



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HIAGO DE CASTRO VASCONCELOS

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE FINANCEIRA DE UMA MICROGERAÇÃO DE
56,61 kW_p, UTILIZANDO O SISTEMA DE CARPORT SOLAR**

FORTALEZA

2023

HIAGO DE CASTRO VASCONCELOS

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE FINANCEIRA DE UMA MICROGERAÇÃO DE 56,61
kWp, UTILIZANDO O SISTEMA DE CARPORT SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Mar-
ques de Carvalho.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- V45d Vasconcelos, Hiago de Castro.
Dimensionamento e Análise Financeira de uma Microgeração de 56,61 kWp, Utilizando o Sistema de Carport Solar / Hiago de Castro Vasconcelos. – 2023.
52 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.
1. Geração distribuída. 2. Geração fotovoltaica. 3. Análise financeira. 4. Carport solar. I. Título.
CDD 621.3
-

HIAGO DE CASTRO VASCONCELOS

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE FINANCEIRA DE UMA MICROGERAÇÃO DE 56,61
kWp, UTILIZANDO O SISTEMA DE CARPORT SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de
Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sergio Daher
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Breno Bezerra Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus, meus pais Ângelo e Léa, minha família.
Lara, minha namorada e a Comunidade Católica
Shalom

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos e oportunidades em minha vida. Sou grato aos meus pais, Ângelo e Léa, por todo o amor, apoio e ensinamentos que me deram ao longo dos anos. Agradeço também à minha namorada Lara Fontenele pelo seu amor e pelo seu constante apoio.

Gostaria de expressar minha gratidão ao Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, por aceitar me orientar nesse trabalho, além da sua paciência e disponibilidade.

Aos membros da banca, o Prof. Dr. Sérgio Daher e o doutorando M.Sc. Breno Bezerra Freitas, gostaria de agradecer pelo tempo e atenção dedicados, bem como pelas dicas fornecidas para aprimorar a apresentação do trabalho

Não posso deixar de agradecer a toda a Universidade Federal do Ceará (UFC), desde seus professores até os alunos e funcionários. Agradeço aos meus professores por compartilharem seus conhecimentos, incentivando meu aprendizado. Sou grato por todos os colegas de curso em especial ao Luis Henrique, Lucas Severo, Crisanto Barros e Gustavo Penaforte, pelo companheirismo em muitos momentos durante a jornada acadêmica.

Também expresso minha gratidão a todos que compõe o Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), na pessoa do Prof. Dr Arthur Plínio de Souza Braga, atual coordenador da graduação, obrigado por todo conhecimento disponibilizado.

Pelas oportunidades profissionais durante a graduação, gostaria de agradecer à Comsert Engenharia, representada pelo Eng. Lucas Pereira e Eng. Bruno Andrade, por todo o conhecimento compartilhado e profissionalismo. Também gostaria de expressar minha gratidão ao Eng. Caio Miranda pela atenção e disponibilidade oferecidas. Além disso, quero agradecer à Energy Gold, representada por Marcelo Gonçalves e Raquel Gomes, pela confiança sempre depositada em mim.

"A medida do amor é amar sem medida."
(Santo Agostinho)

RESUMO

Neste trabalho, foi desenvolvido um projeto de Sistema Fotovoltaico (SFV) para suprir o consumo de um clube em um loteamento no Eusébio, utilizando um sistema de carport solar, seguido por uma análise financeira para avaliar a viabilidade da implementação. Inicialmente, foi exposto o crescimento da implementação de SFV no Brasil e no mundo, além de demonstrado os motivos desse crescimento. Posteriormente, foram introduzidos os componentes de um SFV e suas respectivas funções, além de abordar as principais resoluções normativas que impactam os Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede (SFCCR). Para dimensionamento do SFV e geração de energia elétrica, foi utilizado o consumo médio anual, resultando em uma potência de 56,61 kWp e 102 módulos, e selecionando um inversor de 40 kW que possuía a capacidade de atender ao sistema. Verificou-se se o espaço disponibilizado possui área disponível para a instalação do carport solar. Foi estimado a geração em 25 anos levando em consideração as perdas na capacidade de geração dos módulos. Também foi calculado a economia, comparando a conta de energia com o SFV e sem o SFV no período de 25 Anos. Por fim, foram analisados os custos de implementação e comparados com as economias obtidas. A análise financeira demonstrou um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 576.234,52, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 44% e um Payback Descontado de 3,25 anos..

Palavras-chave: Geração distribuída; Geração fotovoltaica; Análise financeira; Carport solar.

ABSTRACT

In this work, a Photovoltaic System (SFV) project was developed to supply the consumption of a club in an allotment in Eusébio, using a solar carport system, followed by a financial analysis to evaluate the feasibility of the implementation. Initially, the growth of the implementation of SFV in Brazil and in the world was exposed, in addition to demonstrating the reasons for this growth. Subsequently, the components of a PVS and their respective functions were introduced, in addition to addressing the main normative resolutions that impact Grid-Connected Photovoltaic Systems (SFGR). For sizing the SFV and generating electricity, the average annual consumption was used, resulting in a power of 56.61 kWp and 102 modules, and selecting a 40 kW inverter that had the capacity to serve the system. It was verified whether the available space has an available area for the installation of the solar carport. The generation in 25 years was estimated taking into account the losses in the generation capacity of the modules. Savings were also calculated, comparing the energy bill with the SFV and without the SFV over a period of 25 years. Finally, the implementation costs were analyzed and compared with the savings obtained. The financial analysis demonstrated a Net Present Value (NPV) of BRL 576,234.52, an Internal Rate of Return (IRR) of 44% and a Discounted Payback of 3.25 years.

Keywords: Distributed generation; Solar generation; Financial analysis; Solar carport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade instalada acumulada e capacidade instalada de 2022.	14
Figura 2 – Evolução da fonte solar no Brasil.	15
Figura 3 – Carport Solar	15
Figura 4 – Componentes da radiação solar.....	18
Figura 5 – Absorção da Irradiação Solar	19
Figura 6 – Curva Corrente - Tensão	20
Figura 7 – Curva Corrente - Tensão por Irradiação.....	21
Figura 8 – Curva Corrente - Tensão por Temperatura.....	21
Figura 9 – Inversor Convencional	22
Figura 10 – Microinversor.....	23
Figura 11 – String-Box	24
Figura 12 – Local de estudo.....	32
Figura 13 – Local da Estrutura Carport Solar.....	36
Figura 14 – Divisão da Tarifa de Energia.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem da cobrança do fio B pelos anos posteriores.....	26
Tabela 2 – Características do Local	31
Tabela 3 – Consumo Fatura Enel.....	32
Tabela 4 – Irradiação solar diária média	33
Tabela 5 – Divisão das Strings.....	35
Tabela 6 – Geração no primeiro Ano.....	36
Tabela 7 – Geração estimada por anos.....	37
Tabela 8 – Custo de Implementação	38
Tabela 9 – Estimativa Tarifa	39
Tabela 10 – Energia Injetado, Energia Consumida e Creditos.....	40
Tabela 11 – Conta com SFV, Conta sem SFV e Economia	41
Tabela 12 – Fluxo de Caixa	42
Tabela 13 – Valor Presente	43
Tabela 14 – Payback Descontado	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energetica
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
HSP	Hora de Sol Pico
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
REN	Resolução Normativa
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistema Fotovoltaico
TD	Taxa de Desempenho
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMRA	Taxa Mínima de Retorno Aceitável
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
UC	Unidade Consumidora
UHE	Usinas Hidrelétricas
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contexto.....	13
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivo específico</i>	16
1.3	Organização do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Energia Solar.....	17
2.1.1	<i>Efeito Fotovoltaico.....</i>	17
2.1.2	<i>Irradiação solar.....</i>	17
2.2	Geração f.....	18
2.2.1	<i>Módulo fotovoltaico</i>	18
2.2.2	<i>Inversor</i>	21
2.2.3	<i>Proteção.....</i>	23
2.2.4	<i>Estrutura</i>	24
2.2.5	<i>Medidor bidirecional.....</i>	25
2.3	Geração Distribuída	25
2.4	Parâmetros de Projeto de um SFCR.....	26
2.4.1	<i>Análise do Recurso solar</i>	27
2.4.2	<i>Consumo e Demanda.....</i>	27
2.4.3	<i>Dimensionamento da geração em SFCR.....</i>	28
2.4.4	<i>Dimensionamento do Inversor</i>	28
2.5	Indicadores Financeiros	29
2.5.1	<i>Fluxo de Caixa.....</i>	29
2.5.2	<i>Valor Presente Líquido (VPL).....</i>	29
2.5.3	<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	29
2.5.4	<i>Payback Descontado</i>	30
3	PROJETO SFCR.....	31
3.1	Características do Clube	31
3.1.1	<i>Localização.....</i>	31

SUMÁRIO

3.1.2	<i>Consumo</i>	32
3.1.3	<i>Irradiação</i>	33
3.2	Dimensionamento	33
3.2.1	<i>Módulos</i>	33
3.2.2	<i>Inversor</i>	34
3.3	Estrutura Carport Solar	35
3.4	Geração e Consumo	36
4	ANÁLISE FINANCEIRA	38
4.1	Custo de Implementação	38
4.2	Indicadores Financeiros	38
4.2.1	<i>Fluxo de caixa</i>	41
4.2.2	<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>	43
4.2.3	<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	44
4.2.4	<i>Payback Descontado</i>	44
5	CONCLUSÃO	45
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO A –DATASHEET MÓDULO E INVERSOR	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

As fontes renováveis, a cada ano que passa, representam uma parcela importante na matriz energética brasileira. Desde o início das operações das hidroelétricas até hoje, com a consolidação das novas fontes renováveis, em especial a eólica e a solar fotovoltaica (FV), as fontes renováveis têm desempenhado um papel significativo.

As usinas hidrelétricas (UHE), em 2021, corresponderam a 53,4% da oferta interna, sendo essa a principal fonte de energia. As fontes renováveis corresponderam a 78,1% da oferta interna. Esses dados revelam que as fontes renováveis são fundamentais na matriz energética brasileira (EPE,2022).

O aumento do consumo de energia é uma demanda crescente, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo, devido ao desenvolvimento tecnológico, seja no processo de digitalização ou na automação dos processos fabris, desencadeando em um aumento da necessidade de energia para alimentar essas inovações. Além disso, o crescimento populacional e o aumento do padrão de vida das pessoas também contribuem para o aumento do consumo energético. No entanto, é importante ressaltar que esse aumento traz consigo desafios significativos em relação à sustentabilidade e ao meio ambiente (EPE, 2020).

