



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

ELIARDO VINICIUS BEZERRA LEMOS

CAMPINA GRANDE - PB

2022

ELIARDO VINICIUS BEZERRA LEMOS

ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Geração Distribuída fotovoltaica.

Orientador: Prof. Pablo Bezerra Vilar, D. Sc.

CAMPINA GRANDE

2022

ELIARDO VINICIUS BEZERRA LEMOS

ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Geração Distribuída fotovoltaica.

Aprovado em 30 de Agosto de 2022

Prof. Pablo Bezerra Vilar, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Prof. Jalberth Fernandes de Araújo, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à Deus, que me deu saúde, alegria e discernimento para realizar meus sonhos, por ter me guiado pelos caminhos bons e por nunca ter me abandonado.

Agradeço a minha esposa, Ana Priscila, companheira fiel, dedicada, corajosa e exemplar, por me amar e me apoiar em todos os momentos e me dar todo o apoio necessário para que eu pudesse evoluir e me tornar a pessoa que sou hoje.

Aos meus filhos, Maria Clara, Lucas e Leonardo, que vieram para proporcionar alegria e ânimo extra para lidar com os obstáculos existentes na vida, e me tornar uma pessoa mais feliz e madura.

Agradeço também aos meus pais, Lemos e Ila, por terem me apoiado e auxiliado em todos os momentos que necessitei, acreditando na minha capacidade.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a construção de quem sou hoje. Muito obrigado!

Resumo

Busca-se atualmente várias maneiras de produzir energia elétrica que degradem menos o meio ambiente e que sejam mais sustentáveis. A utilização de energia fotovoltaica vem crescendo por tratar-se de uma fonte relativamente limpa, renovável e com retorno financeiro considerável para a maioria dos casos. A instalação de um projeto fotovoltaico tem alto custo inicial, sendo necessária uma análise econômica para mostrar sua viabilidade para que investidores se interessem no setor. O objetivo deste trabalho é expor a viabilidade econômica na implantação de um sistema fotovoltaico, onde foi analisado diante dos custos de projeto o tempo de retorno para que o investidor recupere o valor investido. No decorrer deste trabalho foram explicadas as variáveis consideradas importantes para a análise, como irradiação solar, custo de projeto e tempo de retorno. A viabilidade do projeto é comprovada e demonstrada ao final do estudo.

Palavras-chave: Painel Fotovoltaico, Viabilidade Econômica, Energia Fotovoltaica, Inversor.

Abstract

Several ways are currently being sought to produce energy that degrade the environment less and are more affected. The use of photovoltaic energy has been growing because it is a relatively renewable source with a profitable financial return in most cases. A photovoltaic project has a high initial cost, requiring an economic analysis to show its feasibility of installation for a sector that investors are interested in. The present is an economic feasibility for the implementation of a photovoltaic investment, where the return of the investment costs of the project of recovery of the invested value was objectified. In the course of this work, important analysis projects such as solar irradiation, cost and payback time were explained. The feasibility of the project is proven and demonstrated at the end of the study.

Keywords: Photovoltaic Panel, Economic Feasibility, Photovoltaic Energy, Inverter.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Junção PN.	16
Figura 2 – Representação de uma célula fotovoltaica.	16
Figura 3 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.	17
Figura 4 – Célula fotovoltaica de Silício Monocristalino.	18
Figura 5 – Célula fotovoltaica de Silício Policristalino.	19
Figura 6 – Célula fotovoltaica de filme fino de Silício.	19
Figura 7 – Gráfico da irradiação solar em função do tempo.	20
Figura 8 – Exemplo de valores de irradiação solar diária média.	21
Figura 9 – Sistema <i>on grid</i>	22
Figura 10 – Sistema <i>off grid</i>	22
Figura 11 – Simbologia do módulo fotovoltaico.	24
Figura 12 – Camadas de materiais que compõem um módulo fotovoltaico.	24
Figura 13 – Mapa de declinação magnética (2012).	26
Figura 14 – Correção da declinação magnética.	26
Figura 15 – Inclinação do módulo fotovoltaico.	27
Figura 16 – Curva <i>I-V</i> para módulos conectados (a) em série e (b) em paralelo.	28
Figura 17 – Inversor Solar Grid-Tied Sofar 4KTLM-G2	29
Figura 18 – <i>String box</i>	30
Figura 19 – Cabos com terminais elétricos padronizados.	31
Figura 20 – Estrutura de um sistema de geração fotovoltaica residencial.	33
Figura 21 – Vista superior da unidade consumidora.	35
Figura 22 – Irradiação solar diária média no decorrer do ano.	36
Figura 23 – Estrutura projetada para instalação de módulos fotovoltaicos.	38
Figura 24 – Inversor Growatt MIN10000TL-X instalado no local.	39
Figura 25 – Dispositivos de proteção CA implementados no sistema fotovoltaico.	40
Figura 26 – Gráfico do retorno financeiro do sistema.	43
Figura 27 – Análise da geração de energia do sistema em comparação com o consumo.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Eficiência das células fotovoltaicas.	20
Tabela 2 – Especificações técnicas do módulo.	37
Tabela 3 – Especificações técnicas do inversor.	38
Tabela 4 – Custo do Sistema.	41
Tabela 5 – Retorno financeiro anual do sistema fotovoltaico.	42

Lista de abreviaturas e siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CRESESB	Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
GD	Geração Distribuída
IGPM	Índice Global de Preço de Mercado
NBR	Norma Brasileira
NDU	Norma de Distribuição Unificada
QDG	Quadro de Distribuição Geral
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UC	Unidade Consumidora
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
VPL	Valor Presente Líquido

Lista de símbolos

W	watt
m	metro
h	hora
k	kilo
V	volts
A	ampere
C	celsius
W_p	potência elétrica de pico nominal
I_{SC}	corrente de curto circuito
V_{OC}	tensão de circuito aberto
I_{MP}	corrente de máxima potência
V_{MP}	tensão de máxima potência
P_{MP}	ponto de máxima potência

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	13
1.2	Objetivos Específicos	14
2	CONCEITOS BÁSICOS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	15
2.1	Semicondutores	15
2.2	Célula Fotovoltaica	16
2.3	Tipos de Células Fotovoltaicas	18
2.3.1	Silício Monocristalino	18
2.3.2	Silício Policristalino	18
2.3.3	Filme Fino de Silício	19
2.4	Irradiância Solar	20
2.5	Sistemas <i>on grid</i> e <i>off grid</i>	21
3	COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
3.1	Módulos Fotovoltaicos	24
3.1.1	Características Elétricas	25
3.1.2	Direcionamento dos Módulos	25
3.1.3	Inclinação dos Módulos	27
3.1.4	Conexão em Série e Paralelo	27
3.2	Inversores	28
3.3	Dispositivos de Proteção	29
3.3.1	<i>String Box</i>	30
3.4	Cabos e Conexões	31
3.4.1	Instalações no Lado CA	31
3.4.2	Instalações no Lado CC	31
3.5	Aterramento	32
4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	34
4.1	Informações da Unidade Consumidora	35
4.2	Determinação da Quantidade de Módulos	36
4.3	Determinação do Inversor	37
4.4	Dimensionamento dos Cabos e da Proteção	39
5	FATOR COMERCIAL E SUA VIABILIDADE	41
5.1	Viabilidade Econômica	41

5.1.1	<i>Payback</i>	41
5.2	Resultados	44
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXOS	49
	ANEXO A – DATASHEET DO INVERSOR	50
	ANEXO B – DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO	53
	ANEXO C – PARÂMETROS PARA CÁLCULO DO <i>PAYBACK</i> NA PLATAFORMA <i>BRASSUNNY</i>	56
	ANEXO D – CÁLCULO COMPLETO DO <i>PAYBACK</i> DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	57

1 Introdução

Com o aumento no consumo de energia elétrica e das tarifas energéticas ano após ano, torna-se cada vez mais necessário a utilização de fontes de energia alternativas. Entre as possibilidades existentes, a energia fotovoltaica está sendo cada vez mais utilizada em países com alta incidência solar, como o Brasil, principalmente na região Nordeste.

A energia fotovoltaica é uma opção de fácil implementação, pois permite a instalação nos mais diversos locais, como residências, comércios e indústrias, sem necessidade de grandes equipamentos ou procedimentos complexos de instalação, podendo ser instaladas no próprio telhado, cobertura ou no solo, além de possuir baixo custo de manutenção, pois os equipamentos possuem longa garantia disponibilizada pelo fabricante, sendo necessário apenas realizar a limpeza dos painéis e verificação dos cabos e conectores do sistema uma ou duas vezes ao ano. (SOUZA, 2016)

No ambiente residencial, a energia fotovoltaica se torna um investimento com retorno financeiro observável, pois a energia produzida não teria mais que ser contratada da concessionária, sendo gerada pelo próprio sistema. Após um determinado período de tempo, a economia nos custos de energia elétrica podem exceder os custos de implementação. (FADIGAS, 2012)

Os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados utilizando-se a configuração *off-grid*, que utiliza baterias para armazenar a energia excedente gerada durante o dia para ser consumida durante a noite, sem necessidade de conexão com a rede elétrica, ou utilizando-se a configuração *on-grid*, onde a energia excedente produzida ao longo do dia é injetada na rede elétrica como crédito, e esse crédito é utilizado durante a noite.

