão bibliográfica com a finalidade de conceituar as informações técnicas essências para o entendimento do estudo. Em adição, analisaram-se trabalhos semelhantes de outros autores que abordavam o mesmo tema com o intuito de aprofundar o conhecimento e encontrar possíveis soluções para os problemas em comum.

Assim, realizou-se uma busca por bibliografias com o tema semelhante ao deste trabalho em portais digitais. Neste caso, foram encontrados e utilizados 23 artigos tratando especificamente sobre o tema de veículos elétricos, junto com 4 trabalhos de graduação. Em adição, 22 artigos foram utilizados relacionados com o tema de estações de recarga, 4 livros auxiliaram em relação à Engenharia Econômica, juntamente com outras pesquisas exemplificando a relevância do tema na atualidade.

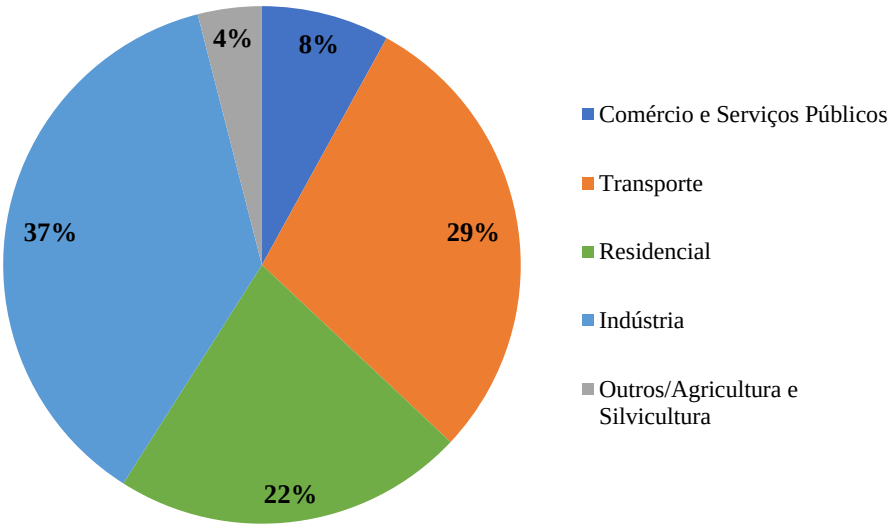
Após, desenvolveu-se a terceira seção, onde foi descrito os cenários em que os modelos de estações de recarga foram inseridos. Logo em seguida, classificou-se a pesquisa que foi realizada neste trabalho e elencaram-se as etapas necessárias para a conclusão do mesmo. Na quarta seção, foram utilizados os seguintes parâmetros para a análise da viabilidade econômica: despesas com energia elétrica, investimentos com o equipamento, despesas com a instalação, despesas com a manutenção, depreciação do equipamento, Taxa Mínima de Atratividade e correção monetária. Com isto, aplicaram-se os métodos adequados de Engenharia Econômica, obtendo os resultados para análise dos modelos selecionados. Por fim, a quinta e última seção trouxe as conclusões obtidas a partir dos resultados deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA

O mundo utiliza no seu suprimento energético principalmente as fontes primárias não renováveis, destacando-se os combustíveis fósseis como petróleo, carvão mineral e gás natural. Entretanto, estes combustíveis são grandes emissores de dióxido de carbono, elemento que está diretamente relacionado com o efeito estufa, causador da elevação da temperatura do planeta e de mudanças climáticas (FILHO, 2009). De acordo com dados da International Energy Agency (2018), em 2016, 42% das emissões de dióxido de carbono foram geradas pela produção de eletricidade e de calor, aliado a isso, 40% da eletricidade mundial foi produzida queimando combustíveis fósseis. Ainda segundo a International Energy Agency (2018), entre 1971 e 2016, ocorreu um aumento de 2,5 vezes na quantidade de energia primária consumida no mundo, sendo que 29% do consumo final dessa energia são destinados ao setor de transportes, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Distribuição do consumo de energia final no mundo por setor em 2016.



Fonte: International Energy Agency (2018).

No Brasil, de acordo com os dados da Empresa de Pesquisa Energética (2018), em 2017 cerca de 32,7% do consumo final de energia esteve atrelado com o setor de transportes, sendo que o consumo de energia desse setor é feito, em 79,4% dos casos, com queima de combustíveis

fósseis. Além disso, segundo Tolmasquin, Guerreiro e Gorini (2007), em 2030, estima-se que os derivados de petróleo continuem a manter a posição de liderança entre as fontes energéticas, alcançando uma participação de cerca de 30% da matriz energética brasileira.

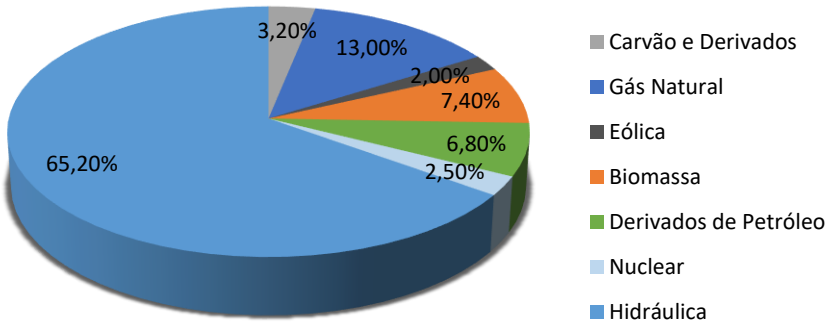
Em paralelo com o aumento da utilização de combustíveis fósseis também ocorre o crescimento da população, ocasionando um acréscimo da demanda energética. Baseado nisso, surgem consequências como a escassez das fontes primárias de energia não renováveis. Nesse contexto, de acordo com Sousa (2015), surge a necessidade de racionalizar e, sobretudo, buscar novas fontes geradoras de energia a fim de preservar e garantir a continuação dos desenvolvimentos tecnológicos e da própria espécie humana.

Com a presença dessa necessidade, novas ideias e propostas começam a ser geradas a fim de solucionar o futuro problema da demanda energética sem a dependência de combustíveis fósseis. Dentre elas, encontra-se a criação de veículos movidos pela energia elétrica. Segundo Gandoman et al. (2018), há um crescente entusiasmo para substituir os veículos de combustão interna por veículos elétricos, a fim de reduzir o impacto das emissões causadas pelos combustíveis fósseis. E claro, diminuir o uso de combustíveis fósseis.

Mesmo os veículos elétricos não produzindo gases do efeito estufa nem poluentes atmosféricos, Thomas (2012), ressalta que um dos fatores que determina a diminuição dos gases de efeito estufa é a forma como é originado a energia elétrica que abastece esses automóveis. Segundo Luin, Petelin e Al-Mansour (2019), apenas começar a utilizar os veículos elétricos, sendo que a fonte de energia elétrica que os abastece continue sendo gerada pela queima de combustíveis fósseis, pode não trazer nenhuma redução no índice de emissões dos gases de efeito estufa. Para minimizar as emissões é necessário que a fonte da qual a energia elétrica se origine seja renovável, porém se a fonte que produz energia emitir dióxido de carbono, então os veículos elétricos serão responsáveis por essas emissões (DOUCETTE; MCCULLOCH, 2011). Baseado nisso, o Brasil se torna favorável para a utilização desses veículos visto que a matriz energética é composta, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2015), em sua maioria por fontes renováveis como mostra a Figura 2.

Ainda segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2015), entre 2013 e 2014, ocorreu um crescimento de 122,2% das energias solares e eólicas em sua capacidade instalada. Esses dados refletem uma tendência de crescimento na participação destas fontes de energia na matriz elétrica brasileira durante os próximos anos, fazendo com que a mesma se torne mais limpa e apta para ser usada no setor de transportes (ASSUMPÇÃO, 2016).

Figura 2: Distribuição matriz energética Brasileira em 2014.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2015).

Ainda segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2015), entre 2013 e 2014, ocorreu um crescimento de 122,2% das energias solares e eólicas em sua capacidade instalada. Esses dados refletem uma tendência de crescimento na participação destas fontes de energia na matriz elétrica brasileira durante os próximos anos, fazendo com que a mesma se torne mais limpa e apta para ser usada no setor de transportes (ASSUMPÇÃO, 2016).

De acordo com Baran (2012), a utilização de energia elétrica por automóveis ocasionaria uma redução do consumo de gasolina de 40,7% em 2031, causando um aumento do consumo de eletricidade de 42,1%, resultado esse que equivale a uma redução de 27,5% do consumo total de energia pela frota nacional. Ainda assim, segundo Borba (2012), se 20% da frota brasileira de veículos leves fosse elétrica, a demanda de energia seria menos de 2% do total da demanda de energia elétrica do Brasil, porém, se todos esses veículos realizassem a recarga ao mesmo tempo, a potência necessária poderia chegar até 20% na demanda máxima de energia, dependendo do tipo de recarga usada.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

De acordo com Calçado (2015), os veículos elétricos surgiram com o objetivo de ser uma alternativa aos impactos danosos ao meio ambiente devido à contaminação do ar e à

emissão de ruídos causados pelos motores de combustão interna. Segundo Xiong et al. (2019), atualmente, uma das obrigações dos veículos elétricos é conseguir obter um menor uso de energia, uma boa economia e uma forte praticidade, tudo isso ao mesmo tempo. Os veículos elétricos são uma proposta de otimização dos veículos convencionais, entretanto, envolvem os meios essenciais para a integração entre engenharia elétrica e mecânica, tendo também uma participação das engenharias eletrônica, de materiais e química (CALÇADO, 2015).

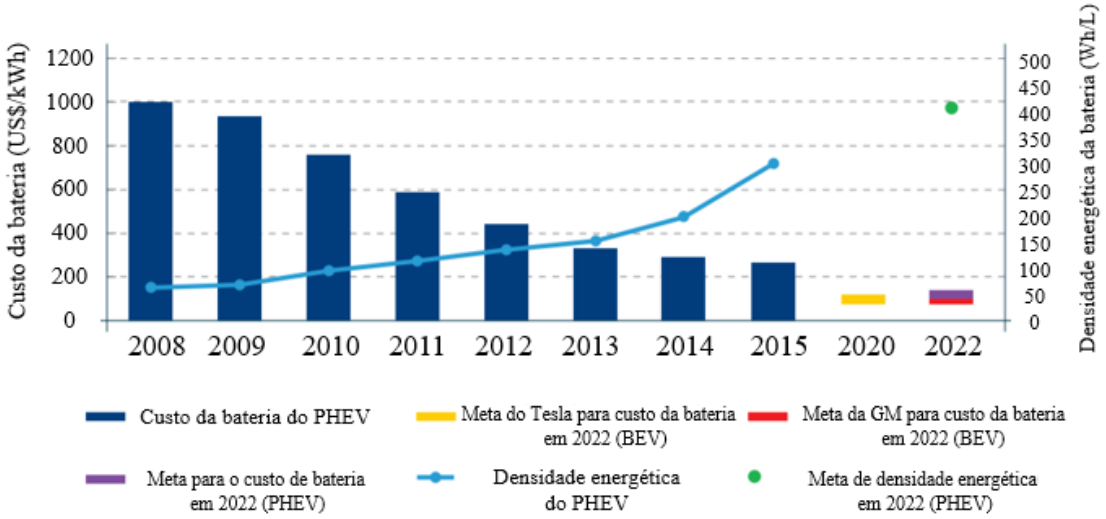
Em relação ao seu funcionamento, basicamente o veículo elétrico faz uso da propulsão por meio de motores elétricos para transportar pessoas, objetos ou uma carga específica, sendo composto por um sistema primário de energia, uma ou mais máquinas elétricas e um sistema de acionamento e controle de velocidade (ORNELLAS, 2013). Juntamente com esses princípios, existem outros componentes exclusivos dos veículos elétricos, como a transmissão de velocidade única, o carregador embarcado e o sistema de frenagem regenerativa (SOUSA, 2015).

Muitas pessoas ainda não são familiarizadas com os veículos elétricos, sendo um dos motivos para esse acontecimento o fato de muitas concessionárias ainda, exclusivamente, venderem apenas veículos convencionais (LANGBROEK et al. 2018). Além disso, principalmente no Brasil, ocorrem a presença de barreiras financeiras e técnicas que devem ser superadas a fim de que os veículos elétricos adentrem o mercado nacional. Segundo Bravo, Meirelles e Giallonardo (2014), veículos elétricos surgem como uma alternativa tecnologicamente viável, mas acabam por se deparar com questões como preço e autonomia limitada.

De fato, a autonomia dos veículos elétricos ainda é um obstáculo que limita sua comercialização em massa e a popularização de seu uso. Segundo Salah e Kama (2016), as limitações de autonomia dos veículos elétricos quando comparados com os veículos de combustão interna, a falta de infraestrutura de recarga e o tempo necessário para recarregar um veículo elétrico, são fatores que podem causar uma ansiedade anterior a compra do veículo, sendo esta denominada em inglês como *range anxiety*.

Embora ainda haja muito espaço para progredir no ramo da autonomia, atualmente melhorias na densidade energética das baterias, como mostra a Figura 3, foram e estão sendo responsáveis por avanços recentes que diminuirão as ocorrências desse problema. Além disso, a difusão da infraestrutura de recarga, o aumento da autonomia das baterias e a redução do tempo de recarga, também contribuirão para a eliminação dessa ansiedade (FGV ENERGIA, 2017).

Figura 3: Gráfico da evolução do custo e densidade das baterias.



Fonte: FGV-ENERGIA (2017).

Segundo Needell et al. (2016), 87% dos veículos atualmente na estrada poderiam ser substituídos por um veículo elétrico de baixo custo disponível no mercado, porém nos dias com alto consumo energético, outras tecnologias de veículos provavelmente se farão necessárias mesmo com a melhora das baterias e o aumento na infraestrutura de recarga. Nesse contexto, apesar de ainda existirem desafios a serem superados, é inegável a evolução dos veículos elétricos. Atualmente, os modelos mais populares como o Fiat 500e, apresentam uma autonomia em torno de 235 Km, enquanto modelos mais sofisticados como o Tesla S Model, chegam a ter uma autonomia de 507 Km, como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Autonomia de alguns veículos elétricos.

Veículos	**Autonomia (Km)**
FIAT 500e	135
Mercedes B-Class Electric Drive	140
Honda Clarity Electric	143
Tesla Model X	381
Chevrolet Bolt	383
Tesla Model S	507

Fonte: Adaptado FLEETCARMA (2018).

2.2.1 Tipos de Veículos Elétricos

Com a evolução dos veículos elétricos, métodos cada vez mais efetivos foram desenvolvidos com o objetivo de tornar a tecnologia viável e acessível. Assim, existem quatro tipos principais de veículos elétricos que estão entre os mais populares e mais utilizados na atualidade: veículos elétricos híbridos (HEV), veículos elétricos híbridos plug-in (PHEV), veículos elétricos plug-in (PEV) ou veículos elétricos a bateria (BEV) e os veículos elétricos a célula de combustível (FCEV).

2.2.2.1 Veículos Elétricos Híbridos (HEVs)

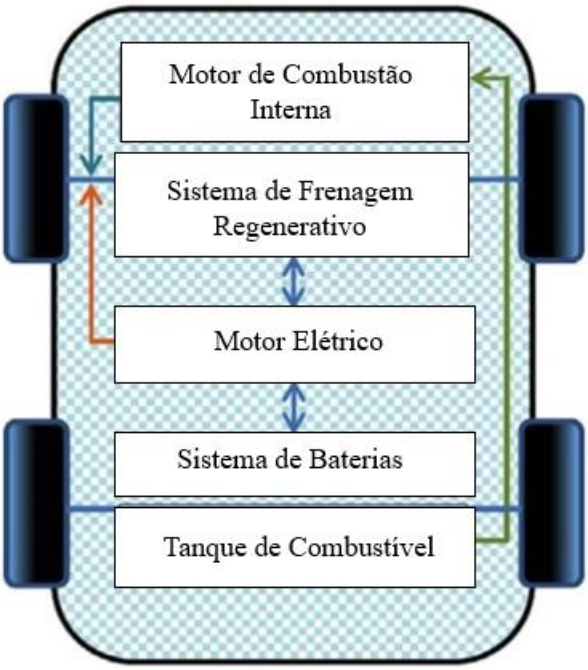
Segundo Hanamoto (2018), os veículos elétricos híbridos foram primeiramente introduzidos no Japão em 1997 e desde a sua introdução essa tecnologia tem apresentado um progresso excepcional, chegando a mais de 6 milhões de unidades registradas no Japão no ano de 2017. Ainda segundo o autor, o preço de compra de um HEV é tipicamente mais elevado do que carros similares que apresentem um motor de combustão interna, assim, a fim de que a aquisição do HEV seja vantajosa, será necessário que a diferença de preço seja recompensada com a economia em combustível que esse tipo de veículo elétrico proporciona.

O HEV utiliza em seu funcionamento um motor de combustão interna juntamente com baterias elétricas, fazendo uso da energia do freio para recarregar essas baterias, obtendo com isso vantagens econômicas e ambientais sobre os carros convencionais (RAHMANI; LOUREIRO, 2019). Segundo Doppstatd, Koberstein e Vigo (2016), com os problemas que os veículos elétricos apresentam em relação à autonomia e capacidade energética das baterias, os HEVs acabam por se tornar uma opção mais segura e viável. Rahmani e Loureiro (2019), ressaltam que os HEVs são mais baratos que os veículos elétricos e os PHEVs, pois este tipo de automóvel não sofre de problemas de bateria ou falta de infraestrutura, apresentando benefícios de incentivos públicos em diversos países, fator que os tornam competitivos no mercado atual.

De acordo com Calçado (2015), os HEVs podem ter sistemas de acionamento complementares como: motor de combustão interna a gasolina ou diesel, um motor elétrico e um banco de baterias e controles. Ainda segundo a autora, o HEV não pode ser recarregado a partir da rede elétrica, suas baterias são recarregadas pelo motor a combustão e pela frenagem regenerativa, sendo que essa frenagem atua convertendo a energia cinética que seria dissipada

na forma de calor pelas pastilhas de freio em eletricidade para realizar a recarga. Na Figura 4, é apresentado o esquema dos componentes de um HEV.

Figura 4: Esquema de um veículo HEV.



Fonte: BINKOWSKI (2018).

2.2.2.2 Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEVs)

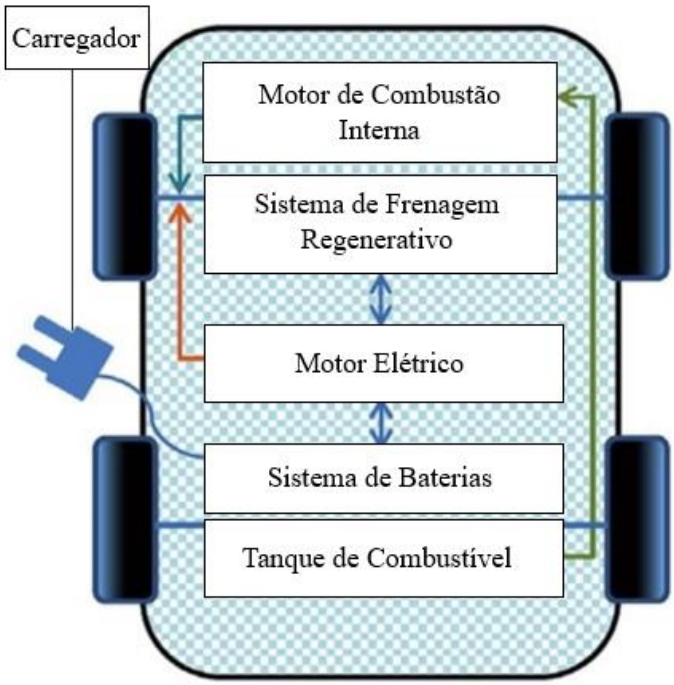
Os PHEVs possuem dois motores: um de combustão interna e um puramente elétrico. Esses dois motores possuem a possibilidade de serem facilmente alternados permitindo a utilização de um ou outro dependendo da situação (PLÖTZ; FUNKE; JOCHEM, 2018). Entretanto, segundo Hiermann et al. (2018), dois motores significam um maior peso no veículo o que pode ocasionar um maior consumo tanto de eletricidade quanto de combustível.

De acordo com Plötz, Funke e Jochem (2018), os PHEVs possuem dois modos de operação baseados na utilização dos motores: no primeiro modo, o motor elétrico é responsável pela propulsão e o motor de combustão é desligado, já o segundo modo é utilizado quando a bateria acaba, de forma que o motor de combustão é responsável por manter o estado de carga da bateria dentro de uma pequena janela. Devido a essa possibilidade de operação, segundo Hiermann et al. (2018), os PHEVs não tem a restrição de autonomia como os BEVs, devido à

opção de serem recarregados, reduzindo o uso de combustíveis fósseis na viagem, ofertando um menor custo e menores emissões.

Segundo Pourabdollah et al. (2013), a próxima geração de PHEVs devem ter a habilidade adicional de armazenar energia da rede elétrica utilizando baterias de grande capacidade, auxiliando a utilização do veículo em pequenas viagens e reduzindo a dependência de combustível. A Figura 5 mostra o esquema de um veículo do tipo PHEV.

Figura 5: Esquema de um veículo PHEV.



Fonte: BINKOWSKI (2018).

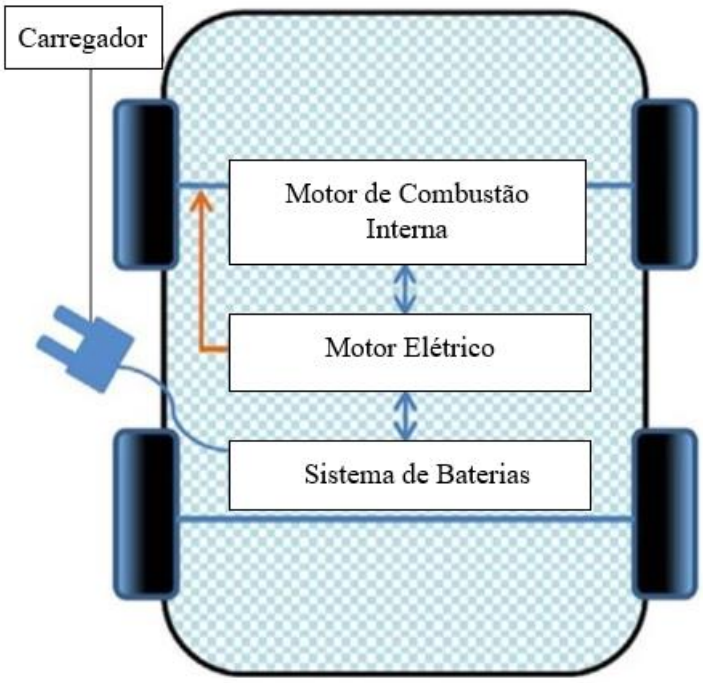
2.2.2.3 Veículos Elétricos Plug-in ou Veículos Elétricos a Bateria (PEVs ou BEVs)

Segundo Willians, Anable e Grant-Muller (2018), os PEVs abrangem tanto os BEVs, que dependem somente do uso de baterias, e os PHEVs, que combinam as baterias com o uso de um motor de combustão interna. De acordo com Razeghi e Samuelsen (2016), como os PEVs são diretamente conectados com a rede elétrica, é fundamental entender a interação entre o setor de transporte e o setor elétrico, a fim de caracterizar corretamente o impacto desses veículos.