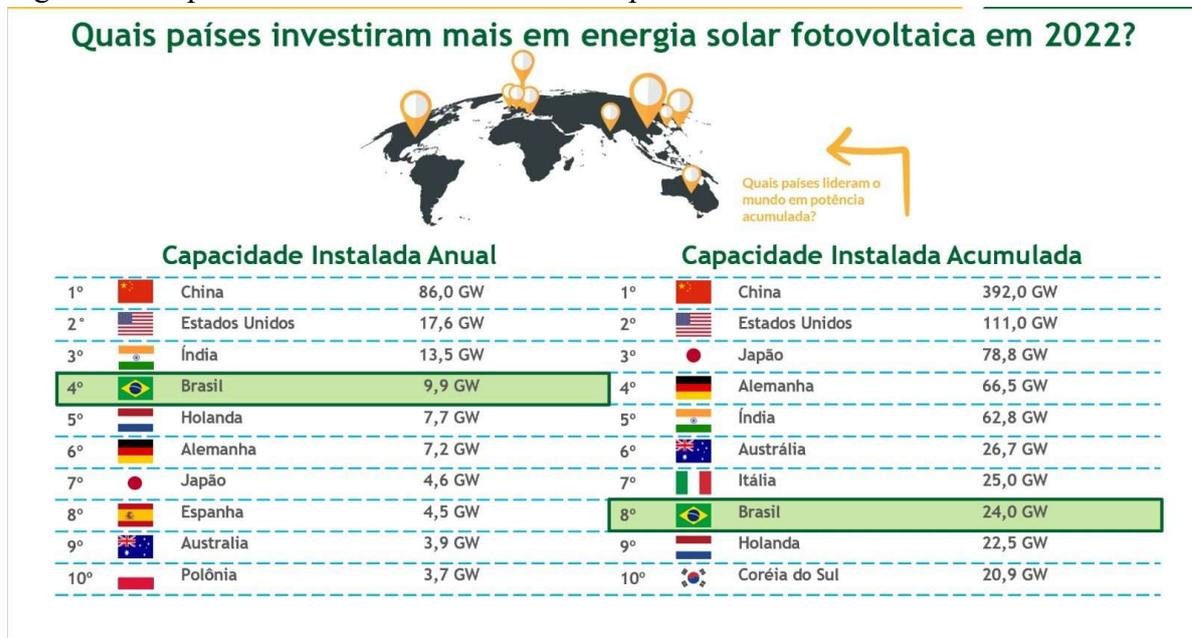
A geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis, causa impactos ambientais negativos, como a emissão de gases de efeito estufa. Por isso, há uma crescente busca por fontes de energia limpa e renovável, como a solar e a eólica, que podem suprir essa demanda crescente sem comprometer o equilíbrio do planeta. Além disso, medidas de eficiência energética e conscientização da sociedade sobre a importância do uso responsável da energia também se fazem necessárias para enfrentar esse desafio de forma sustentável (Empresade Pesquisa Energetica (EPE), 2020).

A Geração Distribuída (GD) de Energia tem apresentado um crescimento constante a cada ano, impulsionado por diversos motivos. Dentre eles, destaca-se a dependência da nossa matriz energética em relação às hidroelétricas, que são afetadas pela variação do nível das barragens, resultando em impactos nas faturas de energia durante períodos de escassez hídrica. Além disso, outros fatores que contribuíram para esse crescimento foram a Resolução (REN) 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (ANEEL, 2012), que estabeleceu inicialmente as regras para a conexão dos sistemas GD à rede elétrica, e a constante redução nos

custos das tecnologias, especialmente no campo da energia solar FV (ABSOLAR, 2021).

O Brasil vem se destacando na geração FV, com uma potência instalada de 24,0 GW, posicionando-se atualmente como o oitavo país com maior capacidade instalada. Apenas no ano de 2022, foram instalados 9,9 GW, tornando o Brasil o quarto país que mais instalou durante esse período, conforme pode ser observado no infográfico da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) em parceria com os dados fornecidos em pesquisa da *International Renewable Energy Agency* (IRENA) , representado na Figura 1 (ABSOLAR/IRENA,2023).

Figura 1 – Capacidade instalada acumulada e capacidade instalada de 2022.



Fonte: ABSOLAR / IRENA, Renewable capacity statistics,2023

O aumento significativo do crescimento da geração FV no Brasil nos últimos anos se deve à implementação de usinas de minigeração e microgeração, que estão crescendo a cada ano devido ao aumento recorrente das faturas de energia. Esse crescimento no valor da energia elétrica está relacionado à REN 482/2012. Pode-se observar o aumento na Figura 2 (ANEEL/ABSOLAR, 2023).

Outra normativa fundamental para a geração FV foi a Lei 14.300, sancionada em 6 de janeiro de 2022, que traz segurança jurídica e implementa algumas mudanças em relação às novas diretrizes do funcionamento da GD (BRASIL, 2022).

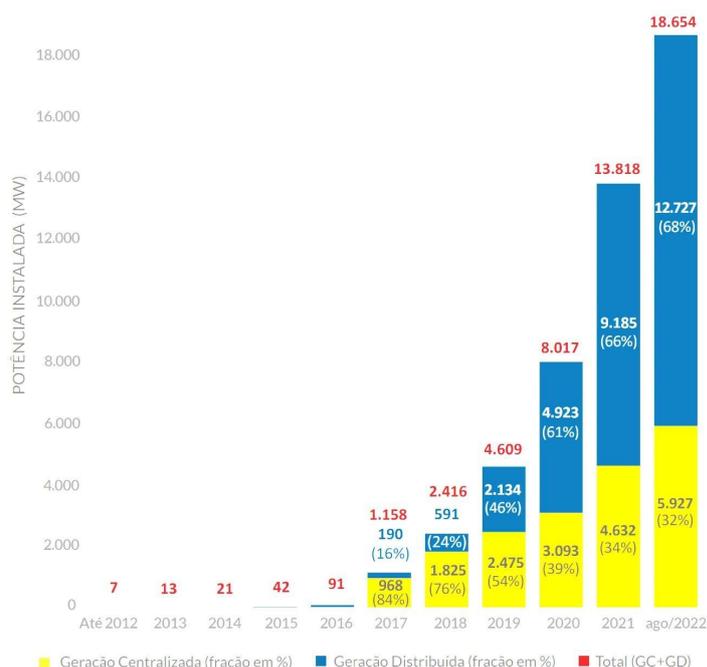
O sistema carport solar é uma estrutura de estacionamento coberta que incorpora

módulos FV. É projetado para fornecer sombra para veículos estacionados enquanto gera eletricidade a partir da irradiação solar incidente nos painéis solares. Em essência, combina a função de um estacionamento coberto com o SFV, conforme ilustrado na na Figura 3 (BLUESOL,2021)

Figura 2 – Evolução da fonte solar no Brasil.

Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.



Fonte: ABSOLAR / ANEEL, 2023

Figura 3 – Carport Solar



Fonte: Próprio Autor

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar o dimensionamento e análise financeira de um sistema de microgeração de 56,61 kWp, utilizando o sistema carport solar.

1.2.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos tratados nesse trabalho são:

- Definição do funcionamento da geração FV.
- Detalhamento do funcionamento de cada equipamento.
- Analisar a viabilidade do sistema carport solar no local.
- Definição dos parâmetros de geração e escolha dos materiais.
- Analisar a geração estimada durante o período de 25 anos.
- Cálculo de indicadores financeiros, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Descontado.
- Análise dos indicadores e verificação da viabilidade de implementação.

1.3 Organização do Trabalho

No Capítulo 1, será desenvolvida a introdução ao tema, o contexto histórico no Brasil e no mundo acerca da geração FV, os objetivos abordados no trabalho e a estrutura desenvolvida no trabalho.

Capítulo 2: Referencial teórico, será expresso todo o embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho, definido as materiais, a GD, os parâmetros de projeto Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) e indicadores financeiros.

Capítulo 3: Projeto SFCR, apresentado as características do local, consumo e irradiação, dimensionamento do sistema e da área necessária para estrutura do carport solar, dados de geração estimada e consumo.

Capítulo 4: Análise Financeira, definir os custos de implementação do sistema, análise e estimativa da tarifa de energia, indicadores financeiros com a apresentação de fluxo de caixa e análise da viabilidade financeira.

Capítulo 5: Conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os conceitos elementares do funcionamento da geração FV, os parâmetros utilizados para o dimensionamento da usina, além dos princípios para a realização da análise financeira serão desenvolvidos neste capítulo.

2.1 Energia Solar

2.1.1 Efeito Fotovoltaico

Para compreender como ocorre a geração FV, é necessário inicialmente entender o conceito físico por trás das células FV, conhecido como efeito FV.

O efeito FV foi descoberto pelo físico Edmond Becquerel em 1839, ao perceber que certos materiais sólidos produziam uma pequena corrente elétrica quando expostos à luz. Os primeiros estudos utilizando silício foram realizados nas décadas de 40 e 50. Em 1954, cientistas do *Bell Laboratories* produziram a primeira célula fotovoltaica de silício cristalino, que possuía uma eficiência de 4% (DOE, 1995).

As células FV são formadas por materiais semicondutores de junção p-n. Quando os fótons atingem a célula FV, eles transferem sua energia para os elétrons, fazendo com que estes mudem de posição. Essa mudança na posição dos elétrons gera uma corrente elétrica (DOE, 1995).

2.1.2 Irradiação solar

A irradiação solar refere-se à quantidade de energia solar incidente em uma determinada área durante um determinado período de tempo. Devido ao formato elíptico do movimento da Terra em torno do Sol e da inclinação da Terra em relação à linha do equador, forma-se as estações do ano e, conseqüentemente, a distância entre a Terra e o Sol varia. Isso resulta em variações nos valores de irradiação ao longo do ano e em diferentes localidades.

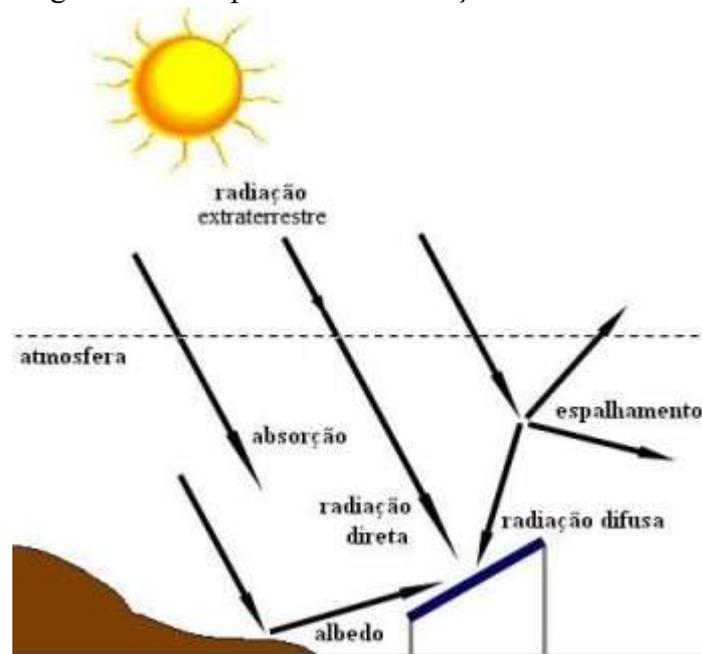
Na radiação que incide sobre a Terra, pode-se dividi-la em várias componentes, como visto na Figura 4. Ao definir cada uma dessas componentes que incidem sobre uma superfície, tem-se: (PINHO;GALDINO, 2014).

