

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FABIO SANTOS COURA  
YAGO RABELO DOS SANTOS**

**ESTUDO DE APLICAÇÃO E EFICIÊNCIA DE SISTEMA  
SUSTENTAVEL PARA MOBILIDADE URBANA PÚBLICA**

**VOLTA REDONDA  
2021**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ESTUDO DE APLICAÇÃO E EFICIÊNCIA DE SISTEMA  
SUSTENTAVEL PARA MOBILIDADE URBANA PÚBLICA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Discentes:

Fábio Santos Coura

Yago Rabelo dos Santos

Orientador: Prof. M.Sc. Edson de Paula  
Carvalho

Coorientador: Prof. M.Sc. Adilson Gus-  
tavo do Espírito Santo

**VOLTA REDONDA**

**2021**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Discentes:**

Fábio Santos Coura

Yago Rabelo dos Santos

**Título do TCC:**

ESTUDO DE APLICAÇÃO E EFICIÊNCIA DE SISTEMA SUSTENTÁVEL PARA MOBILIDADE URBANA PÚBLICA.

Apresentado publicamente perante a Banca Examinadora, como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora**

---

Professor Orientador

(Prof.M.Sc. Edson de Paula Carvalho)

---

Professor Avaliador

(Prof.M.Sc. Cláudio Márcio de Freitas da Silva)

---

Professor Avaliador

(Prof.M.Sc. Aloano Régio de Almeida Pereira)

“É preciso se atrever a ser grande. ”

(Kobe Bryant)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente à Deus, por nos proporcionar saúde e a oportunidade de chegar ao final do curso perante uma pandemia causada pelo vírus da Covid-19 e que nos tirou familiares, amigos e pessoas próximas.

Agradecemos aos nossos pais, por sempre nos incentivarem e acreditarem no nosso potencial. Também agradecemos aos nossos amigos e colegas de classe, os quais passamos esses anos enfrentando e superando as dificuldades e desafios juntos.

Agradeço à minha namorada que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico.

Agradeço a meu primo por me apoiar, auxiliar e emprestar o software para o dimensionamento.

Também agradecemos ao nosso orientador de projeto, o professor M.Sc. Edson de Paula Carvalho, que nos auxiliou durante a etapa de desenvolvimento junto do nosso coorientador, o professor M.Sc. Adilson Gustavo do Espírito Santo, que nos ajudou na análise financeira do trabalho. Um agradecimento especial para o Secretário de Transporte e Mobilidade Urbana de Volta Redonda, Sr. Paulo José Barenco Pinto, que nos permitiu usar o nome da cidade junto ao projeto realizado pela prefeitura utilizando ônibus elétricos, o Tarifa Comercial Zero.

Queremos agradecer de modo geral a todos os professores que fizeram parte de nossa caminhada e a todo corpo docente do curso de Engenharia Elétrica do Uni-FOA, por todo o conhecimento ensinado e experiências compartilhadas ao longo da trajetória do curso.

Por fim, agradecemos a todos aqueles que contribuíram para o alcance deste objetivo. Muito Obrigado.

## RESUMO

A iniciativa da prefeitura de Volta Redonda, município situado no Sul Fluminense, visa beneficiar a população com transporte público gratuito através dos ônibus elétricos que circulam pelos centros urbanos. Como forma de colaborar com o desenvolvimento da mobilidade urbana que este projeto oferece, apresentaremos neste trabalho o dimensionamento de um sistema sustentável, utilizando módulos fotovoltaicos instalados sobre o telhado da Garagem Municipal, disponibilizando assim uma estação de recarga solar para os ônibus elétricos da cidade com a finalidade de reduzir o consumo de energia fornecida pela concessionária do local. Através de nossas pesquisas e simulações queremos incentivar o uso de formas alternativas para geração de energia elétrica, demonstrando como o modelo fotovoltaico pode ser aplicado de maneira eficiente, viável e com danos ambientais reduzidos.

**Palavras-chave:** Ônibus Elétrico, Mobilidade Urbana, Sistema Sustentável, Módulos Fotovoltaicos.

## **ABSTRACT**

The initiative of the city of Volta Redonda, a municipality located in the South of the State of Rio de Janeiro, aims to benefit the population with free public transportation through electric buses circulating in urban centers. As a way to collaborate with the development of urban mobility that this work offers, we'll present in this Project the design of a sustainable system, using photovoltaic modules installed on the roof of the Municipal Garage, providing a solar charging station for the city's electric buses in order to reduce the consumption of energy provided by the local utility. Through our research and simulations, we want to encourage the use of alternative ways to generate electricity, demonstrating how the photovoltaic model can be applied in an efficient and viable way, and with reduced environmental damage.

**Key-words:** Electric Bus, Urban Mobility, Sustainable System, Photovoltaic Modules.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1	Objetivo geral.....	18
1.2	Objetivo específico.....	19
1.3	Justificativa.....	19
1.4	Metodologia .....	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1	Tipos de geração .....	22
2.2	Sistema de geração não sustentável.....	23
2.3	Sistema de geração sustentável .....	23
2.3.1	Energia hidroelétrica PCH .....	24
2.3.2	Energia eólica .....	25
2.3.3	Energia biogás.....	26
2.3.4	Energia solar .....	27
<b>3</b>	<b>MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL</b> .....	<b>29</b>
3.1	Ônibus Elétricos .....	29
3.2	Tipos de Ônibus Elétricos .....	30
3.2.1	Capabus .....	30
3.2.2	Ônibus híbrido elétrico .....	31
3.2.3	Ônibus elétrico a bateria.....	31
3.3	Montadoras de Ônibus elétricos .....	32
3.3.1	BYD.....	32
3.3.2	Eletra.....	33
3.3.3	Volvo.....	33
3.4	Ônibus Elétricos em operação em Volta Redonda.....	33

<b>4</b>	<b>SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b> .....	<b>34</b>
4.1	História e mercado .....	34
4.2	Tipos de geração fotovoltaicas .....	35
4.3	Componentes do SFVCR de microgeração.....	38
4.4	Tarifação .....	39
4.5	Resoluções Normativas .....	40
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>42</b>
5.1	Etapas para elaboração de um projeto fotovoltaico .....	42
5.2	Levantamento de demanda e consumo .....	42
5.2.1	Levantamento de energia individual dos componentes .....	44
5.2.2	Analisador de energia .....	45
5.2.3	Consumo médio do consumo anual .....	47
5.3	Localização .....	48
5.4	Avaliação do recurso solar.....	49
5.5	Taxa de Desempenho.....	49
5.6	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos .....	52
5.6.1	Células fotovoltaicas.....	52
5.6.2	Módulos fotovoltaicos.....	55
5.6.3	<i>Strings</i> .....	58
5.7	Dimensionamento do inversor .....	59
5.7.1	Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) .....	60
5.7.2	Tensão de Entrada.....	61
5.7.3	Faixa de Operação do SPPM do Inversor .....	62
5.7.4	Corrente Máxima c.c do Inversor .....	64
5.8	Dimensionamento das proteções .....	64
5.8.1	Diodos de desvio e de bloqueio e fusíveis de proteção .....	64
5.8.2	Cabeamento .....	65

5.8.3	Proteções Adicionais .....	66
5.8.4	Aterramento .....	68
6	ESTUDO DE CASO .....	69
6.1	Calculo da potência do sistema .....	69
6.1.1	Consumo de energia .....	69
6.1.2	Localização .....	72
6.1.3	HSP .....	73
6.1.4	Taxa de desempenho .....	74
6.1.5	Potência do sistema .....	75
6.2	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos .....	75
6.2.1	Número de Painéis Fotovoltaicos .....	76
6.2.2	Fechamento das Strings .....	77
6.2.3	Área total utilizada.....	78
6.3	Dimensionamento do inversor .....	78
6.4	Dimensionamento das proteções .....	80
6.4.1	Dimensionamento dos cabos .....	80
6.4.2	Dimensionamento do transformador .....	82
6.4.3	Dimensionamento das proteções adicionais .....	82
6.4.4	SPDA e aterramento .....	84
6.5	Componentes adicionais .....	85
6.5.1	Estruturas de fixação .....	85
6.5.2	Placas de sinalização e identificação .....	85
7	RESULTADOS .....	87
7.1	Energia consumida .....	87
7.2	HSP .....	88
7.3	Taxa de desempenho .....	89
7.4	Potência do sistema.....	90

<b>7.5</b>	<b>Dimensionamento das placas e do inversor.....</b>	<b>91</b>
<b>7.6</b>	<b>Distribuição dos módulos e linhas elétricas.....</b>	<b>92</b>
<b>7.7</b>	<b>Diagrama Elétrico .....</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>ANÁLISE FINANCEIRA .....</b>	<b>95</b>
<b>8.1</b>	<b>Custo de implementação do SFVCR.....</b>	<b>95</b>
<b>8.2</b>	<b>Custo de operação .....</b>	<b>97</b>
<b>8.3</b>	<b>Gasto energético e economia gerada.....</b>	<b>99</b>
<b>8.4</b>	<b>Análise de investimento econômico financeiro.....</b>	<b>102</b>
<b>8.5</b>	<b>Análise do tempo de retorno do investimento.....</b>	<b>104</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>106</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>108</b>
	<b>APÊNDICE A - REQUERIMENTO PARA AUTORIZAÇÃO DE USO DE DADOS TÉCNICOS E IMAGENS DE VOLTA REDONDA.....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma PCH.....	25
Figura 2 - Representação de um sistema heliotérmico.....	28
Figura 3 - Capabus em uso em Xangai.....	30
Figura 4 - Ônibus híbrido elétrico.....	31
Figura 5 – Ônibus elétrico movido a bateria.....	32
Figura 6 – Sistema solar off-grid.....	36
Figura 7 – Sistema solar on grid.....	37
Figura 8 –Curva de carga genérica.....	43
Figura 9 – Analisador de Energia.....	45
Figura 10 – Estrutura das bandas de energia em condutores, semicondutores e isolantes.....	53
Figura 11 – Curva característica I-V e curva de potência P-V para um módulo com potência nominal de 100Wp.....	56
Figura 12 – Representação do inversor no sistema fotovoltaico.....	60
Figura 13 – Curvas I-V de um gerador FV em função da temperatura e a compatibilidade, com as janelas de tensão do SPPM e de operação de um inversor genérico.....	63
Figura 14 – Esquema de ligação elétrica diodos de fileira e diodos de by-pass.....	65
Figura 15 – Tabela de modelos de componentes de proteção elétrica.....	67
Figura 16 – Datasheet do chassi D9A.....	69
Figura 17 – Visão aérea da Garagem Municipal de Volta Redonda.....	77
Figura 18 – Tabela de irradiação solar diária média mensal.....	77
Figura 19 – Datasheet módulo fotovoltaico HiKu5 Poly PERCCS3Y-485P.....	80
Figura 20 – Datasheet do inversor CSI-60KTL-GI.....	83
Figura 21 – Área de Exposição.....	88
Figura 22 – Placa de sinalização para geração própria.....	90
Figura 23 – Energia consumida pelo carregador.....	91

Figura 24 – Consumo médio mensal.....	92
Figura 25 – Inclinação das placas.....	93
Figura 26 – HSP médio.....	93
Figura 27 – Valores das perdas.....	94
Figura 28 – Resumo da potência do sistema.....	94
Figura 29 – Dados de dimensionamento placas e inversor.....	95
Figura 30 – Verificações elétricas.....	96
Figura 31 – Distribuição dos painéis solares sobre o telhado da Garagem Municipal de Volta Redonda.....	97
Figura 32 – Zoom da distribuição dos painéis solares sobre o telhado da Garagem Municipal de Volta Redonda.....	97
Figura 33 – Diagrama Elétrico.....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de levantamento de energia individual dos componentes.....	45
Tabela 2 – Exemplo de cálculo médio de energia do analisador.....	47
Tabela 3 – Exemplo de levantamento de consumo médio mensal.....	49
Tabela 4 – Tabela de distância percorrida pelo ônibus.....	71
Tabela 5 – Levantamento da energia mensal consumida.....	76
Tabela 6 – Cotação do material.....	99
Tabela 7 – Levantamento do custo de mão de obra.....	101
Tabela 8 – Levantamento do custo de implementação.....	101
Tabela 9 – Levantamento do custo de manutenção.....	103
Tabela 10 – Levantamento do gasto energético e economia gerada.....	104
Tabela 11 – Fluxo de caixa e Valor Presente.....	107
Tabela 12 – Saldo ao longo do tempo.....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS

R= Resistência elétrica (Ohm)

V= Tensão elétrica (Volt)

I= Corrente elétrica (Ampere)

W= Potência elétrica (Watt)

kV = Quilovolt

Voc = Tensão em Circuito Aberto

Vmp = Tensão Máxima de Pico

Isc = Corrente de curto circuito

Imp = Corrente Máxima de Pico

kW= Quilowatt

MW = Megawatt

GW = Gigawatt

Wp = Watt pico

kWp= Quilowatt pico

MWp = Megawatt pico

Wh = Watt hora

kWh = Quilowatt hora

kWh/dia = Quilowatt hora por dia

kWh/mês = Quilowatt hora por mês

kWh/km = Quilowatt hora por quilômetro

kW/m<sup>2</sup>.dia = Quilowatt por metro quadrado ao dia

h = hora

m<sup>2</sup> = metro quadrado

km = quilômetro

eV = elétron Volt

c.a = Corrente Alternada

c.c = Corrente Continua

Pmp = Potência Máxima de Pico

ddp = diferença de potencial

C = Carbono

Si = Silício

Ge = Germânio

As = Arsênio

Copom = Comitê de Política Monetária

MCI = Motor de Combustão Interna

SFV = Sistema Fotovoltaico

SFVCR = Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

MME = Ministério de Minas e Energia

EUA = Estados Unidos da América

MPPT = Maximum Power Point Tracking

PCH = Pequena Central Hidroelétrica

ANEEL = Agência Nacional de Energia Elétrica

GWEC = Global Wind Energy Council

NTU = Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

BYD = Build Your Dreams

ONU = Organização das Nações Unidas

QGBT = Quadro Geral de Baixa Tensão

SPDA = Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

INMETRO = Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

USCAs = Unidade de Supervisão de Corrente Alternada

PRODIST = Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

TD = Taxa de Desempenho

EVA = Ethylene Vinyl Acetat

UV = Ultravioleta

STC = Standard Test Conditions

VPL = Valor Presente Líquido

PV = Valor Presente

TMA = Taxa Mínima de Atratividade

PRI = Prazo de Retorno de Investimento

INBRAENG = Instituto Brasileiro de Auditoria de Engenharia

## **1 INTRODUÇÃO**

A aquisição de mais um ônibus elétrico na cidade de Volta Redonda, em janeiro de 2020, deixa claro que este meio de transporte é cada vez mais popular nos centros urbanos. Assim como nas grandes cidades do Brasil e do mundo, é muito difícil estabelecer uma vida saudável, sendo que um dos principais motivos dessa queda na qualidade de vida é a poluição causada pelo grande número de veículos que circulam nas cidades.

Uma forma alternativa e que ganha cada vez mais espaço no mercado são os veículos elétricos e híbridos que vem apresentando vantagens na emissão de gases e barulhos, melhor desempenho comparado aos motores de combustão interna (MCI) e custo mais baixo por quilômetros rodados.

No entanto, um problema que ainda persiste nesses veículos são as baterias, que embora venham se desenvolvendo extremamente rápido, ficando cada vez menores e mais eficientes, ainda encontram problemas em termos de autonomia e reciclagem.

A utilização de painéis solares em residências e indústrias mostram como essa forma de geração de energia limpa e sustentável pode ser aplicada de diversas maneiras. Neste caso em questão, como alternativa de recarregar a bateria do ônibus elétrico e reduzir o consumo de energia da distribuidora.

Diante deste problema, este trabalho apresenta um estudo de caso para implementação de uma estação de recarga solar para o carregamento completo de um dos ônibus elétricos existentes na cidade de Volta Redonda, desta forma será obtido um modelo de mobilidade urbana totalmente sustentável.

### **1.1 Objetivo geral**

Projetar um processo de recarga totalmente sustentável, utilizando um sistema de energia fotovoltaico conectado à rede (SFVCR) para o carregamento de um dos ônibus elétricos de Volta Redonda.

## 1.2 Objetivo específico

Portanto os objetivos específicos desse trabalho são:

- Definir a área/local de implantação do SFVCR;
- Estimar a quantidade de energia que será gerada;
- Determinar a potência do sistema de recarga a ser instalado;
- Elaborar projeto preliminar para a implantação do sistema fotovoltaico;
- Analisar o custo para implantar o SFVCR;
- Calcular e analisar a viabilidade econômica para a implantação do SFVCR.

## 1.3 Justificativa

O Brasil possui um território de dimensões continentais, além de um clima e temperatura que permitem diversas formas de geração de energia. As usinas hidrelétricas somadas à energia eólica, solar e biomassa fazem com que o país apresente uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo.

Embora as fontes renováveis sejam significativas na matriz energética, o consumo de fontes de energia não renováveis ainda é superior devido ao uso de petróleo e outros derivados de combustíveis fósseis para obtenção de energia.

Com a sociedade se questionando cada vez mais sobre os impactos sociais, econômicos e ambientais ocasionados para a sustentação do modelo de vida atualmente praticado, tornou-se interessante apostar em outros meios de geração de energia, sendo uma delas a solar fotovoltaica.

Entre as vantagens da instalação de módulos fotovoltaicos para a geração de energia pode-se destacar que são de fácil instalação, tem baixo custo na maioria das construções residenciais e pouca manutenção, podem ser aproveitadas áreas inutilizadas (telhados de prédios, casas e garagens), e apresenta um mínimo impacto ambiental.

Com isso, o tema deste trabalho foi escolhido para mostrar como pode ser estimulada a geração de energia elétrica de formas alternativas, visando a redução de custos e os impactos causados no meio ambiente.

#### **1.4 Metodologia**

Este trabalho foi realizado por meio de um estudo de caso baseado em trabalhos teóricos e práticos a respeito dos componentes do sistema fotovoltaico conectado a rede, pesquisa e análises de artigos e notícias e também foi realizado um memorial de cálculo e simulações afim de justificar a conclusão final.

Durante o desenvolvimento do projeto, foi realizado uma coleta de dados para que possam ser utilizados nos cálculos do sistema afim de deixá-lo o mais próximo possível da realidade.

Para poder organizar a apresentação do assunto, este trabalho é dividido em dez capítulos, da seguinte forma:

- Capítulo 1 - Introdução: Neste capítulo é apresentado o tema, objetivos e motivação pela qual o trabalho foi realizado.
- Capítulo 2 - Referencial teórico: Abordagem sobre as diferentes fontes de energia elétrica existentes no Brasil, dando ênfase as energias sustentáveis e principalmente a solar.
- Capítulo 3 - Mobilidade urbana sustentável: Apresentação sobre diferentes meios de transportes sustentáveis e apresentar os tipos de ônibus elétricos existentes.
- Capítulo 4 - Sistemas Fotovoltaicos: Capítulo dedicado a abordar os sistemas fotovoltaicos em geral, apresentando os modelos, história, funcionamento, normas etc.
- Capítulo 5 - Metodologia: Explicação sobre o modelo do sistema escolhido e também sobre o funcionamento e dimensionamento dos parâmetros e componentes individuais.
- Capítulo 6 - Estudo de caso: Cálculos com embasamento teórico feito no capítulo anterior.

- Capítulo 7 – Resultados: Apresentação das simulações feitas no software SO-Lergo, desenvolvido pela Electro Graphics.
- Capítulo 8 - Análise financeira: Análise de custos e investimentos necessários para a implementação do sistema.
- Capítulo 9 - Conclusão: Conclusão de toda a análise dos estudos e cálculos feitos, apresentando assim o modelo ideal para a implementação.
- Capítulo 10 - Referência bibliográfica: Por fim, apresentação de todas as fontes de pesquisa que foram utilizadas para poder realizar o embasamento teórico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordadas diferentes modalidades de geração elétrica no Brasil, analisando a diferença entre fontes de energia sustentáveis ou não, faz também uma apresentação das principais fontes de geração sustentáveis no país.

### 2.1 Tipos de geração

No Brasil, existem diferentes formas de geração de energia elétrica e que estão espalhadas pelo país. A escolha para decidir o tipo ideal de geração depende de certos fatores, como as fontes de energia disponíveis no local, demanda energética o local onde será instalado.

A eletricidade está presente no dia a dia, nas atividades mais cotidianas e habituais, em residências, indústrias e até mesmo em simples momentos de lazer. Com o consumo de energia aumentando ao longo dos anos, se tornou necessário que a humanidade descobrisse outras formas de geração desse bem tão precioso.

As fontes de energia podem ser classificadas de duas maneiras, podendo ser de origem renovável ou não. As fontes de energia renováveis são aquelas encontradas em abundância na natureza e que possuem capacidade de se renovarem constantemente. Apresentam baixos índices de poluição nas suas fases de produção e por isso são consideradas fontes de energia limpa.

Já as fontes não renováveis são as que apresentam recursos finitos, ou seja, tem um período reduzido na natureza, ainda que sejam encontrados em grandes quantidades. Essas fontes possuem altos impactos ambientais causados pelos gases emitidos durante o processo de combustão.

A seguir serão abordadas as principais fontes de geração de energia encontrados no Brasil, de origens renováveis ou não, e com enfoque no sistema de geração solar, no qual está centrado este trabalho.

## **2.2 Sistema de geração não sustentável**

As fontes de energia não renováveis além de possuírem reservas limitadas, também são consideradas fontes de energia “suja”, pois sua utilização provoca danos ao ambiente. Como exemplo deste tipo de energia temos os combustíveis fósseis e seus derivados, que atualmente são os mais utilizados para a geração de energia no mundo.

As fontes fósseis recebem esse nome devido as origens a partir de restos de animais e plantas que viveram em épocas passadas. Os restos orgânicos foram se depositando ao longo de milhares de anos em camadas muito profundas da crosta terrestre e transformados pela ação da temperatura e da pressão. Os principais tipos de fontes fósseis são o petróleo, carvão mineral, gás natural e seus subprodutos.

O petróleo e o gás natural ocorrem em áreas chamadas de "bacias sedimentares", que são áreas abaixo da superfície terrestre e por serem mais baixas e planas do que as terras ao redor, além dos sedimentos, também podem ser depositadas matéria orgânica.

No Brasil, o petróleo tem sido produzido principalmente no litoral da região Sudeste, onde atualmente é explorado o petróleo do “Pré-sal”. Esse petróleo encontra-se a grandes profundidades e abaixo de camadas de sal encontradas no subsolo marinho.

As usinas nucleares funcionam aproveitando a eficiência do calor gerado na fissão nuclear. Esta fonte é esgotável e não renovável. Diferente das outras fontes citadas, a energia nuclear é considerada uma energia limpa por não produzir gases do efeito estufa. Na cidade de Angra dos Reis, estão concentradas as três usinas nucleares do país, que possuem o nome de Angra I, Angra II e Angra III.

## **2.3 Sistema de geração sustentável**

O crescimento populacional atrelado a crescente dependência por energia elétrica, impulsiona a cada ano o aumento da demanda deste recurso em todo o mundo.

De acordo com os dados do Ministério de Minas e Energia (MME), esse crescimento será de mais de 27% entre 2019 e 2029.

Portanto, fica claro que é preciso aumentar os investimentos em fontes de energia limpa, pois somente desta maneira será possível atender essa demanda sem agredir mais o meio ambiente.

O Brasil fica atrás apenas de grandes países como China e EUA no ranking de produção de energia renovável, com fontes alternativas como energia hidráulica (que faz parte de mais da metade da geração de energia do país), eólica, solar e biomassa que seguem ganhando espaço e incentivos ano após ano.

Desta forma, é válido destacar que o mercado de energia solar está desenvolvendo-se cada vez mais, necessitando somente de incentivos governamentais para a diminuição dos custos de aquisição e instalação, a fim de aumentar o número de usuários no país.