Este tipo de veículo adota inteiramente o motor elétrico como motor principal, sem o apoio de um motor de combustão interna tradicional. Os BEVs também podem, como todos os veículos elétricos, recarregar as baterias através de um processo conhecido como a frenagem

regenerativa, que utiliza o motor elétrico para ajudar na desaceleração do veículo recuperando parte da energia normalmente convertida em calor pelos freios (CALÇADO, 2015). Segundo Larminie (2003), a bateria normalmente é recarregada por um *plug* e uma unidade de carregamento que pode ser tanto *onboard*, como pertencer a uma estação de recarga. O esquema de um veículo PEV é mostrado na Figura 6.

Figura 6: Esquema de um veículo PEV e BEV.



Fonte: BINKOWSKI (2018).

2.2.2.4 Veículos Elétricos a Célula de Combustível (FCEVs)

Os FCEVs tem a capacidade de oferecer tanto a autonomia, quanto o curto tempo de recarga que o consumidor está acostumado com os outros tipos de automóveis, porém ele carece em infraestrutura (LANE et al. 2017). Ainda segundo a autora, os FCEVs utilizam uma célula de combustível como motor e hidrogênio como combustível, obtendo de resultado um veículo com zero emissões e uma autonomia e tempo de recarga próxima a dos veículos convencionais a gasolina.

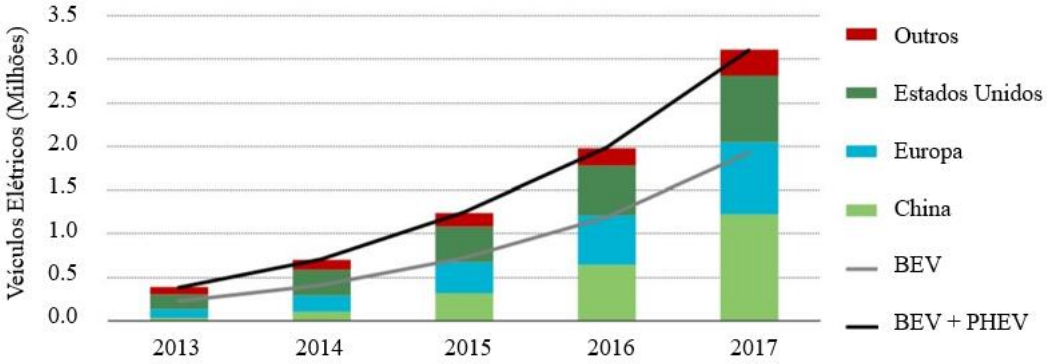
Comparado com os outros tipos de veículos elétricos como os BEVs e os HEVs, os FCEVs também apresentam mais vantagens como: eficiência de conversão energética muito

maior que os motores de combustão tradicionais e nenhum poluente emitido (SONG et al. 2017). Segundo Kim, Kim e Yoo (2019), isso se deve ao fato de que os FCEVs combinam hidrogênio com oxigênio para fazer água obtendo calor e eletricidade. Ainda segundo o autor, os FCEVs são equipados com filtros de ar e podem reduzir as emissões de matéria particulada.

2.2.2 Estatísticas de Veículos Elétricos

Conforme ocorrem avanços nas tecnologias relacionadas com os veículos elétricos como: maior autonomia, menores custos e mais incentivos para o consumidor, o mercado mundial para esses automóveis começa a crescer exponencialmente. Segundo a International Energy Agency (2018), o estoque global de veículos elétricos em 2017 atingiu um novo recorde, sendo vendidas 3,1 milhões de unidades, um aumento de crescimento em cerca de 57% quando comparado ao ano de 2016, como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Estoque global de veículos elétricos ao longo dos últimos anos.



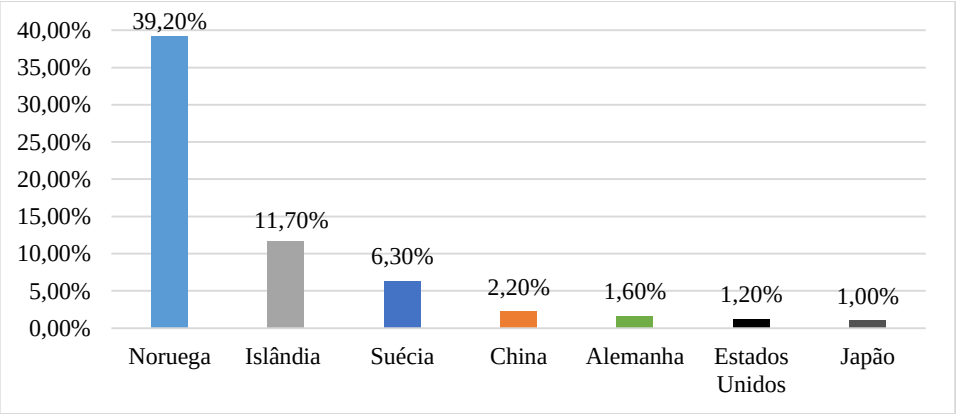
Fonte: Adaptado de International Energy Agency (2018).

Como exemplo disso, segundo Kalaitzi, Matopoulos e Clegg (2019), a indústria de veículos elétricos nos Estados Unidos apresentou um forte crescimento, como mostrado pela empresa Tesla Motors, que obteve uma grande parcela do *market share* nacional, chegando a vender cerca de 57 mil unidades. Outro fator para o aumento das vendas dos veículos elétricos está relacionado com a diminuição do preço dos mesmos, segundo Motoaki e Shirk (2017), nos Estados Unidos grandes empresas como Nissan, Tesla e General Motors começaram a vender seus modelos em uma faixa de preço em torno de US$ 30 mil, tendo outras empresas se juntado ao movimento.

Ainda assim, segundo International Energy Agency (2018), em 2017, a China manteve o maior mercado de veículos elétricos tendo registrado em torno de 1,2 milhões de unidades, ou seja, em torno de 40% da frota de veículos elétricos no mundo estão localizados na China. Em 2016, a Europa chegou a registrar cerca de 215 mil veículos elétricos distribuídos entre Noruega, França, Alemanha, Holanda, Suécia e Inglaterra, sendo que nesse contexto, 95% das vendas dos veículos elétricos ocorrem em apenas 10 países: China, Estados Unidos, Japão, Canadá e os seis países europeus citados anteriormente (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017).

Entretanto, quando se leva em consideração a presença dos veículos elétricos no *market share* mundial, países europeus como a Noruega, Islândia e Suécia, possuem a maior porcentagem de participação dos veículos elétricos, como mostrado na Figura 8.

Figura 8: Distribuição do *market share* mundial dos veículos elétricos.



Fonte: Adaptado International Energy Agency (2018).

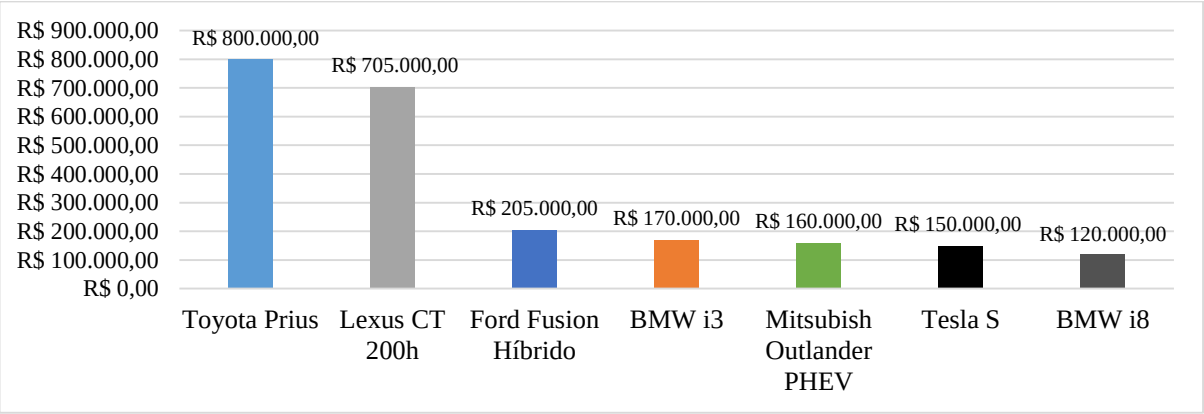
No Brasil, apesar dos veículos elétricos pertencerem a uma pequena parcela da frota automobilística brasileira, estímulos e incentivos começam a ser implementados a fim de aumentar a porcentagem de veículos elétricos no mercado. De acordo com a ANFRAVEA (2018), em 2017 o número de veículos elétricos no Brasil estava em torno de 3.296 mil unidades, representando um valor pequeno quando comparada com a totalidade da frota brasileira. Porém, esse número possui uma tendência a aumentar, segundo projeções realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (2017), apesar dos híbridos convencionais ainda representarem uma parcela pequena dos licenciamentos, os mesmos chegarão a 2,0% da frota de veículos ao final de 2030.

Segundo FGV Energia (2017), uma das grandes barreiras que a disseminação dos veículos elétricos no mercado brasileiro encontra é devido ao alto custo do produto, como consequência, a maior parte da população brasileira não possui condições financeiras de adquirí-los, por exemplo, veículos elétricos que não fazem parte das categorias *premium* chegam ao país em uma faixa de preços elevada, não conseguindo competir com os modelos populares à combustão interna. Isso está relacionado aos custos de fabricação elevados e aos custos de logística e importação ainda que, desde 2015, ocorram subsídios equivalentes a 100% de isenção de imposto de importação para modelos totalmente elétricos com autonomia de pelo menos 80 Km, em adição, tem-se a presença de alíquota de 0% a 7%, de um total de 35%, relacionada a importação, para os modelos híbridos conforme o porte e eficiência (FGV ENERGIA, 2017).

Os incentivos e subsídios que estimulam a utilização dos veículos elétricos no Brasil ainda são muito pequenos. Até 2017, segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2017), fazia vigor o programa INOVAR AUTO, que buscava reduzir o imposto sobre produtos industrializados (IPI) de veículos que possuíam um menor consumo. Entretanto, atualmente, o Inovar Auto foi substituído pelo programa ROTA 30 que, segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2018), reduz o IPI dos veículos elétricos e híbridos de forma que este esteja na faixa entre 7% a 20%. Ainda segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2018), o programa ROTA 30 também tem como objetivo incentivar a pesquisa tecnológica, aumentar a eficiência energética e diminuir as emissões dos veículos. O Brasil também conta com a presença do Inova Energia que, segundo a Financiadora de Estudos e Pesquisas (2018), tem como um dos objetivos apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento de integradores e adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos híbridos e elétricos, junto com a melhoria de eficiência energética dos veículos automotores no país.

Com relação a incentivos de taxação, segundo FGV Energia (2017), em 2015, o Imposto de Importação para veículos movidos unicamente à eletricidade ou hidrogênio passou de 35% para zero, com a exigência de que esses carros tenham uma autonomia de pelo menos 80 km. De acordo com Martins (2016), após essas mudanças, o BMW i3, que chegava ao país custando quase R$ 220 mil, agora pode ser vendido por R$ 170 mil. Outros BEVs, como o Renault ZOE e o Mitsubishi i-MiEV, também são encontrados no país custando em média R$ 130 mil. Na Figura 9, alguns exemplos de custos dos veículos elétricos no Brasil.

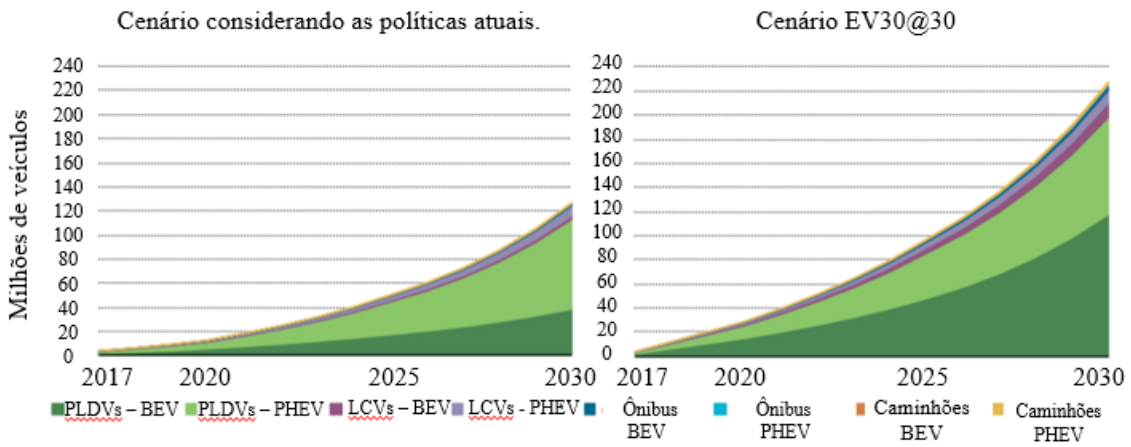
Figura 9: Custo de alguns veículos elétricos no Brasil em 2017.



Fonte: FGV Energia (2017).

Cada vez mais com o aumento da preocupação das nações com o meio ambiente, tratados e acordos são assinados em busca de reduzir o dano ambiental do setor automobilístico. Com isso em mente, a tendência para o futuro é o aumento exponencial da participação dos veículos elétrico na frota. Segundo a International Energy Agency (2018), a projeção de veículos elétricos para 2020, considerando o cenário de políticas adotadas atualmente, é de 13 milhões de unidades, chegando em 2030 com cerca de 130 milhões de unidades. Entretanto, ainda segundo o autor, ao considerar o cenário EV30@30, o qual prevê um futuro de acordo com as ambições dos países envolvidos com a *Electric Vehicle Initiative* (EVI), essa estimativa chega em 228 milhões de veículos elétricos em 2030, como mostrado na Figura 10.

Figura 10: Gráfico do estoque Global de Veículos Elétricos em 2030.



Fonte: Adaptado International Energy Agency (2018).

2.3 BATERIAS

Atualmente existem quatro principais classificações de veículos elétricos, sendo a bateria um componente em comum entre eles e que se torna necessária para o funcionamento adequado do veículo. Segundo Chan (2007), baterias armazenam energia que pode ser gerada tanto pelo motor de combustão interna, quanto pela frenagem regenerativa, em adição a isso, elas também provem energia necessária para o sistema de propulsão. A fim de obter baterias cada vez melhores, têm sido feita a procura por materiais que possam ter custo inferior, que tenham menor tamanho, que sejam mais leves, que possuem maior ciclo de vida (número de recargas), e que tenham um caráter melhor no armazenamento de energia (maior densidade de energia) (CALÇADO, 2015).

A densidade energética é a energia armazenada por unidade de volume da bateria, nos veículos elétricos quanto maior a densidade energética, melhor, pois haverá um menor uso de células ou quantidades de células nos veículos, aumentando o espaço para as cargas (ASSUMPÇÃO, 2016). Ainda segundo o autor, a energia específica é a energia armazenada por unidade de massa, assim, quanto maior a energia específica, melhor, pois a defasagem para os veículos convencionais fica cada vez menor. As opções de baterias utilizadas em carro elétricos variam conforme o tipo do mesmo, por exemplo, para os BEVs, as principais alternativas são as baterias de Chumbo-Ácido, Níquel-Metal-Hidreto e as baterias de Íon-Lítio (CHAN, 2007).

2.3.1 Bateria Chumbo-Ácido

Segundo Calçado (2015), baterias de chumbo-ácido são utilizadas em carros convencionais e caminhões, sendo relativamente baratas e possuindo uma elevada densidade de potência, sendo necessário assim que as baterias de chumbo-ácido possuam um tamanho maior, podendo vir a limitar sua utilização em alguns modelos de veículos elétricos. Seu uso extensivo é devido a várias características como: alta energia específica, capacidade de descarga de alta taxa, fabricação de baixo custo e reciclagem, bem como alta densidade de energia (MURARIU; CRISTIAN, 2019).

2.3.2 Bateria Níquel-Metal-Hidreto

São comumente usados em veículos híbridos, tendo um custo moderado e uma densidade de energia cerca de duas vezes maior que as baterias de chumbo-ácido, porém a sua densidade de potência é menor em termos de volume (espaço necessário) (CALÇADO, 2015). Ainda segundo o autor, elas também têm uma taxa de auto descarga mais elevada (tendência para descarregar-se quando não for utilizada), sendo mais adequadas para aplicações híbridas do que em BEVs.

Segundo Assumpção (2016), a bateria de níquel-metal-hidreto foi a primeira bateria utilizada em larga escala para aplicações tracionarias após a de chumbo-ácido. Segundo a mesma referência os primeiros veículos elétricos modernos de larga escala dos anos 90 e os primeiros veículos híbridos da Toyota (Toyota Prius) e Honda (Honda Insight) utilizavam essa tecnologia devido sua alta capacidade de armazenamento de energia e pela maturação da tecnologia adquirida em equipamentos eletroeletrônicos portáteis.

2.3.3 Bateria Lítio-Íons

As baterias lítio-íons, segundo Noce (2009), possuem alta capacidade de armazenamento de energia, baixa toxicidade e não apresentam efeito memória, podendo trabalhar a temperaturas não muito diferentes da temperatura ambiente e podendo ser carregadas em pouco tempo. As baterias de íon-lítio são comumente usadas nos PHEVs e BEVs, assim como alguns híbridos convencionais, possuem densidades de energia e densidade de potência tipicamente maiores do que as de chumbo-ácido e baterias níquel-metal-hidreto, possuindo uma eficiência de carga e descarga maior (CALÇADO, 2015).

No entanto, nas aplicações que exigem muita energia, um grande número de baterias litio-íons precisa ser embalado em série e paralelo a fim de formar um pacote de bateria eficiente, o que acaba causando problemas de custos, estabilidade, consistência e segurança (CHEN et al. 2019). Ainda segundo o autor, esses problemas limitam as aplicações de baterias de lítio-íons, pois as obriga a serem utilizadas dentro de uma faixa de operação segura e confiável, a qual é afetada por parâmetros como taxa de carga, temperatura e faixa de tensão, como consequência, ultrapassar esses intervalos levará a atenuação rápida do desempenho da bateria e até resultará em problemas de segurança.

2.4 ESTAÇÕES DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Segundo Gonzáles, Siavichay e Espinoza (2019), a principal função das estações de recarga para veículos elétricos (EVCS) é fornecer e controlar a energia que é transferida para a bateria do veículo. Com isso em mente, as estações de recarga tem uma participação crítica no desenvolvimento dos veículos elétricos, sendo no seu uso diário ou na sua interação com a rede elétrica (SBORDONE et al. 2014). Segundo Zhang et al. (2018), uma das principais barreiras para a disseminação do uso de veículos elétricos é a falta de infraestrutura de recarga pública. De acordo com Neiameh et al. (2017), uma infraestrutura de recarga apropriada pode ser o aspecto necessário para a adoção em massa dos veículos elétricos.

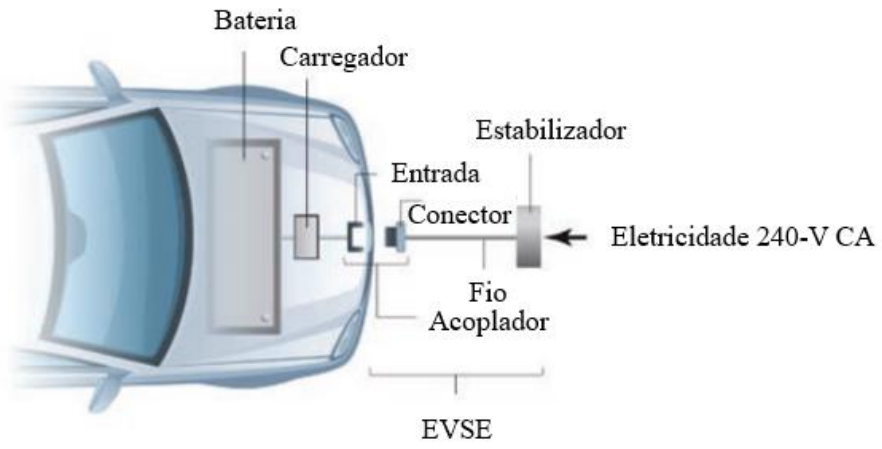
Para Sbordone et al. (2014), uma estação de recarga deve possuir a habilidade de carregar a bateria de um veículo elétrico rapidamente, detectar o estado da carga da bateria e se adaptar aos diferentes modelos de carros e baterias, em qualquer caso, o tempo de carregamento deve se adequar com as características da bateria do veículo a fim de garantir uma recarga ideal, prolongando a vida da bateria. A configuração de uma estação de recarga pode variar dependendo do país baseado em fatores como: frequência, voltagem, conexão da rede elétrica e padrões pré-estabelecidos, sendo que o principal parâmetro que influência o tempo de recarga, o custo, efeito na rede e o equipamento, é o nível de energia do carregador (SBORDONE et al. 2014).

Com o intuito de designar um sistema de infraestrutura que atenda os requerimentos de diversos motoristas, é necessário implantar uma grande quantidade de EVCSs em diferentes localizações (ZHANG et al. 2015). Em adição, com a entrada dessa nova tecnologia, começam a surgir novos padrões de comportamento, como trocar a frequência de carregamento dependendo do tamanho da bateria, o que acaba por se diferir do comportamento atual de reabastecimento nos veículos de combustão interna, tornando difícil prever a demanda e realizar uma otimização dessa infraestrutura de recarga (WOLBERTUS et al. 2018). Segundo Ma et al. (2017), ainda deve-se levar em conta outras características de recarga dos veículos elétricos como: capacidade da bateria, tempo disponível de recarga do usuário, voltagem, energia disponível e autonomia.

Outro fator importante é a localização otimizada para distribuir as estações de recarga de forma que estas atendam melhor os motoristas. Com isso em mente, segundo Ma e Zang (2018), em ambientes com a presença de muito tráfego, alguns requerimentos e condições devem ser consideradas ao implementar estações de recarga, dentre elas: raio do serviço, segurança, preço da terra, planejamento municipal e a fluidez do tráfego. Do mesmo modo,

quando se trata do sistema de energia, algumas condições também devem ser consideradas, como: a capacidade de distribuição da rede, demanda, etc. (MA; ZANG, 2018). Nesse contexto, as estações de recarga atuais acabam por se dividirem em diferentes modelos de forma a atender os diferentes tipos de usuários. Um exemplo do funcionamento prático de uma EVCS é mostrado na Figura 11.

Figura 11: Funcionamento de uma estação de recarga.



Fonte: FGV ENERGIA (2017).

Percebe-se assim, que a estação de recarga entra em contato com o veículo elétrico por meio do conector, na presença do fio e do acoplador, sendo necessária a compatibilidade do automóvel com a estação de carregamento que será utilizada.

2.4.1 Tipos de Estações de Recarga

Um dos aspectos importantes na utilização dos veículos elétricos é o carregamento de suas baterias. Segundo Lokesh e Min (2017), o tempo de carregamento da bateria depende do tipo de estação de recarga que é utilizada e também da carga inicial presente na bateria. Com isso em mente, as estações de recarga podem ser separadas em grupos levando em conta os seus diferentes modos, porém, não existe um consenso na literatura quanto aos números de modos de recargas existentes. Alguns autores optam por utilizar apenas três, enquanto outros preferem adotar quatro níveis. No presente trabalho, escolheu a classificação em três níveis devido as similaridades existentes entre o nível 3 e o nível 4.