- Radiação Direta: Provém diretamente do Sol, produzindo uma sombra nítida. É a componente da radiação solar que chega à superfície sem sofrer dispersão ou reflexão significativa

na atmosfera.

- Radiação Difusa: Proveniente de diversas direções, atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera. Essa radiação é dispersa e refletida por partículas e moléculas presentes na atmosfera, como gases, aerossóis e gotículas de água.
- Albedo: É a radiação referente à reflexão nas superfícies. Cada superfície possui um índice de reflexão característico, que indica a quantidade de radiação solar que é refletida por essa superfície.

Figura 4 – Componentes da radiação solar



Fonte: PINHO et al., 2008

2.2 Geração FV

Um sistema solar é composto por módulos FV, inversores, dispositivos de proteção e estruturas de fixação dos módulos. Esses componentes têm como finalidade a geração de energia elétrica a partir da irradiação solar. É fundamental conhecer os equipamentos FV e entender o seu funcionamento para o desenvolvimento de um bom projeto de energia solar.

2.2.1 Módulo fotovoltaico

Os módulos FV atualmente são compostos por conjuntos de células FV, sendo a grande maioria delas feitas de lâminas de silício cristalino. Em 2011, as células de silício cristalino correspondiam a 87,9% do mercado. (PINHO;GALDINO, 2014).

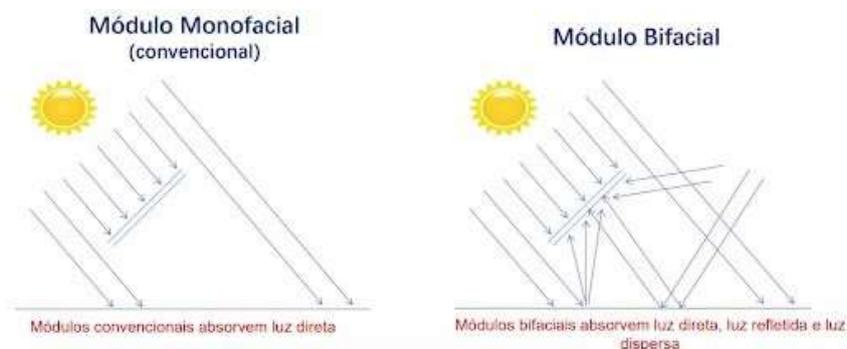
Os módulos de silício cristalino podem ser divididos em dois tipos principais: monocristalinos ou policristalinos. Essa diferenciação ocorre devido às características de construção dos módulos. O silício monocristalino é obtido a partir de um único cristal de silício, o que resulta em uma estrutura uniforme. Por outro lado, o silício policristalino é formado por vários cristais de silício combinados, resultando em uma estrutura granular.

A diferença na fabricação dos dois tipos de módulos resulta em diferentes valores de eficiência. Geralmente, os módulos monocristalinos possuem maior eficiência em comparação aos módulos policristalinos. Isso ocorre devido à maior pureza do silício utilizado na fabricação dos módulos monocristalinos, o que resulta em menor resistência elétrica e maior capacidade de captura da luz solar (PINHO;GALDINO, 2014).

Outra diferença entre os módulos FV está nas tecnologias aplicadas, destacando-se os módulos monofaciais e bifaciais. Atualmente, no mercado brasileiro, os módulos bifaciais possuem um preço semelhante aos módulos monofaciais. A diferença na capacidade de geração se dá pelo fato de que os módulos bifaciais são capazes de aproveitar a irradiação solar tanto na parte superior quanto na parte inferior do módulo, enquanto os módulos monofaciais aproveitam apenas a irradiação na parte superior. Isso permite que os módulos bifaciais gerem até 25% a mais de energia em comparação aos módulos monofaciais, devido ao aproveitamento do ganho bifacial (SOUZA,2023).

Pode-se ver a diferença entre o funcionamento dos módulos monofaciais e bifaciais na figura 5:

Figura 5 – Absorção da Irradiação Solar

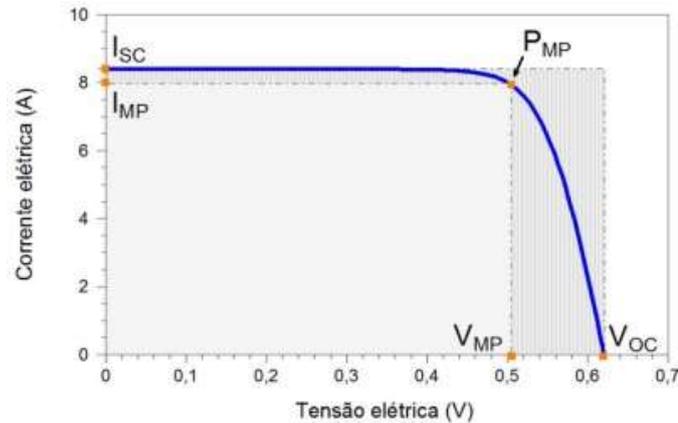


Fonte: JA SOLAR

Os parâmetros elétricos são fundamentais para diferenciar os diferentes modelos

de painéis solares. A partir da curva I-V (corrente-tensão), como mostra a figura 6, pode-se identificar os seguintes parâmetros: (PINHO;GALDINO, 2014)

Figura 6 – Curva Corrente - Tensão



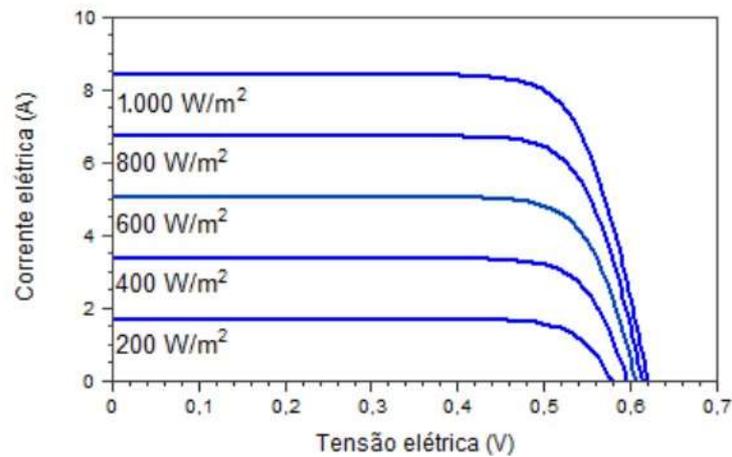
Fonte: PINHO et al., 2014

- Tensão de Circuito Aberto: é a tensão medida entre os terminais de uma célula quando não há circulação de corrente. É a tensão máxima que uma célula pode produzir.
- Corrente de Curto-Circuito: é a corrente máxima que uma célula pode fornecer quando a tensão entre os terminais é zero.
- Fator de Forma: é a razão entre a potência máxima da placa FV e o produto da tensão de circuito aberto pela corrente de curto-circuito.
- Eficiência: é calculada multiplicando a tensão de circuito aberto, a corrente de curto-circuito e o fator de forma, e dividindo o resultado pelo produto da área da célula pelo valor da irradiação solar incidente.

Outro aspecto fundamental para determinar os valores de tensão e corrente são os valores de irradiação solar e temperatura sobre os módulos. À medida que a irradiação diminui, a corrente máxima também diminui. Além disso, com o aumento da temperatura sobre os módulos, a tensão gerada pelo módulo diminui. Essas relações podem ser observadas nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

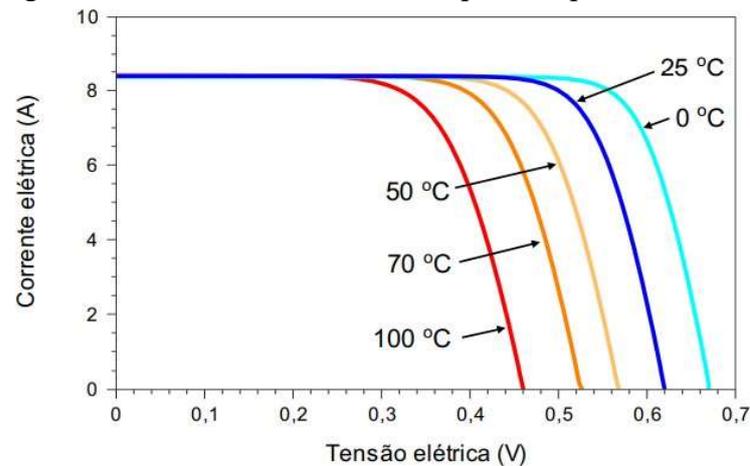
A ligação dos módulos pode ser realizada tanto em série (*string*) como em paralelo. As diferenças nas configurações de conexão afetam os valores de corrente e tensão. Em arranjos ligados em série, a tensão é somada, enquanto a corrente permanece a mesma. Por outro lado, em arranjos ligados em paralelo, a corrente é somada, enquanto a tensão permanece a mesma.

Figura 7 – Curva Corrente - Tensão por Irradiação



Fonte: PINHO;GALDINO, 2014

Figura 8 – Curva Corrente - Tensão por Temperatura



Fonte: PINHO;GALDINO, 2014

2.2.2 Inversor

A função do inversor é converter Corrente Contínua (CC), gerada pelos módulos FV, em Corrente Alternada (CA), utilizada na rede elétrica e na maioria dos equipamentos. Os principais modelos de inversores aplicados na geração FV são o microinversor e o inversor convencional, também conhecido como "inversor *string*".

Para compreender o funcionamento do inversor e suas diferenças é importante entender o que é uma Maximum Power Point Tracking (MPPT). O MPPT é um sistema de controle presente em um inversor que tem como função monitorar o ponto de máxima potência,

garantindo que o inversor possa operar na potência máxima disponível, aumentando assim a eficiência do sistema. Ele ajusta a tensão e corrente de saída dos módulos correspondentes a essa MPPT (BALFOUR et al.,2019).

