

MEC - SETEC
INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – Campus Formiga
Curso de Engenharia Elétrica

UTILIZAÇÃO INTEGRADA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E CARROS ELÉTRICOS EM RESIDÊNCIA

Aluna: Lauriana Goulart Estevão

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura
Coorientador: Prof. Msc. Mariana
Guimarães dos Santos

FORMIGA – MG.

2022

LAURIANA GOULART ESTEVÃO

UTILIZAÇÃO INTEGRADA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E CARROS ELÉTRICOS EM RESIDÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal Campus
Formiga, como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura
Coorientador: Prof. Msc. Mariana
Guimarães dos Santos

FORMIGA – MG.

2022

Estevão, Lauriana Goulart
E79u Utilização integrada de painéis fotovoltaicos e carros elétricos em residência /
Lauriana Goulart Estevão -- Formiga : IFMG, 2022.
53p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renan de Souza Moura
Coorientadora: Prof^a. MSc. Mariana Guimarães dos Santos
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Fotovoltaica. 2. Veículo elétrico. 3. Análise financeira. 4. Meio ambiente
I. Moura, Renan de Souza. II. Santos, Mariana Guimarães dos. III. Título.

CDD 621.3

Lauriana Goulart Estevão

Utilização integrada de painéis fotovoltaicos e carros elétricos em residências

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

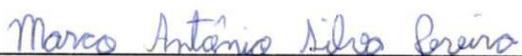
Avaliado em: 10 de Novembro de 2022.

Nota: 95

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Renan de Souza Moura



Prof. Msc. Marco Antônio Silva Pereira



Prof. Msc. Marcus Vinícius de Paiva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por me sustentar durante esses longos anos de vida, me concedendo sabedoria e discernimento, através da minha fé.

Agradeço ao meu pai, que não está aqui presencialmente, mas sei que está feliz com minha vitória. O senhor que sempre rezou e lutou para que seus filhos tivessem formação, hoje com orgulho, posso te dizer que conseguiu e que te levo sempre em meu coração.

À minha mãe, que nunca mediu esforços para que este momento chegasse, vibrando com cada conquista, me proporcionando um amor incondicional.

Ao meu irmão, Wilson, que é minha base e inspiração, viveu cada etapa desta trajetória intensamente comigo, me apoiando em todos os momentos de aflição.

Ao meu noivo, por me incentivar a cada momento buscar meu crescimento profissional, compreendendo cada momento de ansiedade e tensão, estando sempre ao meu lado.

Ao meu afilhado Arthur, motivo para que eu sempre busque meu melhor, dando exemplos a seguir sempre nos caminhos certos.

Ao meu orientador Renan, por ser tão prestativo e não medir esforços para me auxiliar nas dúvidas, além de me fazer olhar sempre para novos conhecimentos.

À minha coorientadora Mariana, que com toda paciência e dedicação sempre me apoiou.

Às minhas amigas Thaynna, Aline e Débora que viveram esta trajetória lado a lado, sendo parceiras a todos os momentos, se tornando irmãs pra mim e as quero sempre em minha caminhada.

Aos meus amigos André, Breno, Jullia e Krislley por sempre me acolherem e ajudar em todos os momentos, tornando a trajetória mais leve.

As minhas companheiras Thaymara e Ana Paula que nem sempre tão perto, mas sempre me auxiliaram e torceram para essa vitória.

Enfim a todos os familiares e amigos que de certa forma, torceram para que este momento chegasse!

*“A persistência é o
caminho do êxito.”*

Charles Chaplin

RESUMO

A preocupação com a degradação do meio ambiente está causando, com o passar dos anos, mais preocupação em diversos setores da sociedade. Tal fato tem incentivado a busca por novas tecnologias menos poluentes e com melhor rendimento. Dentro deste contexto, a indústria automobilística também tem buscado inovações como, por exemplo, o carro elétrico, que aliado com uma fonte energética limpa para seu abastecimento, se torna praticamente nulo o seu fator de emissão de poluentes. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta uma análise integrada do uso de painéis fotovoltaicos e carros elétricos. De forma mais específica, será considerado o cenário em que uma residência tem instalado um painel fotovoltaico e deseja adicionar uma tomada para abastecer um carro elétrico. O quanto de potência adicional de energia fotovoltaica para abastecer a nova carga, tomada do carro elétrico, é calculado. Além disso, são realizados cálculos de viabilidade econômica para os sistemas fotovoltaicos com e sem a tomada do carro elétrico. Adicionalmente, é feita uma análise comparativa entre os custos acumulados do uso do carro elétrico com um carro a combustão de mesma potência. Os resultados demonstraram que a aquisição do carro elétrico ainda requer incentivos fiscais para que ocorra a sua popularização e conseqüentemente diminua os impactos ambientais.

Palavras-chave: Fotovoltaica; Veículo elétrico; Análise financeira; Meio ambiente.

ABSTRACT

The concern with the degradation of the environment is causing, over the years, more concern in various sectors of society. This fact has encouraged the search for new technologies that are less polluting and with better performance. Within this context, the automobile industry has also sought innovations, such as the electric car, which, combined with a clean energy source for its supply, makes its pollutant emission factor practically null. This Course Completion Work (TCC) presents an integrated analysis of the use of photovoltaic panels and electric cars. More specifically, it will be considered the scenario in which a residence has installed a photovoltaic panel and wants to add an outlet to supply an electric car. How much additional photovoltaic power to supply the new load, taken from the electric car, is calculated. In addition, economic feasibility calculations are carried out for photovoltaic systems with and without an electric car socket. Additionally, a comparative analysis is made between the accumulated costs of using an electric car with a combustion car of the same power. The results showed that the acquisition of the electric car still requires tax incentives for its popularization and consequently to reduce the environmental impacts.

Keywords: Photovoltaics; Electric vehicle; Financial analysis; Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Caracterização da banda de energia	16
Figura 2	Efeito fotovoltaico	17
Figura 3	Usina fotovoltaica <i>on grid</i>	20
Figura 4	Carro Jamais Contente	23
Figura 5	Componentes importantes do VE	25
Figura 6	Curva de potência MCI e motor elétrico	25
Figura 7	Exemplo de carregamento nível II	28
Figura 8	Tipos de conectores por nível de recarga	29
Figura 9	Tampas das portas de recarga	29
Figura 10	Fluxograma do processo de pesquisa	37
Figura 11	Carregador rápido proposto pela NeoCharge	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tipos de carregamento de acordo com o nível de recarga	27
Tabela 2	Especificações técnicas Leaf MY22	40
Tabela 3	Análises de investimentos para cada caso	42
Tabela 4	Especificações técnicas Golf TSI	43
Tabela 5	Custos dos combustíveis	43
Tabela 6	Características da tomada para o carregamento	45
Tabela 7	Características necessárias para o orçamento	45
Tabela 8	IPVA baseado no valor venal	46
Tabela 9	Análise considerando o custo acumulado e de aquisição	48

ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

A	Ampére
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEV	Veículo elétrico puro
DDP	Diferença de Potencial
E-REV	Veículo Elétrico de Alcance Estendido
FCEV	Veículo Elétrico de Célula de Combustível
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de efeito estufa
HEV	Veículo elétrico híbrido
IPI	Impostos sobre o Produto Industrializado
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
Km	Quilômetros
Km/h	Quilômetros por hora
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
MCI	Motor a Combustão Interna
MG	Estado de Minas Gerais
PHEV	Veículo Elétrico Híbrido Plug-in
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
V	Volt
VE	Veículo Elétrico
Voc	Tensão de circuito aberto
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Hipótese.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	A Energia Fotovoltaica.....	15
2.2	Veículos Elétricos.....	22
2.3	Viabilidade Econômica	31
3	METODOLOGIA	35
4	RESULTADOS E ANÁLISES	37
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A atual era é marcada pelas inúmeras inovações que visam a modernização e bem-estar social. Juntamente com a modernização, a demanda energética também aumenta, criando a necessidade de buscar alternativas que também diminuam os danos causados ao meio ambiente (CASTRO, 2018).

A matriz energética mundial é majoritariamente composta por fontes de energia não renováveis, como o carvão e o petróleo, o que resulta, na degradação ambiental excessiva. A indústria automobilística é um dos grandes responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera (EPE, 2017a).

A busca do equilíbrio entre a industrialização e o meio ambiente motiva o uso de veículos elétricos, pois estes não emitem nenhum tipo de gás poluente. Entretanto, é necessário que a energia utilizada para o abastecimento dos veículos elétricos seja produzida através das fontes renováveis para diminuir o impacto ambiental (KNOBLOCH, *et.al*, 2020).

Entre tantas alternativas de energia renovável, a energia fotovoltaica vem ganhando cada vez mais espaço e credibilidade. A fonte primária responsável pela geração é a radiação solar, pois o efeito fotovoltaico é capaz de fornecer corrente elétrica (CASTRO, 2018).

O sistema de geração fotovoltaico já é uma tecnologia empregada no Brasil desde o setor industrial até as residências. O determinante da quantidade de energia gerada é a potência da carga que será abastecida, como, por exemplo, eletrodomésticos, motores e carros elétricos. A junção das duas tecnologias, a adoção do carro elétrico e o sistema fotovoltaico, potencializa a redução de custos com combustíveis derivados do petróleo (GÉLIO; CÉSAR, 2022).

Lemes (2018) realizou estudo que analisou diferentes casos para implementação de um posto para o abastecimento dos carros elétricos. Entre eles, se destacam a comparação de um sistema fotovoltaico com uso de baterias para o armazenamento da energia gerada e do sistema conectado à rede. O intuito foi expor a abrangência que esta inovação fotovoltaica oferece, não somente em residências, mas também para construção de eletropostos, beneficiando a eletromobilidade do veículo elétrico.

Atualmente, grande parte dos carros eletrificados, fazem uso da energia elétrica provinda da rede da concessionária para recarregar suas baterias (FERREIRA, 2018). Sendo assim, VARGAS *et. al.* (2020), ressalta o barateamento na aquisição de uma usina fotovoltaica, o que possibilita que usuários de carros elétricos possam instalar painéis fotovoltaicos em suas próprias residências, utilizando a energia gerada para o abastecimento do veículo e uso residencial.

Dentro deste contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta uma análise econômica e ambiental do abastecimento energético do carro elétrico através da geração fornecida pela usina fotovoltaica instalada em uma residência. Além disso, é feita uma comparação dos custos financeiros para abastecimento e compra do carro a combustão e elétrico, considerando a emissão de gases poluentes.

1.1 Hipótese

Ao analisar o consumo energético no Brasil, pode se observar a crescente demanda de energia necessária para o suprimento dos variados setores, sejam industriais, comerciais, automobilístico, transportes ou até mesmo residenciais. Esse fato evidencia a necessidade do aumento da matriz energética, que atualmente tem encontrado dificuldades para gerar a sua própria energia respeitando também o meio ambiente.

Ao decorrer da realização deste trabalho alguns questionamentos foram levantados: “Caso uma residência que já possua a usina fotovoltaica queira instalar uma tomada para abastecer um carro elétrico, qual será a potência adicional necessária para abastecer essa nova carga?”, “quantos módulos fotovoltaicos serão necessários aumentar para realizar esse suprimento?”, “será viável no ano de 2022, a utilização de carros elétricos no Brasil se comparados com os carros a combustão interna?”

Para responder as questões, realizou-se um estudo visando analisar os custos, viabilidade técnica e ambiental da posse de um veículo elétrico quando se faz uso da geração de energia fotovoltaica.

1.2 JUSTIFICATIVA

O propósito deste trabalho é realizar um estudo do abastecimento de um carro elétrico através da geração de energia por placas fotovoltaicas e analisar aspectos como custo de aquisição, emissão de gases poluentes quando comparado com o carro à combustão.

O estímulo deste tema se baseia na necessidade do aumento da demanda de energia devido as novas tecnologias, que ao analisar o cenário atual considera o uso do carro elétrico.

O território brasileiro é composto por abundantes recursos naturais para geração de energia renovável. Como a energia solar é uma delas e existe o intuito de promover o acesso à população, existem no país alguns projetos de leis que incentivam a própria geração, popularizando o uso da Geração Distribuída (GD) entre os consumidores.