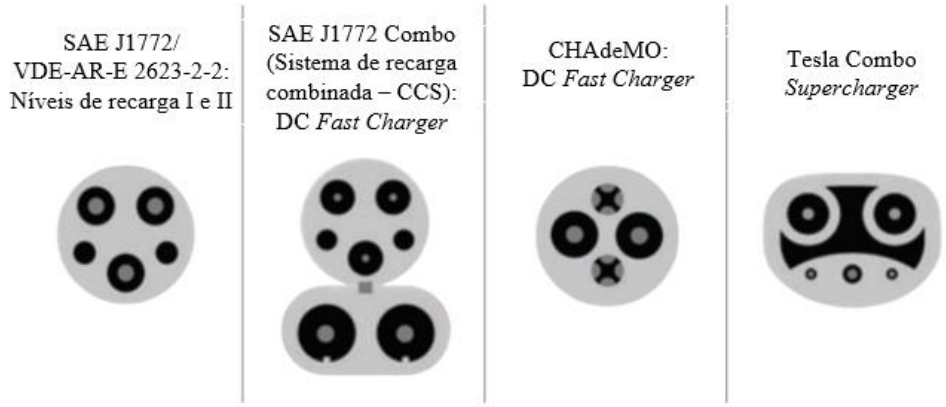
Segundo Gonzáles, Siavichay e Espinoza (2019), esta classificação tem como base os níveis de energia das estações de recarga juntamente com o tempo necessária para efetuá-la, o que define as três categorias em:

- Nível 1: esse nível é utilizado em residências com uma voltagem de até 120 volts e capacidade energética de 3,7 kW. Nesse tipo de estação o carregamento do veículo elétrico demora um tempo elevado, podendo estar entre 6 a 24 horas. A conversão de energia deve ser feito pelo conversor do veículo elétrico.
- Nível 2: possui uma voltagem entre 208 a 240 volts, capacidade de 3,7 kW até 22 kW e uma corrente que pode chegar a 32 A. O tempo de carregamento pode ser menor que 6 horas dependendo do *status* atual do veículo. A conversão elétrica também deve ser feita pelo conversor do veículo elétrico.
- Nível 3: nessa categoria estão os chamados *fast chargers* ou recarga rápida, a faixa de energia máxima que este tipo de estação de recarga consegue suportar é de 50 kW até 240 kW com uma corrente elétrica chegando em até 400 A. Nesse nível as estações de recarga são responsáveis por fazer a conversão entre corrente alternada e corrente direta, a voltagem chega a até 600 V e é resultante da corrente direta.

Segundo Zhang et al. (2018), uma infraestrutura de recarga privada geralmente é acessível apenas a uma pessoa ou um pequeno grupo, uma infraestrutura pública é utilizada publicamente, tendo possiblidade de um maior número de veículos, e existem também a infraestrutura semi pública, que é reservada para locais de trabalhos e clubes. Carregamentos de nível 1 ou 2 possuem compatibilidade com todos os veículos com conector e receptor padrões do tipo 1 (SAE J1772 ou conector Yazaki), usado nos EUA e Japão, e tipo 2 (VDE-AR-E 2623-2-2 ou conector Mennekes), usado na Europa e China (TUITE, 2012).

Por outro lado, segundo FGV Energia (2017), mesmo tendo-se um padrão para os conectores de níveis 1 e 2, para os carregadores do tipo rápido ainda não foi desenvolvido um padrão, fazendo com que esse tipo de recarga tenha até três modelos diferentes: SAE Combo ou CCS, CHAdeMO e Tesla Supercharger. Ainda segundo o autor, apesar da falta de uniformidade, as estações de recargas tendem a apresentar modelos que atendam tanto o CHAdeMO quando o SAE Combo. O tipo de carregamento realizado também dependerá da entrada (receptor) existente no veículo, como mostra a Figura 12.

Figura 12: Conectores para recarga de veículos elétricos.



Fonte: FGV ENERGIA (2017).

Em relação ao tempo específico de recarga, cada veículo elétrico será diferente, pois dependem diretamente da capacidade de sua bateria. De acordo com Pelletier, Jabali e Laporte (2014), leva-se em conta também que o tempo anunciado para o carregamento geralmente é apenas considerando 80% da capacidade da bateria, isso ocorre porque a recarga não é linear durante todo o processo de carregamento. Segundo Bruglieri e Colorni (2014), a primeira fase praticamente carrega toda a bateria linearmente, a segunda fase não é linear e pode levar algumas horas para obter a carga completa da bateria e garantir uma recarga uniforme de todas as células que a compõem. No Quadro 2 estão alguns dados técnicos sobre a recarga de alguns veículos elétricos para exemplificar tempos de recarga.

Quadro 2: Dados técnicos de recarga de alguns veículos elétricos.

Veículo	**Tipo de Bateria e Energia**	**Autonomia**	**Conector**	**Nível 1**		**Nível 2**		**Nível 3**	
				Exigência	**Tempo de recarga**	**Exigência**	**Tempo de recarga**	**Exigência**	**Tempo de recarga**
Toyata Prius PHEV (2012)	Li-Ion 4.4 kWh	22,6 Km	SAE J1722	1,4 kW	3 horas	3,8 kW	2,5 horas	N/A	N/A
Chevrolet Volt PHEV	Li-Ion 16 kWh	65 Km	SAE J1722	0,96-1,4 kW	5-8 horas	3,8 kW	2-3 horas	N/A	N/A
Mitsubishi i-MiEV	Li-Ion 16 kWh	155 Km	SAE J1722 JARI/TEPCO	1,5 kW	7 horas	3 kW	14 horas	50 kW	30 minutos
Nissan Leaf EV	Li-Ion 24 kWh	161 Km	SAE J1722 JARI/TEPCO	1,8 kW	12-16 horas	3,3 kW	6-8 horas	50+ kW	15-30 minutos
Tesla Roadster Ev	Li-Ion 53 kWh	395 Km	SAE J1722	1,8 kW	30+ horas	9,6-16,8 kW	4-12 horas	N/A	N/A

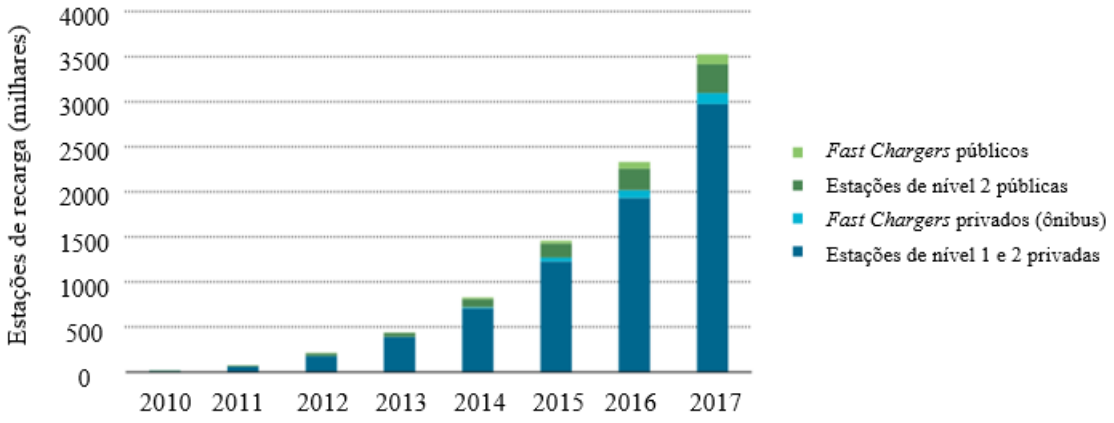
Fonte: Adptado Yilmaz e Krein (2013).

Um nível de potência maior implica um menor tempo de carregamento, mas um maior custo de equipamento, geralmente um carregamento no nível 1 pode ser obtido em uma estação de recarga comum, já para o nível 2 ou 3 são necessárias estações de recarga dedicadas (YILMAZ e KREIN, 2013). Uma estação de recarga de nível 2, de acordo com Ference (2017), pode custar entre US$ 1.200,00 até US$ 2.000,00, enquanto uma estação de nível 3, segundo Ducharme e Kargas (2016), pode vir a custar entre US$ 15.000,00 e US$ 60.000,00.

2.4.2 Estatísticas sobre Estações de Recarga

Atualmente, seguido do crescimento dos veículos elétricos no mercado internacional, as estações de recarga começam a ficar cada vez mais populares, tanto os modelos particulares quanto os modelos públicos e de recarga rápida. Entretanto, ainda é possível ver que a infraestrutura pública para recarga se apresenta bem atrasada em relação à privada, porém é inegável seu crescimento ao longo dos anos, como mostra a Figura 13.

Figura 13: Crescimento da infraestrutura de recarga ao longo dos anos.



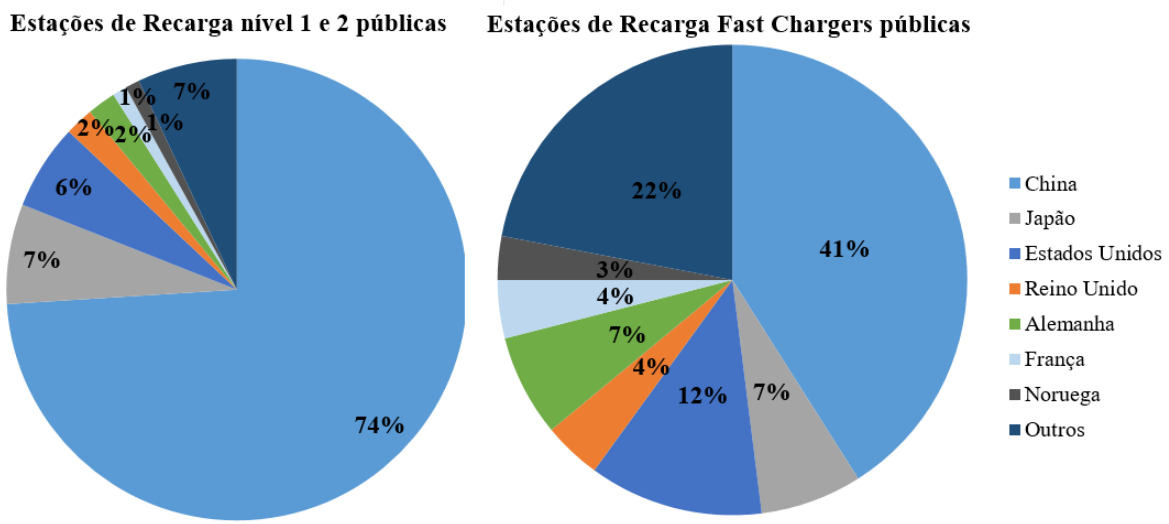
Fonte: Adaptado de International Energy Agency (2018).

Em 2015, países com *market share* de veículos elétricos acima de 0,5%, como China, Dinamarca, França, Alemanha, Japão, Holanda, Noruega, Portugal, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos, promoveram incentivos diretos e fiscais a fim de estimular a instalação de estações de recarga privadas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016). Ainda segundo a mesma referência, no âmbito da recarga pública, os Estados Unidos contribuíram para a instalação de 36.500 eletropostos em 2015 com ajuda de um programa federal de

financiamento, enquanto no Japão e na Dinamarca, também ocorreram parcerias dos governos com o objetivo de promover e instalar estações de recargas públicas.

Na Europa, pesquisas realizadas pela International Energy Agency (2018), indicam uma preferência por carregadores particulares, sendo que mais de 90% dos donos de veículos elétricos utilizam estações privadas para recarga na Suécia e na Noruega. Na China, segundo Yiran (2018), existiam cerca de 232.000 carregadores privados em 2017, ou seja, a relação entre veículo elétrico e carregador fica em torno de 3,8 para 1. A Figura 14 mostra as comparações de distribuição dos carregadores públicos e privados nos países onde existe uma presença maior de infraestrutura de recarga.

Figura 14: Distribuição mundial de carregadores públicos acessíveis.



Fonte: Adaptado International Energy Agency (2018).

Para o ano de 2020 a China busca atingir 500.000 carregadores públicos e 4,3 milhões de carregadores particulares (XIAOWEN, 2018). Já a Califórnia revisou sua meta de implantação de infraestrutura para 2025, juntamente com sua meta para 2030 de 5 milhões de veículos elétricos, propondo investir US$ 900 milhões para implantar 250.000 pontos de de recarga até 2025, dos quais cerca de 10 mil pontos devem ser carregadores rápidos (ELECTRIFY AMERICA, 2018). A União Europeia, por outro lado, se encontra subdensenvolvida nesse setor, buscando em até 2020, ter aproximadamente uma estação de recarga a cada dez veículos elétricos (PLATFORM FOR ELECTROMOBILITY, 2018).

No Brasil, têm sido instaladas diferentes estações de recargas para veículos elétricos junto com eletrovias interestaduais em busca de incentivar a utilização dessa nova tecnologia.

Dentre elas, destaca-se a eletrovia na Rodovia Presidente Dutra que liga São Paulo ao Rio de Janeiro, instalada pela empresa Electric Mobility Brasil.

Segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2018), a ligação entre São Paulo e Rio de Janeiro é considerada a primeira eletrovia interestadual do Brasil e possui em sua totalidade 434 km de distância com um intervalo de 100 km entre cada eletroposto, de forma que as estações de recarga conseguem carregar 80% da bateria de qualquer tipo de veículo elétrico comercializado no Brasil em um intervalo de tempo entre 20 e 30 minutos. Ainda segundo a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (2018), tanto os veículos elétricos mais antigos quanto os mais modernos poderão utilizar a eletrovia circulando entre as duas capitais, a única diferença é o número de paradas necessárias para cada modelo de veículo elétrico, além disso, os eletroposto possuem capacidade para dois veículos ao mesmo tempo otimizando assim a recarga para os motoristas.

Segundo Oliveira (2018), a BR-277 no Brasil, que liga Paranaguá a Foz Iguaçu, conta com pontos de recarga para carros elétricos no trajeto, sendo oito eletropostos distribuídos pela rodovia. Oliveira (2018) ressalta que, cada eletroposto possui três conectores para carga em carros elétricos ou híbridos *plug-in*, sendo todos os pontos de carga rápida, conseguindo suprir uma autonomia extra entre 150 a 300 km dependendo do modelo dos veículos. A empresa responsável pela eletrovia da BR-227 é a Copel, como mostra a Figura 15, onde se pode visualizar uma estação de recarga.

Figura 15: Estação de recarga Copel.

Fonte: Copel (2018).

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aprovou apoio de R$ 3,4 milhões e R$ 3,3 milhões para dois projetos de redes de recarga de veículos elétricos, desenvolvidas por duas unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial: Fundação CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) e a Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI) (BNDES, 2018).

Ainda segundo BNDES (2018), o projeto do CPqD conta com investimento total de R$ 5 milhões e tem como interveniente a PHB Eletrônica Limitada, enquanto a iniciativa da CERTI prevê investimento de R$ 7,5 milhões e conta com a WEG, fabricante nacional de eletroeletrônicos de uso industrial. Segunda a mesma referência, ambos os projetos dispõem do apoio financeiro da Embrapii, no valor total de R$ 2,9 milhões, e que as instituições desenvolverão modelos de eletropostos de nível 1, nível 2 e recarga rápida, podendo ser instaladas em residências, shoppings, estacionamentos, postos de gasolinas e estradas.

2.4.3 Estudos técnicos aplicados envolvendo estações de recarga

É importante atentar-se aos estudos técnicos presentes na literatura que envolvem estações de recarga, pois ajudam a definir a importância do tema, bem como o melhor meio de abordá-lo. Nesse contexto, Ma e Zhang (2018), desenvolveram um modelo BASS para prever o número total de veículos elétricos e calcular o tamanho das estações de recarga nos próximos anos, além disso, foi desenvolvido um modelo de filas para otimizar a localização das estações de recarga. O modelo foi testado usando dados de uma cidade da China e os resultados mostram que é possivel prever o número de veículos elétricos nos próximos anos e calcular o tamanho das estações de recarga, podendo otimizar a distribuição e torná-las mais balanceadas. Os autores concluem que o modelo é benéfico para o governo no planejamento do desenvolvimento de veículos elétricos no futuro.

Xue e Gwee (2017), realizaram um estudo com o objetivo de dar uma visão global das considerações técnicas necessárias para a adoção de uma estação de recarga de nível 2, junto com o detalhamento das vantagens que a estação de recarga de nível 2 tem sobre as de nível 1. Para isso, os autores utilizam a referência de outras literaturas, estudos de caso e práticas globais, inserindo-as no cenário de Singapura. Os autores concluem que as estações de recarga de nível 2 possuem vantagens em aspectos como: menor *range anxiety*, maior retorno econômico e maior eficiência de recarga.

Gonzáles, Siavichay e Espinoza (2019), realizaram um estudo para analisar o efeito da implementação de estações de recargas do tipo rápida na rede de distribuição elétrica de uma

cidade da América Latina. A fim de atingir esse objetivo, o estudo cobre aspectos sociais, geográficos e técnicos para determinar a infraestrutura de recarga mínima necessária. Os autores fizeram uso de métodos computacionais com um modelo de estação de 50 kW de potência. Os resultados obtidos mostram que o impacto da inclusão de estações de recargas do tipo rápida no Equador é reduzido em termos de distorção harmônica e capacidade energética, gerando um benefício econômico e ambiental para a cidade.

Abe e Saitoh (2012), propõem um método de carregamento inteligente para equipamentos de recarga rápida. Esse método baseia-se em programação linear para determinar quantos veículos elétricos podem ser carregados em estações de recarga rápida sem que ocorra uma deterioração de qualidade da tensão elétricana rede de distribuição. Segundo o autor, ao utilizar o método proposto para providenciar os motoristas com a informação sobre a localização das estações de recargas disponível, faz com que os equipamentos de carregamento rápido tenham maior facilidade em serem popularizados. Como resultado do estudo, o método proposto é funcional e consegue facilmente estimar a potência requerida para aumentar o número máximo de modelos de recarga rápida disponíveis utilizando programação linear.

O tamanho da carga necessária para carregar veículos elétricos plug-in pode causar um problema de baixa tensão elétrica na rede de distribuição, a fim de mitigar esse problema, é necessário limitar o consumo de energia da estação de recarga (KIM et al. 2016). Assim, o operador da estação precisa de um método para distribuir a energia para os veículos apropriadamente, com isso em mente, Kim et al. (2016), propõem um método baseado em índices de prioridades para distribuir a energia corretamente entre os veículos elétricos. Os veículos elétricos são ranqueados por prioridade em tempo real utilizando um *software* de computador, obtendo uma solução quase ótima em um curto período de tempo. Como resultado, as simulações realizadas pelo autor comprovam a efetividade da implementação do método.

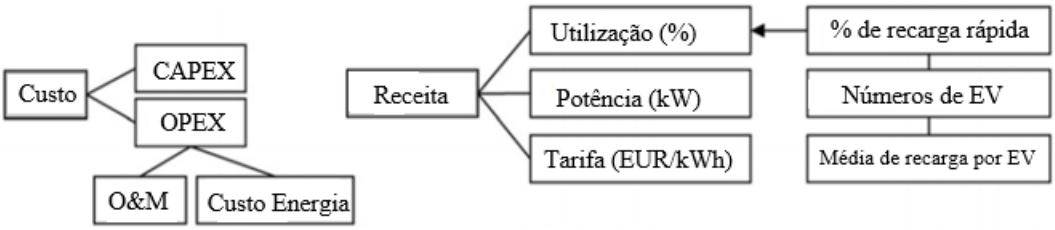
Zhang (2015), realizou um estudo para propor um modo de construção combinando as estações de recarga (nível 1, nível 2 e recarga rápida), gerando um modelo otimizado de localização. O objetivo deste modelo é não só determinar qual é a melhor localização, como também usar a teoria das filas para determinar o número apropriado de equipamentos de energia para atingir os custos mínimos. O resultado obtido pelo autor mostra que o lugar ideal para fazer a instalação da estação de recarga, estão localizados nas áreas urbanas.

2.4.4 Estudos econômicos aplicados envolvendo estações de recarga

Os estudos econômicos envolvendo diferentes estações de recarga são extremamente importantes porque ajudam a definir a melhor opção de investimento, além de analisar e obter conclusões sobre a viabilidade econômica do projeto. Com isso em mente, algumas bibliografias mostram diferentes aplicações da engenharia econômica relacionadas com a infraestrutura de recarga dos veículos elétricos.

Nesse contexto, Schroeder e Traber (2012), realizaram um estudo de viabilidade econômica sobre as estações de recarga classificadas como recarga rápida, utilizando as condições econômicas da Alemanha como cenário de pesquisa. Nesse estudo, o Retorno sobre o Investimento (ROI) foi utilizado como o indicador de rentabilidade e assim, o autor pode concluir que, baseado no contexto econômico alemão, seria difícil obter uma infraestrutura de recarga classificada como carregamento rápido que provesse lucro, visto que, o ROI para o valor inicial de 95 mil EUR necessários para implementar a estação de recarga, ficaria longe de viável economicamente. Na Figura 16, estão alguns parâmetros levados em consideração nos cálculos dos autores. Estes parâmetros são importantes para o melhor alinhamento do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

Figura 16: Parâmetros para o cálculo do custo e receita da EVCS.



Fonte: Adaptado Schroeder e Traber (2012).

Mazzeo (2018), abordou o problema econômico de forma diferente, realizando um estudo comparativo entre alguns cenários. Entretanto, devido a maior relevância para o presente trabalho, opta-se por analisar apenas o primeiro cenário gerado, o qual é composto por uma estação de recarga *wall box* privada de nível 1, instalada em uma casa obtendo energia somente da rede elétrica. Para realizar a análise econômica, o autor fez uso do Valor Presente Líquido (VPL). O resultado obtido foi um crescimento uniforme do VPL conforme o aumento da

distância percorrida por dia pelo veículo elétrico, apresentando valores negativos em distâncias menores que 50 km por dia. Esses valores do VPL ficaram na faixa entre -4.084,00 EUR até 20.754,00 EUR para este cenário.

Um estudo de viabilidade realizado por New York State Energy Research and Development Authortiy (2015), na cidade de Nova Iorque, envolvendo uma estação de recarga de nível 2, fez uso de dois métodos: o *payback* simples e o VPL. As circunstâncias utilizadas levaram em conta uma premissa de crescimento anual em torno de 12% na utilização das estações de recarga, um período de 20 anos, preço de recarga de US $0,45/kWh e uma taxa mínima de atratividade de 7% ao ano. O VPL obtido pelo autor foi de US$ 7.482,00 juntamente com um *payback* de 8,71 anos, confirmando a viabilidade do investimento.

Outros autores como Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis (2014), fizeram uso do VPL e da taxa interna de retorno (TIR) para analisar a lucratividade das estações de recarga de nível 2 no ambiente da Grécia. No estudo os autores consideraram dois tipos de estações, uma de 3,3 kW e outra de 7,2 kW, dentro de um período de 5 dias entre segunda-feira e sexta-feira e um período de 6 dias de segunda-feira até sábado. Os resultados obtidos seguem no Quadro 3.

Quadro 3: Resultados Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis.

Tipo de carregador	Segunda – Sexta		Segunda – Sábado	
	TIR	VPL	TIR	VPL
3,3 kW	11,7%	1.055 €	22,4%	4.473 €
7,2 kW	13,3%	1.453 €	24,9%	5.180 €

Fonte: Adaptado de Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis (2014).