### **2.3.1 Energia hidroelétrica PCH**

No Brasil, quem define as regulamentações para o setor de energia elétrica é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A Resolução Normativa Nº 745 estabeleceu as características necessárias para uma usina ser considerada uma Pequena Central Hidrelétrica e os procedimentos para receber sua outorga.

Para se formar uma PCH é construído uma barragem em um rio com o intuito de represar a água. A água represada é encaminhada para a casa de força, onde ficam as turbinas e geradores que vão transformar a energia do movimento da água em energia elétrica.

Segundo informações da ANEEL, existem atualmente 463 pequenas centrais hidroelétricas instaladas no Brasil, e que somadas geram uma potência instalada de 4.658.669 kW. A figura 1 ilustra a representação de uma PCH.

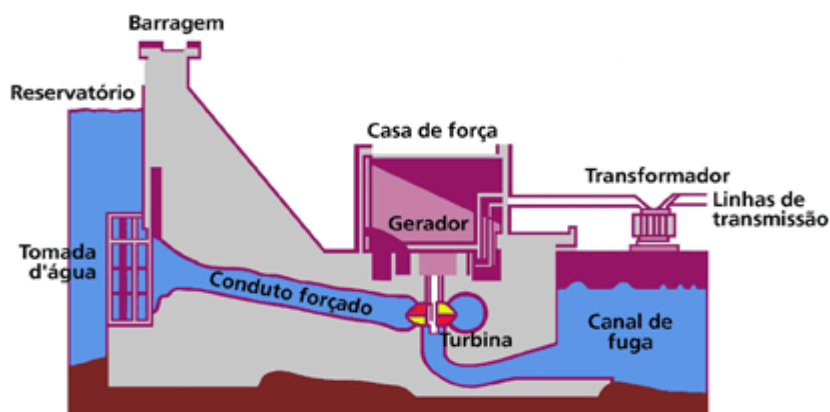


Figura 1 – Representação de uma PCH

Fonte: abrapch.org.br (2014)

### 2.3.2 Energia eólica

A utilização do vento como fonte de energia mecânica vem de mais de 3000 anos, muito usado naquela época para movimentação de barcos. Durante o período da idade média, uma estrutura conhecida como “moinho de vento” começou a ficar popular em fazendas. Estas estruturas eram torres bem altas que tinham quatro pás gigantes no seu topo que ficavam viradas para a direção que vinha o vento. O vento ao passar por essas pás, as fazia girar e conseqüentemente fazia funcionar todo um sistema dentro da estrutura. Estes sistemas eram destinados principalmente a moer grãos e séculos depois começou a ser usado também para bombear água.

O moinho de vento serviu de base para que em 1888, o inventor norte-americano chamado Charles Francis Brush, criasse o que pode ser considerado o primeiro aerogerador. O sistema criado por ele, embora bem rudimentar, é bem parecido com o que temos hoje em dia. Basicamente o que se precisa é de um componente para a interação com o vento, um gerador de energia elétrica convencional, uma caixa de engrenagem para conectar o eixo dos dois componentes e uma linha de transmissão para poder levar a eletricidade gerada a um local destinado.

Com relação ao potencial elétrico deste meio de geração, ele vem ganhando cada vez mais destaque e importância nas últimas décadas, principalmente a partir dos anos 70 com a chamada crise do petróleo. De acordo com o relatório de 2019 da Global Wind Energy Council (GWEC), os principais países em capacidade de geração

eólica são a China e os Estados Unidos, o Brasil ocupa o 7º lugar no ranking. Atualmente a utilização de energia eólica compõe 6,9% da matriz energética brasileira.

Um detalhe interessante a comentar sobre a importância das usinas eólicas no país é sobre seu complemento a energia hidráulica. A energia hidráulica tem seus períodos de alta no começo e no final do ano, geralmente entre os meses de outubro a março, no momento em que o fluviograma começa a entrar em baixa, é quando o regime anual dos ventos começa a aumentar e o sistema eólico começa a ter uma maior capacidade de geração.

### **2.3.3 Energia biogás**

Outra fonte de energia bastante utilizada no Brasil são os produtos orgânicos, que podem ser encontrados em diversas formas diferentes e também podem ser utilizados em várias aplicações. Essa energia proveniente de resíduos orgânicos é chamada de biomassa e ela pode ser usada de duas formas: a direta, onde os resíduos são aproveitados ainda na fase sólida ou líquida natural e a indireta, onde se ocorre um processo de pirólise e gaseificação para transformar o resíduo original em combustível.

O resultado de uma das utilizações indiretas é o biogás, um gás gerado durante a decomposição de microbactérias de forma anaeróbica (quando não há presença de oxigênio na decomposição). Ele é composto pela soma de vários gases como gás carbônico, nitrogênio, gás sulfúrico e principalmente o gás metano. Após gerado ele possui a capacidade de combustão, onde a partir daí pode ser utilizado como combustível para motores e conseqüentemente geradores. Um detalhe que vale a pena ressaltar, é o fato de que os resíduos que ocorrem durante a combustão (cinzas e carbono) permanecem no interior do gaseificador, diminuindo assim a emissão de partículas na atmosfera.

Os estudos e aplicações do biogás ocorreram durante séculos, começando com sua descoberta pelo cientista inglês Thomas Shirley no século XVII, passando pela sua aplicação como combustível de aquecimento e iluminação urbana no século XIX, sua forma como alternativa aos combustíveis principais derivados de petróleo durante as épocas de guerra e crises do século XX, até os dias atuais onde ocorre

uma grande preocupação com emissão de poluentes no ambiente e a necessidade por meios de energia mais sustentáveis.

Atualmente no Brasil a utilização de biomassas representa 8,4% da matriz energética elétrica e tende a crescer ainda mais, principalmente em ambientes agrícolas devido a sua abundância em matéria orgânica natural, mas também em meios urbanos com a geração de energia através de esgotos e reciclagem de lixos orgânicos.

#### **2.3.4 Energia solar**

Nos últimos anos a energia solar vem ganhando cada vez mais destaque como fonte de energia inovadora e cada vez mais surgem diferentes formas de aplicá-la. Atualmente existem três formas principais do uso da energia solar: o sistema de aquecimento solar, o sistema heliotérmico e o sistema fotovoltaico.

O sistema de aquecimento solar é geralmente utilizado para aquecer água utilizando a energia do sol, porém é possível aplicá-lo no aquecimento de outros materiais dependendo do nível de temperatura que se quer atingir, basicamente é composto de uma placa especial formada por um conjunto tubos de cobre em que a parte externa fixa exposta ao sol e aquece o tubo e na parte interna é por onde percorre a água que troca calor com o tubo. Dependendo da aplicação é preciso também de um reservatório térmico (Boiler) para armazenar a água quente para que ela possa ser utilizada em outro momento.

O sistema heliotérmico se define pela geração de energia elétrica através de energia solar de forma indireta, nele é utilizado sistema de aquecimento de água visto anteriormente, porém ao invés de utilizar a água quente para algum fim mais usual, ela é utilizada para aquecer outro recipiente com água de um sistema térmico, e com esse vapor ocorre o movimento de uma turbina acoplada a um gerador elétrico. A figura 2 mostra um esquema de funcionamento do sistema heliotérmico.

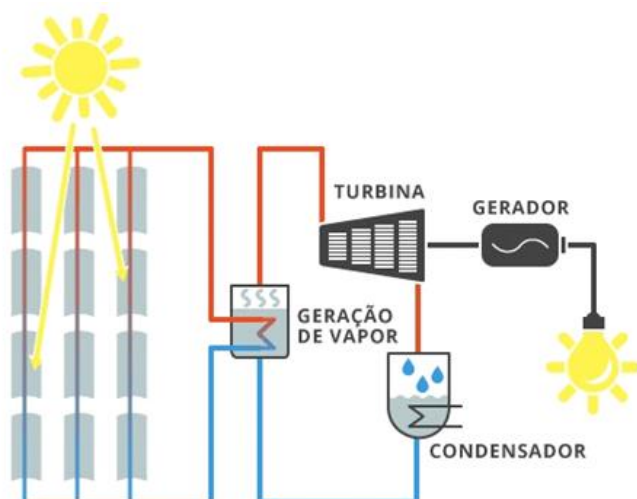


Figura 2 – Representação de um sistema heliotérmico

Fonte: portalsolar.com.br (2016)

### 3 MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

Diante do aumento da poluição do ar urbano e do número de veículos motorizados registrados nos sistemas de mobilidade de muitas cidades em expansão ao redor do mundo, tem aumentado continuamente os desafios relacionados as finanças e transporte. A contribuição dos veículos elétricos para a solução desses problemas deve ser analisada e no Brasil, algumas empresas já mostram avanços nesse sentido.

Os desafios enfrentados pelo setor de transportes para fazer as contribuições necessárias para a proteção do clima e melhorar a qualidade do ar nunca foram tão grandes. A tecnologia dos motores a combustão internos está atingindo seu limite em termos de redução do consumo de combustíveis e níveis de poluentes (SCHERF, WOLTER, 2016, prefácio).

Um dos exemplos é a cervejaria Ambev que anunciou em 2021, a aquisição de mil veículos elétricos com o objetivo de ter 50% de sua frota movida a energia limpa até 2023.

Outro caso é a parceria entre a empresa Renault com a WEG, ABR Energias, BRAFER e Sistema Fiep na construção de um protótipo de garagem fotovoltaica no Complexo Industrial Ayrton Senna. O modelo desenvolvido pode gerar 8,67 MWh/ano, o que permite a recarga de até 167 baterias de diversos veículos elétricos.

#### 3.1 Ônibus Elétricos

O primeiro relato que se tem do ônibus elétrico movido a bateria que circulou no Brasil foi em 1917, na cidade do Rio de Janeiro, de acordo com o Museu do Transporte da NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos.

A crescente ideia dos veículos elétricos como futuro do meio automotivo se prova com os diversos modelos já lançados, com muita adesão na Europa e América do Norte. No transporte público não é diferente. Assim como nos veículos leves, a mobilidade urbana tende ao mesmo caminho.

Na China, os ônibus elétricos a bateria, já dominam as vias do país mais populoso do mundo. Em 2019, com mais de 421.000 ônibus em circulação, representou

17% da frota total. No Brasil, algumas cidades já estão implementando esses veículos devido as suas vantagens econômicas e ambientais, como por exemplo, a cidade de São Paulo.

## 3.2 Tipos de Ônibus Elétricos

É importante lembrar que não existe apenas um tipo de ônibus elétrico, além do ônibus a bateria existe também o chamado Capabus, utilizado em algumas cidades chinesas e os ônibus híbridos elétricos. O trólebus não foi mencionado devido sua necessidade de obter energia através de “coletores de energia” em fios aéreos que correm sobre a via, sendo assim, veículos de pista exclusiva.

### 3.2.1 Capabus

O Capabus, figura 3, é um veículo elétrico desenvolvido em Xangai, que opera sem a necessidade de linhas aéreas contínuas, sendo autônomo e utilizando a energia armazenada em grandes capacitores que permitem rápida absorção e o armazenamento de grandes quantidades de energia. Esses ônibus são equipados com coletores de energia que são rapidamente recarregados por meio de uma rede aérea sempre que o veículo para em um ponto de ônibus. Os ônibus também podem regenerar energia durante a frenagem, e as estações de recarga podem ser equipadas com painéis solares.



Figura 3 – Capabus em uso em Xangai

Fonte: Retirado do artigo Eletromobilidade, Documento Técnico #15, antigo.mdr.gov.br (2016)

Baseado na maior estabilidade do ciclo e maior vida útil dos capacitores, espera-se que os ônibus elétricos equipados com supercapacitores tenham um menor custo de operação que os ônibus com bateria de íon de lítio.

### 3.2.2 Ônibus híbrido elétrico

O ônibus híbrido elétrico é um ônibus que combina um sistema convencional com um motor de combustão interna e um sistema elétrico de propulsão. A partida do ônibus é dada por um motor a diesel, fazendo com que o eixo saia da inércia e em seguida, é alternado para o motor elétrico. Isso faz com que a emissão de gases poluentes seja 90% menor que os ônibus convencionais. O principal desafio para esses veículos serem implementados em larga escala, é devido seu custo elevado, embora tenham maior vida útil. A figura 4 apresenta um ônibus híbrido elétrico, fabricado pela empresa paulista Eletra.



Figura 4 – Ônibus híbrido elétrico

Fonte: mobilize.org.br (2019)

### 3.2.3 Ônibus elétrico a bateria

Os ônibus elétricos a bateria, figura 5, são acionados por um motor elétrico que obtém energia das baterias presentes no veículo, esses automóveis oferecem emissão zero, operação silenciosa e melhor aceleração em comparação aos ônibus tradicionais, além de recuperarem energia de frenagem para aumentar a eficiência.



Figura 5 – Ônibus elétrico movido a bateria em São Paulo

Fonte: g1.com.br, (2018)

Os ônibus a bateria têm uma menor autonomia, maior peso e maiores custos de aquisição. Os ônibus a bateria são usados quase exclusivamente em áreas urbanas, e não no transporte de longo curso, embora empresas já estejam desenvolvendo veículos que atendam essas necessidades, a montadora chinesa BYD junto da empresa brasileira WEG participam deste processo.

### 3.3 Montadoras de Ônibus elétricos

Com um cenário cada vez maior de montadoras especializadas em veículos elétricos, vale destacar algumas que já estão no mercado nacional e internacional. O enfoque maior vai para a montadora BYD, na qual o chassi do veículo está sendo usado como referência para este trabalho.

#### 3.3.1 BYD

A empresa chinesa BYD é uma das maiores fabricantes de baterias e de veículos elétricos do mundo. Em 2019, foi premiada pela revista Fortune como uma das três empresas que mais se dedicam em mudar o mundo para melhor. Em 2016, foi premiada pela ONU por seu desempenho em veículos com capacidade de zero emissão de poluentes.

A BYD está em território nacional desde 2015, com fábricas atuando nos setores de produção de chassis de ônibus elétricos, produção de módulos fotovoltaicos, baterias e comercialização de veículos e empilhadeiras.

### **3.3.2 Eletra**

A Eletra é uma empresa nacional criada em 1988, possui atualmente cerca de 400 ônibus com tração elétrica em operação na grande São Paulo, além de cidades na Argentina e Nova Zelândia. A fabricante mantém linhas de produção de veículos com as seguintes tecnologias: trólebus (rede aérea), híbrido, elétrico puro, dual bus (híbrido e trólebus), e dual bus (híbrido e elétrico puro).

### **3.3.3 Volvo**

Desde 2012, a montadora sueca Volvo conta com ônibus elétricos circulando em cidades brasileiras, como Curitiba (PR), Santos (SP), São Paulo (SP) e Foz do Iguaçu (PR). Se destacando não só pelos ônibus elétricos, a empresa possui linhas de montagem para carros e caminhões elétricos. Além de estabelecer parcerias para desenvolver projetos que visam a sustentabilidade.

## **3.4 Ônibus Elétricos em operação em Volta Redonda**

Em 2018, um projeto idealizado pela prefeitura de Volta Redonda, visou beneficiar a economia da cidade, tanto quanto o bem-estar dos passageiros. Contando a princípio com um ônibus elétrico, a cidade foi a pioneira em operar um ônibus elétrico público no Brasil. Atualmente, o projeto conta com três ônibus elétricos com passagem gratuitos que circulam pelos principais centros comerciais da cidade e ainda contam com Wi-Fi, ar-condicionado, carregador de celular e velocímetro exposto ao passageiro. Com esta iniciativa, a prefeitura visou melhorar a experiência em mobilidade urbana dos passageiros na cidade do interior do Rio de Janeiro.

Atualmente o projeto atende cerca de três mil pessoas por dia e mostra o quanto importante socialmente essas iniciativas são para cidade, além de demonstrar os avanços tecnológicos no setor de transporte público.

## 4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistemas fotovoltaicos estão ficando cada vez mais populares nos últimos anos, começando a ser bastante comuns em pequenas indústrias e residências, contudo, sua caminhada ainda está no começo visto que esses modelos representam uma parcela bem pequena na matriz elétrica mundial. Hoje temos diferentes tipos de sistemas com vantagens e desvantagens dependendo da forma de aplicação e também ainda há muito o que ser discutido sobre a forma de comercialização da energia gerada.

### 4.1 História e mercado

O efeito fotovoltaico foi descoberto em meados do século XIX, época em que ocorreram diversos estudos e descobertas relacionadas a eletricidade, em 1839 o físico francês Alexandre Edmond Becquerel fez um experimento colocando duas placas metálicas em um eletrólito e logo após expondo-as ao sol. Fazendo isso ele conseguiu perceber que foi gerada uma diferença de potencial entre os terminais das placas, isso foi chamado de efeito fotovoltaico. Porém apenas em 1954 o químico estadunidense Calvin Souther Fuller, elaborou um processo de dopagem do silício que fazia elétrons saltarem da banda de valência de um material para a banda de condução utilizando apenas energia solar, essa descoberta deu início ao que chamamos de energia solar moderna.

Em 1958 a energia solar começou a ser usada na prática, sendo aplicada como alimentação no rádio do satélite Vanguard I, logo após o sucesso desse sistema a energia solar começou a ganhar espaço em solo firme, onde começou a ser utilizada para alimentação de sistemas elétricos, residenciais, industriais, automotivos e vários outros. Em 2000 deu-se início ao conceito de energia solar integrado a rede (on-grid), no qual gerou um crescimento espontâneo muito grande, com uma produção anual de 4200 MWp.

Atualmente a energia solar ainda representa uma parcela bem pequena da matriz elétrica, tanto mundial com 2%, quanto a brasileira com 1,8%. Contudo, seu cres-

cimento continua tendo no ano de 2019 um aumento de 212% no Brasil correspondendo a um investimento de R\$ 4,8 bilhões. Em 2020, por causa da pandemia, esse crescimento diminuiu, porém ainda assim o Brasil alcançou a marca de 7 GW de potência instalados, sendo 57% destinados apenas a micro e mini geração. No cenário atual, contamos com 174 mil sistemas fotovoltaicos on grid instalados e a previsão é para que em 2024 tenhamos um total de mais de 880 mil sistemas instalados.

## 4.2 Tipos de geração fotovoltaicas

Assim como outros meios de geração, o sistema fotovoltaico possui diferentes arranjos para situações específicas, e alguns deles ainda possuem diferentes formas de serem tarifados. Os dois sistemas principais existentes, são o *off grid* e o *on grid*, existindo também um terceiro sistema chamado de híbrido, onde se mistura os dois sistemas anteriores.

O sistema *off grid* é totalmente autônomo, onde a energia gerada é para consumo próprio e não necessita de interligação com a rede de uma distribuidora. Com isso a instalação fica dependente somente da energia gerada pelas placas. Este é um sistema com aplicações bem específicas, como no caso fornecer energia elétrica em um lugar que não haja rede de distribuição próxima, seu maior problema no qual o faz se tornar inviável em várias situações, é o alto custo das baterias com relação ao tempo de vida delas, isso faz com que precisem ser trocadas após 5 anos e ao analisar o custo de investimento e manutenção, se torna bem mais caro que o sistema *on grid*. A figura 6 representa o esquema de funcionamento do sistema *off-grid*.

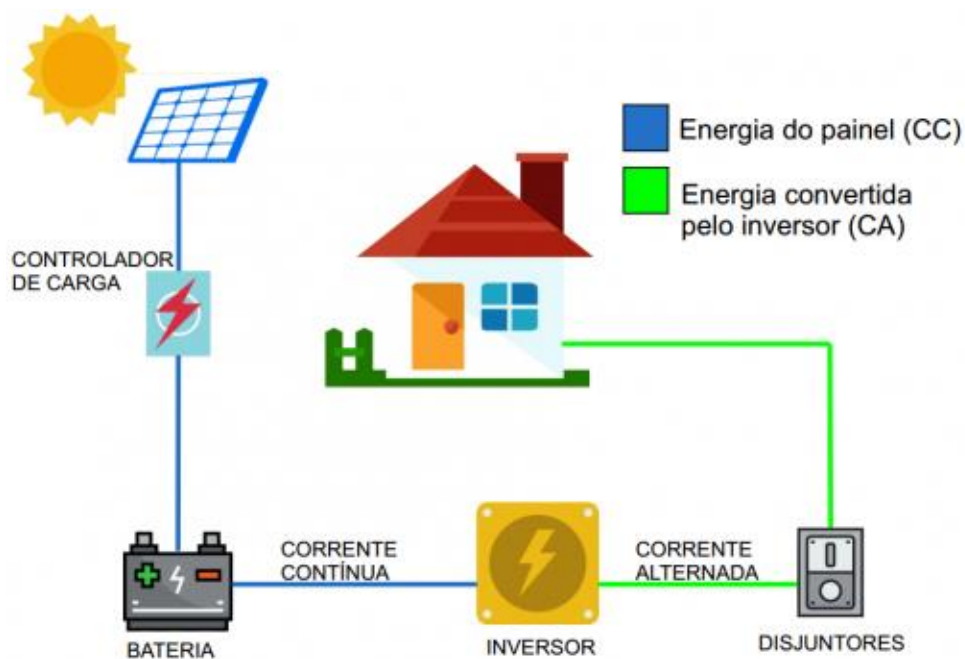


Figura 6 - Sistema solar *off grid*

Fonte: [energytecsolar.com.br](http://energytecsolar.com.br) (2016)

O outro sistema principal em instalações fotovoltaicas é o sistema *on grid* (SFVCR), figura 7, nesse sistema ao invés de termos um banco de baterias o qual torna a instalação totalmente independente, temos a interligação do sistema de geração fotovoltaica com a rede da distribuidora local. Com o isso o sistema se torna dependente do fornecimento de energia da rede local, mas ainda assim tendo o valor de sua tarifa reduzido consideravelmente em função da energia gerada e ainda tendo um custo de instalação e manutenção bem inferior.

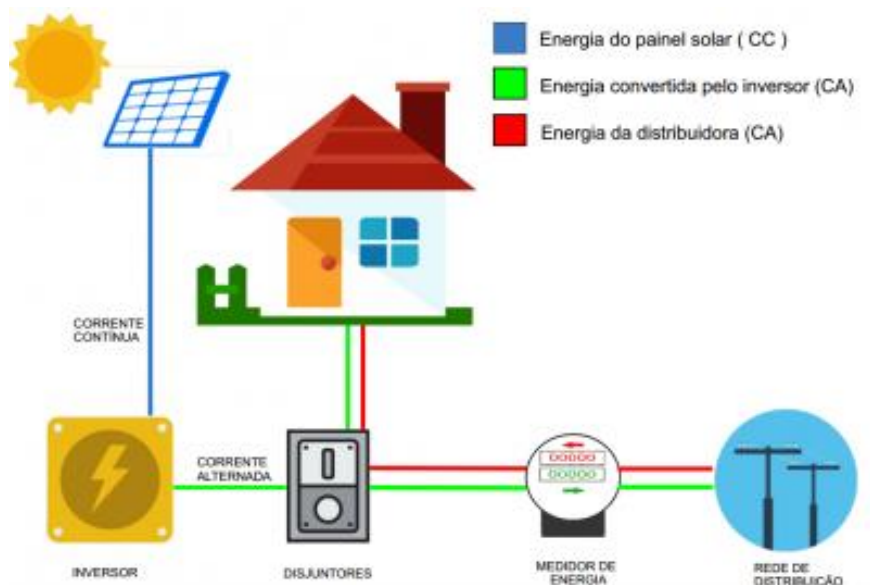


Figura 7 - Sistema solar *on grid*

Fonte: energytecsolar.com.br (2016)

Ainda dentro do sistema de geração fotovoltaica *on grid* podemos ter três tipos de sistemas que são baseados nas resoluções normativas REN 482 de 17 de abril de 2012 e suas respectivas alterações como a REN 687 de 24 de novembro de 2015 e a REN 786 de 17 de outubro de 2017. De acordo com essas resoluções, os sistemas podem se enquadrar como: usinas de geração; sistemas de minigeração; sistemas de microgeração.