A instalação de painéis fotovoltaicos com característica *on-grid* torna-se um investimento assertivo, pois a energia produzida ao longo do dia substitui a energia que seria contratada, proporcionando economia na fatura de energia elétrica. (FADIGAS, 2012)

Para que se possa verificar a viabilidade financeira da implementação de painéis fotovoltaicos em determinado local, deve-se verificar o consumo médio para determinar a potência ideal para o sistema. Após determinar a potência necessária do sistema, é feito o levantamento dos custos necessários para a implementação, projeção de receitas, opções de financiamento, caso necessário, custos com certificação e inspeção.

1.1 Objetivos

Estudo que visa avaliar a viabilidade da instalação de sistema de geração fotovoltaica através da análise dos custos envolvidos e efetividade do sistema implementado, além de todas as

variáveis que devem ser levadas em consideração no sistema, e estudos práticos sobre o assunto.

1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Analisar as etapas do processo de instalação de painéis fotovoltaicos;
- Estudo de viabilidade financeira para a implementação dos painéis fotovoltaicos;
- Escolha dos equipamentos que serão utilizados no sistema dentre as opções disponíveis no mercado;
- Avaliar o retorno financeiro da instalação.

2 Conceitos Básicos de Energia Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi verificado inicialmente por Edmond Becquerel, que observou que alguns materiais específicos produzem pequenas quantidades de corrente elétrica quando expostos à luz. Os estudos desses materiais continuaram a ser desenvolvidos até a criação dos primeiros dispositivos fotovoltaicos. Porém, apenas nos últimos anos que houve um crescimento significativo na produção em escala mundial, devido a alta demanda energética, aprimoramento dos inversores e módulos fotovoltaicos aumentando a eficiência na geração, e barateamento dos custos de produção. (MELLO; BIASI, 1975)

2.1 Semicondutores

A energia fotovoltaica é obtida pela conversão da luz do sol em eletricidade, que ocorre através do chamado efeito fotovoltaico, que consiste na diferença de potencial estabelecida nas extremidades do material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental nesse processo.

Os semicondutores se comportam como material isolante em temperaturas próximas ao zero absoluto. Quando a temperatura começa a subir, os átomos começam a vibrar, variando a distância entre eles, oscilando cada vez mais à medida que a temperatura aumenta. Parte da energia gerada por essas oscilações começa a ser transferida para os elétrons, que ao receber energia suficiente, começam a abandonar a ligação covalente a qual pertencem, obtendo-se um elétron livre e uma lacuna. (MELLO; BIASI, 1975)

Como o silício possui quatro elétrons de valência, necessita de quatro átomos vizinhos para formar uma ligação covalente. Caso seja inserido um elemento que contenha cinco elétrons de valência, esse quinto elétron ficará fracamente ligado. Na temperatura ambiente, esse elétron é liberado, deixando o material negativamente carregado. Um semicondutor com essa característica é denominado tipo N. Caso seja inserido um elemento com três elétrons de valência, ao submeter-se o semicondutor à temperatura ambiente, ele ficará carregado positivamente, um semicondutor com essa característica é denominado tipo P. (BLUESOL, 2019)

Esses dois tipos de semicondutores (tipo N e tipo P) são combinados, formando uma junção PN, como pode-se visualizar na Figura 1.

Figura 1 – Junção PN.

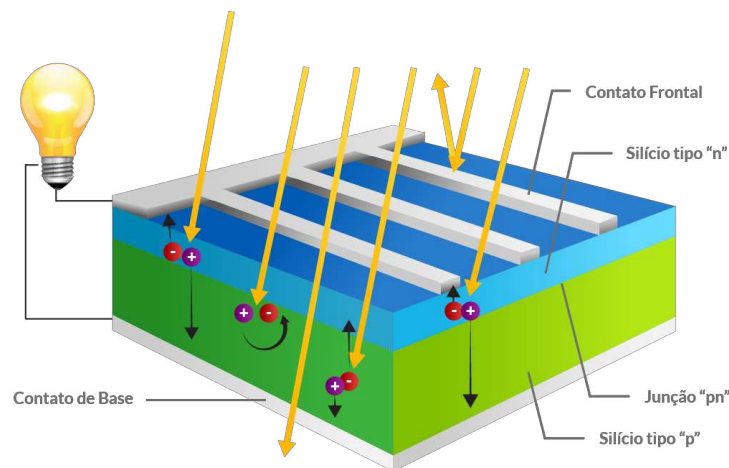


Fonte: (BLUESOL, 2019)

2.2 Célula Fotovoltaica

Conectando-se as extremidades dessa junção PN, forma-se um circuito e, ao incidir raios solares, uma tensão (V) e corrente (I) são geradas a partir da interação dos elétrons entre as junções. É dessa forma que uma célula fotovoltaica é implementada. A Figura 2 mostra a representação de uma célula fotovoltaica.

Figura 2 – Representação de uma célula fotovoltaica.



Fonte: (BLUESOL, 2019)

Essa corrente (I) pode ser determinada pela Equação 2.1.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nKT} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

Onde:

- I_{ph} - corrente gerada pela incidência da radiação solar (A);
- I_0 - corrente de saturação reversa do diodo (A);
- n - fator de idealidade do diodo;
- q - carga do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}C$);

- K - constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} J/K$);
- T - temperatura absoluta (K).

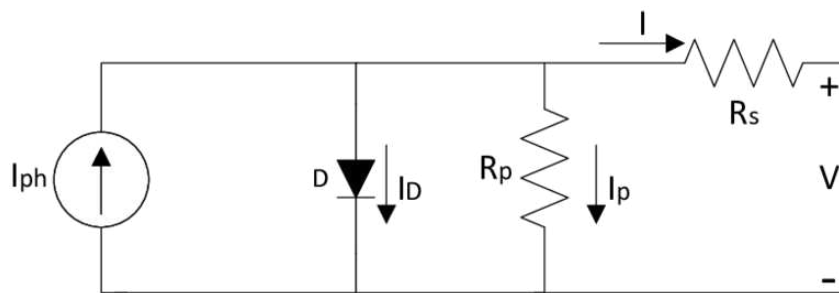
As perdas existentes em uma célula fotovoltaica, devido à junção metal-semicondutor, malhas metálicas, regiões dopadas, podem ser modeladas como uma resistência em série, e os pontos de curto-circuito entre as junções PN podem ser modeladas como resistência em paralelo. (PINHO; GALDINO, 2014)

Assim, a curva característica de uma célula fotovoltaica é definida pela Equação 2.2.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_S)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_P} \quad (2.2)$$

Na Figura 3 pode-se visualizar o circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.

Figura 3 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Página do ResearchGate. ¹

Onde:

- R_p - resistência *shunt*;
- I_p - corrente de fuga para terra;
- R_s - resistência série;
- V - tensão nos terminais de saída;
- I_D - corrente de condução do diodo.

Quando raios solares incidem sobre a célula, verifica-se uma tensão em seus terminais. Se a célula não está conectada a nenhum circuito, pode-se medir a tensão de circuito aberto (V_{oc}). Outro parâmetro importante é a corrente de curto-circuito (I_{sc}), que pode ser medida conectando-se os terminais da célula em curto-circuito e fazendo a medição da corrente utilizando um amperímetro. (FADIGAS, 2012)

¹ Disponível em: <<http://encurtador.com.br/dgsIM>>

A tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica é de aproximadamente 0,6V. Para obter-se um valor de tensão em função da carga desejada, as células são ligadas em série e/ou paralelo, constituindo assim o módulo fotovoltaico.

2.3 Tipos de Células Fotovoltaicas

Existem vários tipos de células fotovoltaicas, que utilizam diferentes tecnologias e materiais. O material mais utilizado é o silício cristalizado. Verifica-se a seguir os principais tipos de células fotovoltaicas fabricadas a partir desse material.

2.3.1 Silício Monocristalino

As células de silício monocristalino são as mais eficientes, pois são feitas a partir de um único cristal de silício, que contém um grau de pureza bastante elevado. O silício purificado passa por um processo de cultura de cristais para ser monocristalizado. A forma mais utilizada para isso é o Método Czochralski.

Essas células podem apresentar uma eficiência na ordem de 18% comercialmente e chegar aos 25% de eficiência em laboratório. Porém, o seu processo de fabricação demanda de muito investimento e energia, o que eleva o preço final desse tipo de célula. A Figura 4 apresenta uma célula fabricada a partir de silício monocristalino.

Figura 4 – Célula fotovoltaica de Silício Monocristalino.