Além disso, o Brasil é um dos países que mais possui matéria-prima para a produção de equipamentos eletrônicos, sendo assim se torna viável investir em pesquisas e até mesmo na fabricação de baterias com maiores autonomias além de impulsionar a indústria de componentes semicondutores.

Assim, o país apresenta oportunidade para o crescimento da indústria automobilística do tipo elétrica e geração distribuída que somado ao incentivo governamental, promoverá vários investimentos levando em conta a análise econômica e ambiental no uso destas tecnologias.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo principal analisar o custo econômico para o abastecimento de um carro elétrico utilizando energia fotovoltaica.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo principal, foram feitas outras análises baseadas no gasto energético estimado para abastecer a bateria do carro elétrico e dimensionar a usina fotovoltaica.

O estudo também apresenta uma comparação da viabilidade econômica do carro à combustão e o carro elétrico, calculando os custos da quilometragem para cada configuração, além de demonstrar a quantidade de dióxido de carbono na utilização dos combustíveis derivados do petróleo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo será subdividido em seções que abordam uma revisão bibliográfica dos assuntos relevantes. Iniciando o estudo com o veículo elétrico, apresenta-se a história retratando o desenvolvimento, as características como funcionamento, abastecimento e viabilidade econômica. Posteriormente é feita uma fundamentação teórica a respeito da geração distribuída, funcionamento do sistema fotovoltaico e por fim uma integração do veículo elétrico com a energia solar.

2.1 A Energia Fotovoltaica

A energia fotovoltaica compõe o grupo das energias renováveis, sendo uma energia provida de uma fonte inesgotável, que é o Sol. O Sol é uma estrela composta por um material gasoso que possui altíssimas temperaturas e é responsável por manter vários ecossistemas vivos (IBERDROLA, 2022).

As radiações emitidas pelo Sol podem ser caracterizadas de duas formas: a radiação direta, que é a radiação responsável por gerar energia, em que os raios chegam à Terra sem sofrer nenhuma dispersão durante a trajetória e ao atingirem o solo, se propagam na configuração de raios paralelos; e a radiação difusa, que consiste no percurso dos raios solares após sofrerem desorientação, ou seja, por nuvens ou até mesmo gases presentes na atmosfera (RÊGO, SORRENTINO, 2020).

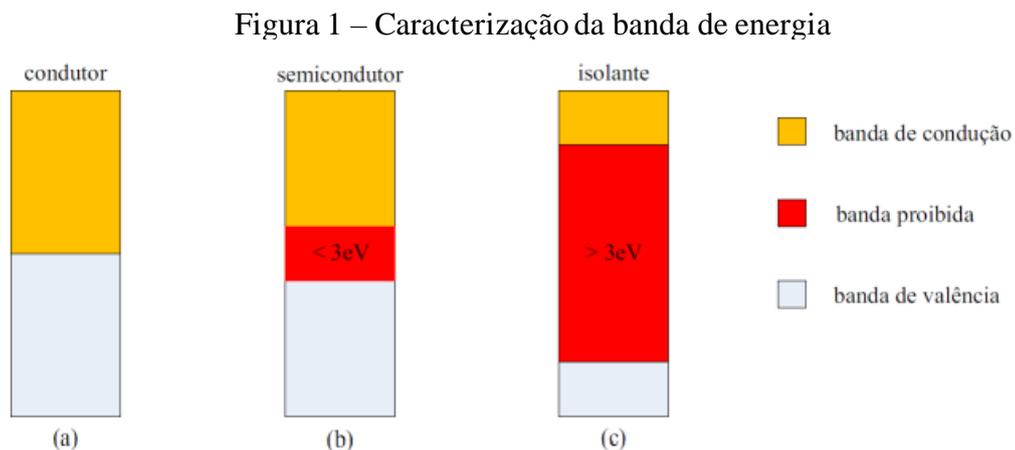
O Brasil é um país tropical e está localizado próximo a linha do Equador, permitindo maior estabilidade de temperatura em diferentes épocas do ano, favorecendo a geração de energia elétrica através dos raios solares. A região que apresenta maior nível de irradiação é a região Nordeste, em sequência as regiões Centro-Oeste, Sudeste, Norte e por fim a região Sul. Segundo o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao analisar a taxa de irradiação solar no Brasil, concluiu-se que o país possui uma radiação superior a 40% da radiação emitida na Alemanha, que é considerada referência por ser pioneira mundial de energia solar (ALBA, 2022).

A transformação da energia solar para energia elétrica é realizada através da célula fotovoltaica presente nos painéis solares. Além dos painéis, o sistema fotovoltaico é constituído por outros equipamentos de extrema importância como o inversor, controlador de carga e baterias, dependendo do tipo de sistema empregado (IBERDROLA, 2022).

Como o objetivo principal deste estudo é utilizar a energia gerada pelo sistema para abastecer a bateria do veículo, o modelo da usina fotovoltaica a ser estudada é o sistema *on grid* (em inglês, significa “na rede”), ou seja, sistema conectado na rede elétrica. No sistema fotovoltaico *on grid* são utilizados como principais componentes, os módulos solares e o inversor, os quais serão apresentados detalhadamente em seguida (FERREIRA; CARDOSO, 2020).

Os módulos solares são os equipamentos responsáveis por captar os raios solares e convertê-los em corrente elétrica. O nome para tal transformação é denominado efeito fotovoltaico, que ocorre em materiais semicondutores. Os semicondutores são caracterizados por possuírem bandas de energia, permitindo o acúmulo de elétrons na banda de valência e falta de elétrons na banda de condução (CASTRO, 2018).

A fração entre as duas bandas energéticas tem a funcionalidade de realizar a separação entre elas, e é denominada *gap* ou *bandgap*. Essa camada possui uma DDP (diferença de potencial) que pode variar até 3 eV (elétron-volt), o que caracterizará o tipo do material em condutores, semicondutores e isolantes (CASTRO, 2018), conforme ilustrado pela figura 1:



Fonte: Pinho; Galdino (2014)

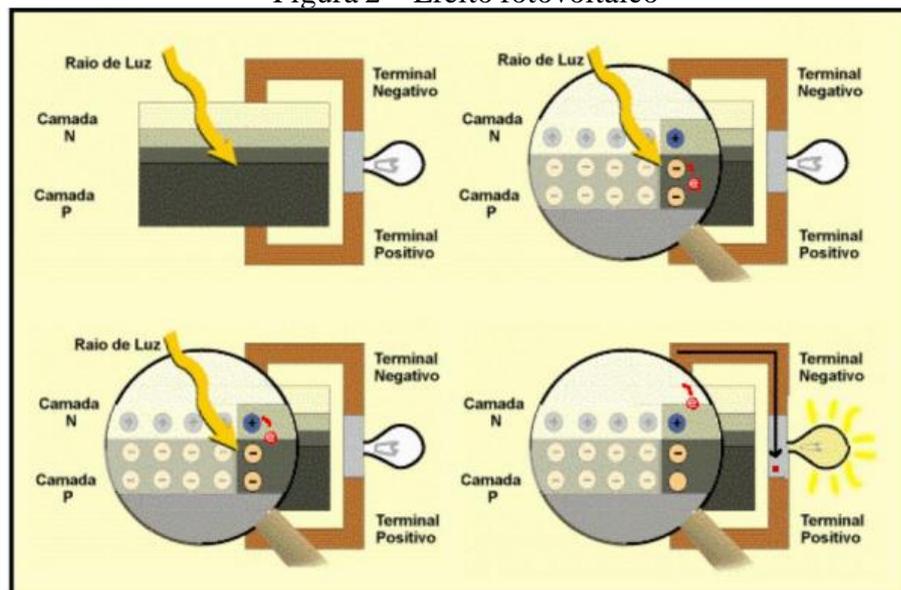
O material semicondutor mais utilizado para fabricação dos módulos é o silício, devido ao fato de possuir em sua camada de valência quatro elétrons que permite formar ligações covalentes com outros elementos. A quantidade de elétrons que o elemento possui, o caracteriza como dopante tipo p ou n. Por exemplo, o fósforo possui excesso de elétrons sendo denominado como dopante n. Ao contrário disso, temos o boro que apresenta falta de elétrons em sua camada, caracterizando como dopante p ou aceitador de elétrons (BOSCOLO; NAPOLITANI, 2022).

Para dar origem na célula fotovoltaica é necessário dopar o átomo de silício, em uma metade com átomos de boro e na outra utilizando átomos de fósforo, formando a junção pn. O processo de transferência consiste basicamente quando os elétrons livres do lado n, se transportam para o lado p no qual estão as lacunas que ficarão sendo preenchidas por eles, e as tornarão negativamente carregadas. Consequentemente no outro lado, com a redução de elétrons, surgirá o potencial positivo (BOSCOLO; NAPOLITANI, 2022).

A razão das cargas se encontrarem aprisionadas é o aparecimento de um campo elétrico infindável, que dificulta a circulação de elétrons do lado n para o lado p. O equilíbrio deste processo é atingido quando os elétrons livres do lado n não são capazes de transportarem para o outro lado devido ao campo existente (CASTRO, 2018).

A corrente elétrica surge quando as partículas dos fótons provenientes dos raios solares atingem os módulos em que estão localizadas as junções pn, em uma região que o campo elétrico é diferente de zero, ocasionando aceleração dos pares de elétron-lacuna que rompem a energia da barreira gap, deslocando as cargas através da diferença de potencial, denominado Efeito Fotovoltaico (CASTRO, 2018), assim como apresentado na figura 2:

Figura 2 – Efeito fotovoltaico



Fonte: Cresesb (2006)

A geração de energia fotovoltaica depende de alguns fatores como a intensidade luminosa e a temperatura das células. A intensidade luminosa é o determinante da quantidade de corrente elétrica produzida. Por este motivo é importante a definição correta do ângulo de inclinação do módulo de acordo com a latitude da região que o mesmo será instalado. Ao contrário do que muitos pensam, a elevação da temperatura implica negativamente na eficiência

do módulo, causando uma diminuição considerável no valor de tensão (SIMÕES; SILVA; JUNIOR, 2019).

Compondo 30% dos módulos encontrados no mercado, os painéis constituídos de silício monocristalino (m-Si), no qual a estrutura dos cristais está ordenada, possuem eficiência por volta de 16% a 24%. Os painéis confeccionados de silício policristalino (p-Si) possuem os cristais desordenados, tendo uma eficiência entre 14% a 17%, representando 60% do mercado (CASTRO, 2018).

A quantidade de módulos instalados será estabelecida de acordo com a potência gasta pelo conjunto de cargas que constitui o sistema, podendo ser uma residência, comércio ou indústria. Para dimensionar a quantidade de módulos que serão utilizados na usina, é necessário saber qual a potência do painel, qual a irradiação solar no município da residência e qual a porcentagem de perdas (SOLAR, 2022). A energia gerada mensalmente por um painel pode ser encontrada através da equação (1):

$$E_{módulo} = P \times Ir \times Q_{dias} \quad (1)$$

Em que:

$E_{módulo}$ = Energia gerada mensalmente por cada painel fotovoltaico (kWh/mês);

P = Potência da placa solar (kW);

Ir = Taxa de irradiação solar (kWh/m²);

Q_{dias} = Quantidade de dias no mês.