As usinas fotovoltaicas de geração são, na maioria dos casos, unidades voltadas especialmente para a produção de energia solar em larga escala com o intuito de injetar energia elétrica na rede afim de comercializá-la. Estas usinas possuem uma potência de geração de pelo menos 5 MW e distribuem sua energia em linhas de alta tensão, geralmente 138 kV.

Os sistemas solares de minigeração são aqueles que possuem uma potência de geração entre 75 kW e 5 MW. Muitas destas unidades são grandes instalações comerciais e industriais de médio porte, onde tem como principal objetivo a redução de custos com contas de luz e também uma certa independência da rede da distribuidora.

Com relação aos sistemas fotovoltaicos de microgeração, são aqueles que possuem uma potência de geração menor do que 75 kW e também são os mais populares, esse é o sistema instalado em residências, comércios e indústrias de pequeno

porte. Assim como o de minigeração, o principal objetivo desse sistema é a redução de custos com conta de luz, como foi dito anteriormente a partir do ano 2000 as instalações *on grid* começaram a ganhar popularidade, sendo que na maior parte dos sistemas instalados eram de microgeração.

### 4.3 Componentes do SFVCR de microgeração

A maioria dos sistemas fotovoltaicos possuem a mesma estrutura ou pelo menos o mesmo conceito inicial, em todos eles você vai ter os seguintes elementos:

- Painéis solares: Responsáveis pela geração de energia elétrica a partir da captação de energia solar. É o equipamento mais importante presente em um sistema solar, devido ao fato de ser o responsável pelo diferencial de outros meios sustentáveis como o da energia eólica.
- Inversor solar: Outro equipamento extremamente importante não só nas instalações fotovoltaicas, mas como em outras aplicações. Sua principal função é transformar a tensão contínua gerada pelas placas, em uma tensão alternada que é a mais utilizada em instalações elétricas.
- *String Box*: É uma caixa de proteção obrigatória em sistemas *on grid*, e na maioria dos casos do *off grid*. Nesta caixa contém todos os dispositivos responsáveis por proteger o inversor, os painéis solares e o sistema elétrico geral da instalação. Existem três tipos de *String Box*: as *String Box CC*, onde contém apenas as proteções das partes de corrente contínua da instalação; as *String Box CA*, onde contém apenas as proteções das partes de corrente alternada e que também são obrigatórias em sistemas *on grid*; e as *String Box Conjugadas*, onde apresentam todas as proteções em uma única caixa. Vale ressaltar que os condutores de corrente contínua não podem estar no mesmo eletroduto ou eletrocalha que os condutores de corrente alternada, mas podem estar nas mesmas caixas de passagem ou painéis de seccionamento / proteção.
- Medidor bidirecional: Para os sistemas *on grid*, é necessário a instalação de um medidor bidirecional feito pela distribuidora local, responsável por medir a energia que foi consumida pelo cliente e também a energia que foi injetada na rede. Com isso pode ser feito um sistema de compensação (*Net Metering*) onde

o excedente de energia gerado acumula créditos para que possa ser abatido em futuras contas de energia.

#### 4.4 Tarifação

Como foi visto a energia solar representa um percentual muito baixo tanto na matriz elétrica brasileira, quanto na mundial, mediante isso formas de incentivo foram desenvolvidas a fim de aumentar o interesse de clientes pela implementação deste sistema. Geralmente isso é feito através dos meios de tarifação a serem aplicados em consumidores de mini e micro geração, os dois modelos principais são o *Feed in* e o *Net Metering*.

A tarifa *Feed-in* não ficou muito popular no Brasil, mas é muito comum na Europa, consiste na venda do valor de energia produzida para a distribuidora por um sistema chamado de tarifa premium, que por sua vez, é mais vantajoso devido ao fato do valor da tarifa premium ser maior do que o valor da tarifa convencional. O grande objetivo deste sistema é incentivar ainda mais o uso de fontes de energia renováveis, logo o mesmo se torna ainda mais importante no continente europeu, já que a matriz energética de lá é composta por 70% de fontes de energia não renováveis. Porém é um sistema que deve ser implantado com muito cuidado, pois caso a quantidade de sistemas cresça demais, o mesmo pode gerar um aumento no custo da tarifa muito grande, prejudicando assim aqueles que não possuem um sistema de geração sustentável.

O *Net Metering* ou sistema de compensação, é o sistema utilizado no Brasil, onde o valor cobrado na conta de luz é dado pela diferença entre a energia consumida e a energia gerada pelo cliente. Contudo, o cliente ainda precisa pagar a chamada taxa mínima, ou custo de disponibilidade no qual varia dependendo do tipo de medidor a ser instalado, segundo a REN 414/10 da ANEEL, os valores mínimos são de:

- 30 KWh, para monofásico ou bifásico a 2 condutores;
- 50 KWh, para bifásico a 3 condutores
- 100 KWh, para trifásico.

Então por exemplo no caso de um consumidor que gaste em um determinado mês um total de 250 KWh, que tenha instalado um medidor trifásico e tenha gerado um total de 200 KWh, ele irá pagar em sua conta de luz um valor referente a 100 kWh ao invés de 50 kWh. Outro detalhe importante deste modelo é o fato de que pode ocorrer a chamada geração compartilhada, onde caso um cliente tenha mais de uma locação e o CPF ou CNPJ das tarifas tenha a mesma titularidade, o mesmo sistema ou grupo de sistemas entram no mesmo cálculo de compensação.

Existem detalhes específicos para cada caso, mas todos estão prescritos no Art.7º da REN 482/12 que trata sobre “*No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica devem ser observados os seguintes procedimentos:*”. Ressaltando que este artigo foi inteiramente revisado pela REN 687/15.

#### **4.5 Resoluções Normativas**

Como o SFVCR envolve a interligação de diferentes sistemas e também envolve uma forma de tarifação diferente, é indispensável que existam normas regulamentadoras a fim de estabelecer um padrão e um controle das instalações. Existem no Brasil um número extenso de normas sobre o assunto, algumas voltadas para segurança técnica das instalações e outras voltadas para classificações e procedimentos burocráticos.

Como principais normas de segurança brasileira temos:

- NBR 10899 - Energia solar fotovoltaica - Terminologia;
- NBR 11704 - Sistemas fotovoltaicos - Classificação;
- NBR 16149 - Sistemas fotovoltaicos - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- NBR 16150 - Sistemas fotovoltaicos - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade;
- NBR 16690 - Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto;
- NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão.

Como principais resoluções normativas brasileiras temos:

- REN 482/2012 - Minigeração e microgeração distribuída;
- REN 517/2012 - Alteração a REN 482/12
- REN 687/2015 - Alteração a REN 482/12.
- REN 786/2017 - Alteração a REN 482/12.
- REN 506/12 - Estabelece as condições de acesso ao sistema de distribuição por meio de conexão a instalações de propriedade de distribuidora e dá outras providências.

Até a data da elaboração deste trabalho, maio de 2021, tramita um projeto de lei na pauta no plenário da Câmara, que é o PL 5829/2019, a fim de rever as regras presentes no Art.7º REN 482/2012 no que diz respeito a forma de compensação da geração distribuída. Este projeto foi apresentado em outubro de 2019 e acabou gerando uma polêmica nos últimos anos, chamado de “Taxação do Sol”. O processo ainda está em pauta para ser votado.

## 5 METODOLOGIA

Este capítulo se dedica a explicação do desenvolvimento de um sistema fotovoltaico, abordando as etapas necessárias para elaboração e dimensionando os parâmetros e componentes individuais do projeto.

### 5.1 Etapas para elaboração de um projeto fotovoltaico

A elaboração de um projeto fotovoltaico envolve as seguintes etapas:

- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico
- Dimensionamento do inversor para interligação com a rede;
- Dimensionamento das proteções necessárias e rendimento do sistema;
- Simulação em software dedicado a SFV.

### 5.2 Levantamento de demanda e consumo

O consumo de um equipamento diz respeito a quantidade de energia que ele gasta e é acima dele que é calculado o valor da conta de luz. Logo é de extrema importância que se desenvolva métodos para o cálculo e a análise desta grandeza.

Em equipamentos isolados ou em um grupo de equipamentos que operam pelo mesmo intervalo de tempo, este valor pode ser obtido pelo simples produto da potência nominal do equipamento pelo intervalo de tempo que ele opera, conforme mostra a equação 1.

$$E = P * t [Wh] \quad (1)$$

No caso de instalações mais complexas, que possuem diversos equipamentos, com diferentes potências cada e que operam por diferentes intervalos de tempo, o valor da energia gasta pode ser obtido de outra forma desde que se tenha um gráfico chamado curva de carga, que relaciona a potência total em função do tempo. Na figura 8 é possível observar que a energia será dada pela área da região que estiver abaixo da função e acima do eixo horizontal. O cálculo dessa área pode ser feito por uma integral definida, equação 2, e caso a função  $p(t)$  seja conhecida, é bem possível que seja possível utilizar um método analítico para a integração, mas caso não seja possível ou a função não seja bem definida é possível utilizar um método numérico para a integração.

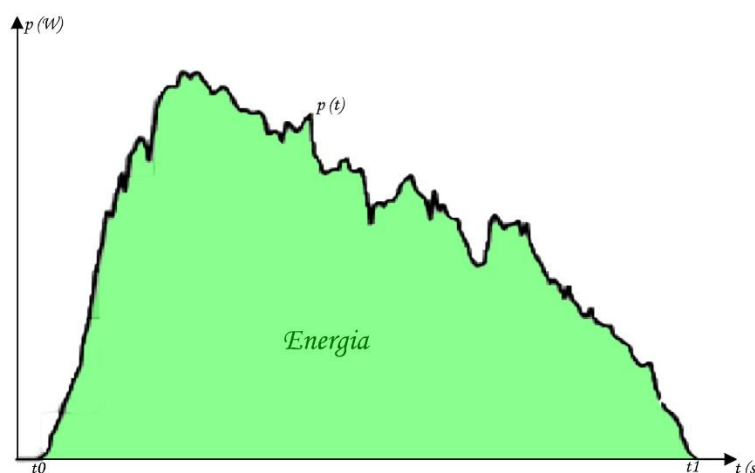


Figura 8 – Curva de carga genérica

Fonte: Autores (2021)

$$E = \int_{t_0}^{t_1} p(t) dt \quad (2)$$

Contudo, para se obter uma curva de carga bem precisa é necessária uma tarefa que pode ser extremamente trabalhosa dependendo da complexidade da instalação e do método a ser utilizado. Em um SFVCR o levantamento da curva de carga mensal, pode ser feito por três métodos principais:

- Levantamento da energia individual dos componentes;
- Analisador de energia;
- Consumo médio do consumo anual.

### 5.2.1 Levantamento de energia individual dos componentes

Este é um método comum a ser utilizado em sistemas *off grid*, mas pouco utilizado em sistemas *on grid*. Nesse método devemos fazer um levantamento da potência dos equipamentos utilizados e o tempo de operação deles, como é demonstrado nas equações 3 e 4. Podemos criar uma tabela com as informações e utilizar a seguinte fórmula para o cálculo da energia:

$$E = P * Dm * Td \quad (3)$$

$$Et = \sum Pn * Dmn * Tdn \quad (4)$$

Onde:

- E - Energia individual mensal do equipamento [kWh/mês];
- Et - Energia total mensal da instalação [kWh/mês];
- P/Pn - Potência do equipamento analisado [kW];
- Dm/Dmn - Dias de utilização do equipamento no mês [dia/mês];
- Td/Tdn - Tempo de utilização do equipamento durante o dia [h/dia].

Na tabela 1, é demonstrado um exemplo de cálculo por este método. Embora tenha um cálculo bem prático, ele não é muito eficiente para sistemas *on grid* que possuem diversos equipamentos, pois não leva em consideração diversos fatores e exige um levantamento de carga que pode ser demasiadamente trabalhoso dependendo da complexidade da instalação. Porém no caso de sistemas com cargas unitárias, este método pode-se ter uma estimativa bem próxima da realidade.

Carga	Potência (kW)	Dias de utilização no mês (dia/mês)	Tempo de utilização no dia (h/dia)	Consumo (kWh/mês)
<b>Equipamento 1</b>	1	20	15	300

<b>Equipamento 2</b>	2	15	10	300
<b>Equipamento 3</b>	3	10	5	150
<b>Total</b>				<b>750</b>

Tabela 1 - Exemplo de levantamento de energia individual dos componentes

Fonte: Autores (2021)

### 5.2.2 Analisador de energia

O analisador de energia é um aparelho responsável por medir e registrar as informações de energia consumida por um equipamento durante o tempo em que ele estiver instalado. Ele possui um conjunto de amperímetros e voltímetros que conseguem medir a forma de onda senoidal das grandezas e com isso é possível realizar diversas análises conforme o objetivo pretendido.

Este medidor é comumente utilizado como ferramenta de análise em instalações com problemas de picos ou quedas elevadas de tensão. Em alguns casos estes problemas podem ser originados da própria rede da distribuidora e para que se possa abrir uma reclamação com embasamento técnico, é necessário um laudo elaborado com base em um analisador de energia certificado pelo INMETRO, similar ao da figura abaixo.



Figura 9 - Analisador de Energia

Fonte: megabras.com (2021)

Outra aplicação pode ser simplesmente para suprir a necessidade de um histórico de energia de um maquinário ou uma instalação, como inversores de frequência, soft-starters, USCAs ou carregadores de potência. Como estes equipamentos servem para alimentar ou controlar cargas específicas e que possuem um gasto de energia considerável, é interessante ter um histórico de consumo para fazer um controle financeiro ou auxiliar em uma manutenção.

A vantagem de se utilizar esse método é o fato dele ser o mais preciso de todos, logo que é baseado em medições reais com as condições de operações do dia a dia. O processo para o cálculo da energia consumida durante o mês, é semelhante ao processo anterior, mas dependendo da periodicidade de registro que for parametrizado, é possível que se tenha mais de uma medição durante uma hora. Nesse caso é preciso calcular a média da potência consumida durante essa hora, e em seguida realizar o somatório de todas as médias encontradas, conforme o exemplo da tabela 2.

Horário	Potência	Média de consumo (kWh)
06:00	3	2
06:20	3	
06:40	0	
07:00	4	3
07:20	3	
07:40	2	
<b>Total</b>		<b>5</b>

Tabela 2 - Exemplo de cálculo médio de energia do analisador

Fonte: Autores (2021)

No caso após realizar a média e o somatório de todos os horários em um dia, a unidade da energia total será dada por kWh/dia e conseqüentemente quando se realizar o somatório de um mês inteiro a unidade será dada por kWh/mês.

Embora seja possível realizar o cálculo da energia consumida tendo como dados a potência instantânea e o horário que ela foi medida, a maioria dos analisadores de energia já fazem esse cálculo automaticamente.

### 5.2.3 Consumo médio do consumo anual

O método do consumo médio com base no consumo anual é sem dúvida o método mais utilizado para cálculos fotovoltaicos, devido sua simplicidade e praticidade. Assim como no método do analisador de energia, esse método utiliza dados reais para embasar os cálculos, embora ele seja bem menos preciso em termos de dias ou semanas, ele trabalha os valores mensais em um período anual, o que garante um valor médio para o ano todo.

Isso se torna ainda mais prático, pois de acordo com o item 2.6.1 do módulo 11 da PRODIST da ANEEL, a própria tarifa de luz obrigatoriamente deve possuir um histórico de consumo dos últimos 12 meses, com estes dados é possível realizar a média de consumo anual, representado pelas equações 5 e 6. Esta média pode ser calculada com base em uma ou em todas as instalações que estejam no mesmo CPF ou no mesmo CNPJ. Como no sistema de tarifação Net Metering o excesso de energia é gerado créditos para o consumidor, não importa se em um determinado momento o sistema gere menos do que o consumido, pois da mesma forma em outros momentos o sistema irá gerar mais energia do que necessário. Quando se tratar de várias instalações o valor de consumo total deve ser a soma da média das instalações, conforme o exemplo da tabela 3.

$$E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{12} E_i}{12} \quad (5)$$

$$E_t = \sum_{i=1}^n E_{medi} \quad (6)$$

Onde:

- E - Energia consumida mensal da instalação (kWh/mês)
- Emed - Energia consumida média anual da instalação (kWh/mês)
- Et - Energia consumida média total anual (kWh/mês)

Mês	Consumo instalação 1 (kWh/mês)	Consumo instalação 2 (kWh/mês)
1	100	300
2	200	400
3	100	300
4	200	400
5	100	300
6	200	400
7	100	300
8	200	400
9	100	300
10	200	400
11	100	300
12	200	400
<b>Média</b>	150	350
<b>Energia total</b>	<b>500</b>	

Tabela 3 - Exemplo de cálculo de consumo médio mensal

Fonte: Autores (2021)

### 5.3 Localização

A escolha do local em que os painéis fotovoltaicos serão efetivamente instalados pode ser determinante para seu desempenho, mesmo que seja dentro de uma

área com exposição solar uniforme. A junção com elementos arquitetônicos e a presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas podem afetar a eficiência do sistema.

#### **5.4 Avaliação do recurso solar**

Para verificar a viabilidade do sistema ou determinar o provável rendimento é importante obter o histórico de medição de radiação solar, difusa e direta, do local escolhido para a instalação. A obtenção dessas medições a base de dados pode ser feita através do “SunData v 3.0” do CRESESB – CEPEL, que é destinado a calcular a irradiação solar diária mensal em qualquer ponto do território nacional.

É válido lembrar que a melhor maneira de se descobrir a radiação solar de um determinado local é a partir da medição no local de implantação do projeto, a fim de garantir o máximo aproveitamento do recurso ao longo do ano. Existem dois instrumentos comumente utilizados para a mensuração da irradiação solar: o piranômetro e o pireliômetro, o primeiro para medidas da irradiação global e o segundo para medidas da irradiação direta.

#### **5.5 Taxa de Desempenho**

Antes do dimensionamento do número de módulos, deve ser calculada a taxa de desempenho, ou rendimento do sistema, porém o cálculo do rendimento real do sistema só pode ser feito após a instalação, nesta etapa precisamos estimar este valor.

A estimativa deste valor é um assunto um pouco delicado, devido ao fato de não haver muitas informações concretas sobre ele. Porém um estudo realizado no estado do Paraná, descobriu que o valor médio da taxa de desempenho no estado é de 77% para sistemas com 3 kWp, se aplicarmos uma margem de 10%, podemos entender que qualquer valor entre 67% e 87% está dentro da realidade. O que condiz com o que está escrito no “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, que diz que o valor de TD para sistemas residenciais compreende entre 70% e 80%.

Embora ocorra a dificuldade de se realizar a estimativa, existe uma forma de analisar pontos específicos do sistema. As perdas ocorrem em todos pontos do sistema de diversas formas, e como a conversão de energia solar em energia elétrica funciona com base na tecnologia de semicondutores. Mas também temos outras perdas a considerar e analisar qual valor deve ser aplicado no cálculo. São elas:

- Perda por temperatura: ocorre em todo o sistema devido a auxiliar o efeito Joule, mas ocorre principalmente nas células solares devido a tecnologia de semicondutor. Para essa perda deve-se considerar um valor entre 7% a 18%, que deve ser levado como critério o nível de ventilação natural que passa pelas placas e o local de instalação do inversor, se é exposto ao sol ou se está em uma cabine com ventilação natural ou refrigeração auxiliar, entre outras situações.
- Perda por incompatibilidade elétrica (mismatch): esta perda ocorre principalmente nas conexões MC4 tanto das placas, quanto nas do inversor e nas das linhas elétricas. Ocorre também em conexões com fusíveis e disjuntores de proteção, barramentos de distribuição e a qualidade do material utilizado. Deve-se considerar um valor de 1% a 5% dependendo do “tamanho” e complexidade do sistema. Ou seja, se vai ter muitas conexões MC4, como que será feita a conexão com a carga e se a qualidade geral do material a ser utilizado é boa ou não.
- Perda por acúmulo de sujeira: Esta perda diz respeito a sujeira acumulada nas placas durante o dia a dia. Os módulos necessitam de uma manutenção periódica de um ano limpeza nas placas e revisão geral das conexões, e mesmo com a premissa de uma limpeza leve com a água da chuva, em alguns casos o índice de sólidos ou partículas solidas é muito alto. Deve-se considerar um valor entre 1% a 8%, dependendo do índice de sujeira ambiente do local onde as placas serão instaladas.
- Perda por sombreamento: Este é um ponto mais delicado de ser analisado, devido ao fato de que o valor considerado pode mudar muito o número total de placas. Neste caso devemos prever o sombreamento que incide nas placas ao longo do ano. Dependendo do local onde as placas serão instaladas, pode haver alguma estrutura que ao longo do dia ou em alguma época específica do ano, faça

sombra sobre os módulos reduzindo a incidência de fótons e conseqüentemente reduzindo a potência gerada. Para chegar em um valor aceitável, deve-se realizar uma medição ou simulação em software de sombreamento no local onde o gerador FV será instalado e efetuar a razão do tempo que teve sombreamento pelo tempo que teve sol disponível na região. Este tempo deve ser contado em horas durante um período anual, devido ao fato de a sombra ocupar locais diferentes em diferentes épocas do ano. Porém como análise simplificada deve ser considerado um valor entre 0% e 30%.

- Perda por cabeamento: Nesse ponto vamos considerar a perda de potência devido à queda de tensão no cabo. Um condutor elétrico possui uma resistividade elétrica que pode aumentar ou diminuir dependendo da área e comprimento do condutor. De acordo com a NBR 5410:2004 o valor máximo de queda de tensão permitido a partir dos terminais de um grupo gerador próprio é de 7% e para os demais casos 4%. Logo o valor de perda a ser considerado deve ser de 1% a 4%.
- Perda no inversor: Perda que ocorre devido aos componentes internos do inversor. Para se chegar a um valor mais exato, deve-se olhar a ficha técnica do inversor a ser utilizado no que diz respeito a eficiência do inversor. Para estimativa pode-se considerar um valor de 3%, valor médio arredondado de perda em inversores.

Por fim devemos estimar o valor da taxa de desempenho do sistema, equação 7, com base nas perdas consideradas. E para isso vamos considerar um valor de 100% subtraído pelo somatório de perdas:

$$TD = 100\% - \sum Perdas_{\%} \quad (7)$$

Onde:

TD – Taxa de desempenho

## 5.6 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

O dimensionamento dos painéis fotovoltaicos diz respeito às especificações de toda a parte que envolve a geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico, e para isso alguns conceitos precisam ser entendidos.

### 5.6.1 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são elementos responsáveis pela geração de energia elétrica através da incidência de fótons, e para isso é empregada a tecnologia dos semicondutores.

Um material pode ser classificado eletricamente de acordo com o número de elétrons livres em sua camada de valência. Em materiais condutores existem poucos elétrons na camada de valência, o que faz com que sobrem espaços chamados de lacunas, onde outros elétrons podem circular por elas. Os poucos elétrons presentes são chamados de elétrons livres, pois como estão distantes do núcleo, sua atração pelo mesmo é muito baixa e uma pequena força externa pode fazer com que ele se desprenda de sua estrutura.

Já em materiais isolantes ocorre o contrário, ao possuir muitos elétrons na camada de valência, ocorre que existem poucas ou até nenhuma lacuna para a circulação dos elétrons livres e também faz com que os elétrons desta camada tenham uma ligação mais forte com o núcleo. Porém os materiais semicondutores (carbono (C), silício (Si), germânio (Ge), arsênio (As), entre outros) possuem um nível intermediário de elétrons na camada de valência, fazendo assim com que não sejam nem condutores e nem isolantes. Contudo sua principal característica acontece quando este material é dopado e temos um semicondutor do tipo “P” ou do tipo “N”.