Fonte: Página do CampSol.²

2.3.2 Silício Policristalino

As células de silício policristalino também são feitas de silício purificado, no entanto seu processo de fabricação é levemente diferente. O silício se cristaliza livremente criando vários cristais. Os múltiplos cristais fazem com que os elétrons dos átomos se recombinem mais facilmente, aumentando a perda por recombinação. Por esse motivo, as células policristalinas são um pouco menos eficientes que as monocristalinas, com rendimento em torno de 13% e 15% nas células comerciais. A Figura 5 apresenta uma célula fabricada a partir de silício policristalino.

² Disponível em: <<https://www.campsol.com.br/tipos-celulas-solares/>>

Figura 5 – Célula fotovoltaica de Silício Policristalino.



Fonte: Página do CampSol.³

2.3.3 Filme Fino de Silício

Nos anos 90, células fotovoltaicas baseadas na tecnologia de película fina, ou filme fino, começaram a ser desenvolvidas como uma opção mais barata para as células de silício cristalizado, porém não conseguiram alcançar sucesso comercial, pois apresentam menor eficiência e vida útil como principais desvantagens.

O processo de fabricação ocorre utilizando-se uma base, que pode ser de vidro, metal ou plástico, onde o material semiconductor é depositado por meio de diferentes processos, como vaporização, pulverização ou impressão. A tecnologia de filme fino mais empregada é a de silício amorfo.

Essa tecnologia possui rendimento entre 5% e 8% e é utilizada em calculadoras, brinquedos e pequenos aparelhos eletrônicos que demandam uma baixa energia em seu funcionamento, devido ao baixo custo de fabricação. As células de silício amorfo apresentam uma coloração escura e uniforme, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Célula fotovoltaica de filme fino de Silício.



Fonte: Página do SolaVista.⁴

A Tabela 1 apresenta a comparação da eficiência entre as diferentes tecnologias de células fotovoltaicas apresentadas.

³ Disponível em: <<https://www.campsol.com.br/tipos-celulas-solares/>>

⁴ Disponível em: <<https://www.solavistaenergy.com.br/tipos-de-paineis-solares-conheca-eles>>

Tabela 1 – Eficiência das células fotovoltaicas.

Tipo de célula fotovoltaica	Eficiência em laboratório	Eficiência comercial
Silício Monocristalino	25%	15% a 18%
Silício Policristalino	20%	13% a 15%
Silício Amorfo	13%	5% a 8%

Fonte: Próprio autor.

2.4 Irradiância Solar

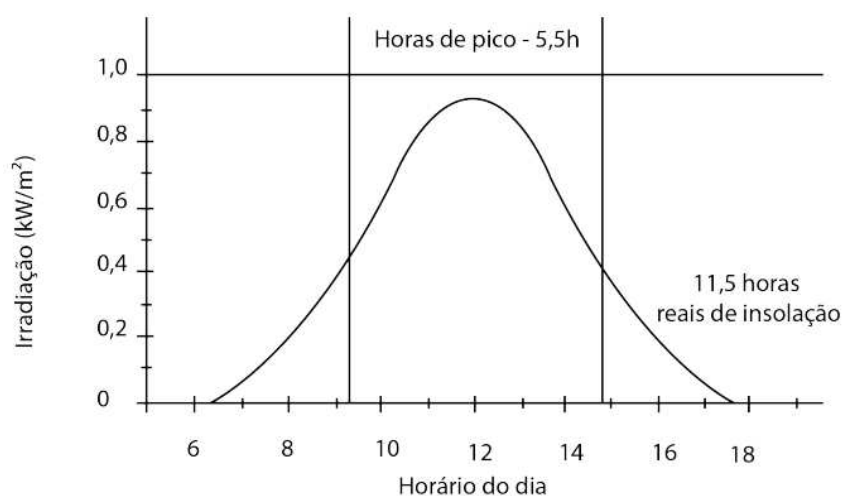
A radiação solar consiste no fluxo de energia emitida pelo Sol sob a forma de radiação. Esse fluxo de energia foi estudado ao longo dos anos e determinou-se uma forma de medição, denominada irradiância solar. (GÓMEZ et al., 2018)

A irradiância é calculada de acordo com a potência total proveniente do sol em uma unidade de área, tendo como unidade de medida W/m^2 e como principal instrumento de medição o piranômetro.

Os níveis de radiação solar no planeta variam no decorrer do ano, devido as modificações da inclinação do planeta ao redor do Sol, que definem a duração do dia e da noite e as estações do ano, e são diferentes para diferentes localidades do planeta.

A incidência de radiação solar varia ao longo do dia, tendo como momento de maior intensidade no meio dia solar e mínima intensidade durante a noite, considerando um dia com céu limpo (dia ensolarado, com baixa incidência de nuvens). Tomando-se a média dessa variação diária, pode-se plotar um gráfico de variação da irradiância média diária, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Gráfico da irradiação solar em função do tempo.



Fonte: (SOUZA, 2016)

Na prática, a curva mostrada na Figura 7 irá sofrer variações de um dia para o outro, devido

a ocorrência de nuvens, por exemplo, causando sombra sobre os módulos.

Para verificar se a instalação de um sistema fotovoltaico é adequada para determinada região, deve-se determinar o nível médio de irradiação no decorrer do ano. Para obter um valor confiável, utilizam-se dados coletados de satélites meteorológicos, além da utilização de equipamentos como os piranômetros, pireliômetros e heliógrafos.

A coleta e tratamento desses dados podem levar anos para serem concluídos, contudo, aqui no Brasil existem algumas instituições que possuem dados consolidados, como o "Atlas Solarimétrico do Brasil", produzido pelo CRESESB. Na Figura 8 verifica-se os valores de irradiação solar diária média para um determinado local na cidade de Campina Grande, na Paraíba. Os valores são exibidos de acordo com a latitude e longitude do local desejado, o que garante uma ótima precisão nos valores, e estão dispostos em $kWh/m^2.dia$. (SOUZA, 2016)

Figura 8 – Exemplo de valores de irradiação solar diária média.

Estação: Campina Grande
Município: Campina Grande, PB - BRASIL
Latitude: 7,201° S
Longitude: 35,849° O
Distância do ponto de ref. (7,216528° S; 35,879258° O): 3,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [$kWh/m^2.dia$]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,55	5,67	5,77	5,23	4,63	4,06	4,16	4,90	5,49	5,75	5,99	5,76	5,25	1,93
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,32	5,54	5,76	5,37	4,85	4,30	4,38	5,07	5,54	5,66	5,77	5,50	5,25	1,47
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	5° N	5,39	5,58	5,77	5,34	4,79	4,23	4,33	5,03	5,54	5,69	5,84	5,58	5,26	1,60
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	22° N	4,68	5,07	5,55	5,46	5,15	4,64	4,69	5,26	5,46	5,26	5,10	4,76	5,09	,91

Fonte: Página do CRESESB ⁵

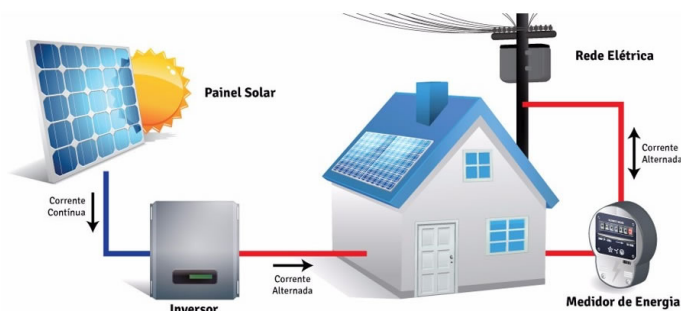
Os valores de irradiação solar diária média são importantes para o cálculo dos sistemas fotovoltaicos, pois evidenciam a quantidade de radiação solar que incidirá sobre os painéis, possibilitando o cálculo da potência média que será gerada diariamente.

2.5 Sistemas *on grid* e *off grid*

Os sistemas fotovoltaicos com característica *on grid* são conectados à rede elétrica através de medidores bidirecionais, que injetam o excedente produzido durante o dia na rede elétrica e utilizam a energia elétrica da rede durante a noite ou em momentos no qual o sistema não está gerando energia suficiente para suprir a demanda do local.

Como o sistema *on grid* não utiliza baterias, ele é cerca de 30% mais barato que o sistema *off grid*, porém requer conexão com a rede elétrica da concessionária de forma obrigatória, e caso falte energia na rede, o sistema fotovoltaico também para de funcionar, ou seja, mesmo que o sistema esteja gerando energia suficiente para suprir a demanda do local, é necessário ter energia elétrica na rede da concessionária para que o sistema funcione. Além disso, há o custo mensal cobrado pela concessionária devido a disponibilidade do serviço. A Figura 9 apresenta um exemplo de conexão *on grid*.

⁵ Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>

Figura 9 – Sistema *on grid*.

Fonte: Página do Ecomais.⁶

Os sistemas fotovoltaicos com característica *off grid* não são conectados à rede e utilizam baterias para armazenar a energia que será consumida durante a noite. Assim, ele é capaz de suprir o consumo elétrico de uma casa ou empresa nos momentos em que a luz solar não está disponível, tornando-se uma ótima opção para locais sem acesso à rede elétrica, além de não precisar pagar o custo mensal de disponibilidade.