Do mesmo modo Liu et al. (2016), realizaram o estudo de viabilidade econômica de estrutura de recarga na China utilizando um cenário composto por um eletroposto com 4 unidades de recarga rápida e 16 unidades de recarga de nível 2. Nesse contexto, os autores fazem uso de métodos como VPL, ROI, *payback* e TIR. Dentre os resultados obtidos tem-se: 15,84 anos de *payback*, ROI de 7,55%, TIR de 3,78% ao ano e uma margem de lucro de 5,66% para o investimento.

2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA

A Engenharia Econômica é definida, segundo Grant e Ireson (1982 apud HESS et al. 1992), como o estudo que compreende os princípios e técnicas necessárias para se tomar

decisões relativas a aquisição e a disposição de bens de capital, na indústria e nos órgãos governamentais. É possível também ir além da definição acima, como mostra Hess et al. (1992), ao acrescentar que a Engenharia Econômica é o conjunto de conhecimentos necessários para a tomada de decisão sobre os investimentos. Para Blank e Tarquin (2008), a Engenharia Econômica envolve formular, estimar e avaliar os resultados econômicos, quando alternativas para realizar determinado propósito estão disponíveis, além de poder ser definida como um conjunto de técnicas matemáticas que simplifica a comparação econômica.

Segundo Casarotto e Kopittke (2010), somente um estudo econômico pode confirmar a viabilidade de projetos tecnicamente corretos. Conseguir a máxima eficiência técnica somente se torna viável se for demonstrada a máxima eficiência financeira, deve-se então procurar uma eficiência técnica da engenharia que seja compatível com a eficiência financeira (HIRSCHFELD, 1979). Filho e Kopittke (2010), mostram também que a área de aplicação da Engenharia Econômica é bastante ampla devido ao fato que os investimento poderão ser de empresas, particulares ou entidades governamentais.

Assim, segundo Hess et al. (1992), um estudo de Engenharia Econômica envolve definição do problema, a determinação das alternativas tecnicamente viáveis, a determinação e avaliação quantitativa das diferenças futuras, a manipulação dos diagramas e aplicação dos critérios de decisão para obtenção da alternativa mais econômica e a avaliação qualitativa das alternativas incluindo fatores imponderáveis e modificação da decisão anterior quando necessário. Mediante a isso, a Engenharia Econômica está no âmago do processo de tomada de decisões e afeta diretamente o que irá ocorrer com os diversos projetos criados (BLANK; TARQUIN, 2008).

2.5.1 Análise de Investimento

Colpos, Medeiros e Weise (2016) definem investimento como uma alocação de recursos, que possui como efeito esperado recuperar os custos do mesmo e obter lucro. Ainda segundo os autores, a análise de investimento, através de suas técnicas, torna-se uma das ferramentas que pode ser utilizada pelo investidor para auxiliar a tomada de decisões, principalmente na decisão de investir ou não no negócio.

Segundo Filho e Kopittke (2010), quando uma empresa necessita realizar um investimento, ela deve levar em consideração os critérios econômicos, ou seja, a rentabilidade do investimento, os critérios financeiros, que são a disponibilidade de recursos e os critérios imponderáveis ou fatores não conversíveis em dinheiro. É fundamental para o controle e a

racionalização de recursos de capital a análise prévia do investimento, pois o conhecimento dos valores de tempo e dinheiro são critérios essenciais para qualquer decisão neste tema (HIRSCHFELD, 1979).

2.5.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Ao desejarmos investir uma quantia, comparamos os prováveis dividendos que serão proporcionados por este investimento com os de outros investimentos disponíveis (HIRSCHFELD, 1979). Ao se analisar uma proposta de investimento se deve considerar o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos, assim, a fim da nova proposta ser atrativa ela deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco, sendo este conceito, segundo Filho e Kopittke (2010), a definição da TMA.

Segundo Venditte (2009), ao se fazer um investimento o investidor espera uma taxa de retorno pelo menos igual a TMA, de forma que a mesma é única para cada investidor, não existindo fórmula matemática para calculá-la, pois ela pode variar com o tempo. Hess et al. (1992), confirmam que a TMA possui um grande grau de subjetividade, podendo ser adotada como uma política pela empresa, sendo mudada conforme o risco do investimento, o capital disponível, a tendência geral de surgimento de aplicações mais rentáveis, o custo do capital, entre outros fatores.

Nesse contexto, segundo Filho e Kopittke (2010), a determinação da TMA para empresas depende de fatores como o prazo ou importância estratégica das alternativas. Ainda segundo o autor, para investimentos de curtíssimo prazo, geralmente utiliza-se a TMA como sendo a taxa de remuneração de títulos bancários de curto prazo, enquanto em investimentos de médio prazo, a TMA pode ser a média ponderada dos rendimentos das contas do capital de giro, e por fim, em investimentos de longo prazo, a TMA passa a ser uma meta estratégica.

2.5.3 Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)

Segundo Hirschfeld (1979), quando utilizamos equipamentos, aparecem diversas alternativas em que defrontamos os custos dos equipamentos com suas vidas úteis, valores residuais por ocasião das vendas e as despesas anuais com mão de obra, energia, manutenção, entre outros. Hess et al. (1992), mostra que o método do Custo Anual Uniforme Equivalente

(CAUE) é utilizado comumente para comparar custo das alternativas de investimentos, onde as mesmas fornecem benefícios idênticos a fim de que a comparação dos custos sirva de critério de decisão.

Para determinar o CAUE em um determinado período, basta trazer ao valor presente, o fluxo de caixa projetado até este período, descontado à Taxa Mínima de Atratividade, e transformá-lo em uma série uniforme de pagamentos, a qual representa o custo que incide em cada período para possuir e operar o equipamento (SILVA et al. 2012). Assim, segundo Stortte e Jacometti (2016), é necessário levar em consideração os custos operacionais, os valores dos investimentos e o preço de venda do bem ao fim da vida útil deste para a empresa no cálculo do CAUE. Nesse contexto, segundo Silva et al. (2012), o período em que o CAUE é mínimo corresponde à vida econômica do bem, sendo o momento ótimo de substituí-lo.

Hess et al. (1992) ressalta que, por ser de mais fácil interpretação, o método CAUE pode ser frequentemente utilizado com ampla vantagem sobre os demais, tanto em comparação de custos, quanto de receitas. A Equação 1, retirada de Hirschfeld (1979), é utilizada para obter o CAUE.

$$CAUE = [A_P - A_F] + \sum_{1}^{m} A_i \tag{1}$$

Onde: CAUE é o custo anual uniforme [R$], P é o custo do equipamento [R$], A_P são as anuidades equivalentes provindas do custo de equipamento P considerado aplicado a taxa de i%, A_F são as anuidades equivalentes provindas da Receita do Valor Residual F considerado aplicado a taxa de i%, $\sum_1^m A_i$ é a somatória de outros m eventuais custos uniformes equivalentes anuais provindos de mão de obra, despesas de energia, manutenção de equipamentos, etc.

A Equação 1 ainda pode ser rearranjada na forma da Equação 2.

$$CAUE = (P - F)(A/P, i, n) - F_i + \sum_{1}^{m} A_i \tag{2}$$

Onde: F é o Valor Residual Futuro do Equipamento.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção serão abordados os métodos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, dividida em três subseções. A primeira subseção descreve o cenário onde a pesquisa é aplicada. A segunda subseção traz a classificação da pesquisa. Por fim, a terceira subseção descreve as etapas realizadas para se obter os resultados da pesquisa.

3.1 CENÁRIO

Neste presente estudo foram envolvidos oito fabricantes de estações de recarga para veículos elétricos de nível 2 e de carregamento rápido. O estudo envolverá a simulação de cenários com cada um dos diferentes modelos de estações de recarga obtidos, sendo estes aplicados no ambiente da UFSM, em específico, no campus sede em Santa Maria. Mediante ao exposto, foram definidos como objetos de estudo desta pesquisa dez modelos de estações de recarga, sendo cinco de nível 2 e cinco de carregamento rápido.

A cidade de Santa Maria é localizada na região central do Rio Grande do Sul, possuindo uma população estimada de 280.505 habitantes em 2018 segundo o IBGE (2017), e uma frota de 165.969 veículos em fevereiro de 2019 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 2019). Ainda segundo o Departamento Nacional de Trânsito (2019), dos 165.969 veículos de Santa Maria, 100.128 são automóveis, correspondendo a 60,33% da frota total da cidade. O campus sede da UFSM possui em torno de 28.617 alunos, 2.024 docentes e 2.688 técnicos administrativos em educação (UFSM, 2019).

Nesse contexto, o local onde a pesquisa será realizada é o estacionamento central pertencente ao Centro de Tecnologia da UFSM, o qual está presente na Figura 17. A escolha do local foi baseada na localização estratégica que este estacionamento possui, sendo localizado na entrada da universidade, implicando assim, em uma maior exposição e consequentemente um maior trânsito de veículos.

Figura 17: Estacionamento do Centro de Tecnologia da UFSM.

Fonte: Google Maps (2018).

No Brasil, como citado na revisão bibliográfica, todos os eletropostos para recarga de veículos elétricos possuem apenas modelos de carregamento rápido. Além disso, também foi realizada uma pesquisa com 14 fabricantes mundiais e se pode observar a tendência na produção por carregadores de recarga rápida e carregadores de nível 2, devido sua ampla aplicação, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4: Pesquisa dos fornecedores de estações de recarga.

Marca	**Níveis**	**Marca**	**Níveis**
Jfy	Nível 2 e Carregamento Rápido	Sicon	Carregamento Rápido
Evlink	Nível 1, Nível 2 e Carregamento Rápido	Charge Point	Nível 2 e Carregamento Rápido
Evsolutions	Nível 1 e Nível 2	Setecpower	Nível 1, Nível 2 e Carregamento Rápido
Siemens	Nível 1, Nível 2 e Carregamento Rápido	BOSCH	Nível 1 e Nível 2
Nanjing ARK Tech	Carregamento Rápido	ROLECEV	Nível 1, Nível 2 e Carregamento Rápido
Starcharge	Nível 2 e Carregamento Rápido	Juicebox	Carregamento Rápido
POWERCHARGE	Nível 1 e Nível 2	ABB	Nível 1, Nível 2 e Carregamento Rápido

Fonte: Autor (2019).

Em adição, deve-se considerar o ambiente em que as estações de recarga estarão inseridas. Assim, em uma universidade, por ser um local onde há uma grande entrada e saída de veículos, onde não existe um padrão no tempo que os veículos permanecem no estacionamento e onde ocorre grande variação no perfil dos motoristas, o tempo de carregamento é o fator principal para decidir a melhor escolha de carregador. Levando em consideração este contexto, é justificada a escolha de estações de recarga com dois diferentes níveis para a pesquisa, por ser a opção que melhor se encaixa no ambiente determinado.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

De acordo com Gil (2002), pesquisa pode ser definida como o procedimento racional e sistemático que possui como objetivo desenvolver respostas aos problemas que são propostos. Em outras palavras, pesquisa é um conjunto de ações necessárias para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos, sendo realizada quando não existem informações para a resolução de um determinado problema (SILVA; MENEZES, 2005). Nesse contexto, segundo Miguel (2012), para uma mesma pergunta de pesquisa pode haver diferentes métodos de pesquisa, sendo a escolha, dependente de fatores como: tempo e recursos, acesso aos dados, natureza do problema de pesquisa, entre outros.

Toda e qualquer classificação se faz mediante algum critério, quando se trata de pesquisa, é usual a classificação com base em seus objetivos gerais (GIL, 2002). Dessa maneira, a forma tradicional da classificação das pesquisas é dividida em: do ponto de vista da sua natureza, do ponto de vista dos seus objetivos, do ponto de vista de seus procedimentos técnicos e do ponto de vista de abordagem do problema (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Assim, com relação a sua natureza, esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, porque tem como objetivo gerar conhecimento para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2015). Do ponto de vista dos seus objetivos, pode ser considerada como uma pesquisa descritiva, devido ao seu objetivo principal ser a descrição das características de determinado fenômeno, juntamente com o estabelecimento de relações entre variáveis (GIL, 2002). Segundo a forma de abordagem do problema, se considera- esta pesquisa como sendo quantitativa, pois predominantemente formula e relaciona dados quantificáveis, garantindo assim a precisão dos resultados e evitando contradições no processo de análise e interpretação (PRODANOV; FREITAS, 2013). Por fim, com relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é classificada como modelagem e simulação, devido à utilização de um modelo experimental com o intuito de representar um sistema real, o qual, por

meio de relações simultâneas de variáveis definidas, determina como as alterações propostas influenciam esse sistema (MIGUEL, 2012).

Juntamente com as classificações apresentadas, se faz importante complementar a classificação com o uso do critério do método. Assim, define-se o presente trabalho como sendo uma pesquisa axiomática quantitativa, porque produz conhecimento sobre o comportamento de certas variáveis do modelo, baseada em premissas sobre o comportamento de outros parâmetros que influenciam o modelo (MIGUEL, 2012).

3.3 ETAPAS DE PESQUISA

O principal objetivo da revisão bibliográfica é providenciar os meios para um trabalho bem referenciado e com coerência aceitável, proporcionando um entendimento sobre o contexto no qual o assunto de pesquisa está inserido. Com isso em mente, entender sobre os métodos utilizados para a análise de viabilidade econômica é fundamental para dar seguimento a este trabalho. O Quadro 5 apresenta as referências utilizadas como base, juntamente com os métodos de Engenharia Econômica aplicados em cada problema de estudo semelhante a este trabalho.

Quadro 5: Métodos para análise econômica utilizados em cada referência.

Autores	**Método**
Li et al. (2016)	CAUE
Schroeder e Traber (2012)	VPL, ROI
Mazzeo (2018)	VPL
Burnham (2017)	*Payback* simples
Zhang et al. (2018)	VPL
New York State Energy Research Department Agency (2015)	VPL, *Payback* simples
Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis (2014)	CAUE, TIR, VPL
Liu et al. (2016)	ROI, TIR, *Payback* simples, VPL
Chang et al. (2012)	VPL, TIR

Fonte: Autor (2019).

Após a revisão bibliográfica, mediante a análise dos estudos anteriores mostrados no Quadro 5, optou-se pelo seguinte método para ser abordado neste estudo: Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Isto porque o investimento a ser analisado neste trabalho não vai gerar receita, por ser dentro da Universidade Federal de Santa Maria onde se pretende oferecer a recarga do veículo elétrico de modo gratuito.

A fim de obter os resultados da pesquisa foram utilizados os seguintes parâmetros para a análise da viabilidade econômica: despesas com energia elétrica, investimentos com o equipamento, despesas com a instalação, despesas com a manutenção, depreciação do equipamento, Taxa Mínima de Atratividade e correção monetária.

A fim de obter os valores com os investimentos dos equipamentos, realizou-se uma consulta com cada um dos dez fabricantes para obter um orçamento dos modelos analisados. A despesa com a instalação e a despesa com a manutenção foram obtidas a partir de estimativas contidas na bibliografia consultada. Para a depreciação, escolheu-se o valor padrão de vida útil determinado para equipamentos elétricos, utilizando o método linear para determinar o valor ao longo deste tempo.

Para determinar a Taxa Mínima de Atratividade, analisou-se o rendimento médio anual da poupança nos últimos cinco anos. De forma semelhante, para a inflação, analisaram-se os dados da taxa média anual nos últimos dez anos fazendo o uso da Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019). Para a correção monetária utilizou-se o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A), calculado pelo IBGE. Por fim, o custo tarifário foi obtido com base nas tarifas fornecidas pela UFSM, onde foi determinado o valor da energia elétrica para os diferentes tipos de horários, junto a isto, a tarifa da energia elétrica foi corrigida pelo reajuste dos últimos oito anos.

Com o objetivo de realizar uma análise técnica e econômica mais ampla, consideraram-se diferentes cenários onde os modelos de estações de recarga foram comparados entre si. Neste contexto, são utilizados três parâmetros para modelar 120 possíveis cenários. Os cenários foram obtidos combinando a relação entre as quatro bandeiras tarifárias (verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2), a variação no horário de funcionamento do estacionamento (manhã, tarde e integral) e os modelos de estações de recarga fornecidos pelos fabricantes.

Após a obtenção de todas as informações necessárias para a análise de viabilidade técnica e econômica, iniciou-se a aplicação de um método de Engenharia Econômica, o método do Custo Anual Uniforme Equivalente. Junto a isto, foi realizado a determinação do R$/kWh consumido para os modelos. Para isto, fez-se uso do *software* Microsoft Excel. Por fim, os dados obtidos foram organizados e analisados, sendo depois comparados com trabalhos semelhantes.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A presente seção tem como intuito mostrar os dados obtidos para esta pesquisa, juntamente com os resultados e as análises dos mesmos. Na primeira subseção, são mostrados os dados coletados para o estudo técnico e de viabilidade econômica, onde se dispõem o preço da tarifa de energia elétrica para o ambiente da pesquisa, os dados técnicos para os modelos estudados, a correção monetária no período determinado e a TMA utilizada, juntamente com os dados econômicos, tais como: despesa com o investimento no equipamento, despesas de instalação, despesas de manutenção, despesas com energia elétrica e a depreciação do equipamento.

A segunda subseção apresenta o estudo da viabilidade econômica, onde são definidos os cenários utilizados no estudo, bem como realizado o cálculo do CAUE dos equipamentos. Em seguida, na terceira subseção, ocorre a análise dos resultados obtidos mediante a apresentação de gráficos e tabelas. Por fim, na quarta subseção, estão as discussões dos resultados desta pesquisa, onde os mesmos são comparados com resultados obtidos por outros autores de estudos com temas semelhantes ao deste trabalho.

4.1 DADOS COLETADOS E ESTIMADOS PARA O ESTUDO TÉCNICO E DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para obter os resultados desta pesquisa e para realizar a comparação entre os diferentes modelos de estações de recarga, se fez necessária a presença da etapa de coleta de dados. Neste trabalho esta etapa é composta por três partes: 1. Dados básicos para o estudo de Viabilidade Econômica, subseção onde são definidos a tarifa da energia elétrica, a correção monetária e a taxa mínima de atratividade; 2. Dados técnicos sobre as estações de recarga, subseção onde estão as informações necessárias para o estudo de viabilidade técnica dos modelos; 3. Dados econômicos sobre as estações de recarga, subseção destinada a apresentar as despesas relacionadas com os equipamentos.

4.1.1 Dados básicos para o estudo de Viabilidade Econômica

Para melhor organização separou-se os dados básicos para o estudo de viabilidade econômica em três partes: 1. Energia Elétrica, onde se realizou o cálculo da tarifa da energia

elétrica que será aplicada no estudo; 2. Correção Monetária, onde é realizada a correção baseada no valor da inflação nos últimos dez anos; 3. Taxa Mínima de Atratividade, onde se determinou qual a taxa mínima de atratividade selecionada para o trabalho.

4.1.1.1 Energia elétrica

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2018), a tarifa de energia elétrica é composta pelos valores calculados que representam cada parcela dos investimentos e operações técnicas realizadas pelos agentes da cadeia de produção e da estrutura necessária para que a energia possa ser utilizada pelo consumidor. Ou seja, a tarifa representa a soma de todos os componentes do processo de geração, de transporte (transmissão e distribuição) e de comercialização de energia elétrica. Mediante isto, para realizar o estudo previsto neste trabalho, determinou-se o custo tarifário, pois é um fator que possui grande influência no custo anual dos equipamentos (estações de recarga).

A RGE Sul é a distribuidora de energia elétrica para a cidade de Santa Maria e região. Assim, segundo a fatura eletrônica emitida pela RGE Sul referente ao mês de setembro de 2017, fornecida pela PROINFRA (Pró Reitoria de Infraestrutura) da UFSM, é possível afirmar que a universidade possui tarifa horária azul, subgrupo A4 (2,3 a 25kV). Para obter o custo da energia ativa para este subgrupo, se fez necessário obter os dados das tarifas da CPFL Empresas, que é gestora da RGE Sul.

Também se fez necessário considerar a classificação do custo da energia realizada pela empresa, sendo esta ocasionada pela diferença de consumo energético em determinados horários durante o dia. Os horários são divididos em Ponta e em Fora de Ponta. Segundo a Companhia Paulista de Força e Luz (2019), em Ponta é considerado das 18:00h até às 21:00h, e segundo a Companhia Paranaense de Energia (2018), Fora de Ponta é o horário remanescente excluindo as 3 horas pertencentes ao horário de Ponta. No Quadro 6 está relacionado o custo da energia ativa com a classificação do horário em que ela está sendo utilizada para o subgrupo A4, tarifa horário azul. É importante ressaltar também que estes valores estão vigentes desde o dia 08 de abril de 2019 (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2019).

Quadro 6: Custo da energia ativa para o subgrupo A4 tarifa azul.

Horário	Custo da Energia Ativa (R$/kWh)
Ponta	0,45257
Fora de Ponta	0,28266

Fonte: Companhia Paulista de Força e Luz (2019).

É necessário ressaltar que para os valores do custo da energia obtido no Quadro 6 estão faltando a adição do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), do PIS/COFINS, e também dos valores referentes as bandeiras tarifárias, os quais serão determinados em seguida.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2015), no Brasil desde 2015 está em vigência o sistema de bandeiras tarifárias que indicam se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade. As bandeiras são classificadas em quatro modalidades: verde, amarela, vermelho patamar 1 e vermelho patamar 2. Ainda segundo a mesma referência, a cada mês as condições de operação do sistema de geração de energia elétrica são reavaliadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS), definindo assim a melhor estratégia de geração de energia para o atendimento da demanda e, a partir dessa avaliação, é definida a previsão de geração hidráulica e térmica.

Neste contexto, o Quadro 7 mostra o acréscimo ao valor do quilowatt-hora (kWh) consumido, baseado na bandeira vigente durante o respectivo mês.

Quadro 7: Bandeira Tarifárias.

Cor da Bandeira	Condições	Acréscimo ao valor
Verde	Favoráveis à geração de energia	Nenhum acréscimo
Amarela	Menos favoráveis à geração de energia	R$ 0,015 para cada kWh consumidos
Vermelho patamar 1	Mais custosas para geração de energia	R$ 0,040 para cada kWh consumidos
Vermelho patamar 2	Ainda mais custosas para geração de energia	R$ 0,060 para cada kWh consumidos

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2019).

Além disso, é necessário também adicionar o tributo do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) nos valores do custo da energia. Assim, segundo a Rio Grande Energia Sul (2015), a alíquota do ICMS sobre energia elétrica é de 30% e as alíquotas do PIS e COFINS, segundo Companhia Paulista de Força e Luz (2019), são respectivamente, 1,00% e 4,57%, sendo adicionadas posteriormente para os cálculos neste trabalho.

4.1.1.2 Correção monetária e reajuste da tarifa elétrica.

Para determinar a correção monetária neste estudo, utilizou-se o valor da inflação de um período de 10 anos, de 2009 até 2018. Os dados da inflação anual no período determinado foram obtidos pela Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019), com o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A) do IBGE. Na Tabela 1 está apresentado o histórico de inflação pelo IPC-A nos últimos 10 anos.

Tabela 1: Histórico da Inflação nos últimos 10 anos.

Ano	**Inflação anual pelo IPC-A**
2009	4,31%
2010	5,90%
2011	6,50%
2012	5,83%
2013	5,91%
2014	6,41%
2015	10,67%
2016	6,29%
2017	2,95%
2018	3,75%

Fonte: Adaptado Banco Central do Brasil (2019).