Quando vários átomos de um determinado material são colocados em conjunto, as cargas de um átomo começam a influenciar no outro, gerando diferentes estados de energia chamadas de “banda de energia”. Quando a temperatura em um semicondutor aumenta, é gerado alguns elétrons livres que irão se acumular onde tiver mais energia, logo essa é chamada de “banda de condução”, e conseqüentemente a banda

onde serão concentradas as lacunas é chamada de banda de valência. Porém entre elas existe uma terceira banda, chamada de banda proibida (*bandgap* ou *gap*), que representa o nível de energia necessário para um elétron sair da banda de valência para a banda de condução. Dependendo do material em questão, a banda proibida pode ser maior ou menor, e como mostra a figura 10, em materiais isolantes a quantidade de energia para um elétron pular de uma banda para outra é bem menor do que quando comparada com a de um material isolante.

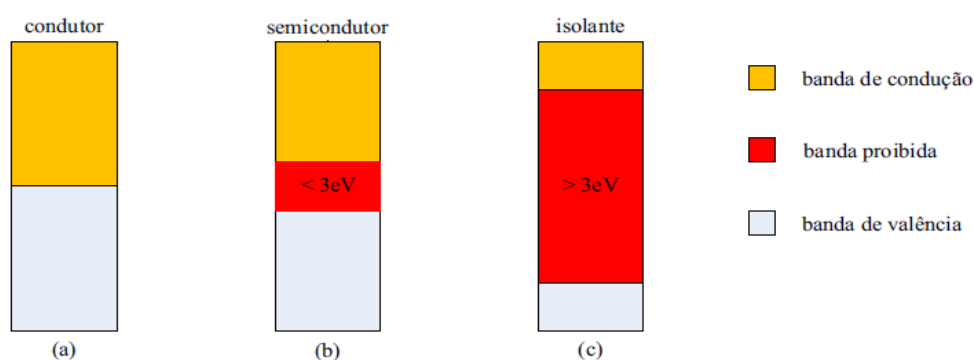


Figura 10 - Estrutura das bandas de energia em condutores, semicondutores e isolantes

Fonte: Manual da Engenharia Fotovoltaica (2014)

O interessante é que existem diferentes formas de fazer com que os elétrons pulem de uma banda para outra, e uma dessas formas é com a incidência de partículas de fótons. Isso acontece pois em um componente semicondutor, é feito um processo chamado de dopagem, aonde é acrescentado outros elementos ao material de origem para deixá-lo eletricamente desequilibrado. Dependendo de qual material for adicionado, teremos um semicondutor carregado positivamente (tipo “P”) ou carregado negativamente (tipo “N”). E quando os fótons se encontram com o semicondutor tipo N eles fazem com que os elétrons se desprendam e conseqüentemente caso seja fornecido um caminho condutor para o semicondutor tipo P, irá circular uma corrente elétrica por esse condutor.

As células solares possuem diferentes tipos de tecnologia na sua fabricação e que conseqüentemente se traduzem para diferentes modelos de placas solares no mercado. Basicamente teremos as células solares de silício cristalino e as células solares de película fina, e cada um destes grupos se divide em subgrupos.

#### ❖ Silício cristalizado

São células com uma rigidez física maior e que também possuem um maior grau de eficiência. São os modelos mais utilizados no mercado.

- Silício monocristalino (m-Si): São células feitas com uma forma mais pura do silício. Possuem um rendimento entre 15% a 18%, porém também são consideravelmente mais caras. Suas maiores aplicações são em satélites espaciais.
- Silício policristalino (p-Si): São células menos puras, feitas com uma dopagem maior do silício com outros materiais. Seu rendimento varia entre 13% a 15%, por isso são mais baratas e conseqüentemente mais utilizadas em situações mais usuais.

#### ❖ Película fina

Nestas células o semicondutor é aplicado sobre uma fina superfície de vidro ou plástico, o que torna a célula flexível e com isso é possível aplicá-la em situações diferentes de módulos solares. Estas células utilizam ainda menos silício em sua fabricação, tornando mais barata porém com uma eficiência ainda menor.

- Silício amorfo (a-Si): Não possui a forma cristalina dos silícios convencionais, sendo ele produzido pela absorção da decomposição química do hidrogênio em fase de vapor. São células não muito boas possuindo uma eficiência entre 8% a 10% e ainda é degradada pela luz solar nos primeiros seis meses de uso.
- Disseleneto de Cobre Índio Gálio (CIGS): São uma evolução das células CIS que possuem uma eficiência entre 18% e um custo de fabricação mais barato. Porém se tornam instáveis em ambientes com altas temperaturas e umidade e se tornam um pouco inviáveis de produção em larga escala graças ao Índio ser um material muito requisitado para outros fins.
- Telureto de Cádmio: São as células com melhor custo benefício, tendo uma eficiência entre 16%. Porém necessita de uma fabricação bem controlada pois o Cádmio em sua forma gasosa se torna um material extremamente tóxico.

### 5.6.2 Módulos fotovoltaicos

Os módulos FV são estruturas responsáveis por proteger as células solares e também por facilitar a instalação de SFV. Podemos ter células com estrutura mais rígida ou células com estrutura mais flexível, o que faz com que tenhamos módulos rígidos com um melhor custo benefício e uma melhor proteção mecânica ou então módulos mais flexíveis que podem ser utilizados em situações onde a superfície de instalação não seja plana.

No caso de módulos com estrutura rígida, feitas geralmente com células de p-Si, são compostos por várias camadas sobrepostas:

- Vidro temperado de alta transparência: Para poder suportar variações de temperatura ambiente e para proteger as células solares contra impactos mecânicos.
- EVA: *Ethylene Vinyl Acetat*, é uma película responsável por proteger as células solares contra envelhecimento dos raios UV
- Células Solares: Responsável pela geração de energia elétrica a partir da incidência de fótons.
- Backsheet: Também conhecido como Filme Posterior, é responsável pela proteção mecânica na parte inferior da placa e também atua como isolante elétrico.
- Caixa de junção: Pequena caixa que fica colada ao Backsheet onde são conectados derivados os cabos com os conectores MC4. Também nessa caixa é presente alguns circuitos simples de proteção para as placas.
- Estrutura de alumínio: Esta serve como uma moldura para a placa servindo como proteção mecânica, mas principalmente servindo como local apto a receber as estruturas de fixação.

Durante a fabricação de um módulo fotovoltaico vários fatores devem ser levados em consideração, além dos detalhes mecânicos e físicos da construção, deve-se pensar nas características elétricas do modulo, como tensão e corrente fornecidos pelo módulo, tensão a vazio, eficiência conforme temperatura e irradiação solar etc. Para isso deve-se saber para qual aplicação aquele painel solar será fabricado. No

caso de painéis solares para aplicação de sistemas interligados a rede, normalmente são painéis que fornecem cerca de 40V em plena carga e 9A de corrente nominal.

Geralmente os módulos solares são identificados conforme sua potência elétrica de pico (Wp), valor esse que é obtido através de um ensaio chamado *Standard Test Conditions (STC)*, onde são considerados uma irradiação solar de  $1000\text{W/m}^2$  e uma temperatura na célula de  $25^\circ\text{C}$ . A tensão a vazio ( $V_{oc}$ ) é um valor de tensão que pode ser medido quando não possui corrente circulando pelo módulo e devido ao fato de que quando não houver corrente circulando pelo módulo, também não haverá queda de tensão na impedância interna, logo a tensão  $V_{oc}$  sempre será mais alta do que a tensão de operação do módulo. Outro valor importante de ser analisado é a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ), valor observado quando se conecta os terminais do módulo.

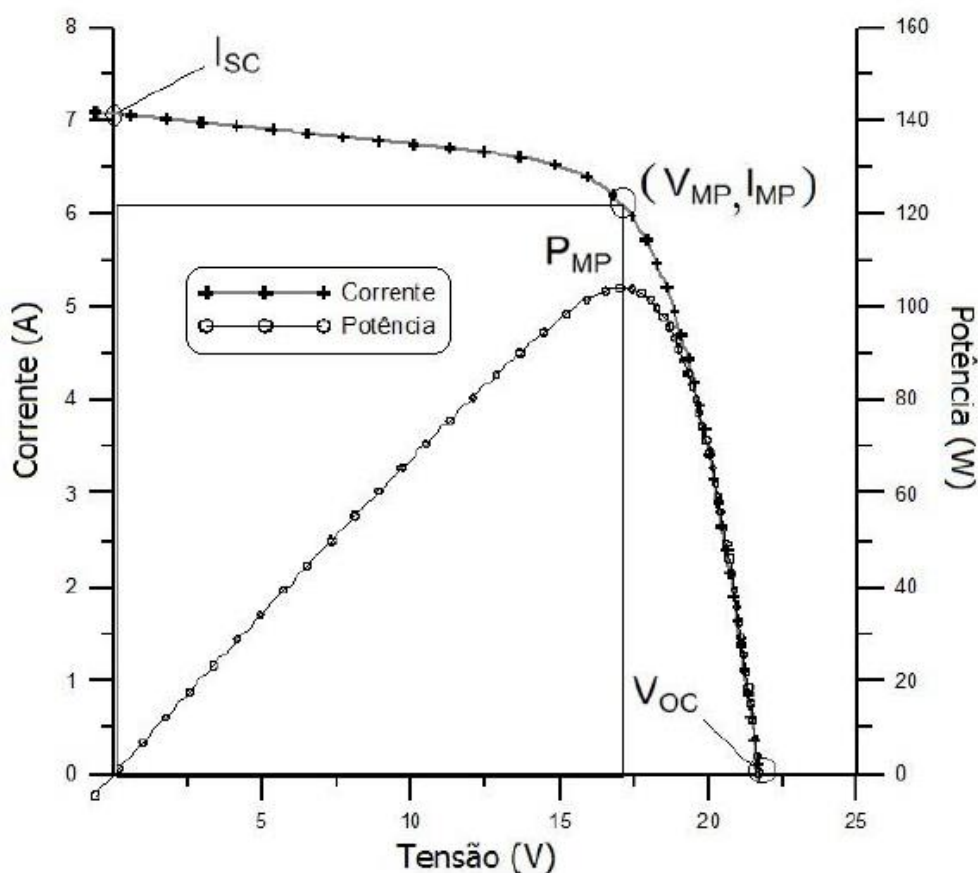


Figura 11 - Curvas I-V de um gerador FV em função da temperatura e a compatibilidade, com as janelas de tensão do SPPM e do inversor

Fonte: Manual da Engenharia Fotovoltaica (2014)

No gráfico da figura 11 temos duas curvas características de módulos fotovoltaicos: a curva de corrente x tensão (curva I-V) e a curva de potência x tensão (curva P-V). Podemos destacar cinco valores importantes nessa curva: A tensão a vazio ( $V_{oc}$ ), a corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ), a tensão máxima de pico ( $V_{mp}$ ), a corrente máxima de pico ( $I_{mp}$ ) e a potência máxima de pico ( $P_{mp}$ ).

Para se dimensionar a quantidade de placas necessárias devemos primeiro calcular a potência necessária para o sistema e em seguida efetuar a razão pela potência das placas, seguindo as formulas 8 e 9.

$$P_{fv} = \frac{E}{nd * HSP * TD} \quad (8)$$

$$Np = \frac{P_{fv}}{P_m} \quad (9)$$

Onde:

- E - Consumo médio mensal da instalação [kWh/mês];
- HSP - Horas de Sol Pico incidente médio [kWh/m<sup>2</sup>dia];
- TD - Taxa de desempenho estimada do sistema;
- nd – número de dias no mês [dias por mês];
- Pfv - Potência ativa de pico do sistema [Wp];
- Pm - potência ativa de pico do módulo [Wp];
- Np - Número aproximado de placas do sistema.

É de se perceber que até então a potência estava sendo tratada como W e a energia como Wh, porém em sistemas fotovoltaicos tratamos a potência como Wp. O Wp é a máxima potência que um sistema ou um módulo pode alcançar em um dia, sendo essa então um tipo de potência instantânea.

### 5.6.3 Strings

Após se determinar o número aproximado de placas do sistema, deve ser feita uma análise para se determinar como será feito o arranjo elétrico das placas. Nesse ponto devemos definir o módulo fotovoltaico como uma fonte de tensão contínua independente, semelhante ao que se ocorre em uma bateria. Logo devemos também utilizar os conceitos sobre associação de fontes ao determinar o arranjo.

Em associação de fontes podemos resumir da seguinte forma: quando ligadas em série a DDP total será igual a soma da DDP das placas e a corrente circuladas por elas será igual em todas as placas. Quando ligadas em paralelo a DDP será igual para todas as placas e a corrente total será igual a soma das correntes geradas pelas placas. Porém em sistemas fotovoltaicos com um número considerável de placas, não é possível ter apenas fechamentos em série ou em paralelo, mas sim uma mistura de ambos. Para isso deve-se dividir as placas em quantidades iguais nas quais serão fechadas em série, cada grupo de placas fechadas em série é chamado de *String*. Logo após se terá o fechamento em paralelo das *Strings*, onde geralmente é feito no inversor solar.

$$V_{string} = \sum V_{placas}$$

$$I_{string} = I_{placa}$$

$$V_{total} = V_{string}$$

$$I_{total} = \sum I_{String}$$

Onde:

$V_{string}$  – Tensão de *string*;

$I_{string}$  – Corrente de *string*;

$V_{total}$  – Tensão total;

$I_{total}$  – Corrente total.

Dependendo do modelo do inversor escolhido, ele pode possuir diferentes formas realizar o fechamento paralelo, pode ser um fechamento total ou individual ou por grupos de *Strings*. No caso de um fechamento total ou por grupos de *String*, é importante que as *Strings* que serão fechadas juntas tenham o mesmo número de placas a fim de evitar a chamada corrente reversa.

A corrente reversa pode ocorrer basicamente em duas situações, quando há algum defeito ou curto-circuito em uma *String* ou então quando é mal dimensionado o número de placas em uma *String*. No primeiro caso podemos considerar diversos defeitos gerais, tais como: curto interno na placa, curto na caixa de junção, curto nos terminais MC4, curto na linha de transmissão da placa até o inversor, eficiência nula da placa, entre outros. Já no segundo caso, quando duas fontes independentes de tensão com diferentes valores são ligadas em paralelo, irá correr uma corrente elétrica inversa na fonte que tiver menor resistência interna, ou seja, na *String* que tiver menos placas. Em ambos os casos o sentido de circulação previsto nos terminais do inversor irá inverter e possivelmente irá desarmar ou danificar proteções internas do inversor contra esse tipo de situação.

Como exemplo vamos considerar um sistema de 9250 Wp que deve ser instalado com placas de 250 Wp, 30 V e 8 A. Ao dividir 9250 Wp por 250 Wp encontramos um total de 37 módulos. Caso os 37 módulos sejam ligados em serie teremos um total de 1110 V e 8 A, e caso sejam ligadas em paralelo teríamos um total de 30 V e 296 A, ambos os casos seriam inviáveis para um inversor solar convencional, logo o interessante é realizar um fechamento misto. O ideal para esse caso é um fechamento com 2 *Strings*, o problema é que 37 não é divisível por 2, logo deve-se adicionar mais uma placa no sistema para que se possa ter um sistema de 2 *Strings* com 19 placas cada.

## 5.7 Dimensionamento do inversor

O inversor solar é um dispositivo eletrônico responsável por fazer a conversão de corrente contínua (c.c) em corrente alternada (c.a). É um equipamento necessário em SFVCRs pois os módulos fotovoltaicos produzem energia elétrica em corrente contínua, enquanto a corrente das redes de distribuição que alimentam residências e indústrias é alternada. No caso de SFVCRs a tensão de saída do inversor deve ser

sincronizada com a tensão da rede. A figura 12 ilustra a representação do inversor no sistema fotovoltaico.

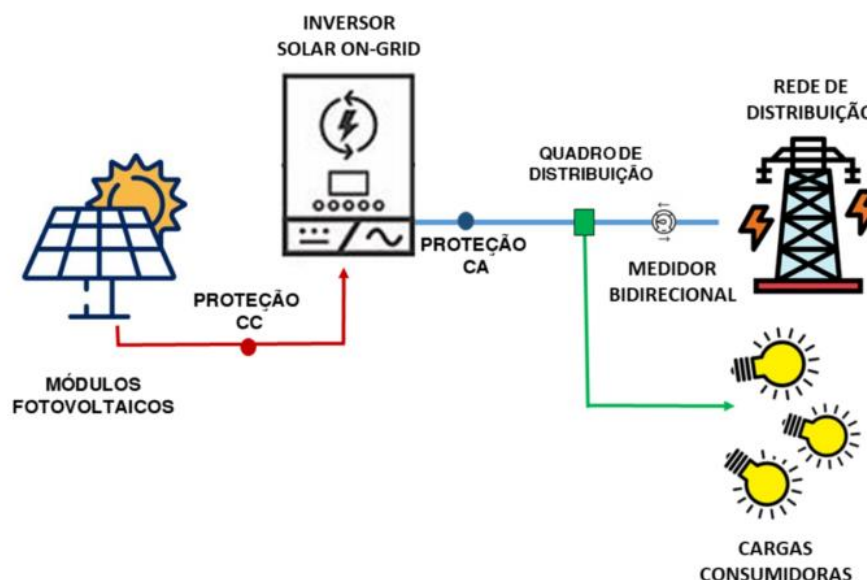


Figura 12 – Representação do inversor no sistema fotovoltaico

Fonte: <https://energes.com.br>

Para dimensionar-se um inversor leva-se em conta a potência do gerador fotovoltaico (placas fotovoltaicas) e as características elétricas do módulo que foi escolhido para compor o gerador. Além de se considerar as características ambientais do local e topologia de instalação escolhida.

É válido destacar que na escolha de fabricantes dos módulos fotovoltaicos, tanto quanto dos inversores, é recomendável considerar a credibilidade das empresas no que diz respeito à garantia dos equipamentos, eficiência e a capacidade de assistência técnica em território brasileiro.

### 5.7.1 Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI)

A tendência de otimizar ao máximo o inversor que será utilizado surge devido à redução de custo do equipamento não ter acompanhado o mesmo nível de redução apresentado pelos módulos fotovoltaicos. O dimensionamento do sistema deve ser realizado de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potências abaixo da nominal e nem que seja sobrecarregado.

Em situações que a potência gerada pelo módulo fotovoltaico ultrapasse a máxima potência de entrada do equipamento, é possível fazer o ajuste do Seguidor de Ponto de Potência Máxima (SPPM), ou do inglês Maximum Power Point Tracking (MPPT) de modo que limite a potência na entrada e despreze valores acima deste limite.

O cálculo do Fator de Dimensionamento de Inversores é estimado conforme descrito em Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), que relaciona a potência nominal c.a do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, como mostra a equação a seguir.

$$FDI = \frac{P_{Nca} (W)}{P_{FV} (Wp)} \quad (10)$$

Onde:

$FDI$  (adimensional) – Fator de dimensionamento do inversor;

$P_{Nca}$  (W) – Potência nominal em corrente alternada do inversor;

$P_{FV}$  (Wp) – Potência pico do painel fotovoltaico.

A faixa de valores do FDI recomendados por fabricantes situa-se na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto o limite superior é de 1,05.

### 5.7.2 Tensão de Entrada

A tensão de entrada do inversor é a soma das tensões dos módulos associados em série. Na medida em que a tensão é influenciada pela temperatura, as condições extremas de inverno e verão devem ser utilizadas no dimensionamento.

O cálculo da máxima tensão de entrada é extremamente importante, nunca devendo ser ultrapassada, pois este é um dos maiores riscos de se danificar o equipamento. Portanto, deve-se garantir a compatibilidade entre as tensões do gerador FV com a faixa de tensão de operação do inversor.

A máxima tensão do sistema ocorre quando o painel fotovoltaico está em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) em baixas temperaturas. Isso pode acontecer durante o inverno, em virtude das baixas irradiâncias, ou em função de uma falha na rede, que automaticamente desconecta o sistema e deixa os módulos em circuito aberto.

O número máximo de módulos em série que pode ser conectado ao inversor é calculado baseado no Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014) pela equação 11. A fórmula é descrita pela razão da máxima tensão de entrada do inversor e da atenção de circuito aberto para as baixas temperaturas de inverno. O número máximo de módulos em série também deve respeitar a tensão máxima suportável pelo módulo, a qual é informado no datasheet do fabricante e normalmente em torno de 1000 V.

$$N^{\circ} \text{módulos}_{\text{série}} \cdot Voc_{Tmin} < Vi_{max} \quad (11)$$

Onde:

$Vi_{Max}$  (V) – Máxima tensão c.c admitida pela entrada do inversor;

$Voc_{Tmin}$  (V) – Tensão em circuito aberto (Voc) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista.

Para se determinar a tensão do módulo em temperaturas diferentes da nominal (25 °C), deve-se consultar seus dados, a fim de verificar qual é seu coeficiente de temperatura (B) da tensão Voc.

### 5.7.3 Faixa de Operação do SPPM do Inversor

Os inversores equipados com a tecnologia SPPM são capazes de alterar o valor de tensão na saída dos painéis, fazendo com que a potência gerada pelo sistema seja a máxima.

O número de módulos conectado em série deve gerar tensões que atendam a faixa de tensão SPPM do inversor, como mostra a figura 13.

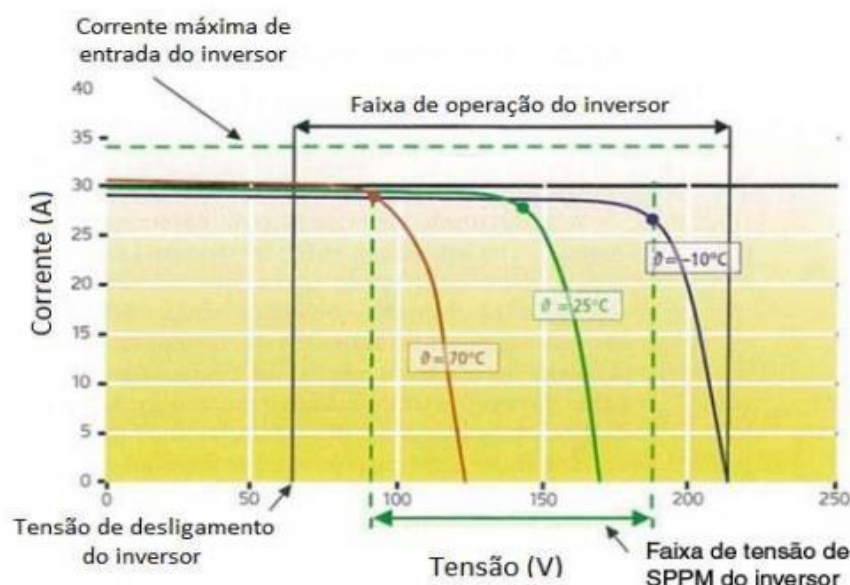


Figura 13 – Curvas I-V de um gerador FV em função da temperatura e a compatibilidade, com as janelas de tensão do SPPM e de operação de um inversor genérico

Fonte: Manual da Engenharia Fotovoltaica, modificado pelos autores (2014)

Tomando-se como base o Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), temos a seguinte 12.

$$\frac{V_{iSPPMmin}}{V_{mpTmax}} < N^{\circ} \text{módulos\_série} < \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (12)$$

Onde:

$V_{iSPPMmin}$  (V) – Mínima tensão c.c de operação do SPPM do inversor;

$V_{iSPPMmax}$  (V) – Máxima tensão c.c de operação do SPPM do inversor;

$V_{mpTmin}$  (V) – Tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista.

$V_{mpTmax}$  (V) – Tensão de potência máxima ( $V_{mp}$ ) de um módulo FV na maior temperatura de operação prevista.

Tendo em vista que no Brasil as temperaturas dos módulos podem atingir valores extremamente altos, deve-se avaliar se o sistema possui número suficiente de módulos conectados em série, de modo que a tensão do painel fotovoltaico seja superior a mínima tensão de SPPM do inversor. Se a tensão do painel ficar reduzida abaixo da mínima tensão de SPPM do inversor, sua eficiência ficará comprometida e poderá provocar a sua desconexão da rede.