Para encontrar a geração retificada de cada módulo à cada mês, é necessário conhecer a eficiência de funcionamento, que geralmente é encontrado no datasheet da placa. Ao conhecer a relação de perdas, basta realizar uma simples regra de três, considerando a energia gerada integral e a energia gerada levando em conta as perdas (SOLAR, 2022).

$$G_{módulos} = \frac{E_{módulo} \times [100 - Perdas]}{100} \quad (2)$$

Em que:

$G_{módulo}$ = Geração de cada painel, considerando as perdas (kWh/mês);

$E_{módulo}$ = Energia gerada mensalmente por cada painel fotovoltaico (kWh/mês);
 Perdas = Fator de eficiência;

Após encontrar a geração de um módulo fotovoltaico no mês, é calculada a quantidade de módulos prevista para atender a demanda total, através da equação (3):

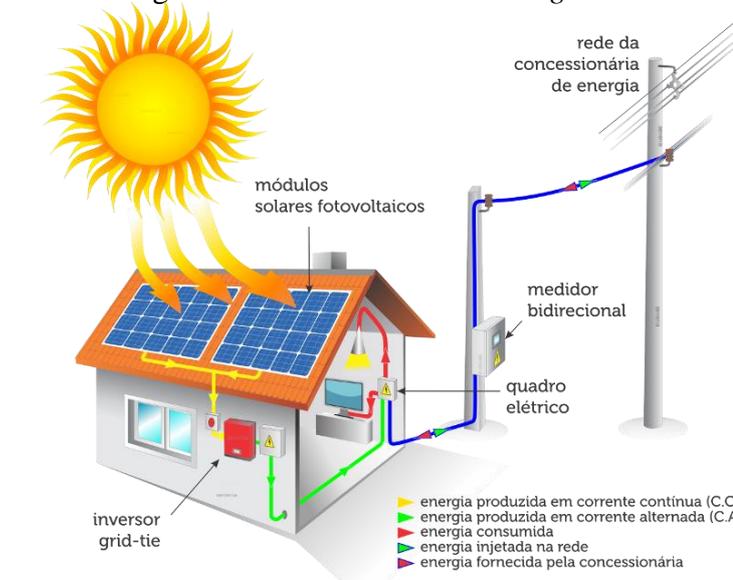
$$Q_{módulos} = \frac{E_{sistema}}{E_{módulo}} \quad (3)$$

Sendo:

$Q_{módulos}$ = Quantidade de módulos;
 $E_{módulo}$ = Energia gerada por um módulo;
 $E_{sistema}$ = Energia demandada na residência.

A energia elétrica produzida pelos painéis é um sinal contínuo, o que torna extremamente importante a utilização do inversor para transformá-la em alternada, possibilitando a utilização nos equipamentos ou o envio para a rede (PEZERICO, 2020).

Figura 3: Usina Fotovoltaica *On grid*



Fonte: Luz Solar, 2022 (site)

O inversor de tensão é constituído por uma placa com circuitos eletrônicos, composta por transistores, capacitores e diodos rearranjados, responsáveis por estabelecer controle da

amplitude e a frequência da tensão de saída, além de converter a tensão contínua em tensão alternada (PEZERICO, 2020).

Para dimensionar a potência do inversor, deve ser observada a tensão de circuito aberto da string, que constitui a conexão dos módulos, série ou paralelo, que não deve ultrapassar a tensão máxima na entrada do inversor. Além disso, o inversor deverá ter uma potência igual ou superior a potência de pico dos módulos (VILLAUVA, 2012).

Assim, como apresentado por Villauva (2012), deve-se analisar a tensão de circuito aberto (V_{oc}) do módulo, que consiste em um dado técnico, disponível no datasheet. Então, é possível encontrar a tensão de circuito aberto de toda a string ($V_{oc_{string}}$) por meio da equação (4):

$$V_{oc_{string}} = Q_{módulos} \times V_{oc_{unitario}} \times F_s \quad (4)$$

Onde:

$Q_{módulos}$ = Quantidade de módulos utilizados;

$V_{oc_{string}}$ = Tensão de circuito aberto da string;

$V_{oc_{unitario}}$ = Tensão de circuito aberto de um módulo;

F_s = Fator de segurança.

Nesta etapa, Villauva (2012) considera o coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto, que se trata da variação da tensão em função da temperatura de operação do módulo, expressa na folha de dados. Além disso, é necessário pesquisar a média da menor temperatura do município e então encontrar a variação percentual de tensão provocada pela temperatura, por meio da equação (5):

$$Variação_{tensão\%} = (Temp_{média} - Temp_{mínima}) \times C_T \quad (5)$$

Onde:

$Variação_{tensão\%}$ = Variação percentual de tensão;

$Temp_{média}$ = Temperatura média do município;

$Temp_{mínima}$ = Temperatura média mínima do município;

C_T = Coeficiente de temperatura para tensão de circuito aberto.

A tensão total considerando a variação de temperatura, é calculado através da equação (6):

$$Variação_{tensão} = (Variação_{tensão \%} \times Voc_{string}) + Voc_{string} \quad (6)$$

Onde:

$Variação_{tensão}$ = Variação de tensão;

$Variação_{tensão \%}$ = Variação percentual de tensão;

Voc_{string} = Tensão de circuito aberto da string.

A tensão de circuito aberto irá auxiliar na definição do inversor, pois a conexão dos módulos em série produzirá uma tensão contínua em que o inversor terá de ser capaz de suportar (VILLAUVA, 2012). O inversor também tem que ter uma potência compatível com os módulos, para isto é utilizado a equação (7):

$$P_{inversor} = Q_{módulos} \times P_{módulos} \quad (7)$$

Onde:

$P_{inversor}$ = Potência inversor;

$Q_{módulos}$ = Quantidade módulos;

$P_{módulos}$ = Potência de cada módulo.

Usualmente os inversores são classificados de acordo com sua topologia. Os mais utilizados são de ponte completa e push-pull. Ao realizar a comparação, a configuração push-pull se destaca por possuir um controle de chaveamento mais simplificado do que a ponte completa que faz uso de quatro chaves (NETO, 2016).

Com objetivo de assegurar a qualidade e segurança da energia elétrica injetada na rede, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), exige que sejam cumpridas as condições estabelecidas no PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema

Elétrico Nacional), juntamente com a norma regulamentadora da distribuidora responsável da região no qual está instalado a usina (CASTRO, 2018).

2.2 Veículos Elétricos

A invenção dos carros elétricos surgiu há quase dois séculos, época em que o mercado automobilístico era majoritariamente integrado pelos mesmos. Em 1859, o belga Gaston Planté desenvolveu a bateria de chumbo-ácido, que é utilizada como bateria de partida do carro à combustão. A partir daí, foram desenvolvidos equipamentos mais potentes que alcançasse maior autonomia com segurança (HOYER, 2008).

Em 1899, Camille Jenatzy construiu um carro elétrico que atingia a velocidade 100 km/h, sendo um recorde para a sua época. Mais tarde, em 1973, surgiu o primeiro VE (Veículos Elétricos) no Brasil denominado Gurgel Itaipu E150, apresentando uma autonomia de 60 a 80 km, e velocidade máxima de 50 km/h (CASTRO, 2018). A figura 4 apresenta a imagem do veículo de 1899, também conhecido como La Jamais Contente.

Figura 4: Carro Jamais Contente



Fonte: Pittoresque (2016)

Contudo, o domínio dos VE's não prevaleceu devido a tecnologia desenvolvida denominada motor de combustão, que apresenta vantagens consideráveis. Além disso, as novas descobertas de petróleo resultaram na queda do preço do barril, tornando o valor do combustível cada vez mais atrativo, o que impulsionou a produção em massa dos veículos a combustão, desmotivando o uso dos VE's (CASTRO, 2018).

Os VE's são considerados “emissão zero”, por praticamente não emitir gases poluentes e não produzir nenhum ruído sonoro na sua utilização, porém, desconsiderando o processo de fabricação do automóvel. A eficiência deste tipo de veículo é algo que os tornam atrativos, devido o motor possuir 80% de aproveitamento destinado ao seu funcionamento, que se comparado ao veículo de combustão interna a eficiência energética é em torno de 12% a 18% (FGV, 2017).

A indústria automobilística classifica o grupo dos VE's em quatro categorias distintas, conforme os equipamentos constituintes e o combustível utilizado. Primeiramente, se destaca os carros eletricamente puros (BEVs, da sigla em inglês para *Battery Electric Vehicles*), que possuem como fonte única de abastecimento a eletricidade e será este o modelo considerado neste estudo. Outro tipo é o veículo híbrido (HEV, da sigla em inglês *Hibrid Electric Vehicle*), contendo o motor elétrico que recebe energia elétrica através da frenagem regenerativa e auxilia o MCI (Motor de Combustão Interna) a realizar a tração, sendo assim os motores operam em paralelo tendo como objetivo aumentar a eficiência do veículo, e são abastecidos com combustíveis fósseis (FGV, 2017).

O modelo denominado híbrido plug-in (PHEV, da sigla em inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), possui, assim como o HEV, o MCI como o motor principal operando em paralelo com o motor elétrico, porém este modelo permite o abastecimento elétrico e também combustíveis convencionais. Se comparado ao BEV, este apresenta maior autonomia (FGV, 2017).

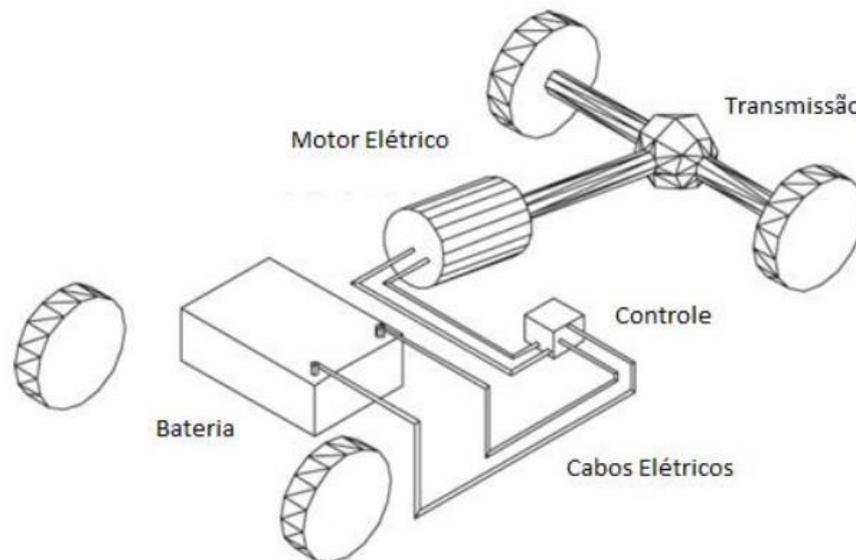
Diferentemente do arranjo apresentado nos modelos anteriores, tem-se o veículo híbrido de longo alcance (E-REV, da sigla em inglês *Extended Range Electric Vehicle*), no qual os motores estão conectados em série, permitindo que o MCI forneça eletricidade para um gerador responsável por manter a carga da bateria em um certo nível mínimo, permitindo o veículo percorrer maiores distâncias. E por fim, os carros elétricos à célula de combustível, (FCEV, da sigla em inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*), que abastece o motor elétrico através da energia elétrica gerada por meio da junção do oxigênio e hidrogênio, sendo considerado o veículo mais apropriado para realizar o transporte de cargas, devido ao fato de garantir maior autonomia (FGV, 2017).

Abordando de uma forma geral os modelos existentes dos VE's, todos fazem uso de um banco de baterias para armazenamento de energia provida usualmente da rede elétrica, que permite sua utilização em paralelo ao MCI ou como método principal de propulsão. O carregamento da bateria se baseia basicamente em dois métodos, conexão a uma tomada apropriada ou através da frenagem regenerativa (FGV, 2017).

As baterias utilizadas no modelo BEV têm como matéria prima os íons de lítio, que representam um grande avanço devido a capacidade de carga armazenada se comparado o tamanho e massa que a compõe. Além disso, o lítio é considerado um metal leve necessitando de menores unidades para gerar maior potência, tornando a bateria ainda mais sustentável (COSTA, 2021).

Dando sequência entre os principais componentes do carro elétrico, além da bateria citada anteriormente, destaca-se o motor elétrico e o controlador de carga. A atribuição do controlador de carga consiste basicamente em transmitir a informação do acelerador gerenciando a quantidade de energia elétrica que deverá ser transportada da bateria para o motor, influenciando diretamente na velocidade do carro (COSTA, 2021).