Figura 9 – Inversor Convencional



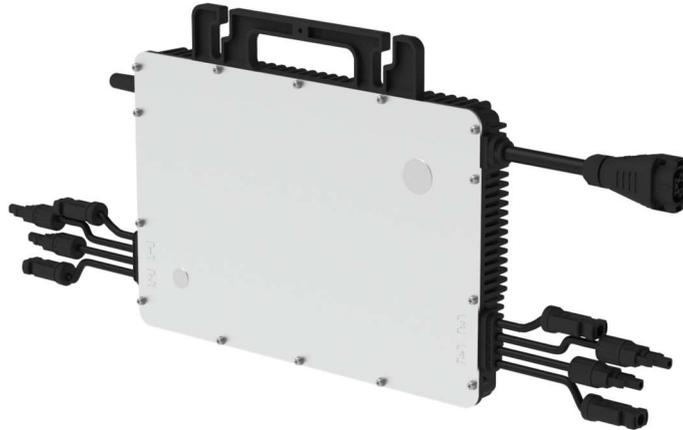
Fonte: SOLIS

Em um inversor *String* o número de MPPT's é reduzido, em contrapartida pode-se adicionar um maior número de módulos se comparado ao microinversor. O inversor da Figura 9 é um modelo de inversor convencional, o modelo é o Solis-25K-5G da fabricante Solis. O inversor Possui 3 MPPT's e entradas para 6 *strings*, assim haverá duas *strings* para cada MPPT.

Outro tipo de inversor comercialmente difundido é o microinversor, inversor da Figura 10. Diferentemente dos inversores tradicionais, os microinversores possuem a capacidade de conectar apenas 1 módulo por *string* e, geralmente, 1 ou 2 *strings* em cada MPPT. Isso permite que cada módulo opere de forma independente, reduzindo as perdas de energia causadas por sombreamento ou sujeira em um único módulo.

Embora o microinversor possua um gerenciamento mais eficiente das perdas devido ao número de MPPTs em comparação com um inversor convencional, em um sistema de maior

Figura 10 – Microinversor



Fonte: HOYMILES

escala é necessário um maior número de microinversores. Portanto, projetos que utilizam microinversores têm um custo de implementação significativamente mais alto em comparação com inversores convencionais.

2.2.3 Proteção

Um Sistema Fotovoltaico (SFV), para apresentar bom funcionamento, deve ser bem dimensionado, garantindo que o dimensionamento dos condutores, arranjos e proteções garantam uma vida útil adequada do sistema.

A proteção de um SFV é essencial para garantir um bom funcionamento e permitir que o sistema possa permanecer em operação pelo menos até o período determinado pela garantia dos equipamentos. Para garantir a proteção dos sistemas, os inversores possuem diversas proteções internas, entre elas temos proteções contra curto-circuito, subtensão e sobretensão, entre outros. Em SFV, é utilizado um sistema anti-ilhamento, que impossibilita a injeção de corrente do inversor à rede do cliente. Caso não seja identificado pelo inversor que ocorreu alguma interrupção do fornecimento da rede, automaticamente o inversor interrompe o seu funcionamento, garantindo que qualquer manobra na rede possa ser realizada pela concessionária ou equipe responsável (PINHO;GALDINO, 2014).

Mesmo com as proteções internas do inversor, é necessária a utilização de outras proteções que são exigidas, como as proteções por meio de Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) e proteção com o uso de disjuntores na parte CA, além do aterramento da estrutura e

módulos, sendo comum a utilização de proteções adicionais na parte CC, como a utilização de *string-box* (conjunto de proteção das *strings*). Na figura 11, é possível visualizar o modelo de *string-box*, normalmente são utilizados DPS, fusíveis e chave seccionadora para desconectar as *strings* do inversor.

Figura 11 – *String-Box*



Fonte: CLAMPER

2.2.4 Estrutura

Diversas são as estruturas usadas para a montagem de um SFV, as principais estruturas são de solo e telhado, mas outras soluções se tornam cada vez mais utilizadas.

As estruturas de solo são comumente estruturas de alvenaria ou metálicas para comportar os módulos, sendo necessário que a estrutura seja robusta para resistir às intempéries e não seja próxima a plantações ou materiais que produzam sombra nos módulos ou os queimem (BALFOUR et al.,2019).

As estruturas de telhado possuem uma grande variedade: estruturas próprias desenvolvidas para telhados cerâmicos, metálicos, telhado de fibrocimento e laje. As estruturas garantem a fixação do suporte do trilho e dos módulos (2P ACESSORIOS).

Outra estrutura que a cada ano é mais utilizada é o Sistema Carport Solar, que se utiliza dos módulos para gerar sombreamento em uma estrutura de estacionamento, uma ótima alternativa para locais com pouca área, sem disponibilidade de área de solo ou de telhado, sendo o sistema muito utilizado em prédios e estabelecimentos comerciais e de lazer.

2.2.5 Medidor bidirecional

O Medidor bidirecional é utilizado para fazer a medição da energia injetada na rede e fornecida para a Unidade Consumidora (UC). Os créditos incorporados ao titular da UC é resultado da diferença do injetado pelo consumido.

$$\text{Creditos} = \text{Energia}_{\text{Injetada}} - \text{Energia}_{\text{Consumida}} \quad (1)$$

2.3 Geração Distribuída

A GD no Brasil iniciou seu processo de implementação após a REN da ANEEL, REN482/2012, que estabeleceu as condições gerais de acesso de microgeração e minigeração, além da utilização do sistema de compensação, com a utilização de créditos de excedente injetados na rede e com validade de 36 meses. (BRASIL, 2012)

Em 2015 foi publicada a REN 687/2015 pela ANEEL, uma nova resolução com o objetivo de modificar alguns aspectos da REN 482/2012, como a utilização dos créditos por meio do autoconsumo remoto, possibilitando a utilização dos créditos em outras unidades consumidoras se vinculadas ao mesmo titular, possibilitando também a geração compartilhada, o que permite a utilização da energia por outros titulares, desde que seja estabelecido um consórcio, cooperativa ou condomínio (BRASIL, 2015).

Outro aspecto modificado na 687/2015, foi a alteração nos prazos estabelecidos à concessionária e a modificação da validade dos créditos para 60 meses.

Em 2022 foi aprovada a lei 14.300 que estabelece alterações no marco legal da GD no Brasil. Alguns aspectos fundamentais foram incorporados, modificando as diretrizes que antes eram embasadas na REN 482/2012 e REN 687/2015. Entre as principais mudanças, temos a segurança jurídica, não sendo possível a emissão de REN que confronte a lei e os direitos assegurados por ela.

Há também a mudança quanto à cobrança das componentes tarifárias, anteriormente os créditos poderiam compensar todas as componentes, sendo necessário ao cliente o pagamento somente do custo de disponibilidade, com a lei, será cobrado o fio b, que é o custo estimado pela concessionária pelo uso da infraestrutura de distribuição, na Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), tarifa referente ao custo de distribuição de energia. Caso o valor do fio b

seja menor que o custo de disponibilidade, o cliente deverá pagar o custo de disponibilidade.

Outro aspecto importante da norma foi garantir o direito adquirido aos clientes que já possuíam seu sistema implementado e ingressaram com um pedido de solicitação de acesso na concessionária até o dia 06/01/2023, além de estabelecer porcentagem da cobrança do fio B, como podemos observar na tabela 1. O direito adquirido possui vigência até 2045. Além disso, possibilitou aos cliente com usina junto a carga de até 112,5 KW que pudessem ser B optante, Cliente atendido como grupo A, com transformador particular, mas faturado como grupo B, desde que esteja na modalidade geração local.

Tabela 1 – Porcentagem da cobrança do fio B pelos anos posteriores

Porcentagem	Apartir de
15%	07/01/2023
30%	07/01/2024
45%	07/01/2025
60%	07/01/2026
75%	07/01/2027
90%	07/01/2028

Fonte: BRASIL, 2022

2.4 Parâmetros de Projeto de um SFCR

Para elaboração de um projeto FV, parâmetros como a disponibilidade de área, orientação dos módulos e irradiação solar são fundamentais. Conhecer a demanda para a qual o projeto é elaborado é igualmente fundamental para a elaboração de um projeto adequado. (PINHO; GALDINO, 2014)

Sobre as etapas do projetos SFV, segundo Pinho e Galdino (2014):

As Principais etapas do projeto de um SFV são as seguintes:

- 1 - Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
- 2 - Definição da localização e configuração do sistema;
- 3 - Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- 4 - Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- 5 - Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência que, no caso dos SFCRs, se restringe ao inversor para interligação com a rede;
- 6 - Dimensionamento do sistema de armazenamento, usualmente associado aos sistemas isolados; (PINHO; GALDINO, 2014, p.299-300).

2.4.1 Análise do Recurso solar

Para determinar a capacidade de geração de um sistema é necessário a irradiância e a temperatura sobre determinado módulo, no entanto, a irradiância possui impacto muito maior que a temperatura. Durante o dia, com as nuvens e a variação na irradiância, pode-se considerar o acúmulo da irradiação durante o período de um dia para definir o Hora de Sol Pico (HSP).

Na equação 2, essa grandeza define o número de horas que determinado local permanece com uma irradiação de 1000 W/m² (PINHO; GALDINO, 2014).

$$HSP = \frac{I_{media} \left[\frac{Wh}{m^2} \cdot dia \right]}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \quad (2)$$

2.4.2 Consumo e Demanda

Os valores de demanda e consumo são necessários para a elaboração de um projeto, afinal o projeto deve suprir o consumo e demanda do cliente.

Em um local que não sabe-se o consumo médio, é necessário estabelecer as cargas do local, determinando assim a quantidade de energia necessária para o funcionamento adequado do sistema e o tempo e a frequência do equipamento.

Para determinar a demanda é necessário conhecer as cargas e estabelecer o tempo de operação de cada uma delas, pode-se chegar facilmente nesse valor ao analisar uma curva de carga.

Normalmente, para elaboração de projetos de SFCR, o consumo médio da fatura de energia pode ser bem utilizado para determinar o padrão de consumo de um cliente.

Após a implementação do SFV, o consumo aparente da UC tende a diminuir, isso devido ao fato de o consumo real da UC não ser mais o consumo atribuído à conta de energia ou ao medidor, pois parte da geração automaticamente é destinada a cargas durante a geração. Assim, para calcula-se o consumo real da UC após a instalação de um SFV, é necessário utilizar as equações 3 e 4.

$$Consumo_{instantaneo} = Geracao_{Real} - Potencia_{Injetada} \quad (3)$$

$$Consumo_{real} = Consumo_{instantaneo} + Potencia_{Consumida} \quad (4)$$

2.4.3 Dimensionamento da geração em SFCR

Para dimensionar a geração é necessário estabelecer o consumo médio diário anual (E), através das faturas mensais disponibilizadas pela concessionária local.