#### 5.7.4 Corrente Máxima c.c do Inversor

O inversor fotovoltaico possui uma corrente máxima de entrada c.c. Como forma de garantir que este valor não seja ultrapassado, pode-se calcular o número máximo de fileiras de série fotovoltaicas, conectados em paralelo, com auxílio da equação 13, descrita no Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014) e que é apresentado logo abaixo.

$$N^{\circ} \text{ serieFV\_paralelo} = \frac{I_{imax}}{I_{sc}} \quad (13)$$

Onde:

$I_{imax}$  (A) – Corrente máxima c.c admitida na entrada do inversor;

$I_{sc}$  (A) – Corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico nas STC.

Também é importante observar se o fabricante indica o número máximo de séries fotovoltaicas em paralelo que pode ser utilizada.

### 5.8 Dimensionamento das proteções

Projetos com conexão em baixa tensão devem respeitar a Norma NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão e devem ser consideradas as perdas relativas aos componentes que, mesmo não sendo considerados básicos, são de igual importância para o funcionamento adequado do sistema.

#### 5.8.1 Diodos de desvio e de bloqueio e fusíveis de proteção

Os diodos de desvio (by-pass) são importantes nos SFVCRs instalados em áreas urbanas pelo fato de seus painéis serem instalados em telhados e fachadas e normalmente estarem sujeitos a sombreamentos parciais. Nos módulos fotovoltaicos atuais costuma vir incluso um ou mais diodos de desvio para evitar que o projetista tenha que adicioná-los no projeto.

A especificação dos diodos é feita através da determinação da corrente máxima de operação e da tensão reversa máxima, que depende da tecnologia e do material de fabricação dos módulos.

Além dos diodos de bloqueio pode-se utilizar fusíveis fotovoltaicos. Os fusíveis têm substituído os diodos de bloqueio em alguns projetos devido experiências indicando que estes apresentam maior índice de falhas.

O fusível é um componente de proteção usado para proteger um arranjo em série de placas fotovoltaicas do fluxo de corrente reversa de outro arranjo colocado em paralelo e que venha a gerar uma tensão diferente, deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. A figura 14 representa o esquema de ligação elétrica dos diodos em série e diodos de by-pass.

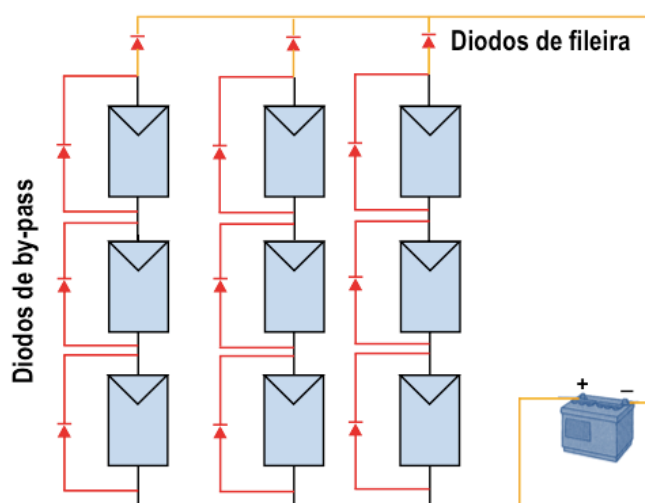


Figura 14 – Esquema de ligação elétrica diodos em série e diodos de by-pass

Fonte: pt.quora.com (2020)

### 5.8.2 Cabeamento

Utilizando a NBR 5410 como referência é possível encontrar os valores mais adequados para os condutores em função da tensão nominal, comprimento do ramal e o nível de perdas pretendido. Como uma forma alternativa, pode-se utilizar a equação 14, descrita em Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), para determinar a secção mínima do condutor  $S$ , necessária para uma determinada instalação em corrente contínua.

$$S(\text{mm}^2) = \rho \left( \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \times \frac{d (\text{m}) \times I (\text{A})}{\Delta V (\text{V})} \quad (14)$$

Onde:

$\rho$  – Resistividade do material condutor;

$d$  – Distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta);

$I$  – Corrente que passa pelo condutor;

$\Delta V$  – Queda de tensão tolerada no cabeamento para trecho analisado.

É importante que os cabos utilizados nessas instalações estejam preparados para suportar as mais diversas condições climáticas, pois estarão expostos à intensa radiação ultravioleta, calor, frio e chuva por um longo período de tempo. Recomenda-se o dimensionamento de cabos da instalação de acordo com a temperatura efetiva de trabalho e o método escolhido de proteção dos condutores utilizando-se fator de correção de temperatura contido na NBR 5410.

### 5.8.3 Proteções Adicionais

A especificação dos dispositivos adicionais de proteção (disjuntores, aterramento, proteção contra descargas atmosféricas etc.) já possui procedimentos normatizados e parecidos com os relacionados em sistemas elétricos em geral. Somente se atentar ao fato de que muitos elementos no sistema fotovoltaico operam em corrente contínua.

Em qualquer sistema elétrico, os principais componentes utilizados para proteger pessoas e equipamentos são as chaves, os fusíveis, os disjuntores e os dispositivos de proteção contra surtos (DPS). A Figura 15 apresenta a tabela disponível no Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), que ilustra alguns modelos desses componentes, e também descreve sua função geral e as recomendações de instalação.

Exemplos de modelos disponíveis comercialmente	Função geral	Instalação
 <p><b>Chaves seccionadoras sob carga</b></p>	<p>Possibilitar a interrupção do fluxo de corrente em situações de emergência e manutenção. Serve também de atuador para o controle da operação do sistema. Dependendo do modelo, pode ser operado manualmente ou de forma automatizada.</p>	<p>Recomenda-se instalar dentro de uma caixa ou armário com fixação por parafusos ou trilho DIN. As conexões desses componentes com os cabos devem ser feitas cuidadosamente e de forma segura, utilizando ferramentas apropriadas a fim de evitar riscos de curto-circuito, mau contato e choques acidentais.</p>
 <p><b>Disjuntores</b></p>	<p>Proteger os cabos, equipamentos e demais componentes, nos casos de correntes elevadas, causadas por um curto-circuito no sistema, sobrecarga ou falha no aterramento.</p>	
 <p><b>DPS</b></p>	<p>Desviar a alta corrente proveniente de um surto (descarga atmosférica, por exemplo) para a terra e limitar as sobretensões transientes.</p>	
 <p><b>NH</b></p> <p><b>faca</b></p> <p><b>Cartucho</b></p> <p>Tipo apropriado para arranjo fotovoltaico (gPV<sup>6</sup>)</p> <p><b>Fusíveis</b></p>	<p>Proteger os cabos, equipamentos e demais componentes nos casos de correntes elevadas causadas por um curto-circuito no sistema, sobrecarga ou falha no aterramento.</p>	<p>Deve ser instalado em um porta fusíveis, sendo este adequado para o tipo de fusível selecionado. Recomenda-se por sua vez que o porta fusíveis seja instalado dentro de uma caixa ou armário com fixação por parafusos ou trilho DIN. Durante a instalação, o manejo dos fusíveis e as conexões elétricas devem ser feitos cuidadosamente e de forma segura, utilizando ferramentas apropriadas, a fim de evitar riscos de curto-circuito, mau contato e choque acidentais.</p>

Figura 15 - Tabela de modelos de componentes de proteção elétrica

Fonte: Manual da Engenharia Fotovoltaica (2014)

Os componentes de proteção devem ser selecionados em função dos valores máximos permitidos de tensão e corrente em cada trecho do circuito (NBR 5410:2004). A corrente do gerador fotovoltaico é limitada pela corrente de curto-circuito na condição de maior irradiância, para especificar os componentes instalados entre o gerador e o controlador de carga ou inversor, utiliza-se normalmente um fator

multiplicativo de segurança de 1,25 (Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014).

Outro item que compõem a proteção elétrica dos SFVCRs é o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA). Geradores fotovoltaicos são normalmente instalados em área aberta, sujeita a descargas atmosféricas diretas ou indiretas. Para instalação do SPDA, deve-se consultar a NBR 5419:2005 (Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014).

#### **5.8.4 Aterramento**

A norma ABNT NBR 5410:2004 trata do aterramento de sistemas elétricos de baixa tensão. O aterramento é a ligação intencional de estruturas ou instalações com a terra, visando garantir o funcionamento correto da instalação e, principalmente, proporcionar um caminho preferencial às correntes elétricas indesejáveis de surto, falta ou fuga, de forma a evitar riscos para as pessoas e os equipamentos (Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014).

Em SFVCRs, é necessário fazer o aterramento de proteção dos equipamentos (conexão da carcaça condutora à terra) e o aterramento funcional do sistema (conexão do circuito elétrico ao terra, através do condutor neutro, no lado c.a.). O aterramento do lado c.c. depende da tecnologia do módulo ou do inversor utilizado. Ainda assim, a regra geral é sempre consultar o manual do equipamento para verificar o procedimento recomendado pelo fabricante.

## 6 ESTUDO DE CASO

Este capítulo foi dedicado aos cálculos do dimensionamento do sistema, apresentando nele os dados coletados e considerados.

### 6.1 Cálculo da potência do sistema

O primeiro passo do SFVCR é calcular a potência do sistema, é importante dizer que o método utilizado foi o do levantamento de carga individual dos componentes. Este método foi escolhido, pois não foi possível realizar a medição através de um analisador de energia e também não foi possível ter acesso as contas de energia do local.

A figura 16 mostra parte dos dados fornecidos no *datasheet* do chassi do ônibus D9A, que está disponível no site da fabricante BYD. Nele é importante destacar as informações da potência de carregamento, que como no caso existem duas saídas com 40 kW cada, temos um total de 80 kW. Também é importante destacar o tempo de carregamento máximo, que é de 5 horas.

SISTEMA ELÉTRICO DE ALTA VOLTAGEM	
Modelo da bateria	BYD LiFePO4
Capacidade da bateria	324 kWh
Potência de carregamento	2 x 40 kW
Tomada p/ carregamento	AC European standard
Tempo de carregamento	4 - 5 h
Tensão	380 V
Frequência de carregamento	60 Hz

Figura 16 - Datasheet do chassi D9A

Fonte: [www.byd.ind.br](http://www.byd.ind.br), modificado pelos autores (2018)

#### 6.1.1 Consumo de energia

Para a estimativa do consumo de energia do carregador precisamos considerar primeiramente o percentual de bateria gasta pelo ônibus durante todo o seu itinerário. O ônibus “Tarifa Comercial Zero” possui 7 pontos de parada espalhados pela cidade, além da garagem municipal. As distâncias entre os pontos são especificadas na tabela 4.

Tabela de distância			
Segmento	Partida	Chegada	Distância
A	Garagem	Ponto 1	3,7 km
B	Ponto 1	Ponto 2	3,4 km
C	Ponto 2	Ponto 3	2,4 km
D	Ponto 3	Ponto 4	1,2 km
E	Ponto 4	Ponto 5	3,4 km
F	Ponto 5	Ponto 6	2,4 km
G	Ponto 6	Ponto 7	1,7 km
H	Ponto 7	Ponto 1	2,9 km

Tabela 4 - Distância percorrida pelo ônibus

Fonte: Autores (2021)

O segmento “A” é realizado duas vezes por dia, e os segmentos “B - H” são realizados sete vezes ao dia durante os dias uteis da semana, aos sábados estes segmentos são realizados cinco vezes. Com isso podemos descobrir a distância do percurso total realizado durante um dia útil da semana e outro para os sábados.

$$D_{util} = 2 * A + 7 * (B + C + D + E + F + G + H)$$

$$D_{util} = 2 * 3,7 + 7 * (3,4 + 2,4 + 1,2 + 3,4 + 2,4 + 1,7 + 2,9)$$

$$D_{util} = 129,2 \text{ km}$$

$$D_{sab} = 2 * A + 5 * (B + C + D + E + F + G + H)$$

$$D_{sab} = 2 * 3,7 + 5 * (3,4 + 2,4 + 1,2 + 3,4 + 2,4 + 1,7 + 2,9)$$

$$D_{sab} = 94,4 \text{ km}$$

De acordo com as informações fornecidas pela BYD para o chassi D9A, o valor da autonomia do ônibus pode chegar até 250 km, porém o valor fornecido da autonomia do ônibus, para o nosso caso, será diferente da considerada. Essa diferença é resultado de diversos fatores, mas principalmente devido a intensidade do tráfego do itinerário. Com base nisso será aplicado um valor de 80% na autonomia total do ônibus afim de aproximar o valor fornecido com o valor real.

$$D_a = 250 * 80\% = 200 \text{ km}$$

Considerando estas duas distancias de itinerário e também a autonomia considerada do ônibus, podemos então realizar um cálculo de proporção para saber o valor percentual de carga nas baterias ao fim do dia. Ao multiplicar esta proporção pelo tempo padrão de carregamento, podemos descobrir o tempo que o ônibus será carregado a cada dia.

$$T_{util} = T_p * \frac{D_{util}}{D_a}$$

$$T_{sab} = T_p * \frac{D_{sab}}{D_a}$$

$$T_{util} = 5 * \frac{129,9}{200}$$

$$T_{sab} = 5 * \frac{94,4}{200}$$

$$T_{util} = 3,25 \text{ h}$$

$$T_{sab} = 2,36 \text{ h}$$

Na tabela abaixo são utilizadas essas informações no método de cálculo por carga individual para sabermos qual o valor de energia consumida pelo carregador do ônibus.

Energia Mensal				
Dia referente	Número de dias	Potência de carregamento (kW)	Tempo de carregamento (h)	Energia Consumida (kWh)
<b>Dia útil</b>	23	80	3,25	5980
<b>Sábado</b>	4	80	2,36	755,2
<b>Total</b>				<b>6735</b>

Tabela 5 - Levantamento de energia mensal consumida

Fonte: Autores (2021)

### 6.1.2 Localização

O galpão que abriga os ônibus elétricos destinados a esse trabalho fica situado na cidade de Volta Redonda, no Sul Fluminense. Localizado na rua Av. Min. Salgado Filho e de coordenada geográfica correspondente à latitude: 22°30'7''S e longitude: 44°4'41''O, conforme demonstrado na figura 17.



Figura 17– Visão aérea da Garagem Municipal de Volta Redonda

Fonte: google.com.br/maps (2021)

### 6.1.3 HSP

Para as coordenadas geográficas do galpão que abriga os ônibus elétricos foi achado uma irradiação solar diária média mensal no ângulo igual à latitude de 4,87 kWh/m<sup>2</sup>.dia, representado na figura da tabela 18.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m <sup>2</sup> .dia)												MÉD	DELT
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Plano Horizontal	0° N	5,72	6,00	4,94	4,37	3,59	3,40	3,44	4,35	4,53	4,95	5,04	5,73	4,67	2,60
Ângulo igual à latitude	23° N	5,16	5,70	5,06	4,93	4,41	4,38	4,32	5,13	4,81	4,83	4,63	5,09	4,87	1,38

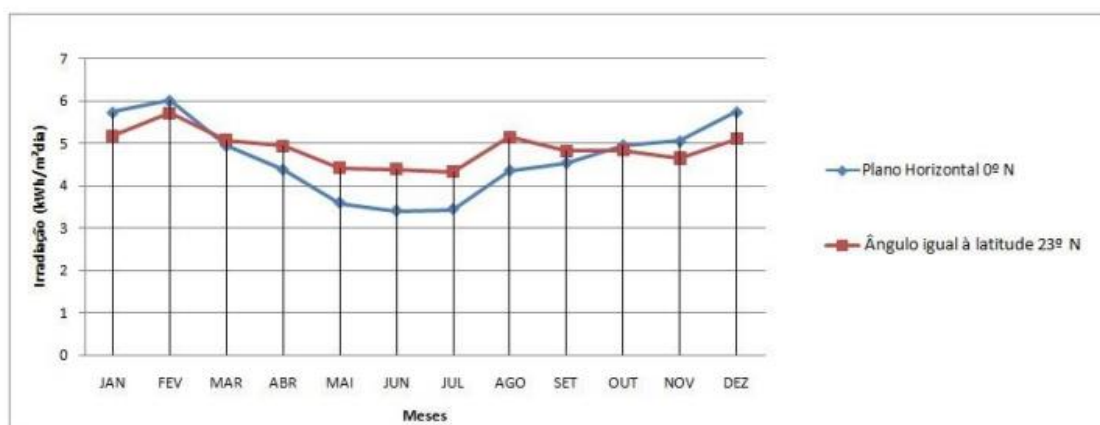


Figura 18 – Tabela de irradiação solar diária média mensal

Fonte: Autores (2021)

Por haver poucas estações meteorológicas no Brasil que registrem sistematicamente o valor da irradiação solar incidente em intervalos horários e também não ter

acesso aos instrumentos de medição mencionados acima, a estimativa de radiação solar global neste projeto foi pela consulta a base de dados do “SunData v 3.0” do CRESESB – CEPEL.

#### **6.1.4 Taxa de desempenho**

Para determinar a taxa de desempenho utilizada, foram estimados valores de perda com base na análise local:

- 10% de perda por temperatura: O local de instalação das placas é em local naturalmente arejado, próximo a um rio com muita flora, o que faz com que existam correntes de vento. Elas serão instaladas em telhas de cerâmica que possuem uma boa isolamento térmica e não refletem muito calor. O local de instalação do inversor será em local coberto e arejado, porém apenas com ventilação natural.
- 4% de perda por incompatibilidade: Com base no valor de consumo mensal encontrado, a estimativa de módulos a serem instalados é de 150 a 300 módulos. Como cada módulo possui 2 conexões, a estimativa é de 300 a 600 conexões MC4. Essa quantidade é bastante considerável, porém ainda assim existem sistemas bem mais potentes, logo foi considerado um valor de perda médio.
- 6% de perda por sujeira: Como foi dito o local de instalação é próximo a outro local com muita flora, o que fará com que constantemente caiam folhas sobre os módulos. Outro fator agravante é a atividade exercida no local, por ser uma garagem com vários veículos, ocorrerá um acúmulo de poeira e outras partículas sobre os módulos.
- 5% de perda por sombreamento: Embora não haja edificações próximas com altura o suficiente para causar um sombreamento considerável, o local de instalação das placas não está totalmente virado para o norte, o que fará com que em determinados períodos do ano ocorra sombras causadas pelo próprio telhado de instalação.
- 1% de perda por cabeamento: Valor mínimo considerado devido ao local de instalação das placas ser próximo ao inversor e a linha de saída ser de uma tensão mais elevada (380 V).

- 3 % de perda no Inversor: Já que neste ponto ainda não foi definido o inversor a ser utilizado, será considerado o valor padrão de perda em inversores.

Com isso então podemos definir o valor da taxa de desempenho como:

$$T_d = 100\% - 10\% - 4\% - 6\% - 5\% - 1\% - 3\%$$

$$T_d = 71\%$$

### 6.1.5 Potência do sistema

Com base nos valores encontrados e considerados, podemos então utilizar a equação 8 desenvolvida no subtópico 5.6.2 para calcular a potência de pico do sistema fotovoltaico.

$$P_{fv} = \frac{E}{nd * HSP * TD} = \frac{6735}{30 * 4,87 * 0,71}$$

$$P_{fv} = 64,93 \text{ kWp} = 64927,55 \text{ Wp}$$

## 6.2 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Após encontrar o valor de potência necessária para o sistema, é possível realizar o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico, para isso é necessário definir o modelo do módulo fotovoltaico, o número de módulos, seus fechamentos e quais os níveis de corrente nominal, corrente de curto-circuito, tensão nominal e tensão a vazio.

O módulo que será usado como base para os cálculos é a HiKu5 Poly PERC CS3Y-485P da fabricante Canadian Solar. Esta placa possui células fotovoltaicas policristalinas em apenas uma face do módulo. A figura 19 apresenta dados retirado do datasheet dos módulos.

**ELECTRICAL DATA | STC\***

CS3Y	465P	470P	475P	480P	485P
Nominal Max. Power (Pmax)	465 W	470 W	475 W	480 W	485 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	43.0 V	43.2 V	43.4 V	43.6 V	43.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.82 A	10.88 A	10.95 A	11.01 A	11.08 A
Open Circuit Voltage (Voc)	52.2 V	52.4 V	52.6 V	52.8 V	53.0 V
Short Circuit Current (Isc)	11.43 A	11.48 A	11.53 A	11.58 A	11.63 A
Module Efficiency	19.7%	19.9%	20.1%	20.3%	20.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	156 [2 X (13 X 6)]
Dimensions	2252 X 1048 X 35 mm (88.7 X 41.3 X 1.38 in)
Weight	25.7 kg (56.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	600 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

Figura 19 - Datasheet módulo fotovoltaico HiKu5 Poly PERCCS3Y-485P

Fonte: [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), modificado pelos autores (2021)

A Canadian Solar é uma empresa canadense com 20 anos de história, e hoje é uma empresa multinacional e multipremiada presentes em 19 países, inclusive com fabricação em território nacional.

### 6.2.1 Número de Painéis Fotovoltaicos

. De acordo com o datasheet encontrado no próprio site da fabricante a potência nominal máxima fornecida pelo módulo é de 485 Wp. Com isso podemos utilizar a equação 9 desenvolvida no subtópico 5.6.2 para poder encontrar o número de módulos.

$$np' = \frac{P_{fv}}{P_m} = \frac{64927,55}{485} \cong 134 \text{ módulos}$$

Embora este valor satisfaça o nível de potência exigido pelo sistema, ele não poderá ser utilizado. O motivo é o fechamento das Strings, que devem conter em todas as MPPTs o mesmo número de placas e no caso do 134 não é possível dividi-lo em grupos iguais de forma que satisfaça as condições tensão e corrente nominais de operação do inversor. O inversor esse que tem espaço para 8 Strings divididas em 4 MPPTs.

Resumindo, o valor corrigido do número de módulos, não pode ser menor que o valor já encontrado, precisa ser divisível por um número inteiro de forma que atenda

as condições de operação do inversor e respeite o número de Strings aceitas pelo inversor. Então para isso devemos encontrar o número de módulos em cada String de forma que quando multiplicado pelo número de Strings, encontremos o menor valor inteiro acima de 134. O valor ideal para tal é de 17 módulos por String, totalizando assim um total de 136 módulos.

$$np = 136 \text{ módulos}$$

### 6.2.2 Fechamento das Strings

Como foi visto o número de placas foi ajustado para que se ocorra o fechamento de 8 Strings com 17 placas cada, deve-se então analisar os valores de tensão e corrente em condições de operações nominais e em condições de operações não usuais. Uma dessas condições é a diferença de potencial a vazio da placa que ocorre quando o inversor está fora de operação e a corrente de curto circuito que ocasionalmente pode ocorrer.

Para condições nominais:

$$I_{String} = 11,08 \text{ A}$$

$$V_{String} = 43,8 * 17$$

$$I_{total} = 11,08 * 8$$

$$V_{String} = 744,6 \text{ V}$$

$$I_{total} = 88,64 \text{ A}$$

$$V_{total} = 744,6 \text{ V}$$

Para condições não usuais:

$$ISC_{String} = 11,63 \text{ A}$$

$$VOC_{String} = 53 * 17$$

$$ISC_{total} = 11,63 * 8$$

$$VOC_{String} = 901 \text{ V}$$

$$ISC_{total} = 93,04 \text{ A}$$

$$V_{total} = 901 \text{ V}$$

Os valores calculados acima servirão como base para fazer o correto dimensionamento do inversor a ser utilizado, de forma a garantir que o mesmo possa operar nessas condições.

### 6.2.3 Área total utilizada

Através do cálculo do número de módulos que devem ser utilizados, foi consultado no datasheet as dimensões do modelo escolhido afim de se obter a área total ocupada. Baseando-se no modelo HiKu5 Poly PERC CS3Y-485P da fabricante Canadian Solar, que possui 2,252 metros de largura e 1,048 metros de altura, obtivemos os seguintes resultados:

$$\text{Área módulo} = 2,252 \times 1,048 = 2,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total} = 2,36 \times 136 = 321 \text{ m}^2$$

A área que a Garagem Municipal de Volta Redonda pode disponibilizar para a instalação do SFVCR é de 514 m<sup>2</sup>. Considerando uma distância entre o painel fotovoltaico e a borda externa da cobertura de aproximadamente 1 metro, em todos os lados do telhado para acesso e manutenção ao sistema, a área final a ser utilizada é de aproximadamente 450m<sup>2</sup>, espaço suficiente para a instalação de forma correta e segura dos módulos fotovoltaicos.