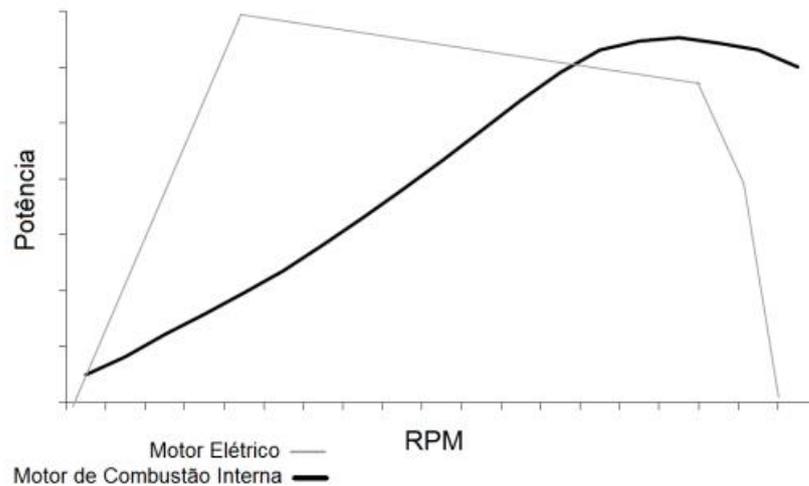
Figura 5 – Componentes importantes do VE



Fonte: Larminie; Lowry (2012)

A funcionalidade do motor elétrico essencialmente é transformar a eletricidade em movimento, girando o eixo do carro. Realizando uma comparação com o MCI utilizado no carro movido a combustíveis fósseis, o motor elétrico destaca-se apresentando uma eficiência excepcionalmente superior ao MCI, além de possuir metade do peso e volume. Este fato é esclarecido ao analisar as curvas de potência dos respectivos motores, evidenciando uma potência máxima na partida do motor elétrico em que a eficiência se tornou praticamente constante (COSTA, 2021).

Figura 6 – Curva de potência MCI e motor elétrico



Fonte: Lache *et al.* (2008)

A evolução tecnológica atrelada com a preocupação ambiental, motiva cada vez mais a busca pelos carros elétricos. No Brasil existem alguns incentivos, como, por exemplo, a isenção do IPVA em sete estados para os proprietários dos VE's, e em três estados a alíquota do IPVA é diferente (VASCO, 2020).

Além disso, o governo criou o programa rota 2030, que tem como propósito motivar pesquisadores a desenvolver projetos referentes a modernização do setor. Criado pela lei federal nº 13.755/2018, o programa apresenta três benefícios, sendo eles, a redução do IPI, que é o imposto referente a importação ou comercialização dos veículos, o benefício tributário as empresas que apresentarem despesas com pesquisas buscando o desenvolvimento da tecnologia no Brasil e a isenção do imposto de importação das peças que não são produzidas no país (BRASIL, 2018).

Todas essas medidas incentivadoras possibilitam o crescente aumento da frota dos VE's, como mostra o site NeoCharge. Em maio de 2022 o país possui um total de 92261 veículos eletrificados, dentre eles 64.577 são veículos híbridos, representando uma fração de 70% de toda a frota, 21.109 são veículos do modelo híbrido plugin, representando 22,9% , e por fim, os veículos totalmente elétricos, contando com 6575 veículos, compondo 7,1% dos VE's no Brasil (NEOCHARGE, 2022).

Ainda realizando uma busca por regiões do país, os três estados que mais fazem uso dessa tecnologia é o estado de São Paulo possuindo 33,52%, Minas Gerais apresentando 8,13% e o Rio de Janeiro com 7,28% da quantidade total de veículos. Sendo assim, o Brasil é um país que apresenta grandes potenciais para adoção dessa tecnologia que traz cada vez mais conforto aliado com a preservação do meio ambiente (NEOCHARGE, 2022).

A justificativa da menor taxa referente a frota dos VE's ser relacionada aos BEV, é devido ao veículo permitir somente o abastecimento com energia elétrica, sendo que nem todos possuem estrutura essencial para recarga. As tomadas para esta funcionalidade são desenvolvidas particularmente para esse fim, e o maior incentivo para a aquisição do VE é o investimento em eletropostos (NEOCHARGE, 2022).

Em um relatório apresentado pelo Global EV Outlook 2016, mostrou que a quantidade de eletropostos públicos aumentaram juntamente com os números de carros elétricos, existindo uma correlação positiva entre o desenvolvimento da infraestrutura de recarga e a posse do VE. Num todo, os eletropostos públicos e privados consistem em estações de recargas elétricas que fornecem eletricidade para a bateria do veículo. As recargas também podem ser realizadas na própria residência do proprietário, no qual o mesmo adquire a estrutura necessária de acordo com a característica da tomada, possibilitando ainda mais a liberdade para abastecimento (FGV, 2017).

O processo de carregamento da bateria envolve diversos equipamentos, como conectores e os fios condutores de corrente responsável por abastecer a carga. As características da bateria influenciam diretamente no tempo que será gasto para a recarga, por exemplo, a capacidade máxima, nível do uso e o tipo (FGV, 2017). A velocidade de recarga é baseada no nível de tensão e de corrente que é disponibilizado pela fonte, assim como mostra a tabela 1:

Tabela 1: Tipos de carregamento de acordo com o nível de recarga

Nível	Local da instalação	Tensão	Tipo de corrente	Autonomia por hora de recarga
I	Residências e locais de trabalho	127 V	Corrente alternada	3 a 8 km
II	Residências, locais de trabalho e lugares públicos	220/240 V	Corrente alternada	10 a 96 km
III	Locais públicos	Até 600 V	Corrente alternada ou contínua	96 a 160 km

Fonte: (FGV, 2017)

O nível I possibilita realizar a recarga na própria residência proporcionando comodismo para o proprietário. A desvantagem é o tempo necessário para finalizar o carregamento, fator que definirá a autonomia do veículo. O nível II é considerado o tipo de carregamento padrão,

possuindo um tempo menor de recarga se comparado ao nível anterior, porém este carregamento exige a adoção da infraestrutura apropriada, o que conseqüentemente aumenta o custo de investimento (FGV, 2017).

Figura 7: Exemplo de carregamento nível II



Fonte: FGV (2017)

O nível III, denominado como *fast charger*, que significa “carregadores rápidos” utiliza os maiores níveis de tensão, proporcionando um tempo de recarga integral ainda menor que os níveis I e II. Porém, para realizar a recarga deste modo é necessário que a infraestrutura seja abastecida com redes de carregamentos rápidos, as quais são disponibilizadas nos eletropostos (FGV, 2017).

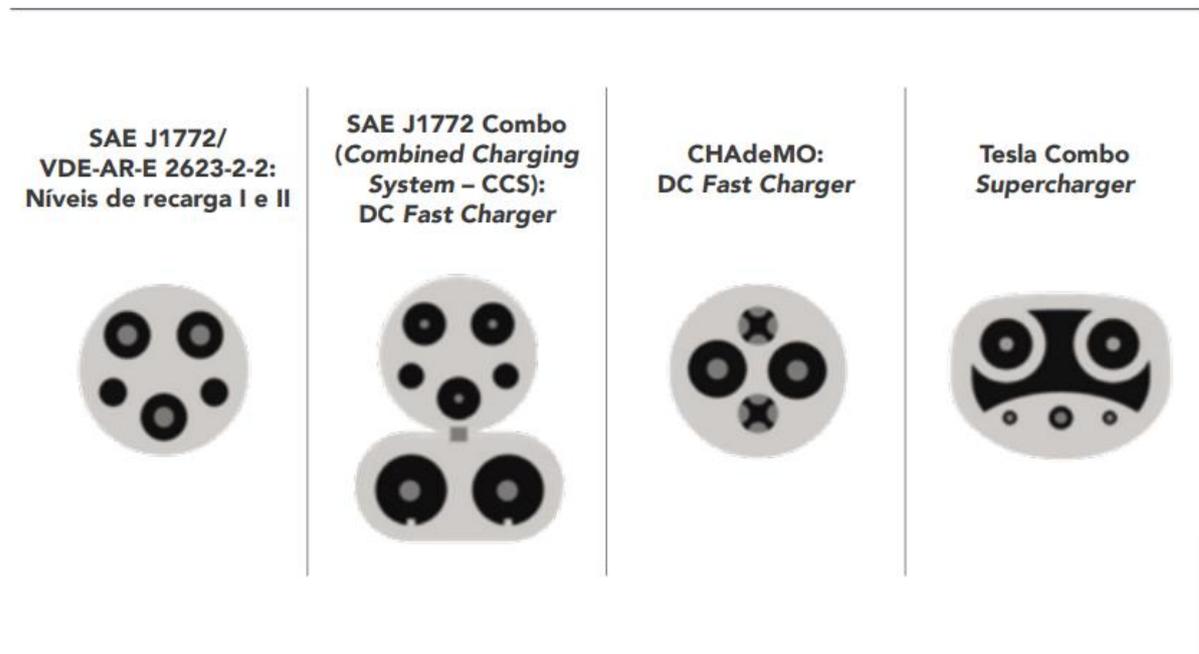
Além do carregamento feito através da conexão pelo fio, existe também o carregamento *wireless*, que tem como princípio de funcionamento a indução eletromagnética. O abastecimento elétrico ocorre quando o veículo está estacionado em rodovias eletrificadas, não necessitando de nenhum equipamento físico para conexão. Essa ainda é uma tecnologia em estudo que incentiva o aumento da frota dos VE's (FGV, 2017).

De acordo com o nível da recarga, é definida a estrutura do receptor que será responsável por receber a energia da fonte. Tipo 1: denominado SAE J1772 ou conector Yazaki, utilizados nos EUA e Japão. O tipo 2: denominado VDE-AR-E 2623-2-2 ou conector Mennekes, empregados na Europa e, por fim, o tipo 3, chamado EV PLUG, utilizado em alguns países da Europa (FGV, 2017).

A recarga *fast charges* ainda não possui um padrão de conector, mas utilizando como referência os veículos existentes, podemos denominar os receptores como SAE Combo, que

consiste basicamente em um adaptador do padrão SAE J1772 e pode ser utilizado para todos os níveis. Existe também o Tesla Supercharger, disponível somente nos veículos Tesla. Dentre todos os tipos de carregadores, o que irá variar será o tempo de abastecimento, que quanto maior a potência disponibilizada na tomada, maior corrente circulando (FGV, 2017).

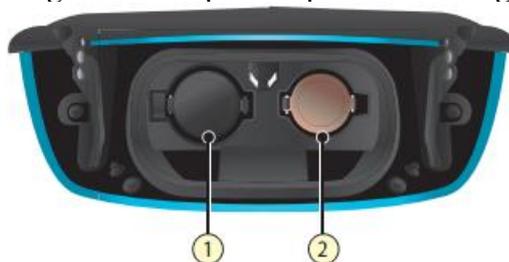
Figura 8: Tipos de conectores por nível de recarga.



Fonte: FGV (2017)

O carro elétrico em estudo neste TCC, é o Nissan Leaf que possui dois métodos para realizar a recarga da bateria, mostrado na figura (9):

Figura 9: Tampas das portas de recarga



Fonte: NISSAN (2022)

O primeiro método é a recarga rápida e o segundo, a recarga doméstica.

Conforme apresentado pela Kelley Blue Book (KBB, 2019), para estimar a quantidade de recargas que serão realizadas durante um período, é fundamental conhecer a distância média

percorrida durante o mesmo período e a autonomia disponibilizada pela bateria. Sendo assim, pode se encontrar a quantidade de recargas de acordo com a equação (8):

$$Q_{recarga} = \frac{Distância}{Autonomia} \quad (8)$$

Sendo:

$Q_{recarga}$ = quantidade de recargas;

Distância = distância percorrida (km);

Autonomia = capacidade da bateria (kWh)

Como um dos objetivos deste estudo é estimar a potência consumida pelo carro elétrico, ao calcular a quantidade de recargas, e saber a autonomia da bateria do veículo, que se trata de um dado técnico disponível na ficha técnica do fabricante (NISSAN, 2022), pode se estimar a potência consumida pelo carro elétrico em kWh, conforme indicado pela equação (9):

$$ConsumoVE_{mês} = Q_{recarga} \times Autonomia \quad (9)$$

Em que:

$ConsumoVE_{mês}$ = potência consumida pelo carro elétrico (kWh);

$Q_{recarga}$ = quantidade de recargas;

Autonomia = capacidade da bateria (kW)

Ao encontrar a potência consumida, é possível calcular a quantidade de módulos fotovoltaicos que deverão ser acrescentados ao sistema, com o intuito de compensar o gasto energético do carro elétrico na residência. Para isto, deve ser utilizado a equação (10):

$$Q_{modulos\ acres.} = \frac{P_{VE}}{G_{módulos}} \quad (10)$$

Sendo:

$Q_{modulos\ acres.}$ = quantidade de módulos acrescentados à usina;

P_{VE} = potência consumida pelo carro elétrico (kWh);

$G_{módulos}$ = geração considerando as perdas (kWh).