Por ser um sistema independente, o custo da sua instalação é elevado, devido a necessidade da utilização de baterias e de um sistema de controladores de carga. Além disso, caso haja um longo período de condições climáticas desfavoráveis para a geração, o sistema poderá não ter energia armazenada suficiente para suportar todo o consumo do local. A Figura 10 apresenta um exemplo de conexão *off grid*.

Figura 10 – Sistema *off grid*.

Fonte: Página do Ecomais.⁷

⁶ Disponível em: <https://www.ecomais.ind.br/img/sistema_ongrid.jpg>

⁷ Disponível em: <https://www.ecomais.ind.br/img/sistema_offgrid.jpg>

Para determinar a melhor opção a ser implementada em determinado local, deve-se analisar as características do local e os custos envolvidos para determinar qual das opções é a ideal.

3 Componentes de um Sistema Fotovoltaico

3.1 Módulos Fotovoltaicos

Como dito anteriormente, as células fotovoltaicas geram uma tensão em seus terminais de aproximadamente 0,6 V. Contudo, aplicações práticas necessitam de tensões bem mais elevadas para alimentar as cargas. Para obter os valores de tensão desejados, as células são ligadas em série e/ou paralelo, constituindo assim o módulo fotovoltaico. Para representar um módulo fotovoltaico em um circuito elétrico, utiliza-se a simbologia mostrada na Figura 11.

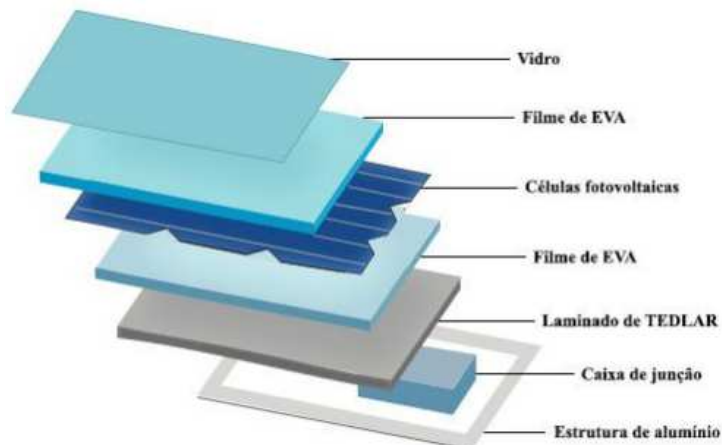
Figura 11 – Simbologia do módulo fotovoltaico.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

Para proteção das células, os módulos fotovoltaicos são encapsulados com materiais plásticos (EVA ou PVB). A região onde incidem os raios solares é coberta com vidro temperado e a parte posterior com plástico laminado *Tedlar*. O módulo é emoldurado com uma estrutura em alumínio, que garante rigidez e proteção. Na Figura 12 pode-se visualizar as camadas e materiais presentes no módulo. A garantia de funcionamento dos módulos varia entre 10 e 25 anos, dependendo do fabricante, porém a vida útil desses módulos é superior. (SOLENERG, 2022)

Figura 12 – Camadas de materiais que compõem um módulo fotovoltaico.



Fonte: (FERNANDES, 2018)

3.1.1 Características Elétricas

A especificação mais evidente de um módulo fotovoltaico é sua potência elétrica de pico nominal (W_p), mas as características de tensão e corrente para módulos de mesma potência podem variar de um fabricante para outro.

Essa potência nominal é determinada através de testes em laboratório considerando as condições de irradiância com valor de 1000 W/m^2 , espectro solar no valor de AM1,5 e temperatura da célula em 25°C . Além do valor da potência nominal, os testes também determinam outros parâmetros, que serão descritos a seguir:

- **Corrente de Curto-Circuito (I_{SC}):** Corrente máxima que um módulo pode fornecer. Para realizar a medição basta conectar os terminais do módulo em curto circuito e medir a corrente com um amperímetro.
- **Tensão de Circuito Aberto (V_{OC}):** Máxima tensão entre os terminais de um módulo. Pode ser medida com um voltímetro ligado aos terminais sem que o mesmo esteja alimentando qualquer carga.
- **Corrente de Máxima Potência (I_{MP}):** Valor de corrente quando o módulo está fornecendo máxima potência.
- **Tensão de Máxima Potência (V_{MP}):** Valor de tensão quando o módulo está fornecendo máxima potência.
- **Ponto de Máxima Potência (P_{MP}):** Máxima potência que o módulo fotovoltaico pode entregar para um determinado nível de irradiância solar. É calculado como sendo o produto $V_{MP} \times I_{MP}$.

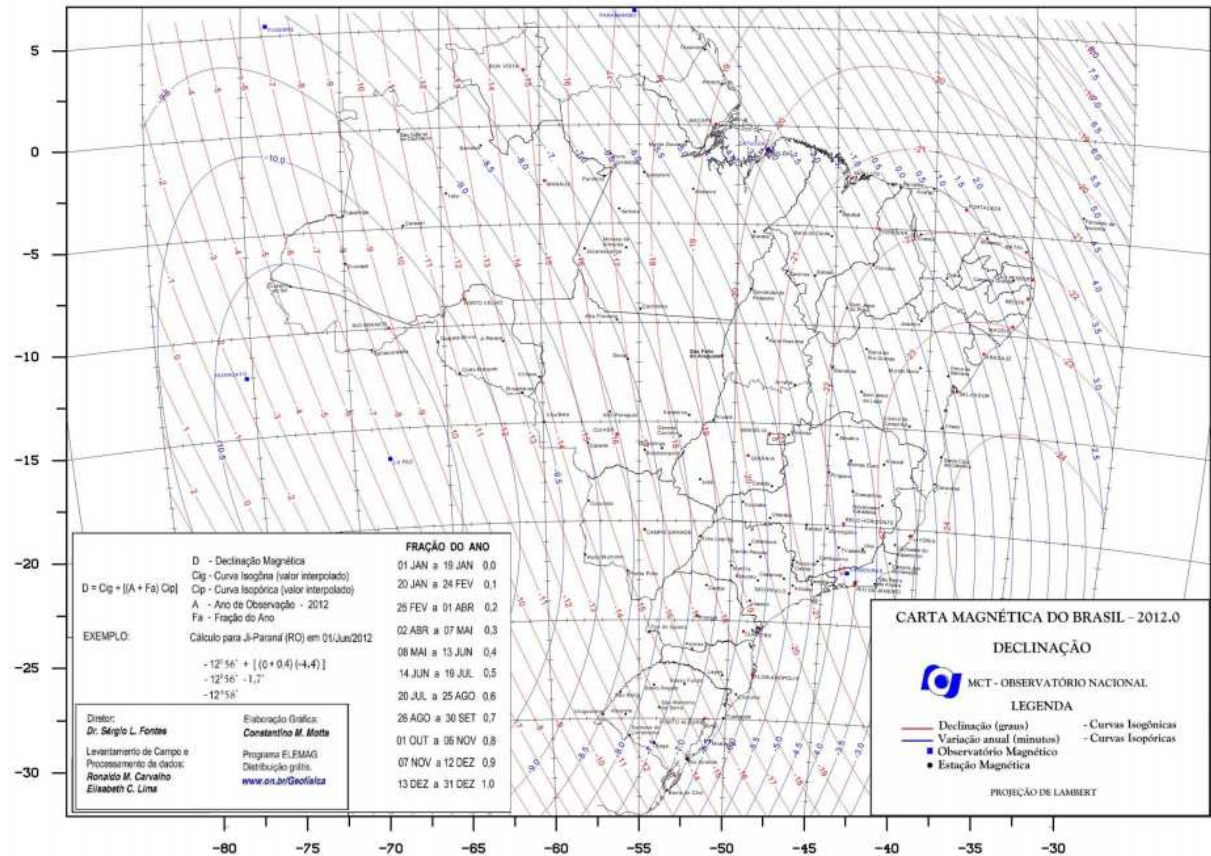
3.1.2 Direcionamento dos Módulos

Para obter o maior aproveitamento de energia possível, os módulos fotovoltaicos precisam estar posicionados de forma correta. Considerando uma instalação no hemisfério sul, ou seja, abaixo da linha do equador, a face dos módulos devem estar voltadas para o norte geográfico, otimizando a média anual de produção de energia, pois a face do módulo terá incidência solar na maior quantidade de tempo possível, durante o ano.