Utilizando os dados da Tabela 1, obteve-se o valor total da inflação aproximado de 76,3190% no período de tempo de 2009 até 2018. Com a Equação 3, referente a Taxa de Juros

Equivalente (BLANK e TARQUIN, 2012), consegue-se calcular a inflação média anual correspondente ao período.

$$\mathrm{i}_a = (1 + i)^{\mathrm{m}} - 1 \tag{3}$$

Onde: i_a é a taxa de juros equivalente (% ao período); i é a taxa de custo capital (% ao período); m é o período de retorno. Aplicada esta equação, obteve-se como resultado a taxa média da inflação de 5,8351% ao ano.

Para determinar o índice de reajuste da tarifa elétrica, utilizou-se os dados dos últimos 8 anos, obtidos segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2019), para a empresa RGE Sul. O histórico dos reajustes segue na Tabela 2:

Tabela 2: Histórico do índice de reajuste da tarifa elétrica nos últimos 8 anos.

Ano	**Reajuste Anual da Tarifa Elétrica**
2011	6,30%
2012	5,20%
2013	-20,90%
2014	28,90%
2015	42,10%
2016	-0,30%
2017	-5,60%
2018	21,10%

Fonte: Agencia Nacional de Energia Eletrica (2019).

Assim, com os dados da Tabela 2, realiza-se a aplicação da Equação 3, para o período de tempo de 8 anos, obtendo uma taxa de reajuste da tarifa elétrica média de 7,3830% a.a.

4.1.1.3 Taxa Mínima de Atratividade

Com o intuito de determinar uma Taxa Mínima de Atratividade utilizou-se como base o rendimento da poupança nos últimos cinco anos, devido a mudança na regra de correção do

rendimento para a variação 51 da poupança realizada em 2012 (PORTAL BRASIL, 2012). Foram coletados dados do início de 2014 até o início de 2019, como mostrado a Tabela 3.

Tabela 3: Histórico de rendimento da poupança.

Ano	Rendimento anual da poupança
2014	7,08%
2015	8,07%
2016	8,30%
2017	6,61%
2018	4,62%

Fonte: Autor (2019).

Assim, o rendimento total entre o ano de 2014 até o ano de 2019 foi de 39,80%. Aplicando o valor do rendimento total na Equação 3, obteve-se o rendimento médio anual como sendo 6,93%, valor que será utilizado para a TMA nos cálculos de viabilidade econômica.

4.1.2 Dados técnicos sobre as estações de recarga

Com o intuito de comparar neste trabalho diferentes estações de recarga, se buscou informações técnicas que auxiliam a determinar qual a opção mais adequada para cada aplicação. Estes dados técnicos são utilizados para diferenciar cada uma das estações de recarga e também para que o cliente possa escolher o produto que melhor se encaixe no seu projeto. Assim, no Quadro 8 e no Quadro 9 se encontram dados técnicos de cada um dos dez modelos selecionados nesta pesquisa.

Quadro 8: Dados técnicos dos modelos de Nível 2.

Modelos Nível 2	**Potência (kW)**	**Conectores**	**Corrente (A)**	**Voltagem (V)**
	AC	**AC**	**AC**	**AC**
EVLunics Basic+	22	SAE J1772 e Mennekes	32	240
ChargePoint CT4025	7,2	SAE J1772	30	240
Evlink Parking	22	Mennekes	32	230 a 400
BOSCH EV800	7,2	SAE J1772	12 a 32	95 a 264
POWERCHARGE P30DPN	9,6	SAE J1772	16 a 40	208 a 240

Fonte: Autor (2019)

Quadro 9: Dados técnicos dos modelos de recarga rápida.

Modelos Recarga Rápida	**Potência (kW)**		**Conectores**		**Corrente (A)**		**Voltagem (V)**	
	AC	**DC**	**AC**	**DC**	**AC**	**DC**	**AC**	**DC**
Terra 54 CJG	43	50	Mennekes	CCS1, CCS2 e CHAdeMO	143	143	98	200 a 500
ChargePoint Express 250	N/A	62,5	N/A	CCS1, CCS2 e CHAdeMO	N/A	125	N/A	480
50 kW Public OCPP Ev Charger	N/A	50	N/A	CCS2 e CHAdeMO	N/A	30	N/A	350 a 750
CSI 60K750-EJA	3,7 a 43	60	Mennekes	CCS2 e CHAdeMO	16 a 63	160	230 ou 400	100 a 500
A60K500CJ	22	60	CCS1, CCS2 e Mennekes	CHAdeMO	32	0 a 150	400	150 a 550

Fonte: Autor (2019).

É importante comparar os valores de potência, corrente e voltagem entre os modelos de mesmo nível. Estes valores são os que mais influenciam no custo de instalação da estação de recarga, juntamente com o custo do equipamento. Isto ocorre porque para se realizar uma instalação de uma estação de recarga, deve-se analisar a rede elétrica na qual será acoplada a estação. Logo, dependendo da diferença entre a rede elétrica e o modelo, ocorre a necessidade de algumas adaptações, o que aumenta o custo consideravelmente. Além disso, se torna importante considerar o tipo de conector de cada estação, devido ao fato que este conector determina o tipo de veículo elétrico que pode ser recarregado.

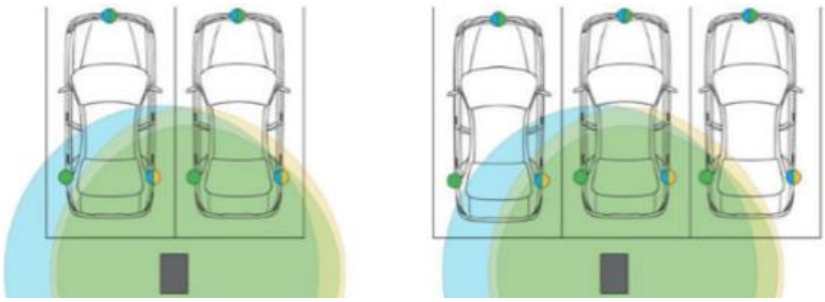
Os carregadores do tipo recarga rápida estão divididos em corrente alternada e corrente contínua pelo fato de que a maioria dos modelos possui os dois modos de corrente para recarga.

Logo, dependendo da potência que a estação consegue carregar com corrente alternada, ocorrerá uma influência na quantidade de energia utilizada. Junto a isto, quando se tem a possibilidade de trabalhar com corrente alternada, todos os outros dados técnicos acabam tendo uma variação, acarretando um acréscimo no custo do equipamento e, principalmente, no custo de instalação das estações.

Atualmente no mercado existem diversos modelos de estações de recarga, sendo que há uma variação muito significativa tecnicamente entre estes modelos. Com isto em mente, nesta pesquisa buscou-se classificar os modelos baseados em suas características técnicas. Isso para que na sequencia se pudesse realizar um estudo mais adequado de Engenharia Econômica.

No estudo técnico, o ambiente onde estes modelos serão aplicados é o estacionamento do Centro de Tecnologia da UFSM, o qual está mostrado na Figura 21. Neste ambiente se optou por analisar apenas uma estação de cada um dos dez modelos apresentados no Quadro 8. Realizando-se um levantamento de dados sobre o estacionamento, percebeu-se que o mesmo possui 96 vagas disponíveis para veículos leves. Baseado neste valor determinou-se que até três vagas tenham a possibilidade de recargar os veículos elétricos. Isso devido ao fato de que cada modelo de estação tem um determinado número de veículos que podem fazer a recarga simultaneamente. Duas formas de instalação das estações de recarga estão esquematizadas na Figura 18.

Figura 18: Possíveis distribuições da instalação das estações de recarga.



Fonte: Asea Brown Boveri (2019).

Como escrito anteriormente, cada modelo de estação de recarga tem uma capacidade máxima de veículos que podem ser carregados ao mesmo tempo, podendo variar de valores de 1 até 3 automóveis por unidade. Neste contexto, o Quadro 10 mostra a quantidade de veículos que podem ser recarregados ao mesmo tempo para cada modelo de estação de recarga escolhido, realizando uma comparação entre os diferentes fabricantes.

Quadro 10: Quantidade de veículos recarregados por modelo.

Fabricante	Modelo	Classificação	Quantidade de veículos suportada
ABB	EVLunics Basic+	Nível 2	1
ChargePoint	ChargePoint CT4025	Nível 2	2
Evlink	Evlink Parking	Nível 2	2
Bosch	BOSCH EV800	Nível 2	1
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	Nível 2	2
ABB	Terra 54 CJG	Recarga Rápida	3
ChargePoint	ChargePoint Express 250	Recarga Rápida	2
Setec Power	50 kW Public OCPP Ev Charger	Recarga Rápida	2
JFY	CSI 60K750-EJA	Recarga Rápida	3
ARK	A60K500CJ	Recarga Rápida	3

Fonte: Autor (2019).

Esta capacidade diferente entre os modelos apresentados acaba por influenciar largamente no custo total do equipamento e também serve como um fator decisivo ao se realizar uma comparação entre os modelos.

Outro fator que influência a escolha das estações de recarga para um estacionamento é o perfil dos motoristas que são atendidos. O perfil dos motoristas tem uma influência direta no tempo de utilização da estação de recarga pelo veículo elétrico. Neste contexto, devido ao ambiente de estudo ser uma universidade, existem diferentes perfis coexistindo, de forma que, seria necessário um estudo separado para determinar qual o melhor horário de funcionamento do estacionamento a fim de atender o maior número de usuários. Visto este problema, neste trabalho, optou-se por dividir o horário do estacionamento em três situações: turno da manhã, turno da tarde e turno integral. Esta distribuição é mostrada no Quadro 11.

Quadro 11: Distribuição dos turnos do estacionamento.

Turnos	Horário de Funcionamento	Total de Horas
Manhã	6h30min até 12h30min	6 horas
Tarde	12h30 min até 18h30min	6 horas
Integral	6h30min até 20h30min	14 horas

Fonte: Autor (2019).

Desta forma, o estacionamento possui a possibilidade de se adequar a diferentes motoristas que frequentam a universidade.

4.1.3 Dados econômicos sobre as estações de recarga

Após determinar os modelos de estações de recarga considerados neste trabalho, se coletou dados financeiros sobre os investimentos e as despesas relacionados com cada um desses produtos. Foram coletados e estimados dados sobre: investimento para aquisição do equipamento, despesas com a instalação do equipamento, despesas com a manutenção do equipamento, despesas com a energia elétrica consumida pelo equipamento, despesas com a depreciação do equipamento e despesas com os impostos sobre o equipamento.

4.1.3.1 Investimento para aquisição do equipamento

O investimento necessário para a aquisição do equipamento sofre influência de fatores técnicos, como: quantidade de veículos que podem recarregar simultaneamente, potência do equipamento, tipo da corrente elétrica (corrente contínua ou alternada), conectores disponíveis, voltagem, proteção contra queda de energia, possibilidade de uso de painéis fotovoltaicos na geração de energia elétrica, sistema de software de operação, tamanho dos cabos, eficiência de recarga, entre outros.

Neste contexto, a potência da estação de recarga e o número de veículos que podem realizar a recarga simultaneamente são os fatores que têm maior influência em relação ao investimento para a aquisição do equipamento. A potência da estação de recarga determina diretamente o tempo necessário para carregar o veículo elétrico, enquanto a quantidade de veículos que podem ser carregados simultaneamente influencia no total de estações que devem ser adquiridas para suprir a demanda por recarga. No Quadro 12, têm-se os valores comerciais, convertidos para a moeda Real Brasileiro, de cada um dos modelos.

Quadro 12: Custo dos modelos de estações de recarga.

Fabricante	Modelo	Custo do Equipamento
ABB	EVLunics Basic+*	R$ 28.080,00
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R$ 47.421,90
Evlink	Evlink Parking*	R$ 35.218,81
Bosch	BOSCH EV800	R$ 25.915,80
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R$ 35.386,92
ABB	Terra 54 CJG*	R$ 175.500,00
ChargePoint	ChargePoint Express 250	R$ 218.610,38
Setec Power	50 kW Public OCPP Ev Charger	R$ 109.916,21
JFY	CSI 60K750-EJA	R$ 91.596,85
ARK	A60K500CJ	R$ 122.129,13

Fonte: Autor (2019).

Leva-se em consideração que os modelos analisados já estão com a adição do Imposto de Importação, o Imposto sobre Produtos Industrializados, o PIS/COFINS, e com o ICMS referente ao estado do Rio Grande do Sul.

4.1.3.2 Despesas com a instalação do equipamento

A despesa com a instalação do equipamento está relacionada com os gastos para construir uma infraestrutura de recarga adequada. Esta infraestrutura depende de fatores técnicos, como: demanda de recarga, distância entre a estação de recarga e a rede elétrica, empresa contratada para realizar a instalação, tipo de corrente utilizada, modelos de veículos que serão recarregados, entre outros.

Neste contexto, torna-se difícil obter uma estimativa precisa do custo de instalação relacionado a cada modelo. As despesas com a instalação tem uma dependência maior com as características técnicas da rede elétrica da UFSM do que com as características técnicas das estações de recarga. Ainda assim, autores na bibliografia estimam o custo de instalação baseando-se na potência das estações de recarga.

Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis (2012) estimam que, para um carregador de nível 2, com 7,2 kW de potência, o custo de instalação fica em torno de € 850,00. Já Wiederer e Philip (2010) apontam que, para uma estação de recarga rápida, este valor fica numa faixa de US$ 40.000,00 até US$ 75.000,00. Vollers, Steinmetz e Han (2013) determinam como sendo € 700,00 o custo da instalação de uma estação de recarga nível 2 com 3,7 kW de potência. Chang et al. (2012) estima que este valor fica entre US$ 2.000,00 a US$ 10.000,00. Schroeder e Traber

(2012) classificam as despesas de instalação: para uma estação de recarga rápida com 62,5 kW de potência como sendo de € 55.000,00; para uma estação de carregamento rápido com 50 kW de potência como sendo € 50.000,00; e para um estação nível 2 pública de 7.3 kW de potência como sendo € 6.000,00. Por fim, Nationale Plattform Elektromobilität (2015) considera o custo sendo de até € 10.000,00 para uma estação com 20 kW de potência.

Com base na bibliografia analisada determinou-se, para este trabalho, a despesa da instalação do equipamento como € 10.000,00 para estações de 20 kW até 25 kW de potência. Como € 6.000,00 para uma estação de 7,2 kW até 10 kW de potência. Como € 55.000,00 para uma estação entre 60 kW até 65 kW de potência. Como € 50.000,00 para uma estação de 50 kW de potência. Desta forma, o Quadro 13 mostra os custos estimados de instalação, convertidos para o Real Brasileiro, para os modelos analisados.

Quadro 13: Custo estimado da instalação dos modelos.

Fabricante	**Modelo**	**Custo do Equipamento**
ABB	EVLunics Basic+	R$ 45.078,11
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R$ 27.046,86
Evlink	Evlink Parking	R$ 45.078,11
Bosch	BOSCH EV800	R$ 27.046,86
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R$ 27.046,86
ABB	Terra 54 CJG	R$ 225.390,53
ChargePoint	ChargePoint Express 250	R$ 247.929,58
Setec Power	50 kW Public OCPP Ev Charger	R$ 225.390,53
JFY	CSI 60K750-EJA	R$ 247.929,58
ARK	A60K500CJ	R$ 225.390,53

Fonte: Autor (2019).

O valor da despesa de instalação de cada modelo foi estimado por sua potência. Este valor de potência é obtido com base nos dados técnicos disponíveis pelos fabricantes.

4.1.3.3 Despesas com a manutenção do equipamento

As despesas de manutenção são originadas de uma porcentagem do valor da despesa de instalação ou uma porcentagem do valor investido no equipamento, sendo em alguns casos um somatório de ambos. Na bibliografia, alguns autores como Vagropoulos, Kleidaras e Bakirtzis (2012), apresentam este custo anual como sendo 10% do custo do equipamento e 10% do custo de instalação. New York State Energy Research & Development Authority (2015), traz este

valor como sendo 3% do custo de instalação ao ano. Schroeder e Traber (2012) colocam como sendo 10% do custo do material utilizado na construção. Por último, Chang et al. (2012), mostra este custo como um valor anual fixo de € 300,00 por estação de recarga.

Devido ao levantamento de dados obtidos e a variação nos valores do custo de cada equipamento e das despesas de instalação, determinou-se o custo da manutenção do equipamento como sendo uma porcentagem das despesas anteriores. Assim, levando em consideração a consulta bibliográfica, utilizou-se um valor de 10% do custo do equipamento e 10% do custo de instalação para determinar o gasto relacionado com a manutenção das estações de recarga anualmente.

4.1.3.4 Despesas com a energia elétrica consumida pelo equipamento

Para realizar os cálculos das despesas com a energia elétrica consumida pelo equipamento deve-se primeiro estabelecer um padrão no uso das estações de recarga. Com o intuito de obter esta padronização, considerações relacionadas com a forma de funcionamento do estacionamento foram realizadas neste trabalho.

A primeira consideração é a determinação do horário de funcionamento do estacionamento, o qual está presente no Quadro 9. A segunda consideração está relacionada com o uso da recarga. Assim, para o estacionamento em questão, considera-se que, enquanto o mesmo estiver em horário de funcionamento, estará ocorrendo a recarga de veículos elétricos, de forma que, exista um consumo de energia elétrica constante durante este horário pela estação de recarga.

A quantidade de energia elétrica que é consumida pela estação de recarga está relacionada com a potência de cada modelo e a quantidade de veículos carregados simultaneamente. Desta forma, quanto maior a potência da estação de recarga, maior será o seu consumo de energia elétrica. Este consumo é medido em kWh, sendo obtido relacionando a potência do modelo da estação de recarga com a quantidade de horas em operação.

Neste contexto, a despesa com a energia elétrica consumida é determinada com o valor obtido para o R$/kWh, considerando os dados da subseção 4.1.1, com a quantidade de kWh consumido pela estação. Assim, na Tabela 4, apresentou-se uma estimativa da quantidade de energia elétrica consumida diariamente por cada modelo.

Tabela 4: Energia consumida por dia.

Fabricante	Modelo	Potência (kW)	Energia diária consumida (kWh)		
			Manhã	Tarde	Integral
ABB	EVLunics Basic+	22	132	132	308
ChargePoint	ChargePoint CT4025	7,2	86,4	86,4	201,6
Evlink	Evlink Parking	22	264	264	616
Bosch	BOSCH EV800	7,2	43,2	43,2	100,8
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	9,6	115,2	115,2	268,8
ABB	Terra 54 CJG	43 a 50	858	858	2002
ChargePoint	ChargePoint Express 250	62,5	750	750	1750
Setec Power	50 kW Public OCPP Ev Charger	50	600	600	1400
JFY	CSI 60K750-EJA	43 a 60	978	978	2282
ARK	A60K500CJ	22 a 60	852	852	1988

Fonte: Autor (2019).

Com o valor da energia diária consumida e com o valor do R$/kWh determinado, calculou-se o custo da energia por dia e o custo da energia mensal de cada modelo, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Custo diário da energia e custo mensal.

Modelo	Custo diário da energia (R$)			Custo mensal da energia (R$)		
	Manhã	Tarde	Integral	Manhã	Tarde	Integral
EVLunics Basic+	46,64	48,98	122,84	1.399,17	1.469,26	3.685,25
ChargePoint CT4025	30,53	32,06	80,41	915,82	961,69	2.412,16
Evlink Parking	93,28	97,95	245,68	2.798,33	2.938,51	7.370,50
BOSCH EV800	15,26	16,03	40,20	457,91	480,85	1.206,08
POWERCHARGE P30DPN	40,70	42,74	107,21	1.221,09	1.282,26	3.216,22
Terra 54 CJG	303,15	318,18	798,47	9.094,58	9.545,60	23.954,32
ChargePoint Express 250	264,99	278,13	697,96	7.949,81	8.344,06	20.939,09
50 kW Public OCPP Ev Charger	211,99	222,50	558,37	6.359,85	6.675,25	16.751,27
CSI 60K750-EJA	345,55	362,68	910,15	10.366,56	10.880,66	27.304,57
A60K500CJ	301,03	315,96	792,89	9.030,98	9.478,85	23.786,80

Fonte: Autor (2019).

É valido ressaltar que, tanto o valor diário quanto o valor mensal, estão sem a adição das bandeiras tarifárias. Isto acontece porque as bandeiras tarifárias influenciam na determinação dos cenários, sendo adicionadas na seção do estudo de viabilidade econômica.

4.1.3.5 Despesas com a depreciação do equipamento

As estações de recarga possuem vida útil, adicionado a isso, com o crescente desenvolvimento tecnológico nesta área, aparecem novos produtos que as tornam ultrapassadas. Deste modo, é importante considerar também o custo da depreciação destes equipamentos. Atualmente, existe uma incerteza sobre a vida útil das estações de recarga, porém, optou-se como seguro colocar uma depreciação que ocorra em 10 anos.

Para realizar o cálculo da depreciação utilizou-se o método linear, o qual assume que o valor do equipamento decresce a uma taxa constante ao longo dos anos. Assim, segundo Hess et al. (1992), para obter a depreciação anual de um equipamento, basta dividir seu custo pela vida útil estimada. Desta forma, com a vida útil de 10 anos para os modelos selecionados, a taxa de depreciação obtida é de 10% ao ano.

4.1.3.6 Despesas com os impostos sobre equipamento

A maioria das estações de recarga é produzida fora do Brasil. Desta forma se faz necessário adicionar as despesas com os impostos sobre o equipamento. Assim, adicionam-se o Imposto sobre Importação (II), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e o PINS/COFINS. A fim de calcular os valores dos impostos nos modelos de estações de recarga, utilizou-se o Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações disponível pela Receita Federal, considerando os modelos na categoria 85043229 (Transformadores elétricos, conversores elétricos estáticos, bobinas de reatância e de autoindução, conversores estáticos, carregadores de acumuladores) pela tabela da Tarifa Externa Comum (TEC).

Após, aplicou o ICSM referente ao estado do Rio Grande do Sul, que possui, segundo a Secretaria da Fazendo do Rio Grande do Sul (2019), uma alíquota de 17% para operações e prestações internas que não possuem outra alíquota específica indicada na lei. Em relação à alíquota do IPI, segundo o Ministério da Economia (2017), a mesma é de 0% para a categoria 85043229. O PIS possui uma alíquota de 2,10%, o COFINS de 9,65% e o Imposto de Importação de 18%, segundo o Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018).

Depois de realizadas as consultas com os fabricantes dos modelos de estações de recarga selecionados neste trabalho, é possível elencar todas as despesas relacionadas as mesmas, como mostra a Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6: Custo do equipamento adicionado os impostos e de instalação dos modelos.

Fabricante	Modelo	Custo do Equipamento adicionado os Impostos	Custo de Instalação
ABB	EVLunics Basic+	R$ 28.080,00	R$ 45.078,11
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R$ 47.421,90	R$ 27.046,86
Evlink	Evlink Parking	R$ 35.218,81	R$ 45.078,11
Bosch	BOSCH EV800	R$ 25.915,80	R$ 27.046,86
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R$ 35.386,92	R$ 27.046,86
ABB	Terra 54 CJG	R$ 175.500,00	R$ 225.390,53
ChargePoint	ChargePoint Express 250	R$ 218.610,38	R$ 247.929,58
Setec Power	50 kW Public OCPP Ev Charger	R$ 109.916,21	R$ 225.390,53
JFY	CSI 60K750-EJA	R$ 91.596,85	R$ 247.929,58
ARK	A60K500CJ	R$ 122.129,13	R$ 225.390,53

Fonte: Autor (2019).