A potência pode ser calculada pelo consumo diário médio, HSP e Taxa de desempenho (TD), que se dá pelas perdas do sistema e eficiência dos módulos e inversor. Os valores médios no Brasil para TD variam de 70% a 80%, pode-se observar na equação 5 (PINHO; GALDINO, 2014).

$$P_{FV}(Wp) = \frac{\frac{E}{TD}}{HSP_{MA}} \quad (5)$$

2.4.4 Dimensionamento do Inversor

O Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), é representado pela relação entre a potência nominal CA e a potência de pico do gerador FV, como podemos observar na equação 6. (PINHO; GALDINO, 2014).

$$FDI = \frac{P_{NCA}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (6)$$

Normalmente é utilizado um sobredimensionamento do inversor, conhecido como oversizing, que tem como objetivo garantir uma maior geração nos intervalos de menor incidência. Esse dimensionamento é viável devido aos módulos não operarem em sua maior parte do tempo. Esse dimensionamento, permite a utilização de um inversor de menor potência, normalmente com valor menor e geralmente maior eficiência, devido a inversores de menor potência tenderem a ter um intervalo de operação com tensões menores. (SOLAREEDGE,2021)

A tensão de entrada do inversor é resultante da soma da tensão de circuito aberto dos módulos em série, em temperatura mínima. Cada inversor possui uma tensão máxima de entrada, que deve ser respeitada, caso a tensão de entrada do inversor sobreponha a tensão máxima permitida pelo equipamento, pode ocorrer a danificação do equipamento. A equação 7 determina o número máximo de módulos em série (PINHO; GALDINO, 2014).

$$N_{MS}^0 \cdot V_{OC_{Tmin}} < V_{i_{max}} \quad (7)$$

O Inversor possui uma faixa de tensão de entrada que permite com que ele entre

em operação. Valores abaixo dessa faixa deixam o sistema desligado, enquanto sistemas com valores superiores, podem danificar o equipamento, como visto anteriormente. O intervalo pode ser definido pela equação 7. (PINHO;GALDINO, 2014)

$$\frac{Vi_{OPmin}}{Vmp_{Tmax}} < N_{MS}^O < \frac{Vi_{OPmax}}{Vmp_{Tmin}} \quad (8)$$

A tensão de saída de um módulo muda conforme a temperatura de operação, quanto maior a temperatura, menor a tensão fornecida pelo módulo e quanto menor a temperatura, maior a tensão do módulo.

2.5 Indicadores Financeiros

Para analisar a viabilidade econômica e se o investimento de um projeto é a melhor decisão, os indicadores financeiros são essenciais.

2.5.1 Fluxo de Caixa

Fluxo de caixa pode ser definido como as entradas e saídas em um determinado período de tempo (GOMES,2013). O fluxo de caixa deve ser claro e de fácil entendimento, não pode conter erro na sua criação, pois os resultados e análises encontradas também serão incorretas (SOUSA,2007).

2.5.2 VPL

O VPL tem como objetivo utilizar valores presentes de entrada e saída, assim, podemos deduzir que o VPL é composto pelo somatório do fluxo de caixa em valor presente, como podemos observar na equação 9 (SOUSA, 2007). O "i" pode ser definido como custo de capital.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (9)$$

2.5.3 TIR

Para calcular a TIR é necessário admitir o VPL=0, comparando o valor do TIR com

o Custo de Capital. Caso o $TIR > i$, então o projeto deve ser aceito pois possui maior ganho (GITMAN, 2010).

$$FC_0 = \sum_n^{t=0} \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (10)$$

2.5.4 Payback Descontado

Os Valores são todos dispostos em valor presente, com base em uma Taxa Mínima de Retorno Aceitável (TMRA), dispondo esses valores atualizados no tempo e calculando o tempo para que a aplicação tenha o custo inicial totalmente amortizado pelos ganhos (SOUSA, 2007).

3 PROJETO SFCR

Neste capítulo será abordado o projeto de um SFCR do clube de um loteamento e a análise financeira, visando garantir um projeto bem dimensionado e avaliar o investimento, buscando encontrar resultados financeiros que aprovelem a execução.

3.1 Características do Clube

O loteamento terras alphaville ceará 3, é dividido em várias unidades consumidoras, no entanto o objeto de estudo será somente a unidade do Clube, realizando o dimensionamento para suprir o consumo dessa UC.

Os condôminos planejam modificar, nos próximos anos, a estrutura do Clube, adicionando um novo andar no prédio. Devido a isso, foi pensado o sistema carport solar como solução, garantindo que a área interna do Clube possa ser modificada posteriormente sem interferir no SFV.

3.1.1 Localização

A UC está localizada no Eusébio, em um loteamento fechado. O atendimento da UC é trifásico. Na Tabela 2, pode-se observar outras características do Clube.

Tabela 2 – Características do Local

Característica	Situação
Área da UC	13650 m ²
Área Disponível	825 m ²
Coordenadas	(-3.89278, -38.48218)
Atendimento	Trifásico
Faturamento	Grupo B

Fonte: Próprio Autor

Pode-se observar na Figura 12 a vista do local de estudo, delimitado pelas edificações, áreas de lazer e área disponível para instalação.

A área delimitada em azul na Figura 12, delimita o estacionamento do local. A largura do estacionamento tem 5,50 m. Os intervalos que somados são iguais a 150 m de comprimento.

Figura 12 – Local de estudo



Fonte: Google Earth

3.1.2 Consumo

Para determinar o consumo da UC foi utilizado uma conta de energia e analisado o consumo faturado pela concessionária durante 1 ano. A conta disponibilizada tem os valores de consumo expressos na Tabela 3.

O consumo médio mensal é de 6.991,00 kWh, assim será realizado um projeto visando atender essa média de consumo.

Tabela 3 – Consumo Fatura

Mês/Ano	Consumo (kWh)
set/21	7.992
out/21	7.392
nov/21	8.140
dez/21	7.466
jan/22	8.151
fev/22	8.461
mar/22	6.229
abr/22	5.760
mai/22	7.747
jun/22	5.707
jul/22	5.569
ago/22	5.276
Média	6.991

Fonte: ENEL, 2022

3.1.3 Irradiação

Para coletar os dados de irradiação do local, foi utilizado o programa SunData. No programa foram adicionadas as coordenadas do projeto e os valores referentes à irradiação média mensal foram demonstrados, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Irradiação solar diária média

Mês/Ano	Irradiação Solar Diária Média (kWh/m ² .dia)
jan	5,72
fev	5,81
mar	5,61
abr	4,90
mai	5,21
jun	5,24
jul	5,44
ago	5,95
set	6,18
out	6,37
nov	6,37
dez	5,97
Média	5,73

Fonte: CRESESB, 2023

Com o valor da irradiância média de 5,73 (kWh/m².dia), pode-se descobrir o valor de HSP, com a equação 2, atribuindo os valores, tem-se que:

$$HSP = \frac{5730 \left(\frac{Wh}{m} \cdot dia \right)}{1000 \left(\frac{W}{m} \right)} = 5,73 \left(\frac{h}{dia} \right) \quad (11)$$

3.2 Dimensionamento

3.2.1 Módulos

Para determinar a potência dos módulos do sistema a ser utilizado, é necessário descobrir o E, equação 12, que se consegue pelo consumo médio, encontrado pela fatura do cliente e expresso na Tabela 3, dividindo-o pelos 30 dias do mês.

$$E = \frac{C_m}{30} = \frac{6991(kWh)}{30(dia)} = 233,03 \left(\frac{kWh}{dia} \right) \quad (12)$$

A TD assumida é de 73%, valor dentro dos valores médios no Brasil. Agora com os dados de consumo médio diário anual e HSP, pode-se colocar os valores encontrados na Equação 5.

$$P_{FV}(Wp) = \frac{233030/0,73}{5,73} = 55710,15 (Wp) = 55,71 (kWp) \quad (13)$$

Com esse valor de potência dos módulos, pode-se descobrir quantos módulos são necessários para suprir o estimado consumo. Será utilizado nesse projeto os módulos da fabricante DAH 555 Wp, modelo DHM72X10, por possuir melhor custo-benefício. Após o cálculo, obtem-se 101 módulos para garantir a geração desejada, com 101 módulos é necessário 2 *strings* com quantidade de módulos diferentes em uma MPPT, no entanto deve-se utilizar 102 módulos para facilitar a separação das *strings* e diminuir a possibilidade de corrente reversa.

$$N_M^O = \frac{557100}{555} = 100,37 \quad (14)$$

Com 102 módulos tem-se uma potência de pico de 56,61 kWp.

3.2.2 Inversor

O Dimensionamento do inversor em um sistema solar deve atender a capacidade máxima do inversor de potência de entrada, além dos limites de tensão e corrente por *string* e faixa de operação da *string*.

O inversor utilizado será da fabricante SOLPLANET, modelo SOLPLANET ASW-40K-LT-G3, o modelo escolhido tem potência máxima dos módulos de 60,00 kWp, valor superior a 56,05 kWp encontrado, tornando assim o inversor adequado para uso no sistema.

Para Determinar o FDI do inversor, deve-se utilizar a potência do inversor, pela potência do sistema, como descrito na equação 6. Substituindo tem-se:

$$FDI = \frac{40,00(W)}{56,61(Wp)} = 0,7065 \quad (15)$$

O valor encontrado está dentro dos valores adequados pelo fabricante, que utilizando a potência máxima de entrada de 60 kWp, possui FDI de 0,6666. Como o valor encontrado é superior ao valor de referência, o sistema está dentro dos parâmetros adequados.

Para determinar a adequabilidade do número máximo de módulos em série deve-se utilizar a equação 7 e 1100 V que é o valor máximo da entrada disposto no Datasheet do

Inversor. Adequando os valores a equação tem-se:

$$N_{MS}^O < 21,82 \quad (16)$$

O valor encontrado demonstra que o número máximo de módulos por *string* é de 21 módulos por *string*, o inversor possui 6 *strings* e 3 MPPT's, como descrito em seu *Datasheet*.

Para determinar a faixa de operação pelo número de módulos em série, é necessário, para a quantidade mínima, a tensão mínima de operação do inversor, 180V no datasheet do inversor, e a tensão do módulo em temperatura máxima (Menor Valor de Tensão). O valor da tensão em temperatura máxima, de acordo com o *datasheet* do módulo em uso, é aproximadamente 45 V. Os valores máximos de operação é o resultado encontrado na equação 16, tem-se:

$$4 < N_{MS}^O < 21 \quad (17)$$

Com os valores encontrados, percebe-se que a quantidade de módulos em série para que o inversor entre em operação variam de 4 a 21 módulos por *string*. Como o inversor possui 6 *Strings* e 3 MPPT's, a divisão dos módulos ficará conforme descrito na Tabela 5:

3.3 Estrutura Carport Solar

Para dimensionamento da estrutura foi utilizado o programa AUTOCAD com o intuito de verificar se existe área disponível para implementação de 102 módulos, área equivalente a 330 m², com os módulos e a estrutura. A disposição do módulos pode ser verificada na Figura 13 e o local escolhido apresenta a exata medição de 330 m². O custo médio por módulo estimado foi de R\$450,00.