Como o intuito do TCC é analisar os custos a longo prazo, é necessário encontrar a distância percorrida durante todo o período. Para isto, utiliza-se a equação (11):

$$Distância_{25anos} = Distância_{ano} \times n^o_{ano} \quad (11)$$

No qual:

$Distância_{25anos}$ = Distância percorrida em 25 anos (km);

$Distância_{ano}$ = Distância média percorrida em um ano (km);

n^o_{ano} = Quantidade de anos;

Após encontrar a quilometragem percorrida, é calculado o consumo de cada veículo por etapa. Inicialmente, encontra-se o consumo do VE, para posteriormente estimar o gasto financeiro com a eletricidade. Para isto, utilizam-se as seguintes equações:

$$ConsumoVE_{25anos} = ConsumoVE_{mês} \times n^o_{meses} \quad (12)$$

Em que:

$ConsumoVE_{25anos}$ = Consumo VE durante 25 anos (kWh);

$ConsumoVE_{mês}$ = Energia gasta durante um mês (kWh);

n^o_{meses} = Quantidade de meses;

Por meio da equação (12), é possível encontrar o consumo energético do carro elétrico em um período de 25 anos. A equação (13) indica o valor gasto no abastecimento:

$$Abastecimento_{VE} = ConsumoVE_{25anos} \times Valor_{kWh} \quad (13)$$

Em que:

$Abastecimento_{VE}$ = Abastecimento veículo elétrico (R\$);

$Consumo_{VE_{25anos}}$ = Consumo energético durante 25 anos (kWh);

$Valor_{kWh}$ = Valor do kWh (R\$);

E assim, obtém-se o valor financeiro do uso do veículo elétrico.

Para obter o custo do uso do carro a combustão, basta realizar um procedimento semelhante. Inicia-se encontrando quantos litros são gastos para percorrer a distância estipulada para 25 anos utilizando a equação (14):

$$Litros_{MCI} = \frac{Distância_{25anos}}{Rendimento} \quad (14)$$

Em que:

$Litros_{MCI}$ = Quantidade de litros (L);

$Distância_{25anos}$ = Distância percorrida durante 25 anos (km);

Rendimento = Quilômetros percorridos com um litro (L/km);

Após encontrar a quantidade de litros necessários para percorrer a média anual durante 25 anos, estima-se o custo financeiro do MCI para realizar o abastecimento com gasolina, através da equação (15):

$$Abastecimento_{MCI} = Litros_{MCI} \times Valor_{litro} \quad (15)$$

Em que:

$Abastecimento_{MCI}$ = Abastecimento veículo a combustão (R\$);

$Litros_{MCI}$ = Quantidade de litros durante 25 anos (L);

$Valor_{litro}$ = Valor do litro (R\$);

2.3 Viabilidade Econômica

Se tratando de investimentos, o primeiro aspecto a ser requisitado é a realização de uma análise financeira acerca do produto. A análise tem como objetivo ponderar o valor de retorno

em um dado período, verificando se o investimento terá efeito positivo ou não. Para isto existem variadas técnicas, que são denominadas indicadores econômicos. Neste TCC serão utilizadas as seguintes: o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e cálculo do “payback” (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

O quesito básico de qualquer investimento é o retorno financeiro compensado o custo inicial incluindo os riscos. As técnicas de análises consideram uma taxa de desconto denominada taxa mínima de atratividade (TMA), que comumente incluem os custos e riscos dos projetos, para então realizar a comparação do valor de retorno. Pode se dizer também que esta taxa expressa a quantidade de juros que o investidor receberá no investimento (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

Além das taxas, outro indicador muito usado pelos investidores é o Payback Descontado, que estuda praticamente o tempo necessário para recuperar o capital investido e a partir de qual período o custo do projeto retorna ao investidor. Dessa forma, o retorno se dará com o passar do tempo, em que os benefícios do investimento cobrirão os custos relacionado a uma TMA adequada (SVIECH; MANTOVAN, 2013). Este é considerado o método mais fácil e direto de análise, que apresenta o período necessário para o retorno do investimento e pode ser calculado através da equação (16):

$$Payback = \frac{I_0}{VPL} \quad (16)$$

No qual:

I_0 = investimento inicial;

VPL = Valor Presente Líquido descontado a uma taxa i ;

O VPL geralmente é a ferramenta mais utilizada pelos investidores, pois é embasada em um método que calcula o retorno do investimento, buscando estimar o lucro que terá no futuro ao converter o valor para o presente (SVIECH; MANTOVAN, 2013). Sendo assim, pode-se estimar o VPL por meio da equação (17):

$$V_{PL(i)} = \sum_{j=0}^n \frac{Fc_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad (17)$$

Sendo:

VPL = Valor Presente Líquido descontado a uma taxa i ;

FC_j = fluxo genérico de caixa para $t = [0...n]$ que pode ser positivo (ingressos) ou negativo (desembolsos);

j = é o período ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo o fluxo de caixa;

i = taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade);

n = número de períodos do fluxo;

I_0 = investimento inicial.

A forma de decisão é de maneira simples, basta observar se o resultado foi positivo ou negativo. O VPL positivo indica que a soma dos fluxos futuros descontados à taxa mínima de atratividade é maior que o investimento inicial. O contrário acontece para o VPL negativo, quando a soma dos fluxos futuros descontados à taxa mínima de atratividade é menor que o investimento inicial, se tornando um projeto inviável. O VPL nulo representa um investimento indiferente, apresentando o valor presente das entradas iguais ao valor presente das saídas de caixa (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

De acordo com Evangelista (2006), a TIR representa a rentabilidade interna do projeto quando descontado o fluxo de caixa analisado em certos períodos anulando o investimento inicial. Sendo assim, no momento de decidir se o investimento será compensativo, a TIR pode ser relacionada com a taxa mínima de atratividade, que pode ser considerada a taxa de retorno para o investidor.

As vantagens de utilização da TIR é que o cálculo resulta em uma taxa de juros de simples entendimento, além servir como tomada decisão por julgar a viabilidade econômica de alternativas isoladas, frente à taxa mínima de atratividade. Matematicamente, a TIR é a taxa de desconto que faz com que o VPL seja nulo e pode ser obtida através das equações (18), (19) e (20):

$$V_{PL(i)} = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad (18)$$

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{Fc_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad (19)$$

$$I_0 = \sum_{j=0}^n \frac{Fc_j}{(1+i)^j} \quad (20)$$

Em que:

Fc_j = é o valor presente das entradas de caixas;

j = é o período ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo o fluxo de caixa;

i = taxa de desconto (igual ao custo de capital de empresa);

n = tempo de desconto de cada entrada de caixa;

I_0 = investimento inicial;

t = tempo de desconto do último fluxo de caixa.

Quando a TIR é maior que o custo de capital (TMA), o projeto é viável economicamente, caso contrário, a melhor decisão a ser tomada é rejeitar o projeto. Caso as duas taxas, TIR e TMA forem iguais, a situação econômica é denominada indiferente. Em situações que o projeto apresentar duas TIR diferentes, o ideal é optar pela maior taxa, que indica que o investimento trará maior retorno (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

Sobretudo, as tomadas de decisões apresentam riscos em relação aos resultados futuros, devido à incerteza, que é um aspecto considerável para análise de aplicações no mercado financeiro. Com objetivo de diminuir as incertezas, são utilizados métodos que apresentam resultados econômicos levando em conta um período. Não existe única ferramenta que seja suficiente para indicar o melhor investimento, mas com técnicas corretas como as apresentadas nesta seção, acarretará na diminuição de incertezas envolvidas auxiliando na tomada de decisão (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

3 METODOLOGIA

Para realizar este Trabalho de Conclusão de Curso, além da pesquisa bibliográfica realizada, buscaram-se conceitos, definições e referências matemáticas para que fosse possível analisar todo processo desde a geração até o momento de recarga do carro elétrico.

O estudo foi realizado considerando uma residência localizada no município de Formiga, no estado de Minas Gerais. A distribuidora responsável por esta região é a Cemig, sendo a autoridade que estabelece normas e define como devem ser realizados os processos para a conexão da usina fotovoltaica à rede.

Para estabelecer o consumo, foi proposto uma fatura mensal com 650 kWh/mês. Essa etapa é extremamente necessária para ter propriedades suficientes para dimensionar o sistema de geração fotovoltaico, permitindo juntamente a determinação da viabilidade financeira do projeto.

Entre as análises abordadas, considerou-se inicialmente uma geração suficiente somente para as cargas instaladas na residência. A partir disso foi dimensionado a usina fotovoltaica e respectivamente a quantidade de módulos e o tamanho do inversor para suprir a residência.

Em seguida, realizou-se uma breve pesquisa referente ao veículo elétrico mais vendido, que segundo o site da UOL, apresentou o Nissan Leaf. Consultando o site da concessionária, os dados técnicos do veículo foram utilizados para dimensionar o valor da nova carga introduzida no montante proposto na residência.

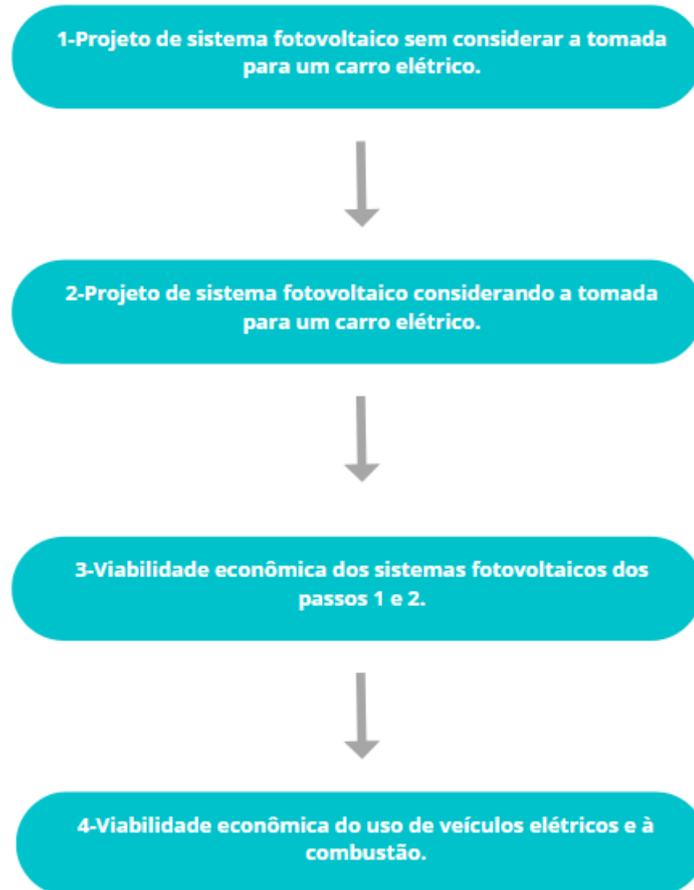
Em outras palavras, para que a nova carga, o carro elétrico, possa ser abastecido pela energia vinda da usina fotovoltaica é necessário readequar o sistema solar existente. Nesta etapa é realizado o cálculo de quantidade de novos módulos para gerar energia suficiente, abastecendo todo o conjunto de cargas, residenciais e o veículo elétrico.

Tendo estabelecido o veículo elétrico, é necessário escolher o veículo à combustão com o objetivo de realizar as comparações técnicas, analisando fatores como viabilidade econômica e ambiental. O critério de definição utilizado foi um carro à combustão com a mesma potência que o carro elétrico.