### 6.3 Dimensionamento do inversor

O modelo de inversor escolhido é o CSI-60KTL-GI, também fabricado pela Canadian Solar, e que atende a todos os requisitos necessários do projeto. A figura 20 apresenta dados retirados do datasheet, disponíveis no site da fabricante.

<b>SYSTEM/TECHNICAL DATA</b>	
<b>MODEL NAME</b>	<b>CSI-60KTL-GI</b>
<b>DC INPUT</b>	
Max. PV Power	72kW
Max. DC Input Voltage	1100 V <sub>DC</sub>
Operating DC Input Voltage Range	200-1000 V <sub>DC</sub>
Start-up DC Input Voltage	200 V
Number of MPP Trackers	4
MPPT Full Power Voltage Range	526-850 V <sub>DC</sub>
Operating Current (Imp)	114 A (28.5 A per MPPT)
Max. Input Current (Isc)	178 A (44.5 A per MPPT)
Number of DC Inputs	8 (2 per MPPT)
DC Disconnection Type	Load rated DC switch
<b>AC OUTPUT</b>	
Rated AC Output Power	60 kW
Max. AC Output Power	66 kW
Rated Output Voltage	400 V <sub>AC</sub>
Output Voltage Range*	304-460 V <sub>AC</sub>
Grid Connection Type	3/N/PE
Nominal AC Output Current	86.6 A
Rated Output Frequency	50/60 Hz
Output Frequency Range*	47-52/57-62 Hz
Power Factor	1 default ( $\pm 0.8$ adjustable)
Current THD	< 3 %

Figura 20 – Datasheet do inversor CSI-60KTL-GI

Fonte: [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com) (2021)

O inversor possui uma entrada máxima de 72kW sendo que a saída fornece uma potência máxima de 66kW. Outro ponto importante, é o número de MPPTs suportados pelo inversor, um inversor com mais de uma entrada de MPPT permite a conexão de arranjos com potências e inclinações diferentes, além de ter capacidade de monitorar cada uma das entradas de MPPT separadamente. O inversor escolhido por possuir 4 MPPTs, e permitiu o arranjo de 8 strings (2 por MPPT) com 17 placas em cada string.

O cálculo do Fator de Dimensionamento do inversor foi realizado utilizando a equação 10, afim de otimizar o rendimento e evitar um sub ou superdimensionamento.

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} = \frac{60 \text{ kW}}{64,93 \text{ kW}} = 0,92$$

## 6.4 Dimensionamento das proteções

A seguir, apresenta-se o dimensionamento dos principais componentes de proteção do sistema tais como, cabos, transformadores, disjuntores previstos no lado c.c e c.a da instalação, além de dispositivo contra surtos, fusíveis, SPDA e aterramento.

### 6.4.1 Dimensionamento dos cabos

- Terminais das Strings para o inversor:
  - Corrente nominal de operação: 11,08 A;
  - Comprimento do maior condutor: 40 m;
  - Coeficiente de resistividade do cabo ( $\rho_{cu}$ ): 0,01724  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;
  - Queda máxima de tensão permitida: 3%.

Aplicando a equação 14 temos:

$$S = \rho \times \frac{d \times I}{\Delta V} = 0,01724 * \frac{50 * 11,08}{3} = 3,18 \text{mm}^2$$

Logo será utilizado um condutor vermelho de 4mm<sup>2</sup> com isolação PVC para os condutores positivos das Strings e um condutor preto de 4mm<sup>2</sup> com isolação PVC para os condutores negativos das Strings. Também será utilizado um condutor verde de 4mm<sup>2</sup> para fazer o aterramento das estruturas de fixação das placas.

- Inversor para o transformador:
  - Potência nominal de operação: 60 kW;
  - Tensão nominal de operação: 380 V 3Ø;
  - Comprimento do maior condutor: 150m;
  - Método referência de instalação: B1;
  - Todos os fatores unitários;
  - Queda máxima de tensão permitida: 4%.

Aplicando os conceitos da NBR 5410 sobre capacidade de corrente e queda de tensão temos:

- Corrente nominal ( $I_n$ ): 90,91 A;
- Corrente corrigida para o cabo de 35mm<sup>2</sup> ( $I_z$ ): 110 A;
- Queda de tensão para o cabo de 35mm<sup>2</sup>: 2,25%;

Logo será utilizado um condutor preto de 35mm<sup>2</sup> com isolamento PVC para os condutores na interligação das fases do inversor com o transformador. Como se trata de uma carga puramente trifásica e equilibrada, será admitido um condutor para o neutro com seção inferior a seção da fase, no caso de 25mm<sup>2</sup>. E o condutor de proteção será utilizado o mais próximo da metade do condutor da fase, no caso de 16mm<sup>2</sup>.

- Transformador para o QGBT:
  - Potência nominal de operação: 60 kW;
  - Tensão nominal de operação: 220 V 3Ø;
  - Comprimento do maior condutor: 5m;
  - Método referência de instalação: B1;
  - Todos os fatores unitários;
  - Queda máxima de tensão permitida: 4%.

Aplicando os conceitos da NBR 5410 sobre capacidade de corrente e queda de tensão temos:

- Corrente nominal ( $I_n$ ): 157,48 A;
- Corrente corrigida para o cabo de 70mm<sup>2</sup> ( $I_z$ ): 171 A;
- Queda de tensão para o cabo de 70mm<sup>2</sup>: 3,66%;

Logo será utilizado um condutor preto de 70mm<sup>2</sup> com isolamento PVC para os condutores de fase da interligação das fases do inversor com o transformador. Como se trata de uma carga puramente trifásica e equilibrada, será admitido um condutor para o neutro com seção inferior a seção da fase, no caso de 50mm<sup>2</sup>. E o condutor de proteção será utilizado o mais próximo da metade da seção do condutor da fase, no caso de 35mm<sup>2</sup>.

### 6.4.2 Dimensionamento do transformador

Como o inversor escolhido possui uma tensão nominal de saída de linha 380 V, devemos então utilizar um transformador tipo abaixador para ajustar este valor em 220 V. O motivo do ajuste é a incompatibilidade com a tensão disponibilizada pela concessionária local (LIGHT).

Para isso então devemos considerar a tensão no enrolamento primário de 380 V e a tensão no enrolamento secundário é de 220 V mantendo a potência de 60 kW fornecidas pelo inversor. Com esses dados temos uma corrente no primário de 90,91 A, e como a relação 381V/220V gera uma relação de 1,73, a corrente no secundário será de 157,03 A.

Logo como especificações do transformador temos:

Transformador: trifásico;

- Potência nominal: 60 kVA
- Relação de espiras: 19:11
- Tensão nominal no primário: 380 V;
- Corrente máxima no enrolamento primário: 100 A;
- Tensão nominal no secundário: 220 V;
- Corrente máxima no enrolamento secundário: 170 A.

### 6.4.3 Dimensionamento das proteções adicionais

Teremos alguns dispositivos de proteção adicionais além das proteções internas no inversor e nos módulos. Serão elas:

- Disjuntor termomagnético:

Dispositivo que assegura a proteção dos condutores e dos equipamentos contra sobrecargas e curto circuito, é um componente obrigatório pela concessionária na parte de proteção CA, mas em nosso caso serão necessários três disjuntores diferentes. Um para a proteção do enrolamento primário do transformador, outro para a proteção da saída do enrolamento secundário e da linha de alimentação do inversor e mais um disjuntor para proteção do inversor.

Seus valores devem ser compreendidos entre o valor de corrente nominal no condutor e a capacidade de corrente corrigida do condutor escolhido.

Logo teremos:

- Disjuntor do enrolamento primário: Termomagnético tripolar de 160A;
- Disjuntor do enrolamento secundário: Termomagnético tripolar de 100A;
- Disjuntor de proteção do inversor: Termomagnético tripolar de 100A;

- Fusível:

São dispositivos de proteção com atuação ultra rápida. Indicados para equipamentos sensíveis nos quais não podem passar muito tempo com uma sobrecorrente, será utilizado para proteção do inversor nas entradas das Strings. Sua peculiaridade se dá devido a sua natureza de funcionamento, que por se tratar de um filamento que se rompe ao aquecer pelo efeito joule, é um dispositivo que necessita troca sempre que necessário, logo precisa ser bem dimensionado para que o sistema não fique inoperante sem necessidade.

Para o seu dimensionamento devemos ter em mente a corrente de partida das Strings. Esta situação ocorre somente quando o inversor é ligado repentinamente no momento de maior irradiação solar naquele dia. Como não foi especificado nenhum valor de corrente de partida, então será considerado o menor fusível para um valor de 1,25 vezes acima da corrente de curto-circuito, baseado no artigo “Fusíveis: Como utilizar em Sistemas Fotovoltaicos”, escrito por João Haluche no blog Perícia Elétrica.

- Corrente de curto circuito = 11,63 A;
- Corrente de partida = 14,53 A;
- Fusível Diazed 16 A;

Vale ressaltar que é necessário um fusível para o polo positivo e outro para o polo negativo de cada String, sendo necessário então 16 fusíveis.

- Dispositivos de proteção contra surtos:

Os DPS são responsáveis por direcionar surtos de tensão na linha para o aterramento local, este item é importante para garantir a vida útil dos equipamentos em questão e também é obrigatório de acordo com a NBR 5419. Para o nosso caso serão utilizados quatro DPS de classe III para a proteção da alimentação CA. Para a parte

de proteção CC já que não ocorre riscos de descargas atmosféricas no local e que o sistema será devidamente aterrado.

Outras informações relevantes para a escolha e instalação do DPS são:

- Tensão máxima de operação: 485 V;
- Tensão residual: 1,2 kV;
- Corrente nominal de descarga: 8/20A;
- Cabo de interligação com a malha de aterramento: 4mm<sup>2</sup>

#### 6.4.4 SPDA e aterramento

A NBR 5419 estabelece alguns requisitos que levam em consideração a obrigatoriedade que se tenha instalado no local um sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Para isso vamos levar em conta o telhado onde serão instaladas as placas, conforme mostrado na figura 21.

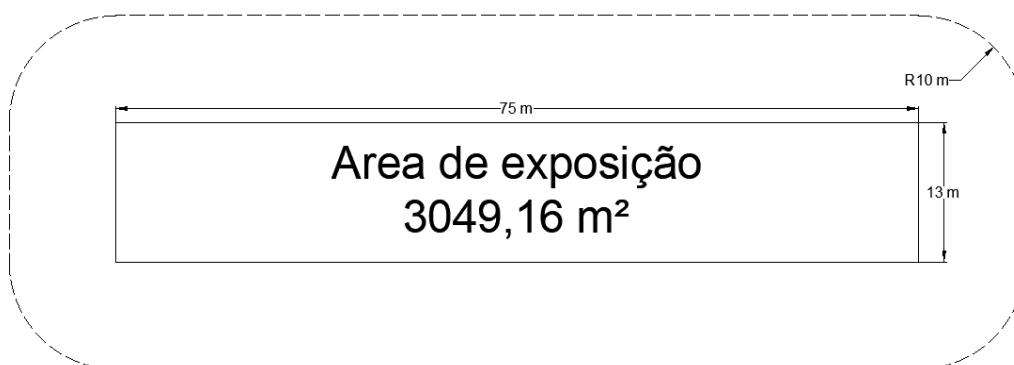


Figura 21 - Área de exposição

Fonte: Autores (2021)

Temos então:

$$Ng = 0,04 * Td^{1,25} = 0,04 * 20^{1,25} = 1,69 \text{ desc/km}^2 \cdot \text{ano}$$

$$Nd = Ng * Ae * 10^{-6} = 1,69 * 3049,16 * 10^{-6} = 4,15 * 10^{-3} \text{ desc/ano}$$

$$Ndc = Nd * A * B * C * D * E = 4,15 * 10^{-3} * 1,2 * 1 * 0,3 * 0,4 * 1$$

$$Ndc = 6 * 10^{-4} \text{ desc/ano} < 1 * 10^{-3} \text{ desc/ano}$$

Ou seja, de acordo com a NBR 5419 não é obrigatório a instalação de um sistema de SPDA. Porém será instalado próximo ao local do medidor, uma malha de aterramento triangular. Com hastes de 3/8" x 2,4m e cabos de 25mm<sup>2</sup> para interligação. Este será um aterramento exclusivo para o SFVCR. Vale ressaltar que este é um método antigo de cálculo, em 2015 foi reformulado para um método de análise de riscos.

## **6.5 Componentes adicionais**

Em um sistema fotovoltaico conectado à rede são necessários alguns componentes a mais para implementação ou regularização. Por não se tratar no foco deste trabalho eles serão apenas citados com o intuito de complementação.

### **6.5.1 Estruturas de fixação**

As estruturas de fixação são responsáveis por garantir toda a rigidez mecânica do sistema, conforme exemplo da figura 24. Em cada caso é necessário um conjunto diferente que vai depender do local de instalação e da tecnologia a ser empregada. Para um dimensionamento adequado dos componentes de fixação é necessário fazer um levantamento da estrutura do telhado. Distância entre os caibros de sustentação, o tipo de telha, o peso que o telhado suporta, a inclinação desejada para as placas, são todos dados fundamentais para se obter um modelo mais adequado de estruturas. Há também um tipo de estrutura móvel, que faz as placas mudarem a inclinação afim de se obter um valor de irradiação solar alto e constante durante a maior parte do dia.

### **6.5.2 Placas de sinalização e identificação**

Em todas as instalações elétricas são obrigatórias placas de sinalização alertando sobre os perigos existentes. No caso de sistemas fotovoltaicos (e em outros sistemas de geração própria com paralelismo) é necessária uma placa de advertência no ramal de ligação e no QGBT, indicando que naquele local há um sistema de geração própria, conforme exemplo da figura 22. A razão disto, serve para alertar a algum operador ou profissional de manutenção na instalação, de que quando for feito um

seccionamento da concessionária ou do disjuntor de proteção geral do QGBT, pode ser que o sistema continue energizado devido a geração das placas.



Figura 22 - Placa de sinalização para geração própria

Fonte: Norma Técnica para conexão de acessantes a rede de distribuição em Baixa Tensão – Minigeradores, Eletrobras (2016)

## 7 RESULTADOS

O software utilizado neste projeto com o fim de justificar os cálculos feitos e adquirir informações úteis para o dimensionamento é o ELECTRO GRAPHICS em sua versão de 2018. Este software apresenta um conjunto de outros softwares desenvolvidos pela empresa italiana Electro Graphics Srl como o SOLergo, linha CADelet, iDEA, linha Ampère, Tabula e Cabo.

### 7.1 Energia consumida

Como primeira parte da simulação, temos a tela onde serão inseridos os valores para compor a carga utilizada e também o tempo de operação da mesma, apresentado na figura 23. Considerando então os 80 kW de potência fornecidos pelo carregador e os dias no qual o ônibus estará circulando, desconsiderando os domingos e os feriados.

Definição de carga - (Projeto)

**Dados de carga**

Tipo de carga: Dependente do usuário Categoria: Aparelhos industriais

Descrição: Carregador do ônibus elétrico

Potência: 80.000 W  Ativo somente do anoitecer ao amanhecer

Stand by: 0 W

**Distribuição diária**

Dias \ Horas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Segunda-feira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Terça-feira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Quarta-feira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Quinta-feira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sexta-feira	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sábado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Domingo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

**Distribuição anual**

Meses \ Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Janeiro	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fevereiro	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Março	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Abril	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mai	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Junho	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Julho	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Agosto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Setembro	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Outubro	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Novembro	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dezembro	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

OK Cancelar

Figura 23 - Energia consumida pelo carregador

Fonte: Autores (2021)

De acordo com a figura 24, o consumo médio anual é de 92.400 kWh, valor diferente do encontrado no cálculo do capítulo 6 que apresentou um valor de 6.735

kWh mensal gerando um resultado de 80.820 kWh anual. Essa diferença ocorreu devido ao tempo de carregamento considerado no software, que foi de 4 horas para os dias uteis da semana e de 3 horas para os sábados, pelo motivo do software só permitir valores inteiros na inserção de dados.

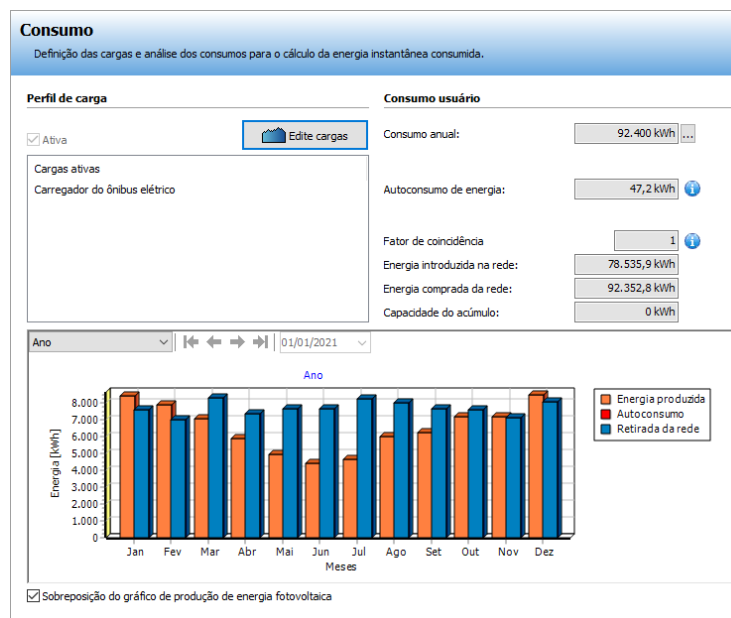


Figura 24 - Consumo médio anual

Fonte: Autores (2021)

## 7.2 HSP

O valor de HSP considerados nos cálculos foi de 4,87 kWh/m<sup>2</sup>. dia, obtido através do site da CRESESB-CEPEL, e o valor encontrado no software foi de 4,4 kWh/m<sup>2</sup>.dia, apresentado na figura 26. Isso ocorreu por causa do desvio azimutal considerado de 109° a oeste, conforme a figura 25, essa diferença ocorre pois no site da CRESESB-CEPEL não foi considerado nenhum valor de desvio.

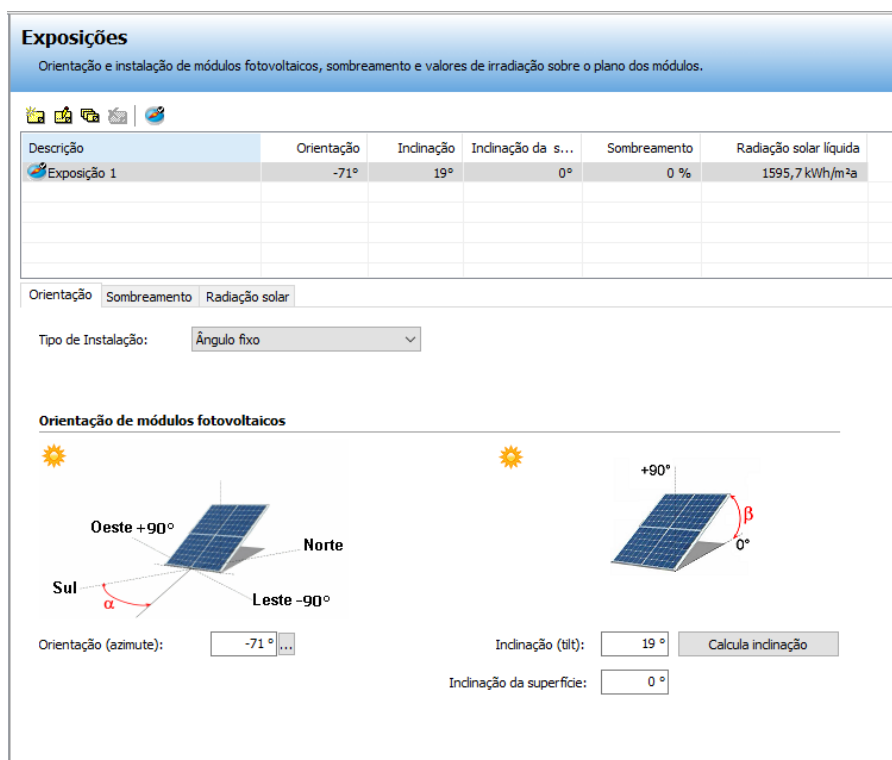


Figura 25 - Inclinação das placas

Fonte: Autores (2021)

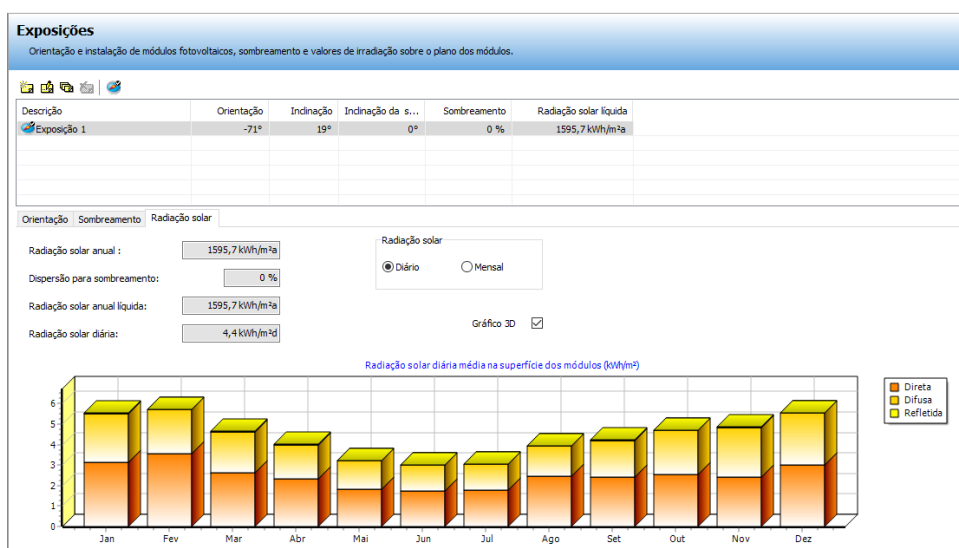


Figura 26 - HSP médio

Fonte: Autores (2021)

### 7.3 Taxa de desempenho

No campo para parametrização das perdas, foram considerados os valores da figura 27, afim de compatibilizar com as considerações feitas no cálculo.

**Dissipações**

**Dissipação de potência**

Perdas de sombreamento: 5 %

Perdas para aumento de temperatura: 5,7 %

Perda de desacoplamento: 5 %

Perdas em corrente contínua: 1 %

Outras perdas (sujeira, tolerâncias, ...): 14,8 %

Perdas devido à conversão (inversor): 1,2 %

Personalizar as perdas causadas pelo sombreamento

Avaliar as perdas em corrente contínua com base nas informações dos cabos e diodos

Perdas totais: 29,1 %

OK Cancelar

Figura 27 - Valores das perdas

Fonte: Autores (2021)

#### 7.4 Potência do sistema

A potência de pico do SFVCR obtida através SOLergo foi de 65,96 kWp, enquanto a prevista foi de 64,93 kWp. Diferença com erro de 2% proveniente das considerações apresentadas acima. A figura 28 representa o resumo da potência do sistema.

**Resumo**

Número de geradores: 1

Descrição	Potência [kWp]	Energia anual [kWh]
Gerador	65,96	74.653,9

Potência nominal: 65,96 kWp

Energia produzida: 74.653,9 kWh

Rendimento: 1.131,8 kWh/kWp

Performance Ratio: 70,9 %

Exporta os dados de produtividade

Definir o número de geradores do sistema. A produção anual de energia é calculada ao final do processo de inserção de dados.