Tabela 5 – Divisão das *Strings*

String	MPPT	Número de Módulos
1	A	17
2	A	17
3	B	17
4	B	17
5	C	17
6	C	17
6 Strings	3 MPPT's	202 Módulos

Fonte: Próprio Autor

Figura 13 – Local da Estrutura Carport Solar



Fonte: Próprio Autor

3.4 Geração e Consumo

Os dados de geração são fundamentais para analisar a viabilidade do sistema, fatores como a redução de eficiência dos módulos pelo tempo devem ser considerados e fatores como a análise de consumo devem ser analisados para estimar a geração durante 25 anos de operação do SFV.

Foi calculado inicialmente a geração em um período de 1 ano, utilizando a equação 5. Conforme os valores de HSP dos meses correspondentes, os resultados foram expressos na Tabela 6:

Tabela 6 – Geração no primeiro Ano

Mês	Dias	HSP	Nº de Módulos	TD	Geração Mensal (kWh)
JAN	31	5,72	102	0,73	7328
FEV	28	5,81	102	0,73	6723
MAR	31	5,61	102	0,73	7187
ABR	30	4,90	102	0,73	6075
MAI	31	5,21	102	0,73	6674
JUN	30	5,24	102	0,73	6496
JUL	31	5,44	102	0,73	6969
AGO	31	5,95	102	0,73	7622
SET	30	6,18	102	0,73	7662
OUT	31	6,37	102	0,73	8161
NOV	30	6,37	102	0,73	7897
DEZ	31	5,97	102	0,73	7648
Geração total no primeiro ano:					86442

Fonte: Próprio Autor

Para demonstrar a geração nos anos subsequentes foi utilizada uma perda de 0,7% de eficiência do sistema a cada ano e 3% no primeiro ano. (PORTAL SOLAR, 2023) Os valores

encontrados estão expressos na tabela 7. Pode-se perceber que as perdas estimadas para 25 anos resultam na geração de 86,53% da capacidade inicial dos sistema.

O consumo da UC estipula-se como constante durante o período de 25 anos. Utiliza-se o consumo total no primeiro ano e repetindo nos anos subsequentes, como a média demonstrada na tabela 3, o consumo anual será 83.892 kWh por ano.

Tabela 7 – Geração estimada por anos

Ano	Perda	Geração (kWh)
1	3%	86442
2	0,7%	83849
3	0,7%	83262
4	0,7%	82679
5	0,7%	82100
6	0,7%	81526
7	0,7%	80955
8	0,7%	80388
9	0,7%	79826
10	0,7%	79267
11	0,7%	78712
12	0,7%	78161
13	0,7%	77614
14	0,7%	77071
15	0,7%	76531
16	0,7%	75995
17	0,7%	75463
18	0,7%	74935
19	0,7%	74411
20	0,7%	73890
21	0,7%	73372
22	0,7%	72859
23	0,7%	72349
24	0,7%	71842
25	0,7%	71340

Fonte: Próprio Autor

4 ANÁLISE FINANCEIRA

4.1 Custo de Implementação

Para Analisar a atratividade do investimento é necessário estabelecer os custos para que o SFV possa entrar em operação. Custos dos equipamentos, montagem da estrutura, montagem do sistema e custo de projeto estão estimados na Tabela 8:

Tabela 8 – Custo de Implementação

Descrição	Custo
Inversor e Módulos	R\$ 102.269,75
Cabos CC e CA	R\$ 3.400,00
Proteção CC	R\$ 1.600,00
Proteção CA	R\$ 1.400,00
Estrutura	R\$ 45.900,00
Montagem	R\$ 16.800,00
Projeto	R\$ 11.200,00
Total	R\$ 182.569,75

Fonte: SOU ENERGY/CANAL SOLAR, 2023

Os custos dos módulos, inversor, proteção CC e CA, foram obtidos em consulta a o distribuidor SOU ENERGY, o valor da estrutura foi estimado segundo dados disponibilizados pelo CANAL SOLAR. Os custos de montagem e projeto foi embasado de acordo com o valores cobrados pelo mercado.

4.2 Indicadores Financeiros

Para precificar a energia é necessário analisar a tarifa vigente e os encargos atuais, como exposto na tabela 1. Com a lei 14.300, o fio b deve ser cobrado de acordo com a data de ingresso da solicitação. Consideraremos a data de ingresso entre os dias 07/01/2023 e 07/01/2024, caracterizando o fio b em 15%.

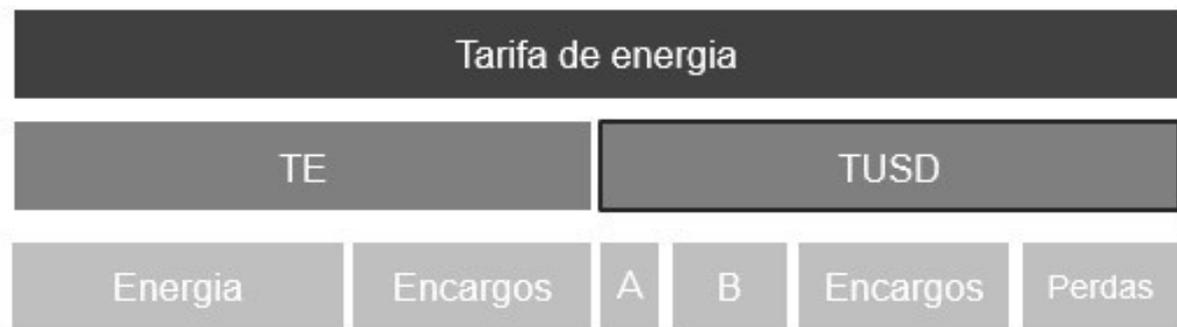
A Conta de Energia pode ser dividida entre Tarifa de Energia (TE) e TUSD. Na TE é cobrado o custo da energia e os encargos sobre a energia. Na TUSD é cobrado o fio A e o fio B, que correspondem ao Custo de Transmissão e Custo de Distribuição, respectivamente (Energês, 2022). Podemos observar a divisão da tarifa de energia na Figura 14.

A TUSD e TE na ENEL-CE, distribuidora em operação na área da UC, têm seus valores de cobrança para cliente do Grupo B3 de 0,46202 R\$/kWh e 0,30690 R\$/kWh, respec-

tivamente. O fio B corresponde a 0,28315R\$/kWh, os valores apresentados foram adquiridos pelos valores tarifários cadastrados na Aneel pela Enel-CE, em vigência no ano de 2023.

O Aumento da Tarifa de energia é recorrente, como exposto anteriormente. Para análise dos custos será atribuído um aumento de 7% ao ano da tarifa de energia. A Tabela 9 demonstra o valor estimado da tarifas pelos 25 anos de geração.

Figura 14 – Divisão da Tarifa de Energia



Fonte: Próprio Autor

Tabela 9 – Estimativa Tarifa

Ano	TE	TUSD	Fio B(15%)
1	0.30960	0.46022	0.04247
2	0.33130	0.49244	0.04544
3	0.35450	0.52691	0.04862
4	0.37930	0.56379	0.05202
5	0.40580	0.60325	0.05566
6	0.43420	0.64548	0.05956
7	0.46460	0.69067	0.06373
8	0.49710	0.73901	0.06819
9	0.53200	0.79074	0.07296
10	0.56920	0.84610	0.07807
11	0.60900	0.90532	0.08353
12	0.65170	0.96869	0.08938
13	0.69730	1.03650	0.09564
14	0.74610	1.10906	0.10233
15	0.79830	1.18669	0.10950
16	0.85420	1.26976	0.11716
17	0.91400	1.35864	0.12536
18	0.97800	1.45375	0.13414
19	1.04640	1.55551	0.14353
20	1.11970	1.66440	0.15358
21	1.19810	1.78091	0.16433
22	1.28190	1.90557	0.17583
23	1.37170	2.03896	0.18814
24	1.46770	2.18169	0.20131
25	1.57040	2.33440	0.21540

Fonte: Próprio Autor

O consumo instantâneo do sistema será de 25% do consumo total. Tendo em vista que esse consumo não será incorporado na fatura de energia, não possuirá a incidência de nenhum tributo ou encargos nesse valor. Na Tabela 10 será representado o injetado, o consumido da rede e os créditos no período de 25 anos.

A Alíquota do Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS) cobrado será de 18%. Para a demonstração dos cálculos será cobrado o ICMS na TUSD, no entanto, caso o valor do injetado na rede seja menor que o disponibilizado pela rede para UC, será também cobrado o ICMS sobre o TE na diferença entre o consumido e o injetado.

Com os dados desenvolvidos pode-se comparar a fatura de uma conta com SFV e sem o SFV. Na Tabela 11, temos a diferença entre o valor sem SFV e o valor com SFV, o valor resultante será nomeado como economia da fatura.