Em seguida, foram realizadas comparações técnicas entre o veículo elétrico e um carro a combustão de potência semelhante. Tais comparações técnicas foram referentes à viabilidade econômica e ambiental. Aumentos sucessivos no valor da tarifa de energia elétrica cobrada pela Cemig e no valor do combustível convencional serão considerados nesta etapa.

Maiores detalhes dos passos da metodologia estão representados pelo fluxograma da Figura 10.

Figura 10: Fluxograma do processo de pesquisa



Fonte: Elaboração própria.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para residência sem considerar a tomada do veículo elétrico.

Inicialmente é necessário pesquisar a irradiação solar no município e especificar a demanda de energia elétrica utilizada pela residência. De acordo com as pesquisas realizadas, a irradiação para o município de Formiga é por volta de 4,55 kWh/m e o consumo da residência de 650 kWh/mês (SOLAR, 2022). Assim, é calculada qual a potência mensal gerada por um painel de 450 W, através da equação (1).

$$E_{\text{módulo}} = 0,45 \times 4,55 \times 30 = 61,425 \approx 61,43 \text{ kWh/mês}$$

O painel escolhido é da marca Jinko, modelo JKM450M-60HL4-V, constituídos de células mono cristalino. A energia encontrada, precisa ser retificada devido a eficiência de geração do módulo, que de acordo com o datasheet é de 20,85% (JINKO, 2022). Ao realizar uma simples regra de três, encontra-se a geração integral já corrigida com um valor de 48,62 kWh/mês por painel:

$$G_{\text{módulos}} = \frac{61,43}{X} \times \frac{100}{79,15} = 48,62 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Sendo assim, o próximo passo é especificar a quantidade de módulos que serão necessários para um consumo de 650 kWh/mês:

$$Q_{\text{módulos}} = \frac{650}{48,62} = 13,37 \approx 14$$

Então, para o abastecimento da residência serão necessários 14 painéis de 450 W. O valor de tensão de circuito aberto unitário é um dado apresentado no datasheet, tendo um valor de 41,18 V. Considerando que os módulos são conectados em duas strings paralelamente, cada uma com 7 painéis em série, a tensão individual é somada totalizando uma tensão na string de 288,26 V (JINKO, 2022).

Para especificar o inversor, primeiramente deve se calcular a tensão de circuito aberto de cada string aplicando um fator de segurança. Sendo usualmente recomendado um valor de 10% acima da tensão de circuito aberto nominal (VILLAUVA, 2012):

$$V_{oc_{string}} = 7 \times 41,18 \times 1,1 = 317,09 \text{ V}$$

Nesta etapa é importante calcular a variação da tensão de acordo com a temperatura de funcionamento do módulo, considerando a temperatura média da cidade de Formiga e o coeficiente de temperatura especificado na folha de dados. A variação obtida é de 4,44%, conforme indicado a seguir (VILLAUVA, 2012; CLIMA-DATE, 2022).

$$\text{Variação}_{tensão\%} = (20,85 - 5) \times 0,28 = 4,44\%$$

Sendo assim a tensão total de saída com a variação de 4,44% pode ser obtida:

$$\text{Variação}_{tensão} = (0,044 \times 288,26) + 288,26 = 300,94 \text{ V}$$

E por fim, a determinação da potência do inversor é realizada considerando que o mesmo deve ter um valor compatível com o conjunto de módulos fotovoltaicos (VILLAUVA, 2012). Desta forma, obtém-se o valor de 6,3 kW.

$$P_{inversor} = 14 \times 450 = 6,3 \text{ kW}$$

Para suprir a carga da residência foi estabelecido um inversor da marca Growatt de 6 kW, que será capaz de suportar durante seu funcionamento a tensão de circuito aberto, devido a sua capacidade ser disponibilizada no datasheet ser 550 V (GROWATT, 2022). A definição deste inversor se justifica, por esta marca possuir mais variedades de potência dos inversores, como, por exemplo, ao realizar a pesquisa pode ser observado que, a marca Canadian tem inversores de 5 e 7 kW, assim como a marca Refusol que também possui inversores de 5 e 7 kW. A marca Fronius possui inversor de 6 kW com a máxima entrada de corrente contínua até 1000 V, o que consequentemente tornaria o custo da usina maior (ALDO, 2022).

Além do inversor, a usina conta com 14 módulos de 450 W da marca Jinko, considerando que todos apresentam uma perda de eficiência por volta de 20,85%. O arranjo da usina foi configurado com 2 strings, possuindo 7 módulos conectados em série cada.

4.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para residência considerando a tomada do veículo elétrico.

Nesta etapa será adicionado a carga do carro elétrico no sistema fotovoltaico projetado na seção 4.1. Considera-se que o painel fotovoltaico projetado na seção 4.1 está operando e o consumidor deseja instalar a tomada do carro elétrico, resultando assim em uma carga adicional. O VE escolhido para o estudo é o Leaf da Nissan 2022, que possui as seguintes características:

Tabela 2: Especificações técnicas Leaf MY22

Equipamento	Dados
Motor	Elétrico – 110 kW
Tipo de bateria	Ion-lítio laminada – 40kWh
Autonomia	272 km
Combustível	Energia elétrica
Potência máxima	149 cv / 9795 rpm
Torque máximo	32,6 kgf.m / 3283 rpm
Tração	2 WD
Direção	Elétrica com assistência variável
Suspensão dianteira	Independente tipo McPherson com barra estabilizadora
Suspensão traseira	Eixo de torção com barra estabilizadora
Freios	Discos dianteiros e traseiros ventilados
Porta-malas	435 litros
Rodas	Liga leve 17”
Pneus	215/50 R17”
Valor atualizado – Tabela Fipe	R\$ 278.854,00

Fonte: NISSAN (2022)

Com os dados pode-se estimar o consumo energético e conseqüentemente a carga que será incrementada à residência. Baseando na distância média que um carro no estado Minas Gerais percorre é 1075 km mensalmente, o que equivale em 12900 km no ano, segundo um levantamento baseado em *big data*, do KBB Brasil (2019). Como a tabela 2 indica uma autonomia de 272 km, pode se encontrar a quantidade de recargas que serão realizadas mensalmente:

$$Q_{recarga} = \frac{1075}{272} = 3,95 \approx 4$$

Então para esta distância média percorrida, serão necessárias 4 recargas mensalmente. Como a potência da bateria é de 40 kW, para encontrar o gasto energético mensal do carro elétrico, basta realizar o seguinte cálculo:

$$ConsumoVE_{mês} = 40 \times 4 = 160 \text{ kWh/mês}$$

Considerando as perdas envolvidas na geração de cada módulo, foi encontrado uma geração de 48,62 kWh/mês. Assim, foi estimado quantos módulos serão acrescentados à usina, com intuito de suprir o consumo da residência juntamente com o carro elétrico:

$$Q_{modulos \text{ acres.}} = \frac{160}{48,62} = 3,29 \approx 4$$

Ou seja, serão acrescentados mais 4 módulos para suprimento da nova carga. Como o datasheet do inversor apresenta uma potência máxima de operação de 8100 W, não será necessário ter novos custos para o aumento da usina com outro inversor. Respeitando a máxima tensão de curto circuito do inversor, serão inclusos 2 módulos em cada string (GROWATT, 2022).

4.3 Viabilidade econômica para o sistema fotovoltaico com e sem o incremento de potência

Esta seção apresenta a análise financeira para o investimento da usina fotovoltaica para os projetos desenvolvidos nas Seções 4.1 (caso 1) e 4.2 (caso 2). Para o caso 1, considerando somente a residência que possui um consumo de 650 kWh/mês, a usina dimensionada para suprir esta demanda possui 6,3 kWp, constituindo 14 painéis de 450 kW cada e um inversor de 6 kW.

No caso 2, surge o incremento de potência devido ao consumo de potência da tomada para o carregamento do carro elétrico. Como já estimado no item 4.2, para o sistema

fotovoltaico abastecer o VE e a residência, é necessário adquirir mais 4 módulos, que suprirão a demanda de todas as cargas em questão.

Para isto, foi realizado uma análise financeira considerando o custo de cada sistema, baseado no valor do mercado atual, juntamente com o custo da instalação, levando em conta que a residência possui estrutura adequada para comportar o rearranjo dos módulos (ALDO, 2022). Os resultados obtidos estão expostos na tabela 3:

Tabela 3: Análises de investimentos para cada caso

Sistema	Potência (kWp)	Módulos	Valor	VPL	TIR	Payback
Caso 1	6,3	14	R\$ 26400,00	R\$ 32.800,29	33%	3 a 4 anos
Caso 2	8,1	18	R\$ 32100,00	R\$ 46.192,28	36%	2 a 3 anos

Fonte: Elaboração própria.

Analisando a tabela 3, pode se constatar que o investimento em sistemas fotovoltaicos é atrativo, tendo em vista que em todas as análises financeiras os resultados obtidos foram positivos. O VPL representa o valor presente líquido do investimento, a TMA utilizada para este projeto foi baseado na taxa da Selic atual, que é 13,75% (SVIECH, MANTOVAN, 2013; RICO, 2022). Sendo assim, pode se concluir que o VPL apresenta um valor positivo, pois as receitas geradas são maiores que as despesas.

Da mesma forma a TIR, que é a taxa que iguala o fluxo de caixa antecipado para o valor de investimento, apresentou resultado satisfatório, pois foi maior que a taxa mínima de atratividade (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

Como pode ser observado, o incremento da tomada para o abastecimento do VE, representa 19,75% do sistema total. A viabilidade financeira indicou que o sistema do caso 2 é mais compensativo, por apresentar tempo de retorno menor, valor presente líquido e taxa TIR mais elevada, quando comparado com a viabilidade financeira do caso 1.

4.4 Custos envolvidos na utilização do carro elétrico e à combustão

Nesta etapa é realizado uma análise financeira considerando o custo do abastecimento de cada veículo durante 25 anos, e o valor gasto inicialmente para aquisição. O veículo à combustão a ser considerado neste trabalho, será o Golf TSI, fabricado no ano de 2015 pela

concessionária Volkswagen, que apresenta uma potência aproximada do VE, como mostrado na tabela 4:

Tabela 4: Especificações técnicas Golf TSI Comfortline

Equipamento	Dados
Motor	1.4
Combustível	Gasolina
Potência máxima	140 cv
Torque máximo	25,49 kgf.m
Velocidade máxima	212 km/h
Consumo	11,7 km/L
Direção	Elétrica
Suspensão dianteira	Independente tipo McPherson com barra estabilizadora
Suspensão traseira	Eixo de torção com barra estabilizadora
Freios	Quatro freios à discos com dois discos ventilados
Cambio	Manual de 6 marchas
Rodas	Tipo independente
Pneus	215/50 R17”
Porta malas	313 L
Valor atualizado – Tabela Fipe	R\$ 77.000,00

Fonte: VOLKSWAGEN (2022)

Analisando os dados acima e comparando com a tabela (2), pode se estimar a despesa gasta mensalmente para o abastecimento. Nesta etapa, foram fixados alguns valores médios, que estão apresentados na tabela 5:

Tabela 5: Custos dos combustíveis

Combustível	Valor
Eletricidade	R\$ 1,10 kWh
Gasolina	R\$ 6,00 L

Fonte: Elaboração própria.

A quilometragem percorrida por um carro situado no estado de MG, de acordo com média registrada anualmente é de 12900 km (KBB, 2019). Como a análise financeira será realizada em 25 anos, a distância neste período pode ser calculada:

$$Distância_{25anos} = 12900 \times 25 = 322500 \text{ km}$$

Considerando os valores da Tabela 5, e mesma distância percorrida para ambos os veículos, o custo financeiro será estabelecido em seguida, iniciando se pelo veículo elétrico.

Como indicado anteriormente, o consumo mensal do carro elétrico é 160 kWh/mês. O consumo total durante 25 anos é:

$$Consumo_{VE_{25anos}} = 160 \times 300 = 48000 \text{ kWh}$$

Assim como estabelecido na Tabela 5, o custo de cada kWh consumido pela distribuidora da região é R\$ 1,10. Para saber o custo financeiro do carro elétrico Leaf, basta fazer o seguinte cálculo:

$$Abastecimento_{VE} = 48000 \times 1,10 = R\$ 52800,00$$

Ou seja, o custo em 25 anos para o carro elétrico é de R\$ 52800,00.