Figura 28 - Resumo da potência do sistema

Fonte: Autores (2021)

## 7.5 Dimensionamento das placas e do inversor

Nesta parte da simulação é feito o dimensionamento dos componentes do gerador e do inversor. Na figura 29 é escolhido o modelo de placa utilizado, logo após foi realizado o cálculo do número de placas utilizadas e também a área total de ocupação das mesmas. Feito isso foi possível escolher o modelo do inversor que atende aos requisitos do gerador fotovoltaico.

**Componentes**

Tipo de módulos fotovoltaicos, inversor e proteções. Dados de dimensionamento.

---

**Módulo fotovoltaico**

Módulo fotovoltaico:  Selecionar... ▾

Potência nominal:  Área:  Propriedades

Usar otimizador de potência

<Nenhum otimizador configurado> Propriedades

---

**Inversor**

Temperatura de operação Mínimo:  Máximo:

O número de módulos:  Área total:  Potência:  Calcula...

Dimensionamento assistido

Inversor:  Seleção manual

Número de inversores:  Nº máximo de ingressos utilizados:  Propriedades

Rastreadores simétricos:

**Verificações elétricas**

Tensão: ✔

Corrente: ✔

Potência: ✔

Número de rastreadores	MPPT 1	MPPT 2	MPPT 3
Módulos em série	17	17	17
Conjunto de módulos paralelos	2	2	2
Exposição	Exposição 1 ...	Exposição 1 ...	Exposição 1 ...
Tensão de MPP (STC)	744,6 V	744,6 V	744,6 V
Número de módulos	34	34	34

<   >

Mesma configuração para todos os inversores

Figura 29 - Dados de dimensionamento

Fonte: Autores (2021)

Vale ressaltar que na versão utilizada do SOLergo (2018) não há os modelos dos módulos fotovoltaicos e do inversor utilizados no banco de dados. Logo foram adicionados os modelos, com as informações obtidas nos datasheets dos fabricantes.

A figura 30 apresenta as verificações realizadas e que foram atendidas no dimensionamento.

<b>Verificações</b>	
Verificações elétricas.	
<b>Limites de tensão</b>	
✓	Tensão mínima $V_n$ a 70,00 °C (631,1 V) maior do que $V_{mpp}$ mínimo (200,0V)
✓	Tensão máxima $V_n$ a -10,00 °C (832,9 V) inferior a $V_{mpp}$ máx. (1000,0 V)
✓	Tensão a vazio $V_o$ a -10,00 °C (989,3 V) inferior a tensão máx. do inversor (1100,0 V)
✓	Tensão a vazio $V_o$ a -10,00 °C (989,3 V) inferior a tensão máxima de isolamento (1500,0 V)
<b>Limites de corrente</b>	
✓	Corrente máxima de entrada relacionada a $I_{sc}$ (23,3 A) inferior a corrente máxima do inversor (44,5 A)
<b>Limites de potência</b>	
✓	Dimensionamento de potência (91,6%) compreendido entre 80,0% e 120,0%

Figura 30 – Verificações elétricas

Fonte: Autores (2021)

## 7.6 Distribuição dos módulos e linhas elétricas

As figuras 31 e 32 representam a disposição dos módulos sobre o telhado e o encaminhamento dos cabos até os respectivos quadros, na Garagem Municipal de Volta Redonda.

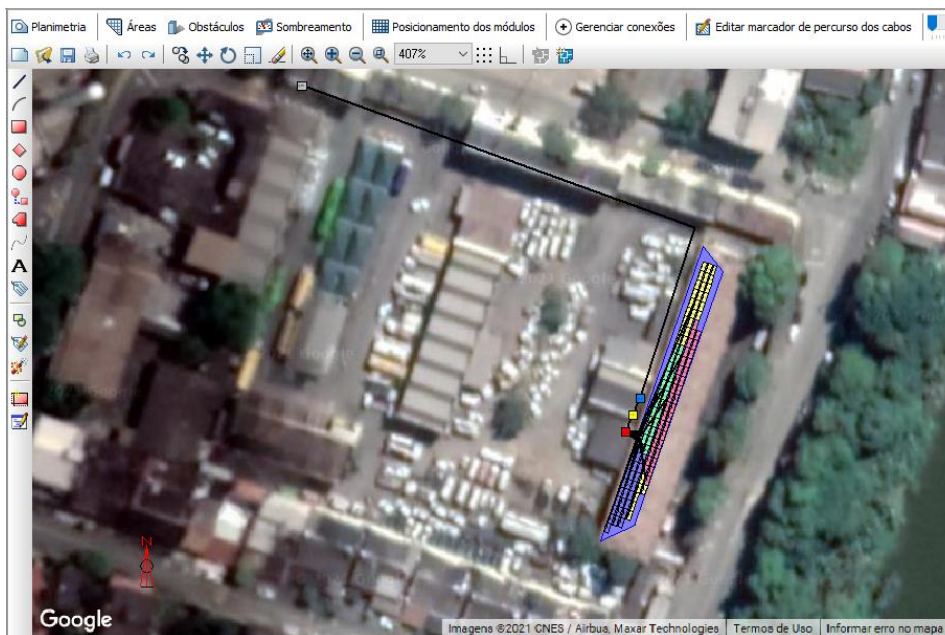


Figura 31 – Distribuição dos painéis solares sobre o telhado da Garagem Municipal de Volta Redonda

Fonte: Autores (2021)

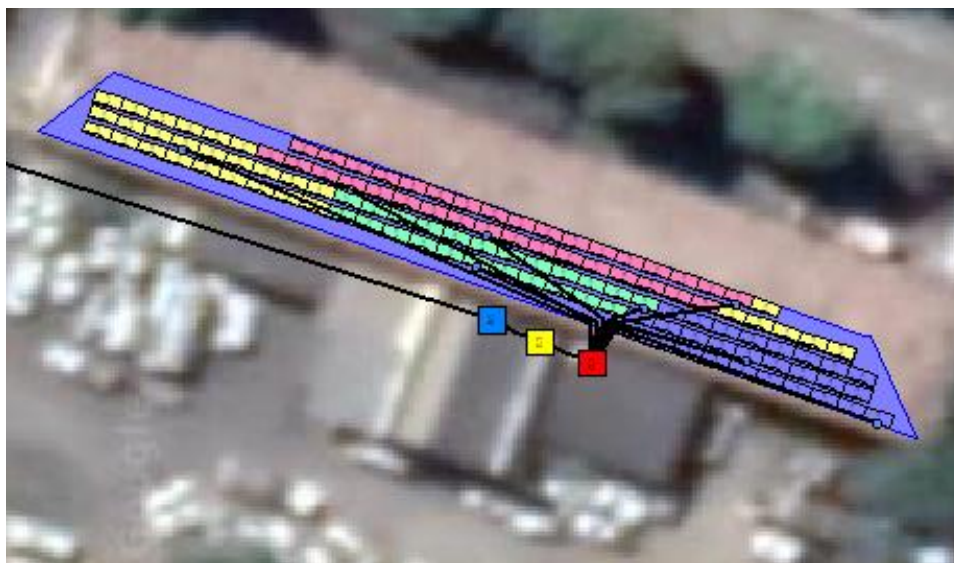


Figura 32 – Zoom da distribuição dos painéis solares sobre o telhado da Garagem Municipal de Volta Redonda

Fonte: (autores, 2021)

## 7.7 Diagrama Elétrico

A Figura 33 apresenta o diagrama elétrico do projeto, onde é possível visualizar a conexão de todos os elementos calculados.

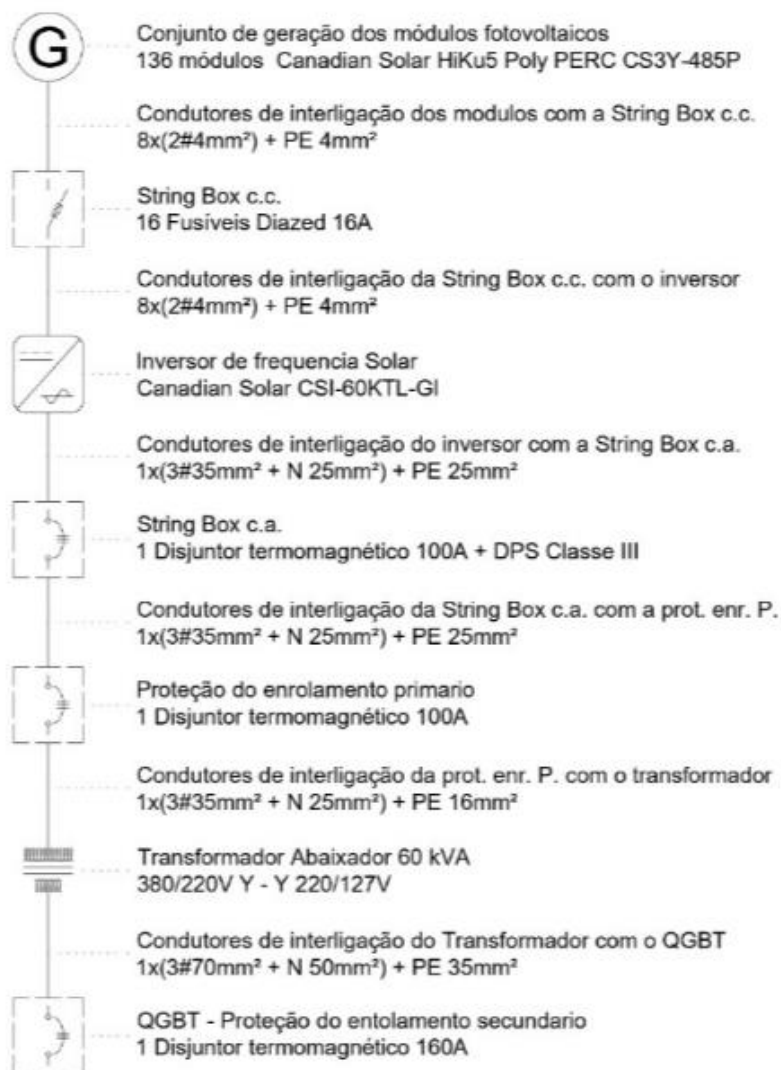


Figura 33 – Diagrama Elétrico

Fonte: Autores (2021)

## 8 ANÁLISE FINANCEIRA

Neste capítulo foi apresentado uma estimativa prévia e resumida para se ter uma base de quanto tempo o investimento do SFVCR será compensado e ao longo de 25 anos (tempo de garantia dos módulos), quanto se terá de economia.

Os percentuais considerados na análise financeira são provenientes de pesquisas em artigos acadêmicos e de *websites* especializados no assunto.

A análise financeira será feita conforme o investimento de um SFVCR para o carregamento de apenas um ônibus elétrico. Ao final, pode-se entender o resultado como um valor unitário de investimento, tendo esse como base para instalação de sistemas para mais ônibus.

### 8.1 Custo de implementação do SFVCR

De início é necessário estabelecer o preço do material a ser instalado e o valor da mão de obra necessária para a instalação. Para um projeto de implementação prático é necessário de uma lista de material mais detalhada para se ter uma noção melhor da análise. Porém, para este estudo de caso será feita uma lista resumida com os componentes de maior valor e também acrescentando uma margem de erro em todo o material. Segundo uma orientação técnica realizada pelo IBRAENG (Precisões e Margens de Erros dos Orçamentos de Engenharia, 2016), o valor de margem de erro para um orçamento detalhado com base no projeto básico é de 10%.

No caso deste estudo, foram utilizados valores médios de mercado com base em lojas de vendas online. A tabela 6 apresenta a lista de materiais e seus respectivos preços.

Cotação de material				
Item	Uni.	Qnt.	Preço unitário	Preço total
Módulos FV 485W	Peça	136	R\$ 1.250,00	R\$ 170.000,00
Inversor solar 60 KW	Peça	1	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00

Transformador 60 KVA	Peça	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Cabo 4mm <sup>2</sup> PVC ultravioleta	Metro	320	R\$ 7,88	R\$ 2.521,60
Cabo 70mm <sup>2</sup> PVC	Metro	15	R\$ 70,00	R\$ 1.050,00
Cabo 50mm <sup>2</sup> PVC	Metro	10	R\$ 55,00	R\$ 550,00
Cabo 35mm <sup>2</sup> PVC	Metro	450	R\$ 40,00	R\$ 18.000,00
Cabo 25mm <sup>2</sup> PVC	Metro	300	R\$ 30,00	R\$ 9.000,00
Cabo 25mm <sup>2</sup> NÚ	Metro	15	R\$ 22,50	R\$ 337,50
Estruturas de suporte	Peça	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Disjuntor termomag. 3P160A	Peça	1	R\$ 450,00	R\$ 450,00
Disjuntor termomag. 3P100A	Peça	2	R\$ 300,00	R\$ 600,00
Fusível com base 15A	Peça	16	R\$ 85,00	R\$ 1.360,00
Painel de comando 30x30 cm	Peça	2	R\$ 200,00	R\$ 400,00
Haste de aterramento 3/8"	Peça	3	R\$ 100,00	R\$ 300,00
Materiais adicionais				R\$ 25.956,91
<b>Total de material</b>				<b>R\$ 285.526,01</b>

Tabela 6 - Cotação do material

Fonte: Autores (2021)

O valor de instalação deve ser realizado por uma empresa qualificada em instalação do sistema, e cada empresa possui seus métodos de realizar seus orçamentos. Dentro deste valor deve estar presente a mão de obra dos profissionais da instalação, a mão de obra dos responsáveis pela administração e venda do produto, os impostos, as despesas com depreciação de ferramentas, comunicação, condução,

alimentação etc. Para a estimativa do valor de mão de obra empregado, foi utilizado como base um artigo realizado pelo site “Portal Solar”, onde foi feita uma pesquisa de preços médios para a instalação de um sistema com base na potência do mesmo e algumas condições específicas. A tabela 7 apresenta o preço de instalação para indústrias e grandes consumidores. Para se estimar o valor da mão de obra necessária para este projeto, pode ser feita uma interpolação simples no qual resultará em um valor aproximado.

Mão de obra	
Preço médio para o sistema de 53,87 kWp	R\$ 40.070,78
Preço médio para o sistema de 107,73 kWp	R\$ 80.216,04
<b>Interpolação simples para o sistema de 64,93 kWp</b>	<b>R\$ 48.314,50</b>

Tabela 7 - Levantamento dos custos de mão de obra

Fonte: Autores (2021)

Para finalizar o cálculo da implementação do sistema é preciso somar o valor do material com o valor da mão de obra necessária para a implementação, conforme apresentado na tabela 8.

Implementação	
Valor do material	R\$ 285.526,01
Valor da mão de obra	R\$ 48.314,50
<b>Valor total da implementação</b>	<b>R\$ 333.840,51</b>

Tabela 8 - Levantamento dos custos de implementação

Fonte: Autores (2021)

O valor de R\$ 333.840,51 foi apurado como investimento inicial.

## 8.2 Custo de operação

O custo operacional é responsável por garantir que o sistema opere normalmente ao longo do tempo de uso. Para o caso deste projeto foi previsto apenas três custos:

- Custos de acompanhamento: é o custo necessário para acompanhar o funcionamento do sistema ao longo do dia a dia e também para acompanhar os valores registrados pelo inversor. Este custo possui despesas mínimas e pode muito bem ser embutido no custo de manutenção.
- Custo de manutenção: responsável pelas manutenções preventivas e corretivas do sistema. A manutenção preventiva acontece anualmente e se baseia na limpeza das placas, verificação das conexões e verificação dos níveis das grandezas elétricas. Já a manutenção corretiva acontece caso haja alguma falha no sistema (que deve ser vista por um responsável de acompanhamento). Na maioria dos casos que ocorrem, são por queima de fusíveis ou defeitos elétricos simples. De acordo com o que é escrito por Filipe Weiller (Energon Brasil; *quanto custa a manutenção do sistema fotovoltaico*): “O custo da manutenção anual está em torno de 1% do valor do investimento realizado”. Logo será considerada para o primeiro ano um valor de 1,5% para o valor base de manutenção, e para os anos seguintes será aplicado um fator de correção, podendo ser o mesmo da inflação oficial de 2020, que foi de 4,52%.
- Custo da troca de inversores: A cada 12 anos é necessário prever uma troca do inversor de frequência solar devido ao tempo de vida útil garantido pelo fabricante. Para isso deve ser previsto um aumento, também baseado na inflação de 2020. O valor será calculado na forma de juros simples acrescentando o valor da manutenção correspondente do 12º ano e do 24º ano, conforme apresentado na tabela 9.

Ano		Custo de manutenção SFVCR	
1	2021	R\$	4.559,88
2	2022	R\$	4.765,98
3	2023	R\$	4.981,41
4	2024	R\$	5.206,57
5	2025	R\$	5.441,90
6	2026	R\$	5.687,88
7	2027	R\$	5.944,97
8	2028	R\$	6.213,68

9	2029	R\$	6.494,54
10	2030	R\$	6.788,09
11	2031	R\$	7.094,92
12	2032	R\$	53.687,61
13	2033	R\$	7.750,79
14	2034	R\$	8.101,13
15	2035	R\$	8.467,30
16	2036	R\$	8.850,02
17	2037	R\$	9.250,04
18	2038	R\$	9.668,14
19	2039	R\$	10.105,14

20	2040	R\$	10.561,90	24	2044	R\$	75.148,90
21	2041	R\$	11.039,29	25	2045	R\$	13.174,64
22	2042	R\$	11.538,27	<b>Total</b>		<b>R\$</b>	<b>312.582,80</b>
23	2043	R\$	12.059,80				

Tabela 9 - Levantamento do custo de manutenção

Fonte: Autores (2021)

O valor total de manutenções a serem realizadas ao longo de 25 anos é de R\$312.582,80.

### 8.3 Gasto energético e economia gerada

Outros pontos necessários para realizar a análise de retorno, é saber o quanto será gasto ao longo do tempo de vida útil do sistema e saber quanto será economizado (em comparação direta com o consumo) ao longo deste mesmo tempo. Para isso foi montada uma tabela com o preço do kWh para cada ano e a geração em cada ano, devendo se atentar aos seguintes detalhes:

- De acordo com a tabela tarifaria da LIGHT para abril de 2021, o preço do kWh para a classe B3 (classificação da garagem municipal) com energia total acima de 450 kWh é de R\$ 1,08124 / kWh, sendo que este valor sofre um reajuste anual que no ano de 2020 foi de 4,67%, segundo a ANEEL. Para os anos seguintes foi considerado o mesmo valor de reajuste.
- Foi considerado também um valor de consumo de energia constante para os anos seguintes. Como todo o dimensionamento está sendo feito apenas para o carregamento de um ônibus elétrico, não é de interesse prever qualquer aumento ou diminuição de carga além do mesmo. E no caso da depreciação do funcionamento do carregador e das baterias ao longo do tempo, ocorre que a queda de potência fornecida resulta em um tempo de carregamento maior, mantendo assim o valor de energia consumida próximo do valor constante.
- Para a geração de energia no primeiro ano será considerado a mesma do consumo, porém os módulos possuem uma perda de eficiência nas células ao longo dos anos e segundo o site Portal Solar, o valor de perda de eficiência para o primeiro ano é de 3% e para os anos seguintes é de 0,7%.

	Ano	Custo da tarifa (R\$/kWh)	Consumo (kWh)	Custo de consumo	Geração (kWh)	Economia pela geração	Diferença
1	2021	R\$ 1,08124	80820,00	R\$ 87.385,82	80820,00	R\$ 87.385,82	R\$ -
2	2022	R\$ 1,13173	80820,00	R\$ 91.466,73	78395,4	R\$ 88.722,73	R\$ 2.744,00
3	2023	R\$ 1,18459	80820,00	R\$ 95.738,23	77846,63	R\$ 92.216,02	R\$ 3.522,21
4	2024	R\$ 1,23991	80820,00	R\$ 100.209,21	77301,71	R\$ 95.846,85	R\$ 4.362,35
5	2025	R\$ 1,29781	80820,00	R\$ 104.888,98	76760,59	R\$ 99.620,64	R\$ 5.268,34
6	2026	R\$ 1,35842	80820,00	R\$ 109.787,29	76223,27	R\$ 103.543,01	R\$ 6.244,28
7	2027	R\$ 1,42186	80820,00	R\$ 114.914,36	75689,71	R\$ 107.619,82	R\$ 7.294,54
8	2028	R\$ 1,48826	80820,00	R\$ 120.280,86	75159,88	R\$ 111.857,15	R\$ 8.423,71
9	2029	R\$ 1,55776	80820,00	R\$ 125.897,97	74633,76	R\$ 116.261,31	R\$ 9.636,66
10	2030	R\$ 1,63050	80820,00	R\$ 131.777,41	74111,32	R\$ 120.838,88	R\$ 10.938,53
11	2031	R\$ 1,70665	80820,00	R\$ 137.931,42	73592,54	R\$ 125.596,68	R\$ 12.334,73
12	2032	R\$ 1,78635	80820,00	R\$ 144.372,81	73077,40	R\$ 130.541,81	R\$ 13.831,00
13	2033	R\$ 1,86977	80820,00	R\$ 151.115,02	72565,85	R\$ 135.681,65	R\$ 15.433,38
14	2034	R\$ 1,95709	80820,00	R\$ 158.172,09	72057,89	R\$ 141.023,85	R\$ 17.148,24
15	2035	R\$ 2,04849	80820,00	R\$ 165.558,73	71553,49	R\$ 146.576,40	R\$ 18.982,33

16	2036	R\$ 2,14415	80820,00	R\$ 173.290,32	71052,61	R\$ 152.347,57	R\$ 20.942,76
17	2037	R\$ 2,24428	80820,00	R\$ 181.382,98	70555,25	R\$ 158.345,96	R\$ 23.037,02
18	2038	R\$ 2,34909	80820,00	R\$ 189.853,57	70061,36	R\$ 164.580,54	R\$ 25.273,03
19	2039	R\$ 2,45879	80820,00	R\$ 198.719,73	69570,93	R\$ 171.060,58	R\$ 27.659,15
20	2040	R\$ 2,57362	80820,00	R\$ 207.999,94	69083,93	R\$ 177.795,77	R\$ 30.204,17
21	2041	R\$ 2,69381	80820,00	R\$ 217.713,54	68600,35	R\$ 184.796,14	R\$ 32.917,40
22	2042	R\$ 2,81961	80820,00	R\$ 227.880,76	68120,14	R\$ 192.072,13	R\$ 35.808,63
23	2043	R\$ 2,95128	80820,00	R\$ 238.522,79	67643,30	R\$ 199.634,61	R\$ 38.888,18
24	2044	R\$ 3,08911	80820,00	R\$ 249.661,80	67169,80	R\$ 207.494,84	R\$ 42.166,96
25	2045	R\$ 3,23337	80820,00	R\$ 261.321,01	66699,61	R\$ 215.664,56	R\$ 45.656,45
<b>Total</b>			<b>2020500,00</b>	<b>R\$ 3.985.843,37</b>	<b>1818346,73</b>	<b>R\$ 3.527.125,33</b>	<b>R\$ 458.718,05</b>

Tabela 10 - Levantamento do gasto energético e economia gerada

Fonte: Autores (2021)

Os valores finais da tabela 10 podem ser interpretados como: seriam gastos com tarifa de energia ao longo de 25 anos um valor de R\$ 3.985.843,37; com a implementação do SFVCR terá uma economia tarifária de R\$ 3.527.125,33; a diferença que será paga por conta da perda do rendimento dos módulos é de R\$ 458.718,05. Esta diferença pode ser compensada com a instalação de mais módulos, porém esta correção acarreta em um sobredimensionamento de todos os componentes, fazendo com que o custo de implementação aumente consideravelmente. No caso deste projeto não será feita esta correção, devido ao fato da área do telhado não comportar a quantidade de módulos necessários.

#### 8.4 Análise de investimento econômico financeiro

O cálculo do VPL é muito útil para saber se é viável ou não fazer o investimento no projeto. Basta apenas analisar o resultado final, se for igual a zero quer dizer que o investimento atende as expectativas, se for maior que zero quer dizer que o investimento resultará em lucro e se for menor que zero o investimento resultará em prejuízo.