Tabela 7: Custo de manutenção e depreciação anual dos modelos.

Fabricante	Modelo	Custo de Manutenção	Depreciação anual do Equipamento
ABB	EVLunics Basic+	R$ 7.315,81	R$ 2.400,00
ChargePoint	ChargePoint CT4025	R$ 7.446,88	R$ 3.095,31
Evlink	Evlink Parking	R$ 8.029,69	R$ 3.010,16
Bosch	BOSCH EV800	R$ 5.296,27	R$ 1.707,15
Powercharge	POWERCHARGE P30DPN	R$ 6.243,38	R$ 2.331,04
ABB	Terra 54 CJG	R$ 40.089,05	R$ 15.000,00
ChargePoint	ChargePoint Express 250	R$ 46.654,00	R$ 14.400,55
Setec Power	50 kW Public OCPP Ev Charger	R$ 33.530,67	R$ 7.240,50
JFY	CSI 60K750-EJA	R$ 33.952,64	R$ 6.033,75
ARK	A60K500CJ	R$ 34.751,97	R$ 8.045,00

Fonte: Autor (2019).

Com a obtenção das despesas para cada modelo, parte-se para o estudo da viabilidade econômica onde será obtido o Custo Anual Uniforme Equivalente e realizado uma comparação entre os modelos a fim de definir o investimento mais adequado para a UFSM.

4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Com os dados técnicos e econômicos obtidos para os modelos de estações de recarga, realizou-se o estudo da viabilidade econômica. Para isto, foram consideradas as despesas com

o equipamento, as despesas com a instalação, as despesas com a manutenção, a depreciação dos equipamentos, os impostos relacionados com a importação, a Taxa Mínima de Atratividade, a correção monetária e as bandeiras tarifárias.

O estudo de viabilidade econômica inicia-se na obtenção dos dados referentes aos modelos de estações de recarga, seguido da organização dos mesmos de acordo com os cenários definidos. Os cálculos são baseados nas equações do método CAUE, o qual é o mais adequado para a finalidade deste trabalho. Para a aplicação do método foram desenvolvidos fluxos de caixa para cada cenário. Junto a isso, os cálculos foram realizados com a utilização de um software de edição de planilhas, o Microsoft Office Excel. Neste contexto, foram determinados os cenários para os cálculos, cujos parâmetros estão na Tabela 8.

Tabela 8: Cenários definidos neste trabalho.

Modelos	**Verde**			**Amarelo**			**Vermelho Patamar 1**			**Vermelho Patamar 2**		
EVLunics Basic+	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ChargePoint CT4025	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Evlink Parking	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
BOSCH EV800	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
POWERCHARGE P30DPN	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Terra 54 CJG	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ChargePoint Express 250	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
50 kW Public OCPP Ev Charger	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
CSI 60K750-EJA	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
A60K500CJ	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Horários*	**M**	**T**	**I**	**M**	**T**	**I**	**M**	**T**	**I**	**M**	**T**	**I**

*M = Manhã; T = Tarde; I = Integral.

Fonte: Autor (2019).

As informações relacionadas com as despesas do equipamento foram obtidas com os fornecedores, juntamente com uma pesquisa comercial. As despesas de instalação e manutenção foram estimadas a partir da bibliografia analisada. Para a definição da TMA, utilizou-se o rendimento da poupança nos últimos cinco anos. O gasto com a energia foi obtido multiplicando a tarifa de energia elétrica com o consumo de energia mensal de cada modelo, adicionando as bandeiras tarifárias de cada cenário. As despesas foram corrigidas conforme a

taxa de correção monetária anual equivalente referenciada pelos valores da inflação média nos últimos dez anos. A partir da combinação dos dados obtidos nos cenários determinados, pôde-se aplicar o método CAUE.

Os resultados obtidos foram analisados em conjunto, de modo a ocorrer uma comparação entre cada modelo de estação de recarga. Para isto, os resultados são divididos com base nas bandeiras tarifárias vigentes, facilitando a comparação entre os modelos estudados em uma mesma realidade tarifária.

Os resultados do CAUE relacionados aos cenários com a bandeira tarifária verde, ou seja, sem acréscimo no custo do kWh, estão dispostos na Tabela 9. Devido à vida útil deste tipo de equipamento ser considerada como 10 anos, o período de tempo utilizado na realização dos cálculos foi coincidente com o da vida útil.

Tabela 9: Resultados CAUE para a bandeira tarifária verde.

	Modelo	**Manhã**	**Tarde**	**Integral**
Nível 2	EVLunics Basic+	R$ 50.237,69	R$ 51.580,64	R$ 92.715,49
	ChargePoint CT4025	R$ 42.267,30	R$ 43.146,32	R$ 70.070,95
	Evlink Parking	R$ 79.847,25	R$ 82.533,15	R$ 164.802,86
	BOSCH EV800	R$ 25.689,95	R$ 26.129,45	R$ 39.591,77
	POWERCHARGE P30DPN	R$ 43.770,91	R$ 44.942,94	R$ 80.842,45
Carregamento Rápido	Terra 54 CJG	R$ 305.133,96	R$ 313.863,11	R$ 581.240,04
	ChargePoint Express 250	R$ 300.510,71	R$ 308.141,09	R$ 541.861,85
	50 kW Public OCPP Ev Charger	R$ 224.200,22	R$ 230.300,17	R$ 417.276,77
	CSI 60K750-EJA	R$ 300.544,67	R$ 310.494,68	R$ 615.266,54
	A60K500CJ	R$ 279.848,91	R$ 288.517,02	R$ 554.023,81

Fonte: Autor (2019).

Com os valores presentes na Tabela 4, observa-se que o CAUE dos equipamentos tende a crescer baseado no horário de funcionamento do estacionamento, apresentando o maior valor no horário Integral e o menor valor no horário da Manhã. Quando comparado o horário da Tarde com o horário da Manhã, apesar de ambos possuírem a mesma duração, ocorre um pequeno acréscimo no valor, devido ao fato de que uma parte do horário da Tarde acaba entrando na categoria tarifária de Ponta, onde há um acréscimo na tarifa de energia. De forma semelhante, o mesmo acontece ao comparar os valores com o horário de estacionamento Integral, o qual apresenta um tempo de funcionamento maior que os outros, possuindo assim uma parte maior de seu horário na categoria de Ponta, acarretando em um CAUE maior.

Dentre os modelos estudados, percebe-se que o CSI 60K750-EJA, fabricado pela JFY, possui o maior CAUE entre as estações de carregamento rápido, quando considerado o horário de funcionamento Integral. Entretanto, quando se analisa os turnos da Manhã e da Tarde, o equipamento com o maior CAUE é o Terra 54 CJG, fabricado pela ABB. Para o nível 2, o modelo *Evlink Parking*, fabricado pela *Evlink*, tem o maior custo em todos os horários de funcionamento. Além disto, observa-se que os equipamento com o menor CAUE são, para o nível 2, o BOSCH EV800 e, para os modelos de recarga rápida, o 50 kW *Public* OCPP *Ev Charger*. Os resultados obtidos com a bandeira tarifária verde são os valores que possuem o menor CAUE relacionado aos modelos, sendo usados como uma estimativa mínima do gasto que se terá com este investimento. Na Tabela 10, tem-se o resultado para a bandeira tarifária vermelha patamar 2.

Tabela 10: Resultados CAUE para a bandeira tarifária vermelho patamar 2.

	Modelo	**Manhã**	**Tarde**	**Integral**
Nível 2	EVLunics Basic+	R$ 54.437,05	R$ 55.779,99	R$ 102.513,99
	ChargePoint CT4025	R$ 45.015,97	R$ 45.894,99	R$ 76.484,52
	Evlink Parking	R$ 88.245,97	R$ 90.931,86	R$ 184.399,85
	BOSCH EV800	R$ 27.064,28	R$ 27.503,79	R$ 42.798,55
	POWERCHARGE P30DPN	R$ 47.435,81	R$ 48.607,84	R$ 89.393,86
Carregamento Rápido	Terra 54 CJG	R$ 332.429,78	R$ 341.158,93	R$ 644.929,91
	ChargePoint Express 250	R$ 324.370,69	R$ 332.001,07	R$ 597.535,14
	50 kW Public OCPP Ev Charger	R$ 243.283,85	R$ 249.388,15	R$ 461.815,40
	CSI 60K750-EJA	R$ 331.658,08	R$ 341.608,09	R$ 687.864,51
	A60K500CJ	R$ 306.953,85	R$ 315.621,96	R$ 617.268,66

Fonte: Autor (2019).

Como esperado, ocorre um aumento no valor do CAUE de todos os modelos. Nesta bandeira o valor obtido para o CAUE é o mais elevado, servindo como um parâmetro de custo máximo para o investimento. Do mesmo modo, os modelos com o maior e menor custo se mantém iguais para cada horário.

Percebe-se que não há necessidade de apresentar os resultados relacionadas a bandeira tarifária amarela e a bandeira tarifária vermelha patamar 1, isto acontece pelo fato de não ocorrer mudanças significativas nos valores obtidos no CAUE dos equipamentos. Desta forma, ao apresentar os resultados da bandeira tarifária verde e da bandeira tarifária vermelha patamar

2, tem-se os resultados para as condições ideias, onde o CAUE é mínimo, e os resultados para as condições extremas, onde o CAUE é máximo.

É importante ressaltar que apenas o valor do CAUE não é suficiente para determinar qual a melhor opção de investimento entre os modelos. Isto porque as características técnicas também possuem uma grande influência na determinação de qual estação de recarga é a mais adequada ao cenário de utilização do equipamento.

Assim, foi realizado o cálculo do custo do kWh consumido por cada estação de recarga como forma de reduzir a influência das características técnicas dos modelos nos resultados, obtendo um melhor padrão para comparação. Para isto, realizou-se a divisão entre o CAUE dos equipamentos pela energia elétrica anual consumida. Devido os valores obtidos não apresentarem uma diferença significativa e apresentarem um crescimento uniforme para cada bandeira, opta-se por apenas mostrar os resultados relacionados aos maiores R$/kWh consumidos e os menores R$/kWh consumidos obtidos, ou seja, os valores relacionados à bandeira tarifária verde e a bandeira tarifária vermelha patamar 2, dispostos na Tabela 11.

Tabela 11: Valores do R$/kWh para cada modelo.

	Bandeira Verde (R$/kWh)			**Bandeira Vermelha Patamar 2 (R$/kWh)**		
Modelo	**Manhã**	**Tarde**	**Integral**	**Manhã**	**Tarde**	**Integral**
EVLunics Basic+	1,04	1,07	0,82	1,13	1,16	0,91
ChargePoint CT4025	1,34	1,37	0,95	1,43	1,46	1,04
Evlink Parking	0,83	0,86	0,73	0,92	0,94	0,82
BOSCH EV800	1,63	1,66	1,08	1,72	1,74	1,16
POWERCHARGE P30DPN	1,04	1,07	0,82	1,13	1,16	0,91
Terra 54 CJG*	0,97	1,00	0,80	1,06	1,09	0,88
ChargePoint Express 250	1,10	1,13	0,85	1,18	1,21	0,94
50 kW Public OCPP Ev Charger	1,02	1,05	0,82	1,11	1,14	0,90
CSI 60K750-EJA	0,84	0,87	0,74	0,93	0,96	0,83
A60K500CJ	0,90	0,93	0,76	0,99	1,01	0,85

Fonte: Autor (2019).

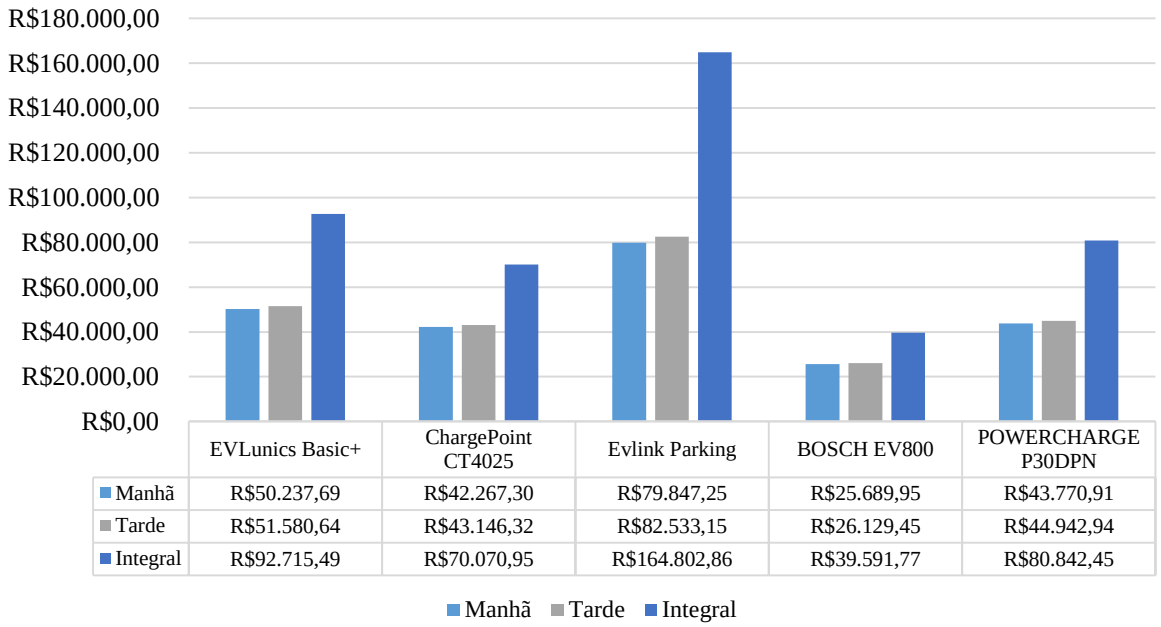
Neste caso, devido à redução da influência das características técnicas dos modelos, pode-se realizar a comparação entre todas as estações de recarga sem a necessidade de classificá-las baseadas em sua potência. Deste modo, o modelo BOSCH EV800, apresenta o R$/kWh consumido mais elevado dentre os equipamentos e o modelo *Evlink Parking* apresenta o menor valor para o R$/kWh consumido.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Mediante a apresentação dos resultados, verifica-se um aumento proporcional no CAUE dos modelos baseado nas bandeiras tarifárias e no horário de funcionamento do estacionamento. Assim, para uma melhor comparação e análise dos resultados obtidos, optou-se por comparar os modelos baseados em seus níveis. Para esta comparação, entram também as características técnicas de cada modelo, como potência e quantidade de veículos que podem ser carregados simultaneamente, pois influenciam na determinação do equipamento mais adequado para o ambiente de estudo.

Neste contexto, os resultados são colocados em gráficos a fim de facilitar a comparação entre os modelos, sendo mostrados e baseados em cada bandeira tarifária, bem como, classificados em função do horário de funcionamento do estacionamento. Do mesmo modo, devido ao CAUE ter um crescimento uniforme entre todas as bandeiras, não ocorrendo alterações nos modelos com maior e menor CAUE, optou-se por mostrar apenas a comparação entre os resultados da bandeira tarifária verde e da bandeira tarifária vermelha patamar 2, visto que estes são os cenários onde ocorrem os valores máximos e mínimos. Com isto, na Figura 19, tem-se o gráfico dos resultados do CAUE para os modelos de nível 2, utilizando a bandeira tarifária verde.

Figura 19: Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira verde).



	EVLunics Basic+	ChargePoint CT4025	Evlink Parking	BOSCH EV800	POWERCHARGE P30DPN
Manhã	R$50.237,69	R$42.267,30	R$79.847,25	R$25.689,95	R$43.770,91
Tarde	R$51.580,64	R$43.146,32	R$82.533,15	R$26.129,45	R$44.942,94
Integral	R$92.715,49	R$70.070,95	R$164.802,86	R$39.591,77	R$80.842,45

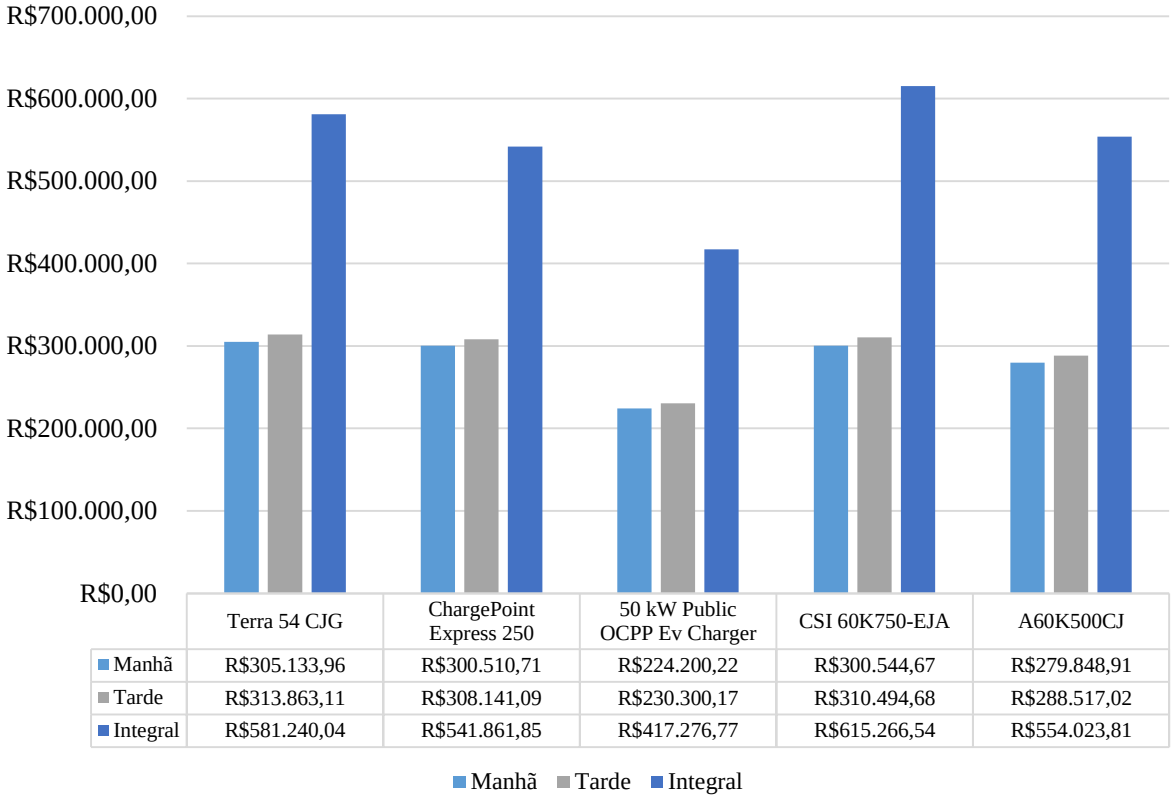
Fonte: Autor (2019).

No gráfico é possível observar que a estação de recarga *Evlink Parking* possui o maior CAUE entre os modelos de nível 2, chegando a um valor máximo de R$ 164.802,86 para o horário de funcionamento Integral. Isto acontece devido ao fato do modelo possuir uma potência de 22 kW e a possibilidade de carregar dois carros ao mesmo tempo, o que acarreta um aumento no consumo de energia elétrica. Em comparação, o modelo *EVLunics Basic* +, também possui uma potência de 22 kW, porém apenas conta com a possibilidade de carregar um veículo elétrico por vez, acarretando uma diminuição no consumo de energia elétrica, chegando a obter um valor máximo de R$ 92.715,49.

Os outros equipamentos analisados variam sua potência entre 7,2 kW até 9,6 kW, resultando em uma diminuição no CAUE destes modelos. Com isto, o modelo BOSCH EV800, apresenta o menor custo de todos os modelos nível 2, devido ao fato de ter 7,2 kW de potência e apenas carregar um veículo por vez. Ao levar em consideração dados como a potência, quantidade de veículos recarregados simultaneamente e o CAUE obtido, pode-se verificar que o modelo *POWERCHARGE* P30DPN é a alternativa mais viável entre os equipamentos analisados, tendo a possiblidade de recarregar dois veículos ao mesmo tempo a uma potência de 9,6 kW, com um CAUE máximo de R$ 80.842,45.

Do mesmo modo, com a bandeira tarifária verde, na Figura 20 é mostrada a comparação entre os resultados para os modelos de recarga rápida.

Figura 20: Comparação do CAUE dos carregadores rápidos (bandeira verde).



	Terra 54 CJG	ChargePoint Express 250	50 kW Public OCPP Ev Charger	CSI 60K750-EJA	A60K500CJ
Manhã	R$305.133,96	R$300.510,71	R$224.200,22	R$300.544,67	R$279.848,91
Tarde	R$313.863,11	R$308.141,09	R$230.300,17	R$310.494,68	R$288.517,02
Integral	R$581.240,04	R$541.861,85	R$417.276,77	R$615.266,54	R$554.023,81

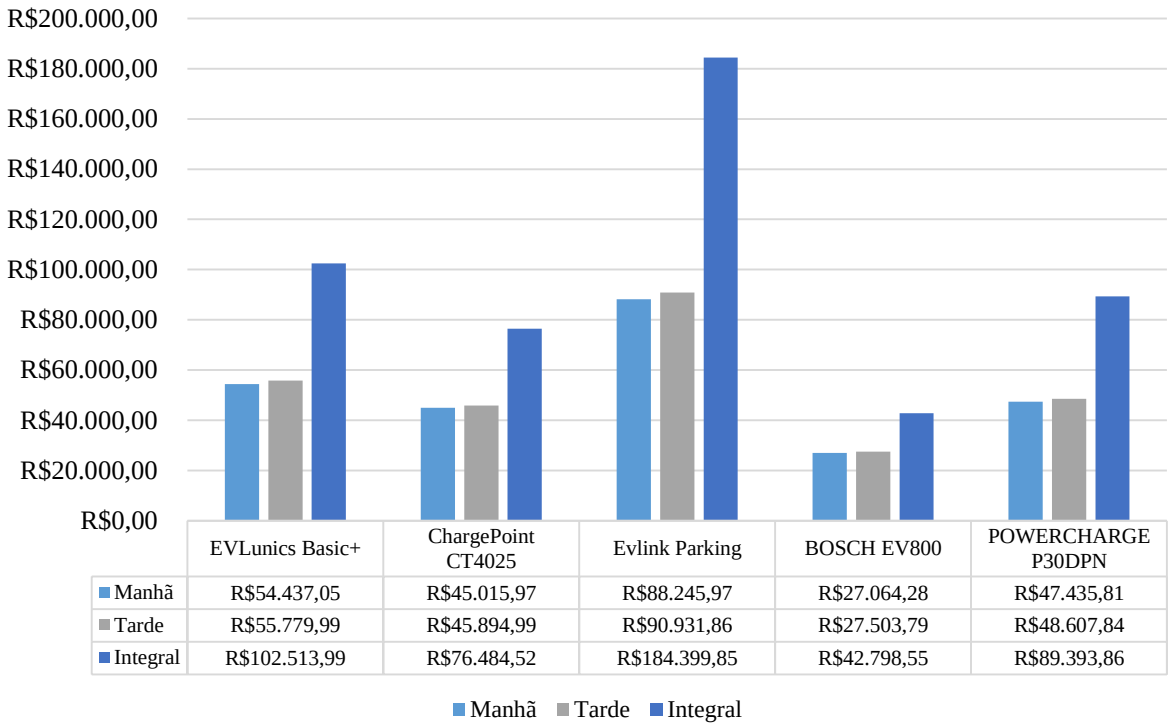
Fonte: Autor (2019).