Para calcular o custo do abastecimento do Golf, considera-se o consumo de um litro a cada 11,3 km percorridos. Assim, é necessário calcular quantos litros serão necessários para percorrer a distância de 322500 km:

$$Litros_{MCI} = \frac{322500}{11,3} = 28.539,82 \text{ L}$$

Sendo assim, num período de 25 anos, o Golf necessita de aproximadamente 28539,82 litros. o gasto financeiro neste mesmo período é igual a:

$$Abastecimento_{MCI} = 28.539,82 \times 6,00 = R\$ 171.238,94$$

O Nissan Leaf é acompanhado por um carregador padrão que permite abastecer o VE em qualquer tomada comum, com tensões de 127 V e 220 V (NISSAN, 2022). Importante

ressaltar que a potência necessária para recarga é invariável, o que irá alterar é o tempo gasto na recarga, assim como exposto na tabela (6).

Tabela 6: Características da tomada para o carregamento

Tipo	Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)	Tempo (Horas)
I	127	1100	10	36:24
II	220	2200	10	18:12
II	220	7400	32	5:07

Fonte: NISSAN (2022)

Neste estudo, ainda é interessante considerar o custo da estrutura para que seja instalado uma tomada de carregamento rápido do veículo elétrico. Para isto, foi realizado um orçamento considerando alguns fatores mostrados na tabela (7).

Tabela 7: Características necessárias para o orçamento

Tipo	Dados
Cidade da instalação	Formiga - MG
Rede do local	Trifásico
Tensão da rede	127/220 V
Modelo VE	Nissan Leaf
Previsão de entrega	Bateria de 40 kW

Fonte: NEOCHARGE (2022)

Dadas as informações da Tabela 7, foi proposto um carregador mini wallbox com potência de 7,4 kW para o carregamento do Nissan Leaf. Este VE dispõe de um carregador com plugue Tipo 1. Sendo assim, foi incluso na proposta o adaptador com cabo tipo 2, com o objetivo de realizar o carregamento convertendo Tipo 2 para Tipo1 (NEOCHARGE, 2022).

Figura 11: Carregador rápido proposto pela NeoCharge



SKU	DESCRIÇÃO	QTD.	UNIT.	TOTAL
10001586	Carregador VE Mini Wallbox NeoCharge NC1000 - 7kW - T2	1	R\$ 4.699,00	R\$ 4.699,00
CABO ADAPTADOR OPCIONAL				
10001252	Cabo adaptador para carro elétrico NeoCharge T2-T1 - 32A	1	R\$ 1.299,00	R\$ 1.299,00

Fonte: NEOCHARGE (2022)

Neste estudo também foi considerada, durante todo o período, a taxa de IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores), que deve ser paga anualmente. A base de cálculo para encontrar o valor do IPVA de cada veículo é embasada na alíquota que varia de acordo com o estado, relacionado com o valor venal de cada veículo. Em Minas Gerais a alíquota é 4%, sendo assim os impostos de cada carro estão indicados, na tabela (8) (SEF, 2022):

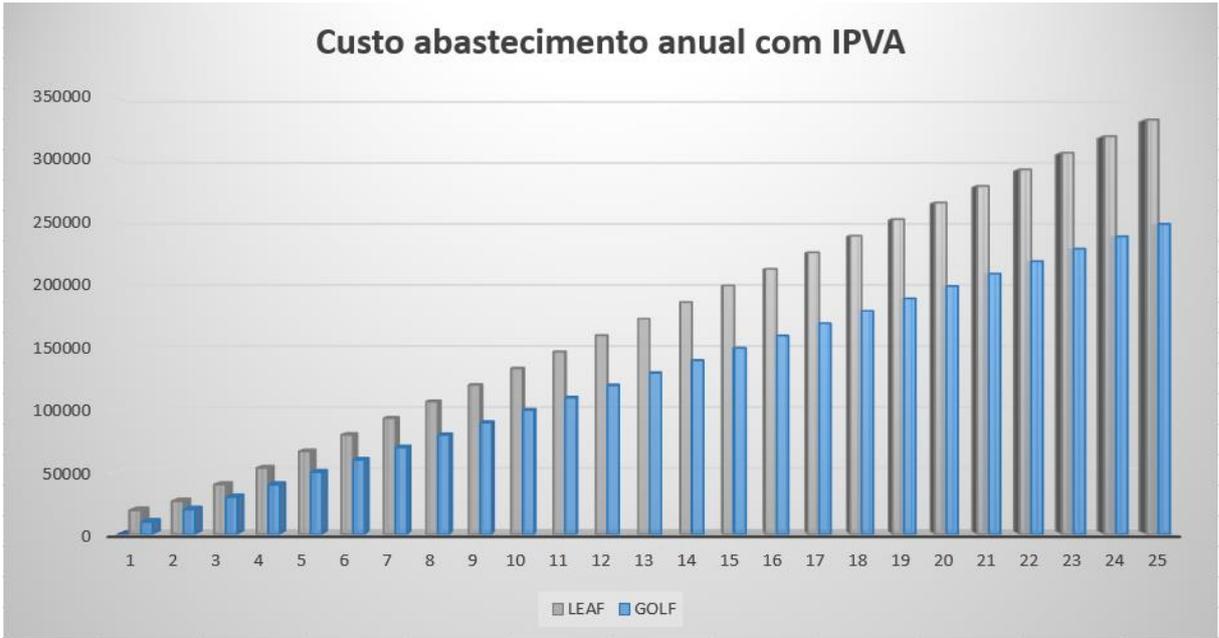
Tabela 8: IPVA baseado no valor venal

Veículo	Valor IPVA
Golf TSI	R\$ 3080,00
Nissan Leaf	R\$ 11154,16

Fonte: SEF (2022).

Sendo assim, realizou se uma análise considerando os gastos com combustíveis e IPVA anualmente, durante 25 anos para ambos os veículos. Além disso, para o carro elétrico inicialmente foi contabilizado o custo para aquisição do carregador. O gasto com manutenção foi desconsiderado para ambos, levando em conta que isso é um fator que dependerá de como cada motorista utilizará o automóvel e políticas comerciais de concessionárias. Os resultados obtidos estão apresentados no gráfico (1):

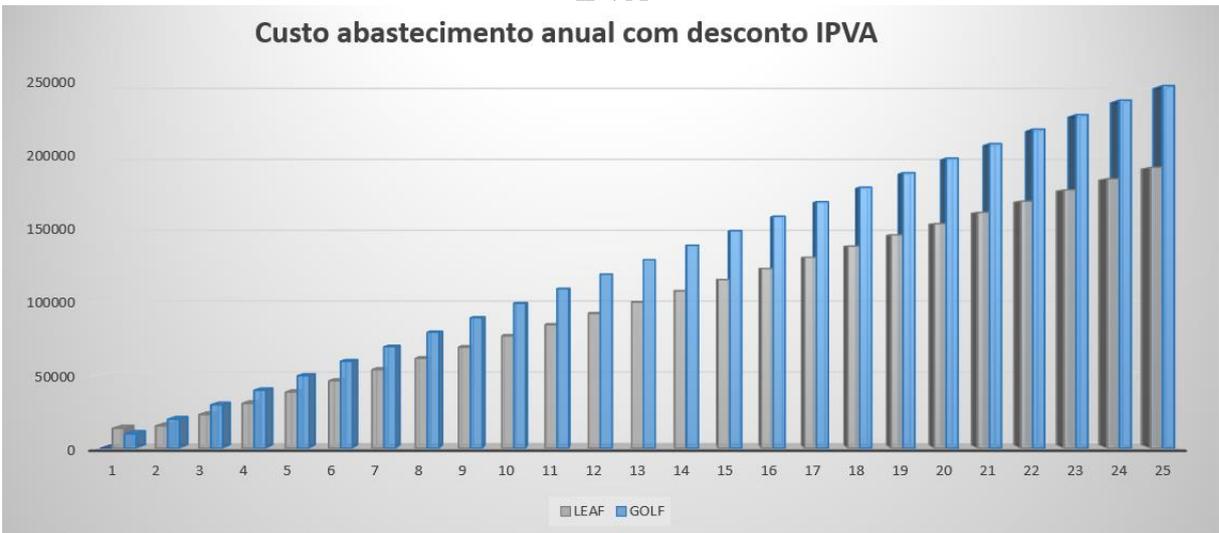
Gráfico 1: Custos envolvidos anualmente para cada veículo



Fonte: Elaboração própria.

Além desta análise realizada, foi realizada uma comparação, considerando agora um desconto na taxa no IPVA de 50% para os carros elétricos, o que é incentivo para aquisição do veículo. Os resultados estão demonstrados no gráfico (2):

Gráfico 2: Custos envolvidos para cada veículo considerando o desconto do IPVA

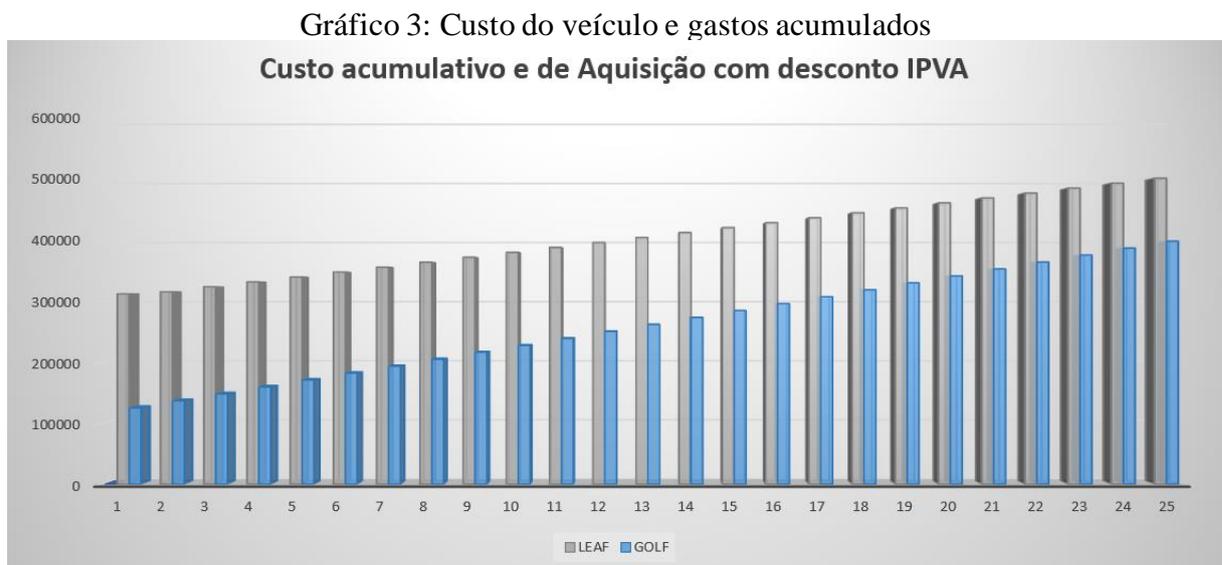


Fonte: Elaboração própria.

Este desconto de 50% foi baseado pelo fato de recentemente ser implementada pela cidade de São Paulo, o que resulta em incentivos para população e propulsiona o investimento para novas infraestruturas, assim como mostra o site da Revista Oeste (2022).

Considerando o resultado do gráfico 1, pode se observar que devido ao alto valor do IPVA, a aquisição do veículo elétrico não se torna mais compensativo do que a compra de um veículo a combustão, além do alto valor pago em um carro elétrico no Brasil. O gráfico 2, retrata a necessidade e importância de incentivos fiscais no país, pois apenas com a redução da taxa do IPVA, o gasto anual envolvendo abastecimento, imposto IPVA e os custos iniciais, durante o período de 25 anos foi menor para o carro elétrico.

É importante destacar que os gráficos 1 e 2 consideram o custo de utilização destes veículos sem considerar o valor pago para a sua aquisição. Caso seja considerado a parcela monetária referente à aquisição e ainda o desconto de 50% no IPVA de carros elétricos, tem-se o gráfico (3):



Fonte: Elaboração própria.