Para determinar a orientação ideal dos módulos, utiliza-se uma bússola para verificar a direção do norte magnético. Aplica-se então uma correção nesse direcionamento, para determinar o norte geográfico. Essa correção é necessária devido ao fato das linhas de campo magnético da Terra serem distribuídas de forma irregular no decorrer do planeta, o que faz com que a bússola nem sempre aponte para o norte geográfico. Os valores de correção magnética variam de acordo com a localidade geográfica e podem ser encontrados em mapas de declinação magnética, como o

ilustrado na Figura 13, onde pode-se visualizar as linhas de declinação para o território brasileiro. (FERNANDES, 2018)

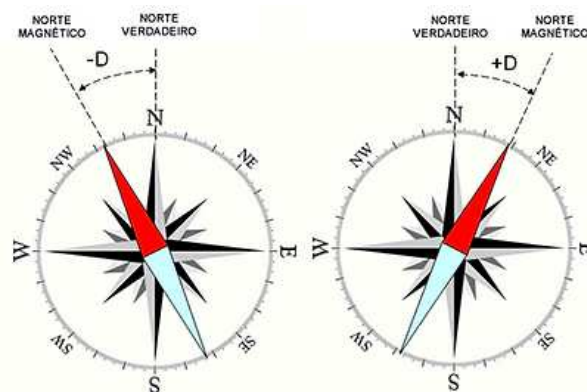
Figura 13 – Mapa de declinação magnética (2012).



Fonte: (CUSTÓDIO, 2016)

Verifica-se então a linha de correção magnética mais próxima ao local onde os módulos fotovoltaicos serão instalados, para identificar o valor de correção que será utilizado. Esse valor é aplicado à bússola para correção do direcionamento, de acordo com a Figura 14.

Figura 14 – Correção da declinação magnética.



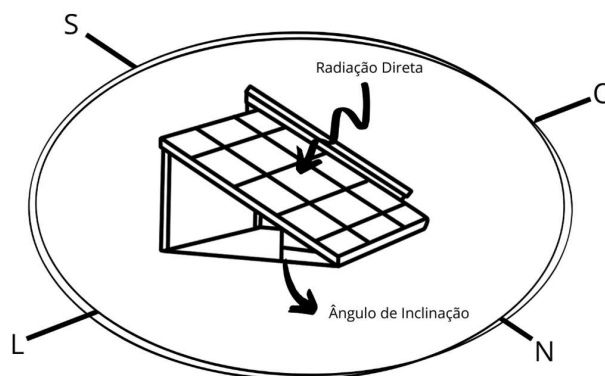
Fonte: Página do Geopdf.¹

¹ Disponível em: <<https://joseotaviobiscaia.wixsite.com/geopdf/blank-1>>

3.1.3 Inclinação dos Módulos

Após determinar o norte geográfico, deve-se determinar a inclinação ideal para otimizar a produção. Para obter-se uma maior média anual, a inclinação do módulo deve coincidir com o valor do ângulo da latitude do local. Entretanto, valores de inclinação inferiores a 10° não devem ser utilizados, para evitar o acúmulo de detritos sobre o módulo, prejudicando a produção de energia, uma inclinação superior a 10° promove autolimpeza dos módulos em dias de chuva. Pode-se visualizar na Figura 15 um exemplo de posicionamento de um módulo fotovoltaico. (FERNANDES, 2018)

Figura 15 – Inclinação do módulo fotovoltaico.



Fonte: (LEITE, 2022)

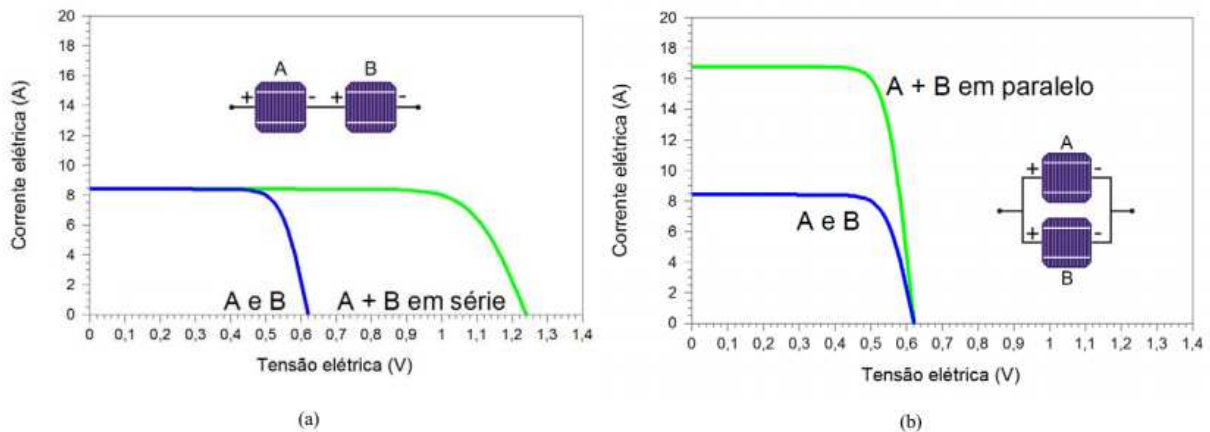
3.1.4 Conexão em Série e Paralelo

No momento de dimensionar um sistema fotovoltaico, deve-se verificar a forma como os módulos serão conectados, que pode ser em série, em paralelo ou uma combinação de ambos. Em sistemas *on grid*, essa decisão é feita em função da característica do inversor selecionado para o sistema, e em sistemas *off grid*, em função do controlador de carga. (ENERGYSHOP, 2019)

O inversor e o controlador de cargas possuem características internas de funcionamento que restringem a corrente e tensão em suas entradas. Dessa forma, as conexões série e paralelo devem respeitar esses limites.

Ao conectar módulos em série, as tensões são somadas e a corrente é mantida, assim, necessita-se de uma certa quantidade de módulos para que a tensão de saída esteja na faixa desejada. Ao conectar os módulos em paralelo, as correntes são somadas e a tensão é mantida, assim, necessita-se de uma certa quantidade de módulos para que a corrente de saída esteja na faixa desejada. Pode-se visualizar na Figura 16 a relação entre a tensão e a corrente para as conexões em série e paralelo.

Figura 16 – Curva I-V para módulos conectados (a) em série e (b) em paralelo.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014)

Deve-se assegurar também que os módulos tenham os mesmos valores nominais (potência, corrente, tensão), pois, ao conectar módulos em série de correntes diferentes, suas tensões serão somadas, mas a corrente será limitada pela menor das correntes, o que resultará em um sistema ocioso. O mesmo ocorre se módulos de tensões diferentes forem conectados em paralelo, as correntes serão somadas, mas a tensão será limitada pela menor das tensões, o que resultará também em um sistema ocioso. (ENERGYSHOP, 2019)

3.2 Inversores

O inversor é o dispositivo eletrônico responsável por converter a energia elétrica na forma de corrente contínua, gerada pelos módulos e recebida em sua entrada, para corrente alternada. Esse dispositivo é fundamental para as instalações fotovoltaicas.

A tensão em corrente alternada na saída do inversor deve ter amplitude, frequência e harmônicos adequados às cargas a serem alimentadas. Para sistemas *off grid*, a energia é convertida de tensão contínua em alternada sem haver a necessidade de estar conectado a uma rede elétrica, verificando-se apenas os parâmetros dos equipamentos que serão alimentados para que sejam compatíveis. Para sistemas conectados a rede elétrica, a tensão na saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão de rede. (PINHO; GALDINO, 2014)

Os inversores modernos possuem uma funcionalidade denominada Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (*Maximum Power Point Tracking* - MPPT). O MPPT observa constantemente as modificações na curva I-V e atua na eletrônica do inversor de modo a mantê-lo na tensão correspondente a de máxima potência, maximizando a transferência de potência e reduzindo as perdas. Na Figura 17 pode-se visualizar um exemplo de inversor utilizado nas instalações fotovoltaicas.

Figura 17 – Inversor Solar Grid-Tied Sofar 4KTLM-G2



Fonte: Próprio Autor.

Em sistemas conectados à rede (*on grid*), o inversor também é responsável pela sincronização do sinal gerado com o sinal da concessionária, garantindo assim que não haverá interferência com o sinal da rede.

3.3 Dispositivos de Proteção

Os sistemas fotovoltaicos são bastante confiáveis. No entanto, falhas inesperadas podem ocorrer, prejudicando o desempenho do sistema e podendo até mesmo levar ao colapso. Por esse motivo, são implementados no sistema dispositivos auxiliares com o objetivo de reduzir a possibilidade de ocorrência dessas falhas ou impedir que essas falhas prejudiquem outros dispositivos presentes no sistema.

O dimensionamento correto do sistema em conjunto com os dispositivos de proteção contribuem para minimizar a possibilidade de falhas. Alguns modelos de inversores mais modernos já contam com dispositivos de proteção integrados para proteger o sistema de algumas falhas específicas. Deve-se verificar, durante a elaboração do projeto do sistema fotovoltaico, os dispositivos de proteção integrados presentes nos equipamentos, a fim de determinar os dispositivos adicionais que devem ser implementados.

Além dos dispositivos de proteção integrados, deve-se prever a instalação de dispositivos externos de proteção, como disjuntores, dispositivo de proteção contra surtos (DPS), sistemas de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).

A norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão (NBR 5410) e a norma brasileira sobre sistemas fotovoltaicos (NBR 16690) preveem que as instalações devem ter como características básicas a proteção contra choque elétrico do usuário, proteção contra efeitos

térmicos e incêndios, proteção contra sobrecorrente, proteção contra sobretensão e capacidade de seccionamento.

3.3.1 *String Box*

A *string box*, também chamada de caixa de junção, é o componente responsável pela proteção da parte CC do sistema fotovoltaico. Ela é responsável pela conexão dos cabos vindos dos módulos fotovoltaicos ao inversor e fornece proteção contra sobretensão e sobrecorrente, além de permitir o seccionamento do circuito. (VINTURINI, 2019) Os elementos básicos de uma *string box* são:

- **Invólucro:** Local onde são alocados os dispositivos de proteção e as conexões elétricas, tendo como função a proteção desses componentes contra poeira, água, além de proteger o usuário contra choques elétricos.
- **Chave seccionadora:** Responsável pela conexão e desconexão da parte CC do sistema de forma segura. Deve-se utilizar uma chave com corrente e tensão adequados a instalação.
- **DPS:** Responsável por proteger o inversor contra qualquer sobretensão que possa vir da parte CC, como, por exemplo, descargas atmosféricas.
- **Disjuntor:** Dispositivo termomagnético de proteção contra sobrecorrente e corrente de curto-circuito, podendo ser utilizado também como elemento seccionador.
- **Cabos CC:** A *string box* recebe os cabos vindos dos módulos e conecta-se ao inversor.
- **Conectores:** As conexões devem ser realizadas utilizando-se conectores apropriados, barramentos ou bornes específicos para essa finalidade. A conexão inapropriada de circuitos gera pontos de aquecimento que aumentam as perdas do sistema e podem até causar incêndio.

A Figura 18 apresenta um exemplo de uma *string box*.

Figura 18 – *String box*.



Fonte: Página da Clamper.²

² Disponível em: <<https://www.lojaclamper.com.br/dps-clamper-solar-string-box-1000v--3e-1s/p>>

3.4 Cabos e Conexões

3.4.1 Instalações no Lado CA

Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão, as conexões elétricas são dimensionadas e implementadas seguindo os critérios e exigências da norma NBR 5410. Os condutores devem ser dimensionados de acordo com os critérios de capacidade de corrente, queda de tensão e métodos de instalação. Os dispositivos de proteção, como disjuntores termomagnéticos e interruptores diferenciais residuais, devem ser implementados obrigatoriamente nas instalações elétricas.

3.4.2 Instalações no Lado CC

As conexões entre os módulos e o inversor são realizadas por meio de cabos elétricos conectados à *string box*, utilizando-se terminais elétricos padronizados para sistemas fotovoltaicos. A Figura 19 apresenta um exemplo de modelo de cabo e conexões apropriadas.

Figura 19 – Cabos com terminais elétricos padronizados.



Fonte: Página da JM Ecosolar.³

A proteção dos cabos CC é dimensionada de acordo com a norma NBR 16690. Os cabos que fazem a conexão entre os módulos e o inversor devem possuir tensão de isolamento entre 300V e 1000V e sua capacidade de condução de corrente deve ser 25% superior à corrente de curto circuito dos módulos fotovoltaicos.

As quedas de tensão nas conexões em corrente contínua devem estar entre 1% e 3%. O dimensionamento dos cabos é realizado utilizando o critério da capacidade de corrente, aplicando-se em seguida o critério da queda de tensão. Em instalações fotovoltaicas, os cabos podem ficar sujeitos a intempéries e radiação solar excessiva, o que exige a utilização de cabos apropriadas para evitar ressecamento e deterioração acelerada.

³ Disponível em: <<https://www.jmecosolar.com.br/cabo-solar-fotovoltaico-com-conector-mc4>>

3.5 Aterramento

O aterramento é responsável pela conexão à terra de um equipamento ou de um sistema. O principal objetivo do aterramento é proteger as pessoas contra choques elétricos e impedir que ocorram danos aos equipamentos provocados por falhas ou descargas atmosféricas, por exemplo.

A instalação de um sistema fotovoltaico é considerada uma reforma, o que implica que a instalação deve conter obrigatoriamente um sistema de aterramento, atendendo à norma NBR 5410.

Nos sistemas fotovoltaicos, o aterramento é utilizado para:

- Evitar ferimentos às pessoas causados por diferenças de potencial em relação ao solo ou por arcos elétricos provocados por falhas;
- Evitar danos aos equipamentos devido a falha no isolamento ou arcos elétricos provocados por falhas;
- Fornecer um caminho de aterramento de baixa impedância para permitir a rápida dispersão de sobretensões;
- Fornecer caminhos de retorno efetivos para o fluxo de corrente de falha, para que relés, fusíveis e dispositivos similares tenham um desempenho previsível;
- Proteger o equipamento contra falhas de operação causadas por excesso de tensão ou acoplamento de corrente com fontes externas;
- Fornecer caminhos adequados para pequenas correntes de fuga, para que elas sejam menos propensas a causar corrosão do que fluindo em caminhos dispersos.

Todas as partes que possuem materiais condutores devem ser conectadas ao sistema de aterramento, tornando o sistema equipotencializado, para evitar que, em caso de falhas, tornem-se acidentalmente vivas, podendo provocar choques elétricos ou falhas nos equipamentos presentes no sistema. (PERUZZO, 2021)

Na Figura 20 pode-se visualizar um exemplo de instalação de sistema fotovoltaico residencial, onde verifica-se que todos os equipamentos estão devidamente conectados ao aterramento.

Figura 20 – Estrutura de um sistema de geração fotovoltaica residencial.



Fonte: (NASCIMENTO et al., 2016)

4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento do sistema fotovoltaico passa pela determinação do número de módulos, escolha do inversor adequado, escolha do método de fixação dos módulos, dimensionamento dos cabos e proteção do sistema, ou seja, consiste no planejamento da instalação.

A partir da análise do local e do consumo mensal de energia elétrica, determina-se os componentes adequados para o sistema, visando o melhor aproveitamento do espaço disponível com máxima eficiência na instalação.

É importante verificar também os fatores de perda que podem ter influência direta no dimensionamento do projeto, como, por exemplo, sombreamento e poeira. Antes de implementar a instalação fotovoltaica, deve-se observar se existem locais próximos que impeçam a incidência de luz sobre os módulos. Além disso, em locais mais secos ou cidades maiores, com muito tráfego de automóveis, há incidência de maior acúmulo de poeira, sujeira e fuligem. Fazer a limpeza dos módulos fotovoltaicos é significativamente relevante para manter o sistema no maior nível de eficiência possível.

A Resolução Normativa ANEEL Nº 687/2015 permite que as instalações fotovoltaicas injetem a energia excedente na rede, para as distribuidoras de energia, acumulando créditos que podem ser utilizados posteriormente. Por esse motivo, não é necessário dimensionar um sistema com capacidade para produzir o consumo máximo da unidade, mas sim o consumo médio, pois os períodos de maior geração compensam os períodos de menor geração utilizando os créditos acumulados.

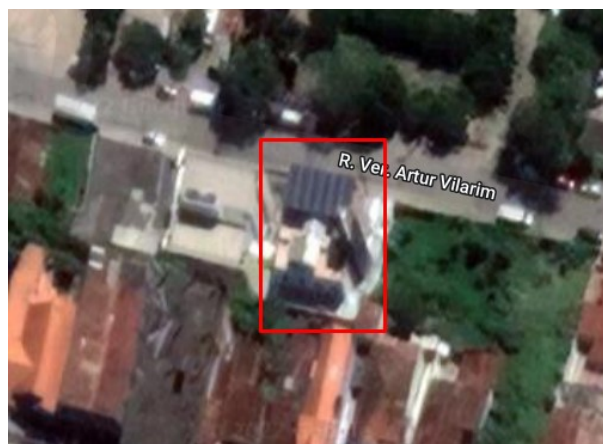
O valor médio de consumo do local pode ser obtido analisando-se a fatura de energia elétrica, a partir dos valores de consumo mensais informados, pois possui o histórico de consumo dos últimos meses, podendo-se determinar a média mensal a partir dessas informações. Dados como endereço, tipo de fornecimento (monofásico, bifásico ou trifásico) e custo de disponibilidade também estão presentes na fatura e também serão utilizados.

Como forma de apresentar os procedimentos de especificação da instalação de um sistema fotovoltaico, a seguir será apresentado um estudo de caso onde o processo de construção e dimensionamento do sistema será discutido passo a passo, visando analisar se o sistema é economicamente viável para a localidade.

4.1 Informações da Unidade Consumidora

A unidade consumidora onde o sistema foi instalado é um cliente cativo da concessionária, pertence ao subgrupo T2, ou seja, possui ligação do tipo trifásica, localiza-se na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, e sua fornecedora de energia é a Energisa Borborema. A Figura 21 apresenta a vista superior do local.

Figura 21 – Vista superior da unidade consumidora.