Para os modelos de recarga rápida, o CAUE obtido é relativamente maior do que os equipamentos de nível 2. Neste caso, o modelo CSI 60K750-EJA apresenta o maior custo quando colocado no cenário de funcionamento Integral, devido ao fato de possuir a alternativa de recargar 3 veículos simultaneamente, junto com uma potência de 43 kW para a corrente alternada e uma potência de 60 kW para a corrente continua. Assim, este tipo de carregador tem a possibilidade de recarregar um dos veículos com uma potência menor, enquanto os outros dois são carregados com a potência máxima disponível.

Entretanto, ao analisar os cenários de funcionamento da Manhã e da Tarde, percebe-se que o modelo que apresenta o maior custo é o Terra 54 CJG, devido ao fato da despesa do equipamento ser bem mais elevada do que os outros modelos de recarga rápida. Assim, conforme o tempo de funcionamento do equipamento aumenta, as despesas iniciais como, custo da aquisição do produto e custo da instalação, começam a diminuir sua influência no CAUE, de forma que, o custo com a energia se torna o fator de maior influência.

Percebe-se também que o equipamento que apresenta o menor CAUE é o modelo 50 kW *Public* OCPP *Ev Charger*, sendo um modelo com a capacidade de recarga para dois veículos com uma potência máxima de 50 kW. Considerando todos os fatores envolvidos, apesar de possuir o CAUE mais elevado, o CSI 60K750-EJA, torna-se o modelo mais vantajoso, pois além de ter a possibilidade de recarga de três veículos simultaneamente, ainda possui uma potência maior do que os outros modelos, de forma a recarregar um número maior de veículos diariamente. A Figura 21 traz a comparação entre os modelos de nível 2 com a bandeira tarifária vermelha patamar 2 e a Figura 22 traz a comparação entre os modelos de recarga rápida para a mesma bandeira tarifária.

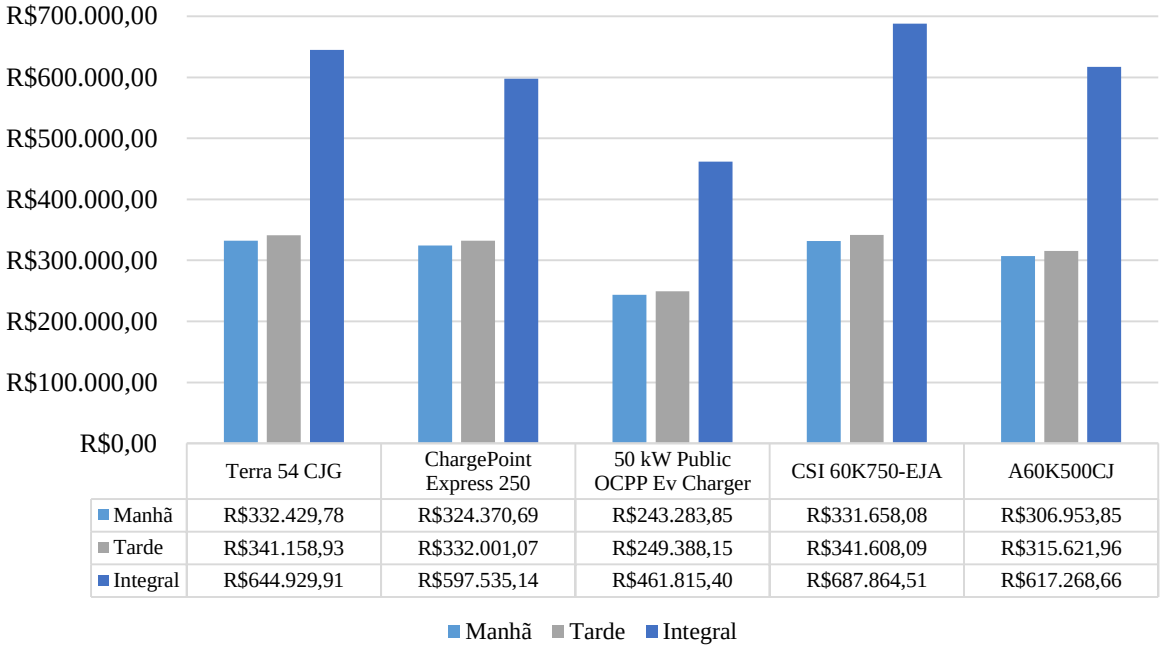
Figura 21: Comparação do CAUE dos carregadores nível 2 (bandeira vermelha patamar 2).



	EVLunics Basic+	ChargePoint CT4025	Evlink Parking	BOSCH EV800	POWERCHARGE P30DPN
Manhã	R$54.437,05	R$45.015,97	R$88.245,97	R$27.064,28	R$47.435,81
Tarde	R$55.779,99	R$45.894,99	R$90.931,86	R$27.503,79	R$48.607,84
Integral	R$102.513,99	R$76.484,52	R$184.399,85	R$42.798,55	R$89.393,86

Fonte: Autor (2019).

Figura 22: Comparação do CAUE dos carregadores rápidos (bandeira vermelha patamar 2).



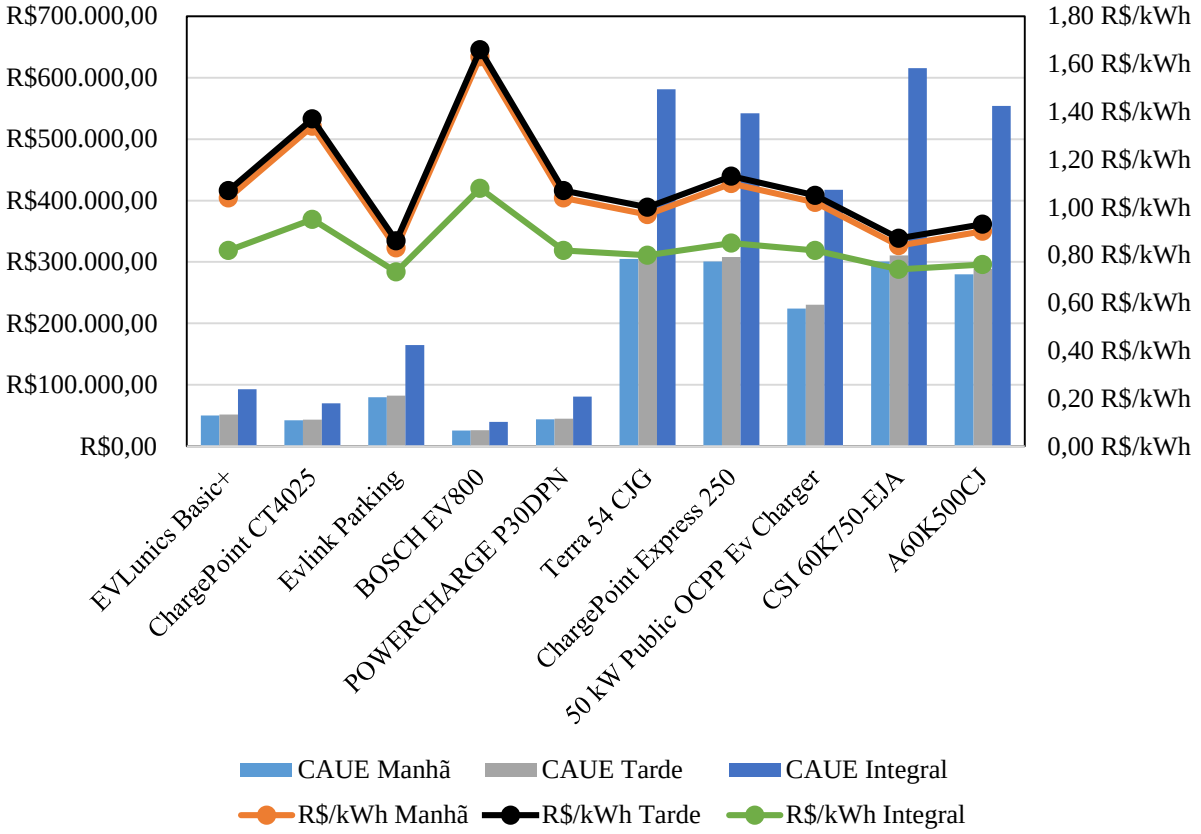
	Terra 54 CJG	ChargePoint Express 250	50 kW Public OCPP Ev Charger	CSI 60K750-EJA	A60K500CJ
Manhã	R$332.429,78	R$324.370,69	R$243.283,85	R$331.658,08	R$306.953,85
Tarde	R$341.158,93	R$332.001,07	R$249.388,15	R$341.608,09	R$315.621,96
Integral	R$644.929,91	R$597.535,14	R$461.815,40	R$687.864,51	R$617.268,66

Fonte: Autor (2019).

Para os modelos de carregamento rápido, também ocorre um crescimento já esperado no CAUE, servindo como um parâmetro máximo para o custo do investimento. Do mesmo modo, o modelo CSI 60K750-EJA, continua sendo o equipamento mais vantajoso dentre as estações de recarga rápida, tendo em vista suas características técnicas e econômicas quando comparado com os outros modelos.

Além da comparação do CAUE entre os equipamentos de nível 2 e de recarga rápida, também foi realizada a comparação entre o valor obtido para o R$/kWh consumido dos modelos. Com esta comparação, obtém-se os valores máximos e mínimos para o R$/kWh consumido relacionando o CAUE obtido com a energia anual consumida dos equipamentos. Neste caso, não houve a necessidade de classificar os modelos quanto ao seu nível de carregamento, devido ao fato deste parâmetro eliminar a dependência das características técnicas, obtendo assim uma comparação entre todas as estações de recarga. Os equipamentos foram avaliados nos cenários com a bandeira tarifária verde e com a bandeira tarifária vermelha patamar 2. Na Figura 23, estão os valores relacionados à bandeira tarifária verde.

Figura 23: R$/kWh consumido dos modelos para a bandeira verde.



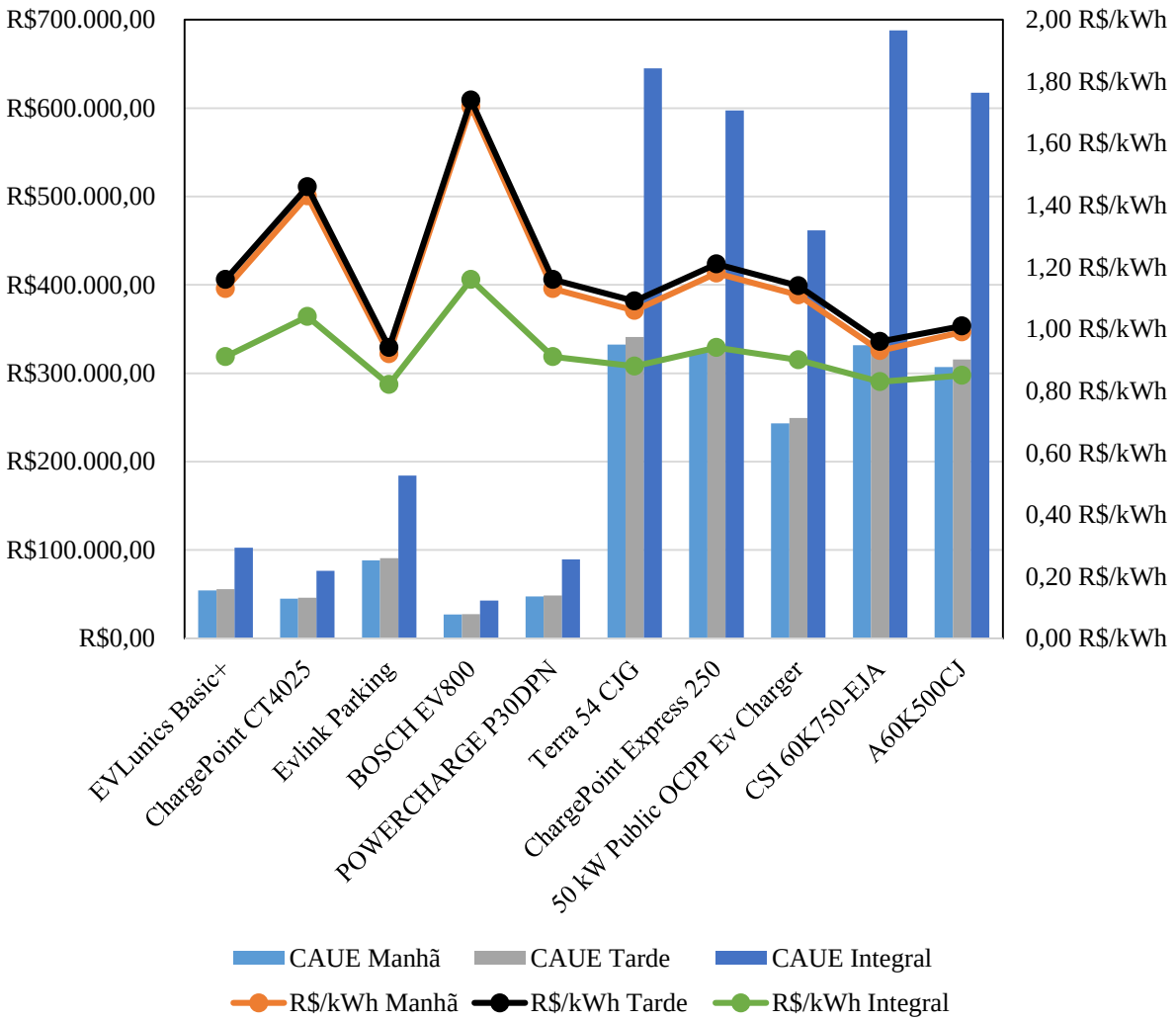
Fonte: Autor (2019).

Pela análise do gráfico, percebe-se que nos cenários da Manhã e da Tarde, o valor do R$/kWh consumido é praticamente o mesmo para os modelos, devido ao fato das duas situações apresentarem horários de funcionamentos iguais. Porém, no horário da Tarde, ocorre um pequeno acréscimo do custo em consequência de sua participação na categoria de Ponta, obtendo um maior custo com a energia elétrica consumida. Além disto, o horário Integral é onde os equipamentos apresentam o menor R$/kWh consumido, implicando assim que, quanto maior o tempo em que a estação de recarga estiver funcionamento, menor será o R$/kWh. Logo, observa-se que, conforme o CAUE dos equipamentos aumenta, o valor do R$/kWh consumido diminui. Essa relação ocorre devido ao aumento da energia consumida pela estação, o qual é resultante da mudança dos horários de funcionamento do estacionamento. Do mesmo modo, ao alterar os horários, o CAUE também sofre um aumento no seu valor. Entretanto, o aumento da energia consumida acaba sendo muito maior que o aumento do CAUE, resultando em uma diminuição na razão R$/kWh.

Neste contexto, os modelos que apresentam o menor R$/kWh, ou seja, o menor custo por energia consumida, são o *Evlink Parking*, que chega a ter a um valor mínimo de 0,73

R$/kWh para o horário Integral, e o CSI 60K750-EJA, que chega a um valor mínimo de 0,74 R$/kWh. Do mesmo modo, os modelos que possuem o maior R$/kWh consumido são o BOSCH EV800, com 1,08 R$/kWh para o horário Integral, e o ChargePoint CT4025, com o valor máximo de 0,95 R$/kWh. Na Figura 24, estão presentes os resultados para a bandeira tarifária vermelha patamar 2.

Figura 24: R$/kWh consumido dos modelos para a bandeira vermelha patamar 2.



Fonte: Autor (2019).

Como esperado, os equipamentos com os valores máximos e mínimos para o R$/kWh consumido se mantêm os mesmos da bandeira verde, porém, ocorre um aumento geral no valor do R$/kWh para todas as estações de recarga, resultado da troca de bandeira. Este aumento é originado devido ao consumo de energia elétrica anual dos equipamentos continuar o mesmo

independente da bandeira tarifária selecionada, enquanto ocorre um acréscimo no valor do CAUE dos modelos devido ao custo de R$ 0,06 por kWh consumido, o que ocasiona um aumento no valor da razão entre os parâmetros.

É valido relembrar que, para este tipo de investimento, não se deve considerar apenas o CAUE dos modelos. Como exemplo, o modelo BOSCH EV800, que possui o menor CAUE entre todas as estações de recarga, acaba apresentando o maior valor para o R$/kWh consumido, refletindo assim suas características técnicas inferiores aos dos outros modelos. Por outro lado, modelos como o *Evlink Parking* e CSI 60K750-EJA, apesar de apresentarem o maior CAUE dentre os equipamentos, considerando seus respectivos níveis, possuem o menor valor para o R$/kWh consumido, refletindo assim, uma capacidade técnica superior aos outros modelos.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de comparar os resultados encontrados nesta pesquisa com outros estudos semelhantes, utilizaram-se os trabalhos citados anteriormente no referencial teórico. Neste contexto, foram levados em consideração dados técnicos como o nível das estações de recarga utilizadas, juntamente com dados econômicos como os custos relacionados com os equipamentos, bem como, o horizonte de tempo considerado para o cálculo.

No estudo feito por Zhang et al. (2018) realizado na China, buscou-se determinar o preço para a recarga baseado no custo anual gerado pelos equipamentos. O período escolhido para a análise foi de um a doze anos, sendo utilizados oito equipamentos iguais de carregamento rápido. Para fins de comparação, escolheu-se o valor do CAUE encontrado no trabalho para o período de 10 anos, o mesmo desta pesquisa. Assim, o valor encontrado pelos autores foi de CNY 10.800.000,00, o qual realizando a conversão para Real Brasileiro, resulta em R$ 6.060.000,00. Comparando com os resultados obtidos nesta pesquisa, percebe-se que o CAUE mais elevado obtido entre os modelos estudados é de R$ 687.864,51.

No estudo realizado por Zhang et al. (2018), a maior parte dos custos é gerada da necessidade de alugar o terreno para a construção do eletroposto, além disto, nos cálculos foram considerados oito estações de recarga rápida iguais. Multiplicando o valor obtido para o maior CAUE deste trabalho por oito, obtém-se um valor de R$ 5.502.916,08, tendo assim um valor mais adequado para comparação com o do trabalho citado.

Liu et al. (2016), realizaram um estudo considerando quatro modelos de carregamento rápido e dezesseis modelos de Nível 2. O período de tempo analisado foi de vinte anos e o valor obtido para o custo anual foi de CNY 5.000.000,00, o qual convertido para Real Brasileiro,

resulta em R$ 2.805.759,00. Novamente, para fins de comparação, adequando os valores obtidos nesta pesquisa para o cenário utilizado pelos autores, tem-se um valor aproximado de R$ 2.532.038,40. Devido à falta de especificação dos dados técnicos de cada modelo utilizado para o cálculo do CAUE no trabalho dos autores, é difícil realizar uma comparação que esteja coerente. Mesmo assim, os valores obtidos servem como uma estimativa e uma forma de obter uma comparação entre as despesas relacionadas a este tipo de investimento em diferentes países.

5 CONCLUSÃO

Na medida em que se tem um aumento na preocupação com o meio ambiente, alguns tratados entre países são estabelecidos com o objetivo de diminuir as emissões de gases de efeito estufa. Mediante a isto, tem-se um processo de desenvolvimento de soluções de forma a atender as metas determinadas para o futuro. No contexto da indústria automobilística, uma das soluções vem na forma dos veículos elétricos. Estes vêm ganhando espaço no mercado nos últimos anos. Juntamente com o aumento da disseminação dos veículos elétricos, a infraestrutura de recarga também deve ser desenvolvida, sendo essencial para a introdução desses automóveis no cenário automobilístico atual.

Baseado nesta perspectiva, o atual trabalho de conclusão de curso teve como objetivo geral realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica envolvendo a utilização de diferentes modelos de estações de recargas para veículos elétricos no ambiente da UFSM. O dimensionamento do sistema teve como base o estacionamento localizado no Centro de Tecnologia. Assim, 120 cenários foram originados, envolvendo 10 diferentes modelos de estações de recarga, as quatro bandeiras tarifárias vigentes e os diferentes horários de funcionamento do estacionamento. Para realizar a análise econômica, utilizou-se o método do CAUE juntamente com a determinação do valor do R$/kWh referente a energia consumida pelos modelos.

Do ponto de vista técnico, levando em consideração o ambiente analisado, o estacionamento foi dimensionado para receber apenas uma estação de recarga para veículos elétricos. Desta forma, informações técnicas referentes aos diferentes modelos estudados foram obtidas. Depois realizou-se uma comparação entre os equipamentos, determinando assim, sua viabilidade técnica. Com isso, as informações técnicas foram inseridas nos resultados da análise de viabilidade econômica pela grande influência que possuem no custo destes equipamentos. De todo modo, todas as estações de recarga analisadas, do ponto de vista técnico, são viáveis para a utilização no estacionamento do Centro de Tecnologia da UFSM.

A partir dos resultados obtidos com a Engenharia Econômica nos cenários modelados, observa-se que o CAUE mais elevado para os modelos de nível 2 encontrado é relativo ao modelo *Evlink Parking*, o qual chega a um valor de R$ 184.399,85, considerando o horário Integral. Mas considerando os modelos de recarga rápida, o CSI 60K750-EJA apresenta o maior valor, sendo de R$ 687.864,51, considerando o horário Integral. Entretanto, ao levar em conta os diferentes horários de funcionamento do estacionamento, para o nível 2, o modelo *Evlink Parking* continua apresentando o maior CAUE tanto para o horário da Manhã, quanto para o da

Tarde. Por outro lado, considerando os modelos de recarga rápida, o equipamento Terra 54 CJG apresenta o CAUE mais elevado no turno da Manhã, e o CSI 60K750-EJA para o turno da Tarde, levando em conta a bandeira tarifária vermelha patamar 2.

Em relação aos menores valores para o CAUE obtidos, para as estações de nível 2, o modelo BOSCH EV800 apresentou um valor de R$ 25.689,95 para o turno da Manhã, R$ 26.129,45 para o turno da Tarde e um valor de R$ 39.59177 para o turno Integral. Do mesmo modo, para os modelos de carregamento rápido, a estação de recarga que apresentou o menor valor para o CAUE foi o 50 kW *Public* OCPP *Ev Charger* com R$ 224.200,22 para o turno da Manhã, R$ 230.300,17 para o turno da Tarde e R$ 417.276,77 para o turno Integral.

Além disto, é valido também ressaltar os resultados obtidos para o R$/kWh referente a energia consumida pelos equipamentos, visto que este parâmetro tem como objetivo diminuir a influência das características técnicas dos modelos de forma a obter uma comparação direta entre os mesmos. Em consequência, não há necessidade de separar os modelos baseado em suas potências, analisando-os juntos. Neste caso, o modelo que obteve o menor valor para o R$/kWh consumido foi o *Evlink Parking*, com o valor mínimo de R$/kWh 0,83 para o turno da Manhã, R$/kWh 0,86 para o turno da Tarde e R$/kWh 0,73 para o turno Integral. Já o modelo que obteve o maior valor para o R$/kWh consumido foi o BOSCH EV800, com o valor de R$/kWh 1,72 para o turno da Manhã, R$/kWh 1,74 para o turno da Tarde e R$/kWh 1,16 para o turno Integral.