Ao observar o gráfico (3), pode se notar que o valor inicial para a posse de um carro elétrico no Brasil é um obstáculo muito grande. O investimento inicial, mesmo considerando o desconto de 50% da taxa de IPVA, não se torna compensativo devido a taxa do IPVA ser baseado no valor venal do veículo elétrico, análise que pode ser vista numericamente na tabela (9):

Tabela 9: Análise considerando o custo acumulado e de aquisição

Veículo	Custo aquisição	Diferença	Custo acumulado	Diferença
Nissan Leaf	R\$ 278.854,00	R\$ 201.854,00	R\$ 471.081,00	R\$ 145.842,25
Golf TSI	R\$ 114.098,00		R\$ 325.238,75	

Fonte: FIPE (2022)

Sendo assim, a diferença acumulada durante o consumo dos veículos no período de 25 anos, devido ao alto valor do VE e taxa de IPVA, não compensa o gasto para aquisição do veículo elétrico. Este estudo evidência a extrema necessidade de incentivos, pois somente uma revisão no custo inicial do VE poderá torná-lo compensativo para os brasileiros.

Em todos os cálculos realizados foram mantidos vários valores constantes, dentre eles, a taxa da alíquota no estado de Minas Gerais, o valor de compra do veículos e os custos dos combustíveis para o abastecimento, com intuito de facilitar os cálculos. A autora deste TCC entende que estes elementos são fatores imprevisíveis que podem variar de acordo com a inflação e economia do país.

5 CONCLUSÕES

Assim como qualquer outra tecnologia, os veículos elétricos apresentam aspectos favoráveis e negativos. Como pode ser observado neste estudo, o cenário que o Brasil oferece desmotiva a população para adquirir o carro elétrico. A falta de incentivos fiscais é apenas um dos fatores envolvidos, além disso, o ônus para aquisição da estrutura de recarga, o alto custo para obtenção do veículo e alta taxa de IPVA são características que necessitam reavaliação.

A implementação de uma nova legislação que estimule a substituição dos carros movidos a combustíveis fósseis por veículos elétricos, mesmo que gradualmente, seria de grande valia se considerarmos os fatores ambientais, pois estes veículos apresentam significativa redução nas emissões de gases tóxicos. Ademais, é relevante considerar o incentivo governamental para o avanço da infraestrutura pública de postos para abastecimentos, fazendo com que esta tecnologia seja fortemente impulsionada.

Como pode ser visto, devido ao grande investimento financeiro feito na compra de um veículo elétrico, o mesmo não se torna compensativo, devido ao alto custo atrelado ao seu imposto pago anualmente. Ao realizar a análise considerando um desconto de 50% neste imposto, o VE já sobressai em comparação ao VCI, apresentando economia, devido ao seu abastecimento ser realizado por energia elétrica provinda de painéis fotovoltaicos.

Dentro do contexto de políticas mais sustentáveis para o meio ambiente, pode ser observado, para o estudo de caso apresentado, que o incremento de carga devido a inserção de uma tomada para carro elétrico melhora a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico existente. Assim, foi evidenciado um motivo razoável para um usuário instale painéis solares e tomadas para carro elétrico em residência.

Por fim, fica o estímulo para que novos estudos contribuam para a disseminação do veículo elétrico, realizando a análise financeira para implantação de infraestrutura pública necessária, assim como, a consequência do aumento de energia na matriz energética brasileira. Ainda seria relevante também a análise considerando o novo formato de tarifação estabelecido pela Lei 14.3000, considerando qual será o impacto financeiro no custo da tarifa para os consumidores tipo B. Pode ser alterado, a data de fabricação e o custo do veículo à combustão para trazer um cenário mais equiparado entre as duas tecnologias.

REFERÊNCIAS

1. ALBA. **Mapa de insolação: entenda seu funcionamento e impactos.** Alba Energia Solar. Disponível em: [ALBA Mapa de insolação: entenda seu funcionamento e impactos - ALBA \(albaenergia.com.br\)](http://albaenergia.com.br). Acesso em: 13 jul. 2022.
2. ALDO. **Aldo Componentes Eletrônicos.** Disponível em: <https://www.aldo.com.br/>. Acesso em: 06 ago. 2022
3. BOSCOLO, Nefeli; NAPOLITANI, Enrico. **Laser annealing di Silicio policristallino per celle fotovoltaiche avanzate.** DFA. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12608/35401>. Acesso em: 02 ago. 2022.
4. BRASIL. **Lei 13.755 de 10 de dezembro de 2018.** Código Civil. 2018.
5. CASTRO, Thais Santos. **Análise econômica e ambiental de sistemas de geração alternativa para suprimento energético de carros elétricos.** 2018. Tese de Doutorado. Engenharia Mecânica. UNESP. Guaratinguetá, 2018.
6. CLIMA-DATE. **Clima Formiga (Brasil).** Clima-date.org Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/formiga-24941/>. Acesso em: 08 ago. 2022
7. COSTA, Marvin Teixeira. **Análise comparativa dos aspectos ambientais, econômicos e energéticos da inserção de carros elétricos no Brasil.** IFMG – Formiga, MG. TCC. 2021
8. CRESESB. **Energia solar princípios e aplicações.** Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. [S.l.: s.n.], 2006
9. EPE, **Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional, Relatório Síntese: Ano base 2016.** EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro – RJ: [s.n.], 2017a.
10. EVANGELISTA, M. L. S. **Estudo comparativo de análise de investimentos em projetos entre o método vpl e o de opções reais: o caso cooperativa de crédito - Sicredi Noroeste.** 163 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://www.bertolo.pro.br/matematica/Tese%20>. Acesso em: 05 Ago. 2022
11. FERREIRA, Mariana Araújo Mendes; CARDOSO, Rafael Balbino. **Impactos energéticos e ambientais do uso de sistemas solares fotovoltaicos para carregamento de carros elétricos em postos de abastecimento no Brasil.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 9, p. e767997749, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7749. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7749>. Acesso em: 15 jul. 2022.

12. FERREIRA, R.T. **Planejamento do Carregamento de Veículos Elétricos Atendidos por um Eletroposto Isolado**, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo. 2018
13. FGV. **Carros Elétricos**. FGV Energia. Ed. Accenture. Ano 4. n7. Maio. 2017
14. FIPE. **Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas**. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em: 05 out. 2022
15. GÉLIO, Lucas Gomes; CÉSAR, Francisco Ignácio Giocondo. **Abastecimento de carros elétricos a partir da energia solar**. ACERTTE. v.2. n.1. 2022.
16. GROWATT. **Growatt New Energy Technology Co**. Disponível em: https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto57561IdArquivo26625.pdf?_ga=2.151320251.349278801.1666535598-1955383156.1664832146. Acesso em: 06 ago. 2022.
17. HØYER, Karl Georg. **The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars**. Utilities Policy, v. 16, n. 2, p. 63–71, 2008.
18. IBERDROLA. **O que é energia solar fotovoltaica?** Iberdrola. Disponível em: [O que é a energia solar fotovoltaica - Iberdrola](#). Acesso em: 12 jul. 2022.
19. JINKO. **Tiger Pro 60HC 440-460 Watt – Módulo Monofacial**. Disponível em: <https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto85186IdArquivo26530.PDF>. Acesso em: 05 ago. 2022
20. KBB. **Você sabe quanto a quilometragem impacta o preço do carro usado?**. Kelley Blue Book. Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quilometragem-precos-carro-usado/?id=1802#:~:text=De%20acordo%20com%20as%20nossas,de%20390%20km%20ao%20ano>. Acesso em: 06 ago. 2022
21. KNOBLOCH, Florian. *et. al.* **Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time**. *Nat Sustain* 3, 437–447 (2020).
22. LARMINIE, James; LOWRY, John. **Electric Vehicle Technology Explained**. [S.l.: s.n.], 2012.
23. LEMES, Jussilaine Fernandes. **Análise de viabilidade de implantação de posto de recarga de veículos elétricos com abastecimento fotovoltaico**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2018.
24. LACHE, Rod et al. **Electric Cars: Plugged In Batteries must be included**. Deutsche Bank FITT Research, n. June, p. 52 pp., 2008.
25. LUZ SOLAR. **Como funciona a energia solar?** Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 30 jul. 2022

26. NEOCHARGE. **Número de carros elétricos no Brasil**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil> . Acesso em: 02 Ago. 2022
27. NETO, Carlos Augusto Pötter. **Dimensionamento e simulação de um inversor solar fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica**. UFMS. TCC. 2016
28. NISSAN. **Nissan Leaf 2022- Guia de Referência Rápido**. Disponível em: <https://www.nissan.com.br/content/dam/Nissan/br/manuais/LEAF/GUIA%20R%C3%81PIDO%20WEB.pdf> . Acesso em: 03 Ago. 2022
29. NISSAN. **Nissan Leaf My22 Edition - Especificações Técnicas**. Disponível em: https://www.vipcarnissan.com.br/wp-content/uploads/2021/12/FICHA-TECNICA_LEAF_MY_22-1.pdf. Acesso em: 03 Ago. 2022
30. OESTE. **Carros elétricos ganham 50% de desconto no IPVA em SP**. Rev.Oeste. Disponível em: <https://revistaoste.com/economia/carros-eletricos-ganham-50-de-desconto-no-ipva-em-sp/>. Acesso em: 29 set. 2022
31. PEZERICO, Vinícius Nascimento de Oliveira. **Estudo comparativo para carregamento de carros elétricos através de geração distribuída e análise econômica**. USFM. Santa Maria, RS. 2020
32. PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro – RJ: CEPEL – CRESESB Edição, 2014.
33. PITTORESQUE, L A France. 29 avril 1899 : La Jamais contente franchit les 100km/h et établit un nouveau record de vitesse. LA FRANCE PITTORESQUE, 2016.
34. RÊGO, Walkerlan da Silva; SORRENTINO, Taciano Amaral. **Estimativa das incidências de radiação direta e difusa em superfície horizontal em Mossoró-RN**. UFERSA. TCC. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5891>. Acesso em: 12 jul. 2022.
35. RICO. **Taxa Selic: o que é e como ela influencia seus investimentos?** Disponível em: [https://riconnect.rico.com.vc/blog/taxa-selic#:~:text=Qual%20a%20Taxa%20Selic%20hoje,ano%20\(setembro%2F2022\)](https://riconnect.rico.com.vc/blog/taxa-selic#:~:text=Qual%20a%20Taxa%20Selic%20hoje,ano%20(setembro%2F2022)) . Acesso em: 01 out. 2022
36. SEF. **Secretaria de Estado de Fazenda – Como se calcula IPVA**. Disponível em: <http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/impostos/ipva/calculo.html>. Acesso em: 20 ago. 2022
37. SIMÕES, Jean Cesar; SILVA, Raian Oliveira; JÚNIOR, Luiz Carlos de Freitas. **Estudo de caso de viabilidade de implementação de energia fotovoltaica na Universidade São Francisco - prédio 5**. USF. Disponível em: <https://www.usf.edu.br/galeria/getImage/768/2616009241295983.pdf> . Acesso em: 25 jul. 2022

38. SVIECH, Vinicius; MANTOVAN, Edson Ademir. **Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos.** *Percurso* 1. 270-298. 2013
39. SOLAR. **Quanta energia produz um painel solar?** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/uma-placa-solar-gera-quanto-de-energia> . Acesso em: 27 jul. 2022
40. VARGAS, Tiane do Nascimento; et. al. **Revisão de sistemas de carregamento para veículos elétricos utilizando sistemas fotovoltaicos.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza. 2020
41. VASCO, Murilo Nogueira. **Breve abordagem da viabilidade econômica dos carros 100% elétricos.** UFT. TCC. Palmas, TO. 2022
42. VILLAUVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações.** Ed. Érica. 2ª ed. Jun. 2012
43. VOLKSWAGEN. **Golf 2015 Comfortline 1.4 tsi 140cv.** Disponível em: <https://www.kbb.com.br/volkswagen/golf/2015/comfortline-1.4-tsi/?ID=18835>. Acesso em: 15 ago. 2022