Tabela 10 – Energia Injetado, Energia Consumida e Creditos

ANO	Injetado (kWh)	Consumo da rede (kWh)	Creditos (kWh)
1	65469	62919	2550
2	62876	62919	2507
3	62289	62919	1877
4	61706	62919	664
5	61127	62919	0
6	60553	62919	0
7	59982	62919	0
8	59415	62919	0
9	58853	62919	0
10	58294	62919	0
11	57739	62919	0
12	57188	62919	0
13	56641	62919	0
14	56098	62919	0
15	55558	62919	0
16	55022	62919	0
17	54490	62919	0
18	53962	62919	0
19	53438	62919	0
20	52917	62919	0
21	52399	62919	0
22	51886	62919	0
23	51376	62919	0
24	50869	62919	0
25	50367	62919	0

Fonte: Próprio Autor

Tabela 11 – Conta com SFV, Conta sem SFV e Economia

ANO	Conta com SFV	Conta sem SFV	Economia
1	R\$ 7.884,04	R\$ 76.206,45	R\$ 68.322,41
2	R\$ 8.433,35	R\$ 81.540,90	R\$ 73.107,55
3	R\$ 8.986,24	R\$ 87.248,77	R\$ 78.262,53
4	R\$ 10.229,89	R\$ 93.356,18	R\$ 83.126,29
5	R\$ 12.173,38	R\$ 99.891,11	R\$ 87.717,74
6	R\$ 13.656,72	R\$ 106.883,49	R\$ 93.226,77
7	R\$ 15.283,35	R\$ 114.365,34	R\$ 99.081,99
8	R\$ 17.065,77	R\$ 122.370,91	R\$ 105.305,14
9	R\$ 19.017,50	R\$ 130.936,87	R\$ 111.919,37
10	R\$ 21.153,18	R\$ 140.102,45	R\$ 118.949,27
11	R\$ 23.488,65	R\$ 149.909,63	R\$ 126.420,98
12	R\$ 26.041,02	R\$ 160.403,30	R\$ 134.362,28
13	R\$ 28.828,84	R\$ 171.631,53	R\$ 142.802,70
14	R\$ 31.872,12	R\$ 183.645,74	R\$ 151.773,62
15	R\$ 35.192,51	R\$ 196.500,94	R\$ 161.308,43
16	R\$ 38.813,43	R\$ 210.256,01	R\$ 171.442,57
17	R\$ 42.760,17	R\$ 224.973,93	R\$ 182.213,76
18	R\$ 47.060,05	R\$ 240.722,10	R\$ 193.662,05
19	R\$ 51.742,61	R\$ 257.572,65	R\$ 205.830,04
20	R\$ 56.839,73	R\$ 275.602,73	R\$ 218.763,01
21	R\$ 62.385,86	R\$ 294.894,93	R\$ 232.509,07
22	R\$ 68.418,19	R\$ 315.537,57	R\$ 247.119,38
23	R\$ 74.976,88	R\$ 337.625,20	R\$ 262.648,32
24	R\$ 82.105,30	R\$ 361.258,96	R\$ 279.153,67
25	R\$ 89.850,21	R\$ 386.547,09	R\$ 296.696,88

Fonte: Próprio Autor

4.2.1 Fluxo de caixa

Para determinar o fluxo de caixa, será incorporado o custo e a receita do ano 0 até o ano 25. A receita será a diferença entre o valor Conta sem SFV - Conta com SFV, que anteriormente definido como Economia, e o Investimento Inicial será o valor referente à implementação do sistema. Os resultados estão representados na Tabela 12 e a representação do fluxo de caixa é representada no Gráfico 1 que expressa o fluxo de caixa do SFV.

O fluxo de caixa é o primeiro passo para qualquer análise financeira, pois sua função é determinar as entradas e saídas em determinado período de tempo. Após a criação do fluxo de caixa, pode-se estipular uma taxa de custo de capital, pois dinheiro tem valor no tempo. Sendo assim, pode-se analisar se o valor encontrado possui rentabilidade, se comparado ao investimento do valor em alguma aplicação. Será utilizado o Tesouro Selic como parâmetro, a atual rentabilidade do tesouro selic é 13,65% ao ano (a.a) , esse valor será utilizado como parâmetro para analisar o valor presente.

Tabela 12 – Fluxo de Caixa

ANO	Investimento inicial	Economia
0	R\$ -182.569,75	R\$ 0,00
1	R\$ 0,00	R\$ 68.322,41
2	R\$ 0,00	R\$ 73.107,55
3	R\$ 0,00	R\$ 78.262,53
4	R\$ 0,00	R\$ 83.126,29
5	R\$ 0,00	R\$ 87.717,74
6	R\$ 0,00	R\$ 93.226,77
7	R\$ 0,00	R\$ 99.081,99
8	R\$ 0,00	R\$ 105.305,14
9	R\$ 0,00	R\$ 111.919,37
10	R\$ 0,00	R\$ 118.949,27
11	R\$ 0,00	R\$ 126.420,98
12	R\$ 0,00	R\$ 134.362,28
13	R\$ 0,00	R\$ 142.802,70
14	R\$ 0,00	R\$ 151.773,62
15	R\$ 0,00	R\$ 161.308,43
16	R\$ 0,00	R\$ 171.442,57
17	R\$ 0,00	R\$ 182.213,76
18	R\$ 0,00	R\$ 193.662,05
19	R\$ 0,00	R\$ 205.830,04
20	R\$ 0,00	R\$ 218.763,01
21	R\$ 0,00	R\$ 232.509,07
22	R\$ 0,00	R\$ 247.119,38
23	R\$ 0,00	R\$ 262.648,32
24	R\$ 0,00	R\$ 279.153,67
25	R\$ 0,00	R\$ 296.696,88

Fonte: Próprio Autor

Gráfico 1 – Fluxo de Caixa



Fonte: Próprio Autor

4.2.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Para o cálculo do VPL foi realizado a somatória dos valores presentes conforme equação 9. Na Tabela 13 é apresentado o fluxo de carga no valor presente e os valores encontrados serão utilizados para o cálculo da TIR e *Payback* descontado. Na equação 18, tem-se o valor encontrado do VPL, como o valor é superior a zero, o resultado encontrado do projeto indica que é rentável.

$$VPL = R\$576.234,52 \quad (18)$$

Tabela 13 – Valor Presente

ANO	Fluxo de Caixa	Valor Presente
0	R\$ -182.569	R\$ -182.569,75
1	R\$ 68.322,41	R\$ 60.116,51
2	R\$ 73.107,55	R\$ 56.600,90
3	R\$ 78.262,53	R\$ 53.314,53
4	R\$ 83.126,29	R\$ 49.826,53
5	R\$ 87.717,74	R\$ 46.263,68
6	R\$ 93.226,77	R\$ 43.263,74
7	R\$ 99.081,99	R\$ 40.458,39
8	R\$ 105.305,14	R\$ 37.835,03
9	R\$ 111.919,37	R\$ 35.381,83
10	R\$ 118.949,27	R\$ 33.087,76
11	R\$ 126.420,98	R\$ 30.942,49
12	R\$ 134.362,28	R\$ 28.936,37
13	R\$ 142.802,70	R\$ 27.060,37
14	R\$ 151.773,62	R\$ 25.306,04
15	R\$ 161.308,43	R\$ 23.665,49
16	R\$ 171.442,57	R\$ 22.131,34
17	R\$ 182.213,76	R\$ 20.696,68
18	R\$ 193.662,05	R\$ 19.355,06
19	R\$ 205.830,04	R\$ 18.100,45
20	R\$ 218.763,01	R\$ 16.927,20
21	R\$ 232.509,07	R\$ 15.830,03
22	R\$ 247.119,38	R\$ 14.804,00
23	R\$ 262.648,32	R\$ 13.844,51
24	R\$ 279.153,67	R\$ 12.947,23
25	R\$ 296.696,88	R\$ 12.108,13

Fonte: Próprio Autor

4.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para o cálculo da TIR, foi utilizada a equação 10. Caso o valor da TIR seja superior à taxa de custo de capital, o projeto está validado, caso o valor encontrado seja inferior, o projeto não está validado. Após substituir os valores do fluxo em valor presente, encontra-se o valor da TIR, conforme expresso na equação 19.

$$TIR = 44\% \quad (19)$$

O valor encontrado da TIR indica que o SFV é um bom investimento durante o período em estudo, assim, é possível aprovar a utilização do sistema.

4.2.4 Payback Descontado

Para o Cálculo do *Payback* descontado foi utilizada a tabela 13. Uma tabela de saldo foi utilizada para descobrir o instante em que o custo do projeto é abatido da economia gerada, na Tabela 14, está expresso o fluxo de caixa, valor presente e saldo até o instante em que este torna-se positivo.

Tabela 14 – Payback Descontado

ANO	Fluxo de Caixa	Valor Presente	Saldo
0	R\$ -182.569	R\$ -182.569,75	R\$ -182.569,7
1	R\$ 68.322,41	R\$ 60.116,51	R\$ -122.453,24
2	R\$ 73.107,55	R\$ 56.600,90	R\$ -65.852,34
3	R\$ 78.262,53	R\$ 53.314,53	R\$ -12,537,81
4	R\$ 83.126,29	R\$ 49.826,53	R\$ 37.288,71

Fonte: Próprio Autor

Conforme a Tabela 14 o tempo em que o Saldo está em zero é de 3,25 anos, tempo em que teremos o valor investido retornado.

5 CONCLUSÃO

Com os dados do consumo médio no período de 1 ano e adotando os parâmetros expostos do referencial teórico que determinaram a potência de 56,61 kWp utilizando-se 102 módulos FV de 555 Wp, foi verificado o FDI do inversor e exposto que o dimensionamento do inversor de 40 kW é suficiente, segundo o seu *datasheet*. Para esse inversor, foi dimensionada a quantidade máxima e mínima de módulos por string e representadas a divisão das strings e a quantidade de módulos por string. Após foi demonstrado que a área disponível para implementação do carport solar é superior à área necessária para a implementação dos 102 módulos, assim tem-se que a implementação é viável quando analisado a área disponível. Os resultados encontrados do dimensionamento da geração correspondem com os critérios estabelecidos no referencial teórico. Por fim, foi ainda estipulada a perda da capacidade de geração dos módulos.

Foi estipulado as faturas próximas, em que foi implementado um aumento de 7% a.a na tarifa de energia e um consumo instantâneo de 25% do consumo anual, utilizando o tesouro selic como taxa de custo de capital. Foi analisado a Fatura de Energia durante os 25 anos posteriores com SFV e sem o SFV em valor presente e verificou-se que o dimensionamento utilizado gerou poucos créditos ao sistema, somente durante 4 anos, devido às perdas de eficiência do sistema. Embora o período seja pouco se comparado aos 25 anos de operação do sistema, as divergências entre os valores de fatura com SFV e sem SFV, percebe-se bem menores se comparadas, proporcionando economia.