Fonte: Google Maps, adaptado pelo autor.

Para o dimensionamento do sistema, verificou-se o consumo médio mensal do local e a previsão de instalação de novos equipamentos, em contato com o cliente, chegando no valor de 1200 kWh. O sistema foi projetado para suprir esse consumo mensal, com característica *on-grid*, ou seja, conectado a rede da concessionária de energia elétrica local.

A opção de escolha pelo modelo *on grid* se dá pelo fato do imóvel já possuir conexão com a rede da concessionária, estar localizado na região central da cidade, contando com uma rede bem dimensionada e com menor risco de oscilações e faltas, além do fato do sistema *on grid* ser mais barato e de permitir a possibilidade do autoconsumo remoto, onde o cliente pode cadastrar outras unidades consumidoras com mesmo CPF/CNPJ para utilizar os créditos gerados para abater seu consumo.

Apesar do consumo de energia registrado na fatura zerar devido aos créditos injetados na rede que compensam o consumo nos momentos em que o sistema fotovoltaico não está gerando o suficiente, ainda há o valor a ser pago na conta de energia elétrica, que corresponde ao custo de disponibilidade. Segundo a Resolução Normativa ANEEL N° 414/2010, o custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente ao consumo de 100 kWh.

A escolha dos equipamentos utilizados no sistema fotovoltaico é feita de acordo com as marcas e modelos disponíveis nos fornecedores parceiros da empresa contratada para realizar a instalação do sistema. Na maioria dos casos, esses equipamentos são vendidos na forma de

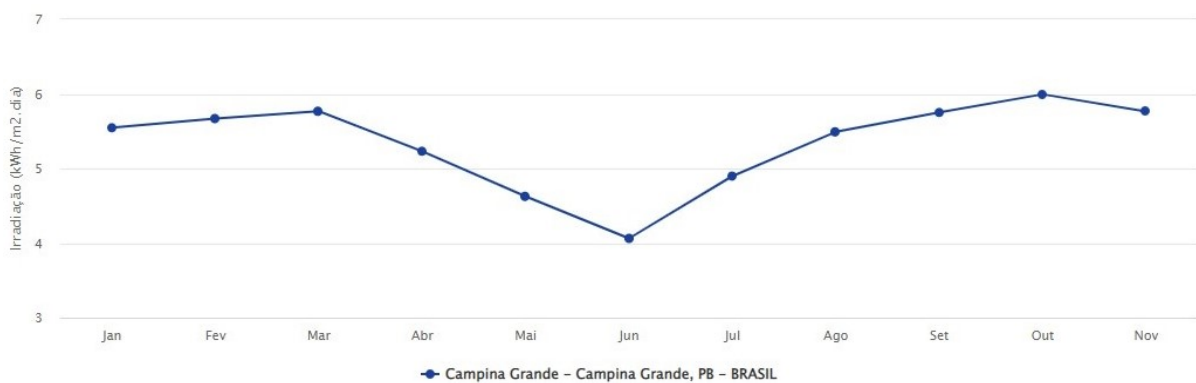
kits já dimensionados para o valor de geração desejada, contendo módulos, inversores, cabos, conexões e estrutura de fixação dos módulos.

4.2 Determinação da Quantidade de Módulos

As empresas que fazem instalação de sistemas fotovoltaicos utilizam os dados de consumo médio mensal para determinar a quantidade de placas que devem ser implementadas para suprir esse consumo, não sendo necessário fazer o levantamento das cargas do consumidor, mas deve-se verificar com o cliente se ele tem previsão de instalação de algum equipamento que possa aumentar o consumo de forma considerável, para que o sistema já seja dimensionado considerando esse adicional.

Após verificar o consumo médio mensal, verifica-se o nível de irradiação solar incidente, inserindo as coordenadas geográficas do local no sistema do CRESESB. O valor de irradiação solar do local é $5,25 \text{ kWh}/\text{m}^2.\text{dia}$. Na figura 22 pode-se verificar um gráfico com as médias mensais de irradiação no decorrer do ano para a localidade em questão.

Figura 22 – Irradiação solar diária média no decorrer do ano.



Fonte: Página do CRESESB ¹

No mercado existem diversas marcas de módulos fotovoltaicos, com diferentes potências e especificações. O módulo utilizado nesse projeto foi o Tiger Pro JKM450M-60HL4-V, da marca Jinko Solar (o *datasheet* do módulo encontra-se no Anexo B). A Tabela 2 mostra as principais especificações técnicas do módulo utilizado.

¹ Disponível em: <<https://cresebsb.cepel.br/index.php?section=sundata>>

Tabela 2 – Especificações técnicas do módulo.

Jinko Solar Tiger Pro JKM450M-60HL4-V	
Tipo	Monocristalino Tipo P
Potência Máxima (STC)	450 Wp
Tensão de Circuito Aberto (STC)	41,18 V
Corrente de Curto-Circuito (STC)	13,85 A
Tensão de Potência Máxima (STC)	33,91 V
Corrente de Potência Máxima (STC)	13,27 A
Máximo Fusível de Corrente Reversa	25 A
Eficiência (STC)	20,85%
Área do Útil do Módulo	2,16 m ²

Fonte: *Datasheet* do Módulo (ver Anexo B).

Determina-se então o valor da potência real do sistema em kWp, a partir da Equação 4.1, considerando uma eficiência do módulo de 86% (consultar *datasheet* do módulo no Anexo B).

$$P_{sist} = \frac{\text{consumo mensal}}{\text{irradiação} \cdot \text{número de dias no mês} \cdot \text{eficiência}} \quad (4.1)$$

$$P_{sist} = \frac{1200 \text{ kWh}}{5,25 \cdot 30 \cdot 0,86} = 8,86 \text{ kWp}$$

Divide-se então a potência real pelo valor da potência máxima (STC) do módulo, cujo valor está disposto na Tabela 2, determinando assim a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para suprir a demanda do local.

$$\frac{8,86 \text{ kWp}}{450 \text{ kWp}} = 19,7$$

Ou seja, para suprir a demanda do local, são necessários 20 módulos fotovoltaicos, considerando o modelo escolhido, resultando numa geração de 9 kWp. Caso fosse optado por utilizar 19 módulos, o valor total da potência seria 8,55 kWp, obtendo-se uma geração abaixo do valor desejado.

É fundamental verificar a área disponível para instalação dos módulos, pois o local pode possuir uma área limitada apta a receber os módulos. Os 20 módulos ocupam uma área de aproximadamente 40 m², assim existe espaço suficiente no local para que os módulos sejam instalados. Na Figura 23 pode-se visualizar a forma como os módulos fotovoltaicos foram implementados no local.

4.3 Determinação do Inversor

O modelo de inversor que deve ser utilizado no projeto deve ser compatível com a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos. Dentre os inversores disponíveis no mercado, optou-se pelo

Figura 23 – Estrutura projetada para instalação de módulos fotovoltaicos.



Fonte: Próprio Autor.

modelo MIN10000TL-X da marca *Growatt* (o *datasheet* do inversor encontra-se no Anexo A). Na Tabela 3 são apresentadas as principais características técnicas do inversor.

Tabela 3 – Especificações técnicas do inversor.

Growatt MIN10000TL-X	
Tipo	Monofásico
Potência Máxima CA Nominal	10000 W
Tensão de Saída CA Nominal	220 V / 160 - 300 V
Corrente de Saída CA Máxima	45,5 A
Frequência	50/60 Hz
Distorção Harmônica Total (THD)	< 3%
Tensão Nominal de Entrada CC	360 V
Corrente Máxima de Entrada CC	13,5 A / 27 A
Strings (MPPT)	3
Grau de Proteção	IP66
Eficiência Máxima	98,1%

Fonte: *Datasheet* do Inversor (ver Anexo A).

Verificando os parâmetros desse modelo, observa-se que o inversor atende aos requisitos necessários para ser utilizado no sistema. Além disso, como sua potência máxima é de 10 kW, um pouco acima da potência calculada, o cliente pode adicionar mais módulos ao sistema caso seja necessário, aumentando sua geração sem a necessidade de adquirir outro inversor. Na Figura 24 pode-se visualizar o inversor instalado no local.

Figura 24 – Inversor Growatt MIN10000TL-X instalado no local.



Fonte: Próprio Autor.

Após definir a quantidade de módulos que serão utilizados no sistema e o modelo de inversor capaz de suportar essa geração, o passo seguinte é definir o arranjo em que esse módulos serão conectados.

Determina-se a quantidade máxima de módulos que podem ser conectados em série em cada *string* do inversor. Para isso, divide-se o valor de tensão máxima CC do inversor pelo valor de tensão de circuito aberto do módulo fotovoltaico. Para os modelos utilizados no projeto, tem-se:

$$\frac{600}{41,18} = 14,57$$

Ou seja, até 14 módulos podem ser conectados em série em cada *string* do inversor, visto que caso sejam conectados 15 módulos, o valor da tensão CC seria de 617,7 V, valor superior à tensão máxima suportada por *string* do inversor. Optou-se por conectar 10 módulos em cada *string*, devido às dimensões do local onde os painéis serão instalados.