Para poder calcular o VPL, primeiro é preciso montar um fluxo de caixa e calcular o “Valor Presente” ou abreviadamente “PV”, apresentado na equação 15.

$$PV = \frac{VR - VD}{(1 + TMA)^n} \quad (15)$$

Onde:

PV (R\$) – Valor presente;

VR (R\$) – Valor das receitas;

VD (R\$) – Valor das despesas;

TMA (%) – Taxa mínima de atratividade;

N – Número da parcela em questão.

A diferença entre os valores das receitas com as despesas também é chamada de “Valor Futuro” ou “FV”, onde nunca entra o valor do investimento inicial feito. E vale ressaltar que o valor de receita que está sendo considerado, não se trata exatamente de um valor de capital que está entrando, mas sim do valor que deixará de ser gasto com as tarifas naquele ano.

A taxa mínima de atratividade representa o mínimo que o investidor se propõe a ganhar. Muitas empresas possuem seus próprios métodos para descobrir o valor de TMA ideal para uma determinada análise, porém um valor que é geralmente usado é o valor da taxa Selic, que é a taxa básica de juros da economia. O valor da taxa Selic ao ano que foi fixado pelo Comitê de Política Monetária (Copom) foi de 3,50% no dia 05 de maio de 2021, porém é de especulação do mercado que ela feche em 2021 com 5,50%, logo este será o valor de TMA considerado nos cálculos. A tabela 11 apresenta o fluxo de caixa e o valor presente do projeto.

Ano		Economia		Despesa		PV	
1	2021	R\$	87.385,82	R\$	4.559,88	R\$	78.508,00
2	2022	R\$	88.722,73	R\$	7.509,99	R\$	72.965,79
3	2023	R\$	92.216,02	R\$	8.503,62	R\$	71.290,63
4	2024	R\$	95.846,85	R\$	9.568,92	R\$	69.644,99
5	2025	R\$	99.620,64	R\$	10.710,24	R\$	68.028,40
6	2026	R\$	103.543,01	R\$	11.932,16	R\$	66.440,39
7	2027	R\$	107.619,82	R\$	13.239,51	R\$	64.880,50
8	2028	R\$	111.857,15	R\$	14.637,39	R\$	63.348,28
9	2029	R\$	116.261,31	R\$	16.131,20	R\$	61.843,28
10	2030	R\$	120.838,88	R\$	17.726,62	R\$	60.365,07
11	2031	R\$	125.596,68	R\$	19.429,65	R\$	58.913,20
12	2032	R\$	130.541,81	R\$	67.518,61	R\$	33.149,04
13	2033	R\$	135.681,65	R\$	23.184,17	R\$	56.086,82
14	2034	R\$	141.023,85	R\$	25.249,37	R\$	54.711,48
15	2035	R\$	146.576,40	R\$	27.449,63	R\$	53.360,82
16	2036	R\$	152.347,57	R\$	29.792,78	R\$	52.034,45
17	2037	R\$	158.345,96	R\$	32.287,06	R\$	50.731,97
18	2038	R\$	164.580,54	R\$	34.941,17	R\$	49.453,00
19	2039	R\$	171.060,58	R\$	37.764,29	R\$	48.197,15
20	2040	R\$	177.795,77	R\$	40.766,07	R\$	46.964,05
21	2041	R\$	184.796,14	R\$	43.956,69	R\$	45.753,32
22	2042	R\$	192.072,13	R\$	47.346,89	R\$	44.564,62
23	2043	R\$	199.634,61	R\$	50.947,98	R\$	43.397,56
24	2044	R\$	207.494,84	R\$	117.315,86	R\$	24.948,61
25	2045	R\$	215.664,56	R\$	58.831,10	R\$	41.127,02
<b>Total</b>		<b>R\$</b>	<b>3.527.125,33</b>	<b>R\$</b>	<b>771.300,85</b>	<b>R\$</b>	<b>1.380.708,42</b>

Tabela 11 - Fluxo de caixa e Valor Presente

Fonte: Autores (2021)

Por fim então pode-se calcular o VPL usando a equação 16:

$$VPL = \sum (PV) - II \quad (16)$$

Onde:

VPL (R\$) - Valor presente Líquido;

PV (R\$) – Valor presente;

II (R\$) – Investimento inicial;

Pode-se então aplicar o valor do somatório dos valores presentes do fluxo de caixa apresentados na tabela 8.6 e o valor do investimento inicial apresentado na tabela 8.3, logo:

$$VPL = R\$ 1.076.716,53$$

Como o valor de VPL foi positivo, entende-se que é viável a realização do investimento no sistema.

### 8.5 Análise do tempo de retorno do investimento

O método para cálculo de tempo de retorno de investimento utilizado por muitos profissionais do ramo, é o chamado “PRI” ou então “Prazo de Retorno do Investimento”. Este cálculo se baseia na razão do investimento inicial pelo lucro líquido obtido anualmente.

$$PRI = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Lucro anual}} = \frac{R\$ 303.991,90}{R\$ 87.385,82 - R\$ 4.559,88} = 3,67 \text{ anos}$$

Pode-se então assumir que em 3 anos e 6 meses ocorrerá o retorno do investimento realizado. Caso o investimento tivesse ocorrido no começo de janeiro de 2021, em julho de 2024 o investimento já teria retornado. Isso fica mais claro na tabela abaixo onde é apresentado o saldo de cada ano.

	Ano	Economia		Despesa		Saldo
1	2021	R\$	87.385,82	R\$	308.551,78	0
2	2022	R\$	88.722,73	R\$	7.509,99	-R\$ 221.165,96
3	2023	R\$	92.216,02	R\$	8.503,62	-R\$ 139.953,21
4	2024	R\$	95.846,85	R\$	9.568,92	-R\$ 56.240,81
5	2025	R\$	99.620,64	R\$	10.710,24	R\$ 30.037,12
6	2026	R\$	103.543,01	R\$	11.932,16	R\$ 118.947,52
7	2027	R\$	107.619,82	R\$	13.239,51	R\$ 210.558,38
8	2028	R\$	111.857,15	R\$	14.637,39	R\$ 304.938,70

<b>9</b>	2029	R\$	116.261,31	R\$	16.131,20	R\$	402.158,45
<b>10</b>	2030	R\$	120.838,88	R\$	17.726,62	R\$	502.288,56
<b>11</b>	2031	R\$	125.596,68	R\$	19.429,65	R\$	605.400,81
<b>12</b>	2032	R\$	130.541,81	R\$	67.518,61	R\$	711.567,84
<b>13</b>	2033	R\$	135.681,65	R\$	23.184,17	R\$	774.591,05
<b>14</b>	2034	R\$	141.023,85	R\$	25.249,37	R\$	887.088,53
<b>15</b>	2035	R\$	146.576,40	R\$	27.449,63	R\$	1.002.863,02
<b>16</b>	2036	R\$	152.347,57	R\$	29.792,78	R\$	1.121.989,79
<b>17</b>	2037	R\$	158.345,96	R\$	32.287,06	R\$	1.244.544,58
<b>18</b>	2038	R\$	164.580,54	R\$	34.941,17	R\$	1.370.603,48
<b>19</b>	2039	R\$	171.060,58	R\$	37.764,29	R\$	1.500.242,84
<b>20</b>	2040	R\$	177.795,77	R\$	40.766,07	R\$	1.633.539,14
<b>21</b>	2041	R\$	184.796,14	R\$	43.956,69	R\$	1.770.568,83
<b>22</b>	2042	R\$	192.072,13	R\$	47.346,89	R\$	1.911.408,28
<b>23</b>	2043	R\$	199.634,61	R\$	50.947,98	R\$	2.056.133,52
<b>24</b>	2044	R\$	207.494,84	R\$	117.315,86	R\$	2.204.820,14
<b>25</b>	2045	R\$	215.664,56	R\$	58.831,10	R\$	2.294.999,12
<b>Total</b>		<b>R\$</b>	<b>3.527.125,33</b>	<b>R\$</b>	<b>1.075.292,75</b>	<b>R\$</b>	<b>2.451.832,58</b>

Tabela 12 - Saldo ao longo do tempo

Fonte: Autores (2021)

Então como resultado final da análise financeira pode-se concluir que, sob determinadas condições, ao realizar um investimento de R\$303.991,90 em um sistema fotovoltaico conectado à rede, ao longo de 25 anos terá uma economia real de R\$ 2.451.832,58 que começará a acontecer após 3 anos e 6 meses.

## 9 CONCLUSÃO

Considerando a metodologia proposta e revisão bibliográfica adotada, concluímos que foi possível atingir o objetivo geral e os objetivos específicos planejados para este trabalho.

O transporte público gratuito oferecido pela prefeitura de Volta Redonda através dos ônibus elétricos mostra como esse projeto beneficia a população em geral, além de trazer mais qualidade de vida por se tratar de um veículo que em operação emite zero poluentes.

Através de nossa revisão bibliográfica foi possível notar como países asiáticos e europeus já aderiram a modelos elétricos de transporte e como o mercado de geração de energia renovável, principalmente a solar, apresenta grande potencial no Brasil e no mundo.

A ideia de projetar um sistema de carregamento solar para ônibus elétricos foi a maneira que encontramos de colaborar com o desenvolvimento da mobilidade urbana da cidade, associando a energia solar captada pelos painéis solares para formar um sistema capaz de carregar completamente a bateria do ônibus elétrico, desta maneira, seria possível criar um sistema totalmente sustentável.

Os cálculos feitos para analisar a viabilidade financeira do projeto são estimativas resumidas e que levam em conta o custo de implementação do SFVCR, a partir do preço dos principais materiais, mão de obra e a estimativa de economia gerada ao longo do tempo de garantia dos painéis solares. O tempo de retorno do investimento encontrado foi de três anos e seis meses, gerando uma economia real de R\$ 2.451.832,58 ao longo de vinte e cinco anos.

Conclui-se então que para esse estudo de implantação SFVCR na Garagem Municipal de Volta Redonda é recomendável a execução do projeto. Seria capaz de gerar um bom retorno financeiro ao longo de vinte cinco anos, além de ser uma excelente forma para a prefeitura incentivar a aplicação de sistemas solares na cidade e com isso desenvolver a sustentabilidade.

Como sugestão para futuras pesquisas, sugerimos fazer o dimensionamento do sistema para os três ônibus elétricos em circulação na cidade, além de cotação do projeto com empresas especializadas na instalação de sistemas fotovoltaicos.

## 10 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. DACHERY, Joiris Manoela. **História da energia eólica**. ENERGÊS, 20 de maio de 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/energia-eolica/historia-da-energia-eolica>. Acesso em 21 de dez. de 2020.
2. LEE, Joyce; ZHAO, Feng. Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2019**. Bélgica. 2020.
3. REIS, Liége. **Biogás no Brasil, história e perspectiva de futuro**. CIBIOGÁS, 22 de jan. de 2020. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog-post/biogas-no-brasil-historia-e-perspectiva-de-futuro/>. Acesso em 29 de dez. de 2020
4. **Biomassa**. Copel, 18 de jan. de 2016. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/>. Acesso em 29 de dez. de 2020.
5. PASSOS, Fabiano. **Sistema de compensação de energia elétrica do Brasil - REN 482:2012**. MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA, 27 de jul. de 2016. Disponível em: <https://microgeracaoofv.wordpress.com/2016/07/27/sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica-do-brasil-ren-4822012/>. Acesso em 07 de jan. de 2021.
6. BRITO, Ana. **A energia na Europa**. PUBLICO, 15 de out. de 2019. Disponível em: <https://www.publico.pt/2019/10/15/infografia/energia-europa-379>. Acesso 07 de jan. 2021.
7. FILHO, Hayrton Rodrigues do Prado. **As normas técnicas para energia solar**. BANAS QUALIDADE, 07 de set. de 2014. Disponível em: <https://www.banasqualidade.com.br/artigos/2014/09/as-normas-tecnicas-para-a-energia-solar.php>. Acesso em 07 de jan. de 2021.
8. **Novas regras para energia solar no Brasil**. PORTAL SOLAR, 02 de dez. de 2015. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/incentivos-a-energia-solar/novas-regras-para-a-energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em 07 de jan. de 2021.
9. FAFÁ, Larissa. **Câmara pode votar marco da geração distribuída já em fevereiro, diz relator**. EPBR, 28 de dez. de 2020. Disponível em: <https://epbr.com.br/camara-pode-votar-marco-de-geracao-distribuida-ja-em-fevereiro-diz-relator/>. Acesso em 07 de jan. de 2021

10. **Dados do mercado de energia solar no Brasil.** PORTAL SOLAR, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em 04 de jan. de 21.
11. International Energy Agency. **Data and statistics.** Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Electricity&year=2018>. Acesso em 04 de jan. de 21.
12. **História e origem da Energia Solar.** PORTAL SOLAR, 03 de nov. de 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em 04 de jan. de 2021.
13. FONTES, Ruy. **Célula Solar: Conceitos básicos sobre como a luz do sol gera energia elétrica.** BLUESOL. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-solar-o-que-e/>. Acesso em 10 de jan. de 2021.
14. **Energia hélio térmica (termo solar).** PORTAL SOLAR, 05 de out. de 2016. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-heliotermica-entenda-como-funciona.html>. Acesso em 02 de jan. de 2021.
15. **Painel Solar: Preços e Custos de Instalação.** PORTAL SOLAR, 02 de set. de 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html>. Acesso em 01 de maio de 2021.
16. **Quanto Custa para Instalar Energia Solar.** PORTAL SOLAR. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html>. Acesso em 11 de maio de 2021.
17. WEILLER, Filipe. **Quanto custa a manutenção do sistema solar fotovoltaico.** ENERCON BRASIL, 11 de jun. de 2018. Disponível em: <http://energonbrasil.com.br/energia-solar-preco-quanto-custa-a-manutencao-do-sistema/>. Acesso em 11 de maio de 2021.
18. LIGHT. **Composição da tarifa.** Disponível em: <http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx>. Acesso em 13 de maio de 2021.
19. AID. **Reajuste tarifário da Light entra em vigor em 15/3.** ANEEL, 09 de mar. de 2021. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/reajuste-tarifario-da-light-entra-em-vigor-em-15-3/656877](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/reajuste-tarifario-da-light-entra-em-vigor-em-15-3/656877). Acesso em 01 de maio de 2021.

20. **Quanto tempo duram os painéis solares.** PORTAL SOLAR, 26 de nov. de 2015. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares-.html>. Acesso em 11 de maio de 2021.
21. **Taxa Selic 2021: acompanhe a variação ao longo do ano.** NUBANK, 10 de maio de 2021. Disponível em: <https://blog.nubank.com.br/taxa-selic-2021/>. Acesso em 13 de maio de 2021.
22. FERRARI, Hamilton. **Copom aumenta Selic para 3,5% ao ano.** PODER 360, 05 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/economia/taxa-selic-sobe-para-35-ao-ano-decide-copom/#:~:text=A%20taxa%20básica%20de%20juros,5.mai.2021>). Acesso em 13 de maio de 2021.
23. **Projeto da “taxação do sol” entra em pauta na Câmara Federal.** LIVRE, 10 de maio de 2021. Disponível em: <https://olivre.com.br/projeto-da-taxacao-do-sol-entra-na-pauta-da-camara-federal>. Acesso em 15 de maio de 2021.
24. **BYD D9A 20.410 - Padron piso baixo.** BYD. Disponível em: <https://www.byd.ind.br/chassi-byd-d9a-20-410/>. Acesso em 25 de mar. de 2021.
25. **HiKu5 Poly PERC.** CANADIAN SOLAR. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com>. Acesso em 25 de mar. de 2021.
26. **Three Phase String Inverter 60 kW.** CANADIAN SOLAR. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com>. Acesso em 25 de mar. de 2021.
27. PINHO, João Tavares; Galdino, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL – CRESESB, Rio de Janeiro, março de 2014.
28. ANGELO, Bitcheriene Matheus; TIEPOLO, Gerson Máximo. **Estimação da taxa de desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede em diferentes mesorregiões do estado do Paraná.** 2018. 9 páginas. Artigo (Pós-Graduação em Sistemas de Energia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2018.
29. **Ônibus Elétricos: Conheça mais sobre este tipo de transporte.** NOVO VAREJO, 2020. Disponível em: <https://novovarejo.com.br/onibus-eletrico-conheca-mais-sobre-esse-tipo-de-transporte/#:~:text=A%20reposta%20%C3%A9%20o%20%C3%B4nibus,total%20de%20%C3%B4nibus%20da%20China>. Acesso em 04 de abr. de 2021.
30. SCHERF, Christian; WOLTER, Frank. Transporte Urbano Sustentável. **Eletromobidade: Visão Geral, Exemplos, Abordagens.** Documento Técnico #15, p. prefácio-

- 15, fev, 2017. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSE-MOB/ArquivosPDF/eficiencia/eletromobilidade.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2021.
31. **Eletra lança ônibus elétrico híbrido com tecnologia 100% nacional.** MOBILIZE BRASIL, 2019. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/noticias/11794/eletra-lanca-onibus-eletrico-hibrido-com-tecnologia-100-nacional.html>. Acesso em: 05 de abr. de 2021.
  32. PINHO, Márcio. **SP terá ônibus elétrico, mas não cumprirá lei de ter toda frota não-poluente até 2018.** G1, 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/sp-tera-1-onibus-eletrico-brasileiro-neste-mes-mas-nao-cumprira-lei-de-ter-toda-frota-nao-poluente-ate-2018.ghtml>. Acesso em: 08 de abr. de 2021.
  33. ADÃO, Manuel. **Por que os painéis solares usam diodos?** QUORA, 2021. Disponível em: <https://pt.quora.com/Por-que-os-pain%C3%A9is-solares-usam-diodos>. Acesso em: 11 de abr. de 2021.
  34. MELLO, Michel. **Pequena Central Hidrelétrica – PCH.** CIMENTO ITAMBÉ, 2010. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/pequena-central-hidreletrica-pch/>. Acesso em: 30 de abr. de 2021.
  35. **O que são PCHs e CGHs.** ABRAPCH, 2014. Disponível em: <https://abrapch.org.br/2014/03/o-que-sao-pchs-e-cghs/>. Acesso em: 02 de maio de 2021.
  36. **WEG é parceira da Renault no projeto Garagem Fotovoltaica no Complexo Industrial Ayrton Senna.** WEG, 2021. Disponível: <https://www.weg.net/institucional/BR/es/news/productos-y-soluciones/weg-e-parceira-da-renault-no-projeto-garagem-fotovoltaica-no-complexo-industrial-ayrton-senna>. Acesso em: 20 de maio de 2021.
  37. ALVES, Jean. **Tarifa Comercial Zero inicia oficialmente transporte gratuito em Volta Redonda.** SUL FLUMINENSE ONLINE, 2018. Disponível em: <https://sulfluminenseonline.com/tarifa-comercial-zero-inicia-oficialmente-transporte-gratuito-em-volta-redonda/>. Acesso em: 17 de abr. de 2021.
  38. **Entenda os inversores com múltiplos MPPT.** CANAL SOLAR, 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/inversores-com-multiplos-mppt/>. Acesso em: 06 de maio de 2021.

39. INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE ENGENHARIA. **OT-004/2016-IBRAENG**: Precisões e Margens de Erros dos Orçamentos de Engenharia. Fortaleza, 2016. Disponível em <http://www.ibraeng.org/pub/normas>. Acesso em: 04 de jun. de 2021.
40. HALUCHE, João. **Fusível: Como utilizar em Sistemas Fotovoltaicos**. PERÍCIA ELÉTRICA, 10 de maio de 2019. Disponível em <https://www.periciaeletrica.com.br/energia-solar-fotovoltaica-fusivel-quando-usar/>. Acesso em: 11 de jun. de 2021.
41. MALVINO, Albert; BATES, David. **Eletrônica**. 8ª edição. AMGH Editora Ltda. 2016.

## APÊNDICE A - REQUERIMENTO PARA AUTORIZAÇÃO DE USO DE DADOS TÉCNICOS E IMAGENS DE VOLTA REDONDA

DocuSign Envelope ID: 6D01FDDD-BEE5-404F-910A-4A74554BA31B



### AUTORIZAÇÃO PARA USO DE IMAGEM E DADOS TÉCNICOS PREFEITURA DE VOLTA REDONDA - TCC UniFOA

Prezado senhor Paulo José Barenco Pinto, Secretario de Transporte e Mobilidade Urbana do Município de Volta Redonda.

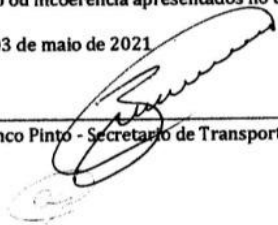
Como alunos do curso de bacharelado em engenharia elétrica do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), estamos realizando um trabalho de conclusão de curso (TCC), no qual tem como tema o "Estudo de Aplicação e Eficiência de Sistema Sustentável para Mobilidade Urbana Pública", trabalho esse que tem como inspiração os ônibus elétricos da cidade.

Com base nisso, vemos por meio desta solicitar a permissão do uso do nome da cidade, bem como dos dados técnicos sobre o consumo de energia elétrica pelo ônibus coletados na garagem municipal, assim como possivelmente valores relacionados a tarifa de energia paga a concessionária de energia local.


Devemos informar que todos os cálculos realizados são referentes a um estudo de caso, não correspondendo necessariamente a qualquer projeto que esteja ou venha a ser instalado pela Prefeitura Municipal de Volta Redonda.

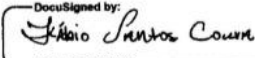
Todos os cálculos e citações referentes a cidade são de total responsabilidade nossa, isentando assim a Prefeitura Municipal de Volta Redonda (PMVR) e o Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) de qualquer erro ou incoerência apresentados no trabalho.

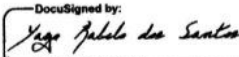
Volta Redonda 03 de maio de 2021

  
Paulo José Barenco Pinto - Secretario de Transporte e Mobilidade Urbana de Volta Redonda

Claudio Marcio de Freitas da Silva - Coordenador - Engenharia Elétrica UniFOA

  
Edson de Paula Carvalho - Orientador do TCC

DocuSigned by:  
  
8F6444E6A731E47A  
Fabio Santos Coura - Graduando Engenharia Elétrica UniFOA

DocuSigned by:  
  
70A8A6AFF0D14DF  
Yago Rabelo dos Santos - Graduando Engenharia Elétrica UniFOA

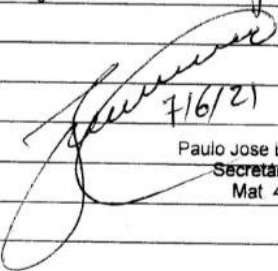
## REQUERIMENTO

Volta Redonda, 01 de junho de 2021.Senhor  
Secretário de Transporte e Mobilidade Urbana do Município de Volta Redonda.

Nome/ Razão Social: Fabio Santos Laura e Yago Rabelo  
 CPF/ CNJP: \_\_\_\_\_ INSC. MUN. Dos Santos  
 domiciliado na Rua: e-mail yagorabelo35@gmail.com  
 nº \_\_\_\_\_ no bairro \_\_\_\_\_  
 CEP \_\_\_\_\_, telefone/ celular: (24) 99318-6541  
 e-mail fabio.santos.e@hotmail.com, vem por meio deste,  
 solicitar a Vossa Excelência: autorização de uso do  
nome da cidade, bem como dos dados téc-  
nicos sobre consumo de energia elétrica  
pelos ônibus elétricos da cidade, lotados  
na garagem municipal.

Grato

Tirei cópia da Autorização  
e arquivar junto ao protocolo.

  
 Paulo Jose Barenco Pinheiro  
 Secretário STMU  
 Mat 442822

STMU/SEX. Reg. Nº 1292/21  
 Protocolado em 07,06,21  
 Às 16:30 horas. bjm

Nestes Termos  
 P. Deferimento

Assinatura do Requerente