Para quantificar a economia e se o investimento financeiro em um SFV é uma boa solução na análise financeira, verificamos os valores em tempo presente e concluímos com as respostas encontradas de VPL de R\$ 576.234,52, demonstrando que como esse valor é superior a zero, então o investimento no SFV é mais rentável que aplicar o investimento inicial no tesouro selic e retirá-lo com 25 anos, foi posteriormente encontrado a TIR de 44%, como o valor é superior à taxa de custo de capital de 13,65%, pela taxa ser maior também demonstra que o investimento em SFV é mais rentável que a Selic, outro parâmetro foi o *Payback* Descontado de 3,25 anos, sendo um tempo curto se comparado com o período de operação do SFV, demonstra-se que a implementação do projeto é uma boa solução, por possuir espaço disponível para implementação e todos os indicadores financeiros demonstraram valores superiores a referências, além do pequeno período até atingir o *Payback*.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões de trabalhos futuros com base nos assuntos abordados serão elencadas visando aprofundar tópicos do trabalho. Entre elas:

- Análise das cargas totais do loteamento para construção de uma usina futura, visando atender o consumo total do loteamento.
- Estudo dos impactos de uma possível ampliação do clube e como afetaria no consumo e geração FV.
- Dimensionamento de proteções: SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) e dimensionamento de cabos para o SFV do clube.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Dependência de hidrelétricas e falhas de gestão são desafios para sistema elétrico brasileiro.** 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/dependencia-de-hidretricas-e-falhas-de-gestao-sao-desafios-para-sistema-eletrico-brasileiro/>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- ANEEL/ABSOLAR. **Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.** 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- BLUESOL. **Carport Solar: Conheça os Benefícios do Estacionamento Solar.** 2021. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/carport-solar-tudo-sobre/>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- BRASIL. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Brasília, 17 abr. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- BRASIL. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Brasília, 24 nov. 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- BRASIL. **Lei nº 14.300**, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Centro de Documentação e Informação, 2022. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14300-6-janeiro-2022-792217-norma-pl.html>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- CANAL SOLAR. **Carports em alta no mercado brasileiro de energia solar.** 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/carports-em-alta-no-mercado-brasileiro-de-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- DOE - US. DEPARTMENT OF ENERGY. **Photovoltaic Fundamentals.** Washington: National Renewable Energy Laboratory, 1995. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/16319.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia - PNE 2050.** Brasília: Ministério de Minas e Energia - MME, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 28 jun. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional - BNE 2022**. Brasília: Ministério de Minas e Energia - MME, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 28 jun. 2023.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GOMES, J. M. **Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros**. São Paulo: Atlas, 2013.

IRENA. **Renewable Capacity Statistics 2023**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>. Acesso em: 28 jun. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Quanto tempo duram os painéis solares?** 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares/>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SOUSA, A. F. **Avaliação de investimento: uma abordagem prática**. São Paulo: Saraiva, 2007.

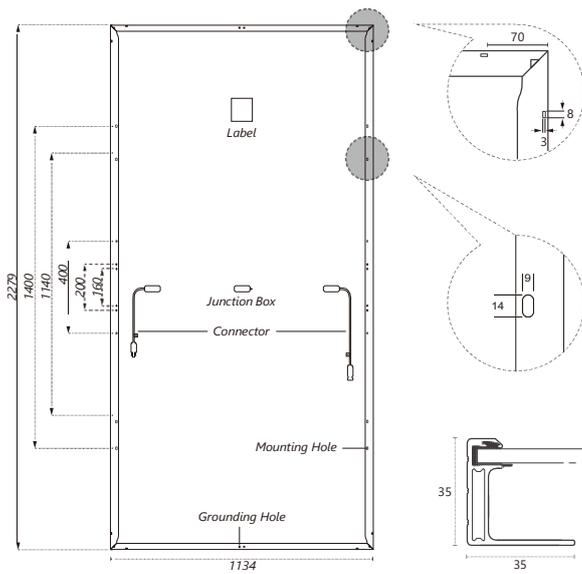
SOUZA, J. **Módulos fotovoltaicos bifaciais: a tecnologia que está transformando a indústria solar**. **Revista Canal Solar**, Campinas, 15ª Edição. p. 42 - 52, abril, 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/revista-canal-solar/>. Acesso em: 30 jun. 2023

ANEXO A – DATASHEET MÓDULO E INVERSOR

No Anexo A foi disponibilizado o datasheet do módulo e inversor, utilizado no projeto do SFV.

DHM-72X10 525~560W

Design



Mechanical Specification

Cells Type Mono 182×91mm	Dimension (L×W×T) 2279×1134×35mm
Weight 29kg	Packing 31pcs/pallet, 620pcs/40HQ
Output Cable (Including connector)	4.0mm ² , 300/400mm in length, length can be customized
No. of Cells	144 (6×24)
Glass	3.2mm High Transmission, Antireflection Coating
Junction box	IP68, 3 Bypass Diodes
Connector	MC4 Compatible

Operating Parameters

Maximum system voltage	1500V DC
Operating Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum series fuse rating	25A
Snow load, frontside	5400Pa
Wind load, backside	2400Pa
Nominal operating cell temperature	45°C±2°C
Application level	Class A

STC-Electrical Characteristics

Module Type	DHM-72X10							
Maximum Power (Pmax/W)	525	530	535	540	545	550	555	560
Open-circuit Voltage (Voc/V)	49.2	49.4	49.6	49.8	50.0	50.2	50.4	50.6
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	41.4	41.6	41.8	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8
Short-circuit Current (Isc/A)	13.48	13.54	13.60	13.66	13.72	13.78	13.84	13.90
Maximum Power Current (Imp/A)	12.68	12.74	12.80	12.86	12.91	12.97	13.03	13.08
Module Efficiency (%)	20.31	20.51	20.70	20.89	21.09	21.28	21.48	21.67
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C							
Temperature Coefficient of Voc	-0.31%/°C							
Temperature Coefficient of Pmax	-0.35%/°C							

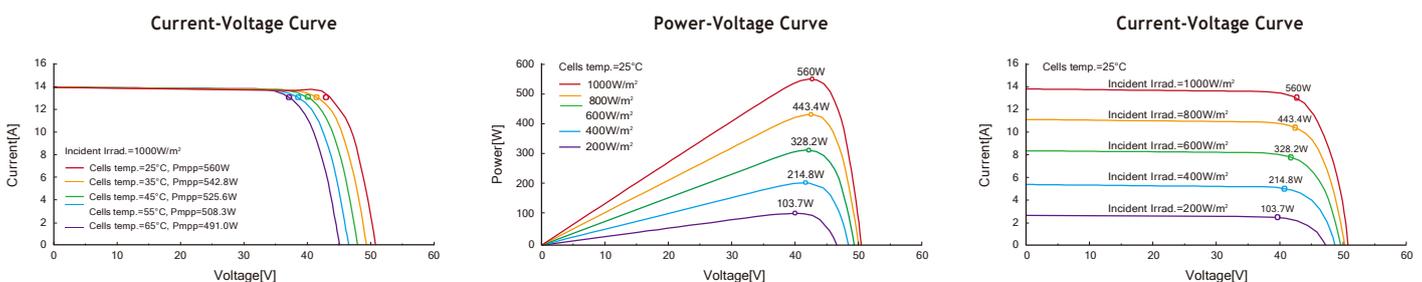
Standard Test Environment : Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5

NOCT-Electrical Characteristics

Maximum Power (Pmax/W)	391	394	398	402	405	409	413	417
Open-circuit Voltage (Voc/V)	46.1	46.3	46.5	46.7	46.9	47.1	47.3	47.5
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	38.8	39.0	39.2	39.4	39.6	39.8	40.0	40.1
Short-circuit Current (Isc/A)	10.89	10.94	10.99	11.04	11.09	11.13	11.18	11.23
Maximum Power Current (Imp/A)	10.06	10.11	10.15	10.20	10.24	10.29	10.33	10.38

Standard Test Environment : Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s

I-V Curve (DHM-72X10-560W)



Ficha técnica

	ASW 27K-LT-G3	ASW 30K-LT-G3	ASW 33K-LT-G3	ASW 36K-LT-G3	ASW 40K-LT-G3	
Entrada (CC)	Potência máxima da matriz PV	40500 Wp STC	45000 Wp STC	49500 Wp STC	54000 Wp STC	60000 Wp STC
	Tensão de entrada máxima	1100 V				
	Intervalo de tensão MPPT / tensão nominal de entrada	180 V - 1000 V / 630 V				
	Tensão de entrada mínima (funcionamento)	160 V				
	Tensão de alimentação inicial	200 V				
	Corrente de entrada de funcionamento máxima	32A / 32A / 32A		32A / 32A / 40A		
	Corrente de curto-circuito máxima	48A / 48A / 48A		48A / 48A / 60A		
	Número de entradas MPPT independentes / cadeias por entrada MPPT	3 / A: 2; B:2; C:2		3 / A: 2; B:2; C:2		
Saída (CA)	Potência ativa nominal	27000 W	30000 W	33000 W	36000 W	40000 W
	Potência CA ativa máxima	29700 W	33000 W	36300 W	39600 W	44000 W
	Tensão nominal CA	220 V / 380V				
	Intervalo de tensão CA	180 - 305 V / 312 - 528 V				
	Frequência / intervalo da rede CA	50 Hz / 45 Hz - 55 Hz 60 Hz / 55 Hz - 65 Hz				
	Frequência nominal da rede / Tensão nominal da rede	60 Hz / 380 V				
	Corrente de saída máxima	45.1 A	50 A	55.1 A	60.2 A	66.9 A
	Fator de potência à potência nominal	1				
	Fator de potência de deslocamento ajustável	0,95 ind a 0,95 cap				
	Fases de alimentação	3 / 3-N-PE				
	Distorção harmônica (THD) à saída nominal	<= 3%				
Eficiência e Proteção	Eficiência máxima	98.7 %				
	Dispositivo de desconexão do lado de entrada	●				
	Monitorização de falhas de ligação à terra/monitorização de rede	● / ●				
	Proteção de inversão de polaridade CC / Capacidade de corrente de curto-circuito CA	● / ●				
	Unidade de monitorização de corrente residual sensível a todos os polos	●				
	Descarregador de sobretensões CC	●				
	Proteção contra sobretensões CA	●				
	Classe de proteção (de acordo com a norma IEC 62109-1) / categoria de sobretensão (de acordo com a norma IEC 62109-1)	I / AC ; III ; DC ; II				
Dados gerais	Dimensões (L / A / P)	543 / 463 / 225 mm				
	Peso	29 kg	29 kg	30 kg	30 kg	30 kg
	Intervalo de temperatura de funcionamento	-25°C ... +60°C				
	Autoconsumo (noturno)	< 1 W				
	Topologia	Sem transformador				
	Cooling concept	Ventilated fan				
	Grau de proteção (de acordo com a norma IEC 60529)	IP66				
	Categoria climática (de acordo com a norma IEC 60721-3-4)	4K4H				
	Valor máximo permitido para a humidade relativa (sem condensação)	100 %				
	Altitude de funcionamento máxima	3000 m				
Funcionalidades	Ligação CC	Phoenix Contact				
	Ligação CA	Terminais OT				
	Tipo de montagem	Montagem na parede				
	Indicadores LED (Estado / Falha / Comunicação)	●				
	Interface de comunicação ^{1&2}	Wi-Fi / RS485				
	Certificados e aprovações (mais disponível mediante pedido)	CE, EN50549, IEC62109, IEC62116, IEC61727, IEC61683, IEC61000, AS/NZS4777, C10/C11, ABNT NBR 16149/2013, ABNT NBR 16150/2013				

● funcionalidades padrão/ ○ funcionalidades opcionais / – não disponível

1- Instalações de exportação zero suportadas com RS485 de 2 pinos para ligação a contadores inteligentes aprovados

2- DRED suportado com comunicação RS485 para Austrália e Nova Zelândia

Versão: Janeiro de 2022