Baseado nestas informações, chega-se à conclusão que, para a aplicação proposta neste trabalho, o modelo de nível 2 mais viável é o modelo *POWERCHARGE* P30DPN, devido à sua combinação de fatores técnicos compatíveis com o ambiente em que será aplicado, juntamente com um valor de CAUE e de R$/kWh consumido intermediário. Para os modelos de recarga rápida, o modelo mais adequado para o ambiente de estudo é o CSI 60K750-EJA, porque, apesar de possuir o CAUE mais elevado, seu valor do R$/kWh consumido é o segundo menor entre os equipamentos de recarga rápida, possuindo características técnicas superiores, tornando-se o equipamento mais viável para a aplicação proposta.

Analisando os resultados, percebe-se que os equipamentos que possuem uma maior potência e carregam um maior número de veículos simultaneamente, possuem um valor de CAUE elevado, consequência do maior consumo de energia elétrica. Por outro lado, estes equipamentos tendem a ter um valor para o R$/kWh consumido menor, ressaltando assim, uma superioridade técnica. Além da influência destes fatores técnicos, percebe-se que à medida que o horário de funcionamento do estacionamento aumenta, o valor do CAUE tem um crescimento proporcional, enquanto o valor do R$/kWh consumido sofre um decréscimo.

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se realizar um estudo de forma a elencar os perfis de motoristas presentes na UFSM, com a finalidade de determinar qual é o tipo de estação de recarga mais adequado para o estacionamento. Além disto, é possível também realizar um estudo de viabilidade econômica com estes modelos, considerando um ambiente com o objetivo de gerar lucro, de forma a obter um preço de recarga e, baseado neste valor, aplicar métodos como o Valor Presente Líquido, o *Payback* e a Taxa Interno de Retorno, determinando assim a viabilidade do investimento. De modo semelhante, pode-se fazer uso das informações obtidas para o R$/kWh consumido dos modelos tratados neste estudo, realizando uma comparação entre a autonomia de um veículo elétrico e um veículo de combustão interna, de forma a obter uma comparação relativa à viabilidade econômica entre estas duas tecnologias.

Da mesma forma, durante o desenvolvimento deste trabalho teve-se a presença de alguns fatores limitantes, os quais forçam a necessidade do uso de estimações e suposições relacionadas com os dados dos equipamentos estudados. Assim, o principal fator limitante foi a dificuldade de contato e comunicação com os fabricantes das estações de recarga, de forma que determinados dados tiveram que ser estimados ou obtidos em diferentes fontes.

Por fim, chega-se à conclusão de que o trabalho cumpriu com o objetivo que foi inicialmente proposto, sendo desenvolvida uma análise de viabilidade técnica e econômica envolvendo diferentes modelos de estações de recarga. O trabalho apresentou 120 cenários de forma a obter valores compatíveis com a realidade e englobar diferentes situações que possam ocorrer dentro do ambiente da UFSM. Assim, foi possível realizar uma comparação entre os 10 modelos de estações de recarga e obter resultados relevantes na determinação do melhor equipamento para os cenários considerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE. M.; SAITOH, H. A LP based Solution to Determine Maximum Number of Available Electric Vehicle Fast-Chargers without Distribution Voltage Deterioration. **Ifac Proceedings Volumes**, v. 45, p. 248-253, 2012.

ABVE. Associação Brasileira de Veículos Elétricos. **Governo anuncia ROTA 30 e corta IPI para elétricos.** Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.abve.org.br/governo-anuncia-rota-2030-e-corta-ipi-para-eletricos/>. Acesso em 10 de março de 2019.

ABVE**.** Associação Brasileira de Veículos Elétricos. **Electric Mobility Brasil instala eletrovia na Dutra**. Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.abve.org.br/electric-mobility-instala-eletrovia-na-dutra/>. Acesso em 20 de abril de 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia. **Bandeiras Tarifárias.** Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em 24 de maio de 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia. **Efeito dos Reajustes Tarifários.** Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDFmMzIzM2QtM2EyNi00YjkyLWIxNDMtYTU4NTI0NWIyNTI5IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzNzBlMSIsImMiOjR9>. Acesso em 24 de maio de 2019.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Publicação mensal da associação nacional dos fabricantes de veículos automotores 380.** São Paulo, 2018. 11 p.

ASSUMPÇÃO, F. **Veículos elétricos de carga:** Uma análise de sua evolução histórica, perfil e possível utilização no Brasil. 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil:** Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012. 139 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Curso de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BCB. Banco Central do Brasil. **Calculadora do Cidadão**. Brasil, 2019. Disponível em: https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores. Acesso em: 25 de maio de 2019.

BINKOWSKI, D. **Viabilidade técnica e econômica de estações fotovoltaicas para a recarga de veículos elétricos.** 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering economy.** 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento. **BNDES aprova R$ 6,7 milhões para estações de recarga de veículos elétricos.** Brasil, 2018. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-r-6-7-milhoes-para-estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos>. Acesse em 20 de abril de 2019.

Borba, B. S. **Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético brasileiro**. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Curso de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BRAVO, M;. MEIRELLES, P;. GIALLONARDO, W. Análise dos desafios para a difusão dos veículos elétricos e híbridos no Brasil. **XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**, v. 1, p. 1-22, 2014.

BRUGLIERI, M.; COLORNI, A. The Relocation Problem for the One-Way Electric Vehicle Sharing. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v.111, p. 18-27, 2014.

BURNHAM, A. Enabling fast charging e Infrastructure and economic considerations. **Journal of Power Sourcers**, v. 367, p. 237-249, 2017.

Calçado, T. E. O. **Estudo preliminar de implantação de estações de recarga de veículos elétricos no Centro de Tecnologia da UFRJ**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões veiculares no estado de São Paulo 2016**. São Paulo, 2016. 221 p.

CHAN, C. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. **Proceedings of the IEEE**, v. 95, p. 704-719, 2007.

CHANG, D et al. Financial Viability Of Non-Residential Electric Vehicle Charging Stations. **Luskin Center for Inovation**, v. 1, p. 1-51, 2012.

CHEN, W et al. A review of Lithium-Ion battery for electric vehicle applications and beyond. **Energy Procedia**, v. 158, p. 4363-4368, 2018.

COLPO, I.; MEDEIROS, F.; WEISE, A. Análise de retorno do investimento: um estudo aplicado em uma microempresa. **III Simpósio de Engenharia de Produção**, v. 10, p. 1-21, 2015.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Copel lança primeira eletrovia do Brasil.** Brasil, 2018. Disponível em: < https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F7988867F48E725D18325825D00749693>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Horário de Ponta e Fora de Ponta.** Brasil, 2018. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9>. Acesso em 24 de maio de 2019.

CPFL EMPRESAS. Companhia Paulista de Força e Luz. **Tarifas**. Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/5-tarifa-de-energia-eletrica>. Acesso em 24 de maio de 2019.

CPFL EMPRESAS. Companhia Paulista de Força e Luz. **Tarifas PIS/COFINS**. Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.cpflempresas.com.br/institucional/piscofins.aspx?emp=8>. Acesso em 24 de maio de 2019.

DARAMY-WILLIANS, E.; ANABLE, J. GRANT-MULLER, S. A systematic review of the evidence on plug-in electric vehicle user experience. **Transportation Research Part D: Transport and Environment,** v. 77, **2019**.

DEIGN, J. **Which country will become the first to ban internal combustion cars? And would such a goal be realistic or desirable.** Barcelona, 2016. Disponível em: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-country-will-become-the-first-to-ban-internal-combustion-cars#gs.2ari1j>. Acesso em 23 de março de 2019.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. **Frota Nacional (Fevereiro 2019) – Frota por Município e Tipo.** Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/estatistica/639-frota-2019>. Acesso em 03 de abril de 2019.

DOE. Departamento de Energia dos Estados Unidos da América. **EV TECH**. Estados Unidos, 2018. Disponível em <https://fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>. Acesso em 14 de março de 2019.

DOPPSTADT, C.; KOBERSTEIN, A.; VIGO, D. The hybrid electric vehicle: traveling salesman problem. **European Journal of Operational Research**, v. 253, p. 825-842, 2016.

DOUCETTE RT, MCCULLOCH MD. Modeling the CO2 emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. **Energy Policy,** v.2, p. 803-811, 2011.

DUCHARME, P.; KARGAS, C. Feasibility of a Pan-Canadian Network of DC Fast Charging Stations for EVs. **World Electric Vehicle Journal**, v. 8, p. 1-13, 2016.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional.** Brasil, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>. Acesso em 02 de março de 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional.** Brasil, 2015. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-95/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202015.pdf >. Acesso em 02 de março de 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Brasil, 2018. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>. Acesso em 10 de março de 2019.

Electrify America. **Our Investment Plan.** Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://www.electrifyamerica.com/our-plan>. Acesso em 15 de abril de 2019.

FERENCE, A. **Electric Car Charger Installation in Your Home: True Costs and What You Need to Know**. Realtor, 2017. Disponível em: <https://www.realtor.com/advice/home-improvement/installing-electric-vehicle-charger/>. Acesso em 15 de abril de 2019.

FGV ENERGIA. **Carros elétricos.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.fgv.br/fgvenergia/caderno-carros-eletricos/files/assets/basic-html/page-1.html#>. Acesse em: 23 de março de 2019.

FILHO, A. O Brasil no contexto energético mundial. **Núcleo de Analise Interdisciplinar de Políticas e Estratégias da Universidade de São Paulo,** v.6, p. 1-29, 2009.

FILHO. N.; KOPITTKE, B. **Análise dos Investimentos.** 11. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. **INOVA ENERGIA.** Brasil, 2018. Disponível em: <http://finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/programas-inova/inova-energia>. Acesso em 10 de março de 2019.

FLEETCARMA. **Electric Vehicle Range Comparison**. 2018. Disponível em: < https://www.fleetcarma.com/2018-electric-vehicle-range-comparison/>. Acesso em 7 de março 2019.

GANDOMAN et al. Status and future perspectives of reliability assessment for electric vehicles. **Reliability Engineering and System Safety,** v. 183, p. 1-16, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GONZÁLEZ, L.; SIAVICHAY, E.; ESPINOZA, J. Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 309-318, 2019.

GOOGLE MAPS. **Cenário do estudo**. 2019. Disponível em: <https://www.google.com/maps/contrib/115828579689349202845/photos/@-29.713344,-53.716821,3a,75y,90t/data=!3m7!1e2!3m5!1sAF1QipOt_hkIIiFXCGGvNDuOSOCXDaU78vbwdCTaMQYu!2e10!6shttps:%2F%2Flh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipOt_hkIIiFXCGGvNDuOSOCXDaU78vbwdCTaMQYu%3Dw365-h273-k-no!7i958!8i719!4m3!8m2!3m1!1e1
>. Acesso em 03 de abril de 2019.

HANAMOTO, M. An empirical study on the behavior of hybrid-electric vehicle purchasers. **Energy Policy**, v.125, p. 286-292, 2019.

HESS, G et al. **Engenharia Econômica.** 21. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

HIERMAN, G et al. Routing a mix of conventional, plug-in hybrid, and electric vehicles. **European Journal of Operational Research**, v. 272, p. 235-248, 2019.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica.** 1. Ed. São Paulo: Atlas, 1979.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **População estimada*: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 10 de julho de 2017.** Brasil, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-maria/panorama>. Acesso em 3 de abril de 2019.

IEA. Agência Internacional de Energia. **CO2 emissions from fuel combustion:** Overview. Paris: IEA, 2018. 14 p. Disponível em: <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018>. Acesso em 02 de março de 2019.

IEA. Agência Internacional de Energia. **Global Ev Outlook 2018**. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/1045?filename=global_ev_outlook _2018.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

IEA. Agência Internacional de Energia. **Global Ev Outlook 2017**. Disponível em: < https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

IEA. Agência Internacional de Energia. **Global Ev Outlook 2016**. Disponível em: < https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2016.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

IEA. Agência Internacional de Energia. **World energy balances:** Overview. Paris: IEA, 2018. 24 p. Disponível em: <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018-overview>. Acesso em 02 de março de 2019.

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Inventário de emissões atmosféricas do transporte rodoviário de passageiros no município de São Paulo.** São Paulo, 2016. Disponível em: <http://emissoes.energiaeambiente.org.br/graficos>. Acesso em: 24 de março de 2019.

KALAITZI, D.; MATOPOULOS, A.; CLEGG, B. Managing resource dependencies in electric vehicle supply chains: a multi-tier case study. **Supply Chain Management: An international Journal**, v. 24, p. 215-240, 2019.

KIM J.; KIM, H.; YOO, S. Willingness to pay for fuel-cell electric vehicles in South Korea. **Energy**, v. 174, p. 497-502, 2019.

KIM, S.; et al. A Priority Index Method for Efficient Charging of PEVs in a Charging Station with Constrained Power Consumption. **The Korean institute of Electrical Engineers**, v. 11, p. 820-828, 2016.

LANE, B et al. Plug-in fuel cell electric vehicles: A California case study. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, p. 14294-14300, 2017.

LANGBROEK, J et al. Electric vehicle rental and electric vehicle adoption. **Research in Transportation Economics**, v. 70, p. 1-11, 2018.

LARMINIE, J.; LOWRY, J. **Electric Vehicle Technology Explained.** 1°. Ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2003.

LEE, J.; CHANG, B.; AKTAS, C.; GORTHALA, R. (2016). Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England. **Renewable Energy**, v.99, p. 452-464, 2016.

LI, Y et al. Electric vehicle charging in China's power system: Energy, economic and environmental trade-offs and policy implications. **Applied Energy**, v.173, p. 535-554, 2016.

LIU, C et al. Research on Economic Evaluation Method of Electric Vehicle Charging Station. **MMME**, v. 4, p. 689-693, 2016.

LOKESH, B.; MIN, J. A Framework for Electric Vehicle (EV) Charging in Singapore. **Energy Procedia**, v. 143, p. 15-20, 2017.

LUIN, B. PETELIN, S. AL-MANSOUR, F. Micro simulation of electric vehicle energy consumption. **Energy,** v. 174, p. 24-32, 2019.

MA, G et al. Study on the impact of electric vehicle charging load on nodal voltage deviation. **Archives of Electrical Engineering**, v. 66, p. 495-505, 2017.

MA, J.; ZANG, L. A Deploying Method for Predicting the Size and Optimizing the Location of an Electric Vehicle Charging Stations. **Information**, v. 9, p.170-199, 2018.

MARTINS, R. **Há dois caminhos para o carro elétrico vingar no Brasil.** Brasil, 2016. http://exame.abril.com.br/brasil/ha-dois-caminhos-para-o-carro-eletrico-vingarno-brasil/. Acesso em 10 de março de 2019.

MAZZEO, D. Nocturnal electric vehicle charging interacting with a residential photovoltaic-battery system: a 3E (energy, economic and environmental) analysis. **Energy**, v. 168, p. 310-331, 2019.

MDIC. Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Sistema de Acompanhamento do Inovar Auto.** Brasil, 2017. Disponível em: <http://inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/inovar.jspx?_adf.ctrl-state=16vxvd79g5_19>. Acesso em 10 de março de 2019.

MDIC. Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Tabela da Tarifa Externa Comum.** Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior-9/arquivos-atuais>. Acesso em 24 de maio de 2019.

Miguel, P. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Tabela de incidência do imposto sobre produtos industrializados (TIPI).** Brasil, 2017. Disponível em: <http://receita.economia.gov.br/acesso-rapido/legislacao/documentos-e-arquivos/tipi-1.pdf>. Acesso em 24 de maio de 2019.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Tarifa da Energia Elétrica.** Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/5-tarifa-de-energia-eletrica>. Acesso em 24 de maio de 2019.

MOTOAKI, Y.; SHIRK, M. Consumer behavioral adaption in EV fast charging through pricing. **Energy Policy**, v. 108, p. 178-183, 20117.

MURARIU, T.; M, CRISTIAN. Time-dependent analysis of the state-of-health for lead-acid batteries: An EIS Study. **Journal of Energy Storage**, v. 21, p. 87-93, 2019.

NATTIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT. Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Germany. **Progress Report and Recommendations**, v.1, p. 1-33. 2015.

NEAIMEH, M et al. Analysing the usage and evidencing the importance of fast chargers for the adoption of battery electric Vehicles. **Energy Policy**, v.108, p. 474-486, 2017.

NEEDEL, Z et al. Potential for widespread electrification of personal vehicle travel in the United States. **Nature Energy**, v. 1, p. 1-7, 2016.

NISSAN. **Japan now has more electric car charge points than petrol stations.** Tokyo, 2016. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world /2016/may/10/japan-electric-car-charge-points-petrol-stations> Acesso em 22 de março de 2019.

NOCE, T. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. 2009. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

NYSERDA. New York State Energy Research and Development Authority. **Review of New York State Electric Vehicle Charging Station Market and Policy, Finance, and Market Development Solutions.** Nova Iorque, 2015. 92 p.

OLIVEIRA, R**. Paraná ganha primeira rodovia com pontos de recarga para elétricos. Paraná, 2018.** Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/parana-ganha-primeira-rodovia-com-pontos-de-recarga-para-eletricos/>. Acesso em 20 de abril de 2019.

ORNELAS, R. Impactos do consumo colaborativo de veículos elétricos na cidade de são Paulo. **Future Studies Research Journal**, v.5, p. 33 – 62, 2013.

PLATFORM ELECTROMOBILITY. **How EU Member States roll-out electric-mobility: Electric Charging Infrastructure in 2020 and beyond, 2018.** Bélgica, 2018. 9 p.

PELLETIER, S.; JABALI, O.; LAPORTE, G. Battery electric vehicles for good distribution: A survey of vehicle technology, market penetration, incentives and practices. **CIRRELT**, v.1, p. 1-36, 2014

PLÖTZ, P.; FUNKE, S.; JOCHEM, P. The impact of daily and annual driving on fuel economy and CO2 emissions of plug-in hybrid electric vehicles. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 118, p. 331-340, 2018.

PORTAL BRASIL. **Caderneta da Poupança: Novas Regras.** Brasil, 2012. Disponível em: https://www.portalbrasil.net/2012/economia/poupanca_novasregras.htm>. Acesso em 24 de maio de 2019.

POURABDOLLAH, M et al. Optimal sizing of a parallel PHEV powertrain. **IEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 62, p. 2469-2480, 2013.

PRODANOV, C.C.; DE FREITAS, E.C.; **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAHMANI, D.; LOUREIRO, M. Assessing drivers' preferences for hybrid electric vehicles (HEV) in Spain. **Research in Transportation Economics**, v. 73, p. 89-97, 2019.

RAZEGHI, G.; SAMUELSEN, S. Impacts of plug-in electric vehicles in a balancing area. **Applied Energy**, v.183, p. 1142-1156, 2016.

RGE SUL. Rio Grande Energia Sul. **Alíquota ICSM do Rio Grande do Sul.** Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <https://www.rge-rs.com.br/atendimento-a-consumidores/rge/tarifas-na-conta-de-energia/aliquota-icms-rs/Paginas/default.aspx>. Acesso em 24 de maio de 2019.

SALAH, K.; KAMA, N. Reducing range anxiety by unifying networks of charging stations. **MATEC Web of Conferences**, v. 70, p. 1 – 5, 2016.

SBORDONE, D et al. EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigma. **Electric Power Systems Research**, v. 120, p. 95-108, 2015.

SCHROEDER, A.; TRABER, T. The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. **Energy Policy**, v.43, p. 136-144, 2012.

SEFAZ RS. Secretaria da Fazenda do Rio Grande do Sul. **Dúvidas ICMS.** Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em:< https://www.sefaz.rs.gov.br/site/montaduvidas.aspx?al=l_icms_faq>. Acesso em 24 de maio de 2019.

SILVA, B.; NOGUEIRA, S.; REIS, E. Determinação do momento ótimo para substituição de equipamentos sob as óticas da gestão econômica e da engenharia econômica. **XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v.1, p. 1-18, 2012.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M.; **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4ª ed. Florianópolis: UFSC, 2005

SONG, K et al. A comprehensive evaluation framework to evaluate energy managemt strategies of fuel cell electric vehicles. **Electrochimica Acta**, v. 292, p. 960-973, 2018.

SOUSA, M. **Veículos elétricos: a rede de inovação da pesquisa e desenvolvimento do Brasil.** 2015, 89 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Gestão de Empresas) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.

STORTTE, J.; JACOMETTI, M. Aplicação do custo anual uniforme equivalente na identificação do momento ótimo para a substituição de uma colhedora de cana-de-açúcar. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v.1, p. 1-16, 2016.

THOMAS, S. How green are electric vehicles?. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, p. 6053-6062, 2012.

TOLMASQUIM, M.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira. **Novos Estudos**, v. 79, n. 2, p. 47-69, 2007.

TUITE, D. **Understanding U.S. and European Standards for Electric-Vehicle Charging.** Estados Unidos, 2012. Disponível em: <https://www.electronicdesign.com/power/understanding-us-and-european-standards-electric-vehicle-charging>. Acesso em 14 de abril de 2019.

UFSM. Universidade Federal de Santa Maria. **UFSM em números.** Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://portal.ufsm.br/ufsm-em-numeros/publico/index.html;jsessionid=5239d5cb0a4080e84e6be56768bd>. Acesso em 3 de abril de 2019.

VAGROPOULOS, S.; KLEIDARAS, A.; BAKIRTZIS, A. Financial viability of investmentes on electric vehicle charging stations in workplaces with parking lots under flat rate retail tarrif scheme. **International Universities Power Engineering Conference (UPEC)**, v. 49 , p. 1-6, 2014.

VAZ, L. F. H.; BARROS, D. C.; CASTRO, B. H. R. C. (2015) **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas 50 públicas para o segmento**. Automotivo. BNDES Setorial, v.41, p.295-344

VENDITE, L. **Análise de Investimentos**. 18 de novembro de 2009. 15f. Notas de aula. Digitalizado.

VITAL, M. Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO2 e o surgimento dos mercados de carbono no mundo**. BNDES**, v.24, p. 167-244, 2018.

VOLLERS, W.; STEINMETZ, R.; HAN, Q. Sustainable business models for public charging points. **EVS27 Symposium**, v.1, p. 1-11, 2013.

WIEDERER, A.; PHILIP, J. Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities. **Transportation, Clinton Climate Initiative**, v.1, p. 1-95, 2010.

WOLBERTUS, R et al. Fully charged: An empirical study into the factors that influence connection times at EV-charging stations. **Energy Policy**, v. 123, p. 1-7, 2018.

XIAOWEN, Y. The EV and charging infrastructure deployment in China. **APEC Eletromobility Workshop**, v.1, p. 1-25, 2018.

XIONG, H et al. An energy matching method for battery electric vehicle and hydrogen fuel cell vehicle based on source energy consumption rate. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, p. 7737-7888, 2019.

XUE, F.; GWEE,E. Electric Vehicle Development in Singapore and Technical Considerations for Charging Infrastructure. **Energy Procedia**, v. 143, p. 3-14, 2017.

YILMAZ, M.; KREIN, P. Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles. **IEEE transactions on power electronics,** v. 28, p. 2151-2169, 2013.

YIRAN, Z. **EV charging network to expand**. China, 2018. Disponível em: http://www.chinadaily.com.cn/a/201801/19/WS5a613492a3106e7dcc1352f8.html. Acesso em 15 de abril de 2019.

ZHANG, L et al. The optimization of DC fast charging deployment in California. **Applied Energy**, v. 157, p. 111-122, 2015.

ZHANG, L et al. Charge pricing model for electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in China: A system dynamics analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 321-333, 2018.

ZHANG, Q et al. Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 500-509, 2018.

ZHANG, X. The design of electric vehicle charging. **The School of Computational Science and Engineering**, v.1, p. 1-51, 2015.