4.4 Dimensionamento dos Cabos e da Proteção

Para determinar os condutores e dispositivos de proteção que serão utilizados na instalação, verifica-se no *Datasheet* do inversor a corrente máxima na parte CC e CA suportada. Para o modelo escolhido, a corrente máxima CC é 27 A e a corrente máxima CA é 45,5 A.

De acordo com a norma NBR 5410, o condutor de EPR (ou XLPE) de cobre, com seção nominal de 6 mm^2 pode conduzir até 54 A. Devido à capacidade de condução ser maior que a corrente máxima do sistema e a distância entre o inversor e o QDG (Quadro de Distribuição Geral) ser menor que 5 m, pode-se então utilizar esse modelo de condutor para a parte CC.

Já para a parte CA, utilizam-se cabos com seção nominal de 10 mm^2 , capazes de conduzir até 50 A, e com isolamento PVC.

Seguindo a Norma NDU-001, da concessionária de energia, é definido o uso de DPS classe II para proteção na saída do inversor. O DPS escolhido tem tensão nominal de 275 V e corrente de descarga máxima de 20 kA.

Instala-se também um disjuntor termomagnético para proteção em caso de curto-circuito ou necessidade de manutenção. O disjuntor implementado possui curva de disparo tipo B e corrente nominal de 50 A. Na Figura 25 pode-se verificar o disjuntor e DPS utilizados no sistema.

Figura 25 – Dispositivos de proteção CA implementados no sistema fotovoltaico.



Fonte: Próprio Autor.

Segundo a Norma NDU-001, a geração distribuída deve possuir também uma malha de aterramento, que deve ser conectada ao sistema de aterramento existente na unidade consumidora, tornando o sistema equipotencializado.

5 Fator Comercial e sua Viabilidade

O custo de geração de um sistema fotovoltaico está diretamente relacionado ao custo de aquisição do kit (módulos, inversor, estrutura de fixação, cabos, dispositivos de proteção, mão de obra). Embora esse custo de geração seja considerado elevado, o seu potencial de retorno é atrativo, fazendo com que as pessoas e empresas optem por implementar esse meio de geração de energia elétrica.

5.1 Viabilidade Econômica

Para verificar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico, realiza-se o cálculo do *Payback*. A partir dessa análise, o investidor pode decidir se a implementação desse sistema é realmente viável do ponto de vista financeiro, pois esse cálculo permite que ele tenha uma indicação do retorno real e obtenção de lucro.

Para o sistema fotovoltaico em questão, o custo final do sistema, incluindo todos os componentes, projeto, mão de obra e equipamentos de instalação, foi de R\$ 40.000,00, como pode ser visualizado na Tabela 4. O *kit* de energia fotovoltaica é composto pelo inversor, módulos fotovoltaicos, estrutura de fixação, cabos e conexões.

Tabela 4 – Custo do Sistema.

Produto	Modelo	Custo (R\$)
Inversor Growatt - 10 kWp	Growatt MIN10000TL-X	7.953,76
Módulo Fotovoltaico - 450 Wp	Jinko Solar Tiger Pro JKM450M-60HL4-V	26.230,75
Equipamentos de Instalação	—	2.872,49
Projeto e Mão de Obra	—	2.943,00
Total	—	40.000,00

Fonte: Próprio Autor.

5.1.1 *Payback*

O *Payback* é um cálculo que permite estimar em quanto tempo os lucros obtidos por um determinado investimento cobrirão o valor aplicado inicialmente. É usado por empreendedores e investidores, auxiliando na tomada de decisão. (RESULTADOSDIGITAIS, 2022)

Considerando-se que o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico é de aproximadamente 25 anos, estima-se o valor médio anual de consumo de energia, que é dado pela média dos 12 valores referentes a cada mês do ano. Para o sistema em questão, a média de consumo foi estabelecida em 1200 kWh/mês. Leva-se em consideração também o valor da inflação, sendo utilizado para cálculo o valor de 10% ao ano, o valor do kWh cobrado pela concessionária, que é

de R\$ 0,70, para a localidade em questão, além da perda de eficiência prevista no valor de 14%, informada no *datasheet* do módulo fotovoltaico.

Para cálculo do *Payback*, utilizou-se a plataforma *Brassuny*, inserindo como parâmetros os dados solicitados referentes ao local onde o sistema será instalado. No Anexo C pode-se visualizar a tela da plataforma onde os valores são inseridos para cálculo do *Payback*. A partir dos dados informados, a plataforma calcula automaticamente o *Payback*. A Tabela 5 apresenta o *Payback* do sistema de forma resumida. No Anexo D pode-se visualizar o cálculo detalhado do *Payback* do sistema.

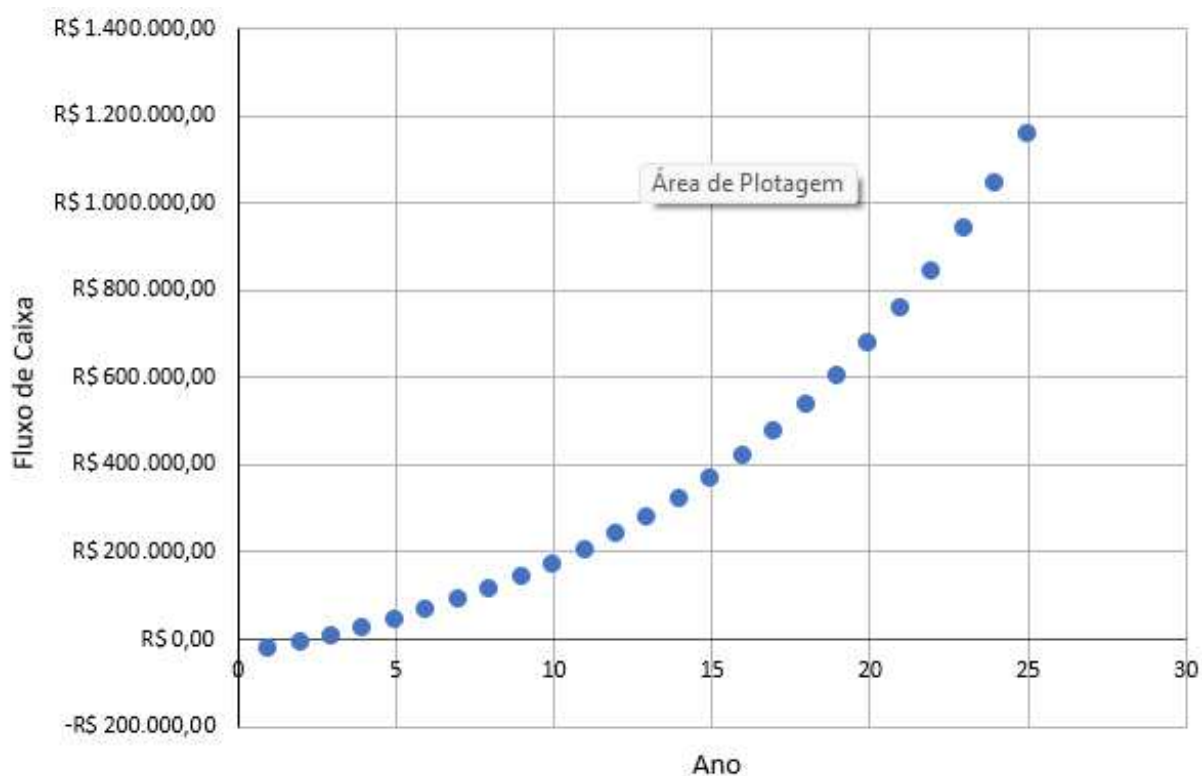
Tabela 5 – Retorno financeiro anual do sistema fotovoltaico.

Ano	Retorno Financeiro
0	R\$ -40.000,00
1	R\$ -25.097,42
2	R\$ -10.216,70
3	R\$ 6.037,19
4	R\$ 23.791,30
5	R\$ 43.184,49
6	R\$ 64.367,01
7	R\$ 87.504,42
8	R\$ 112.777,65
9	R\$ 140.384,45
10	R\$ 170.538,81
11	R\$ 203.476,53
12	R\$ 239.455,35
13	R\$ 278.754,11
14	R\$ 321.680,15
15	R\$ 368.569,43
16	R\$ 419.785,32
17	R\$ 475.728,45
18	R\$ 536.836,72
19	R\$ 603.586,74
20	R\$ 676.491,74
21	R\$ 756.131,60
22	R\$ 843.120,61
23	R\$ 938.139,64
24	R\$ 1.041.932,97
25	R\$ 1.155.305,28

Fonte: Próprio Autor.

Pode-se verificar que o momento no qual o investidor tem retorno do valor investido é após 3 anos de geração de energia fotovoltaica. A partir desse momento, o investimento começa a gerar lucro. Na Figura 26 pode-se visualizar a curva do retorno financeiro.

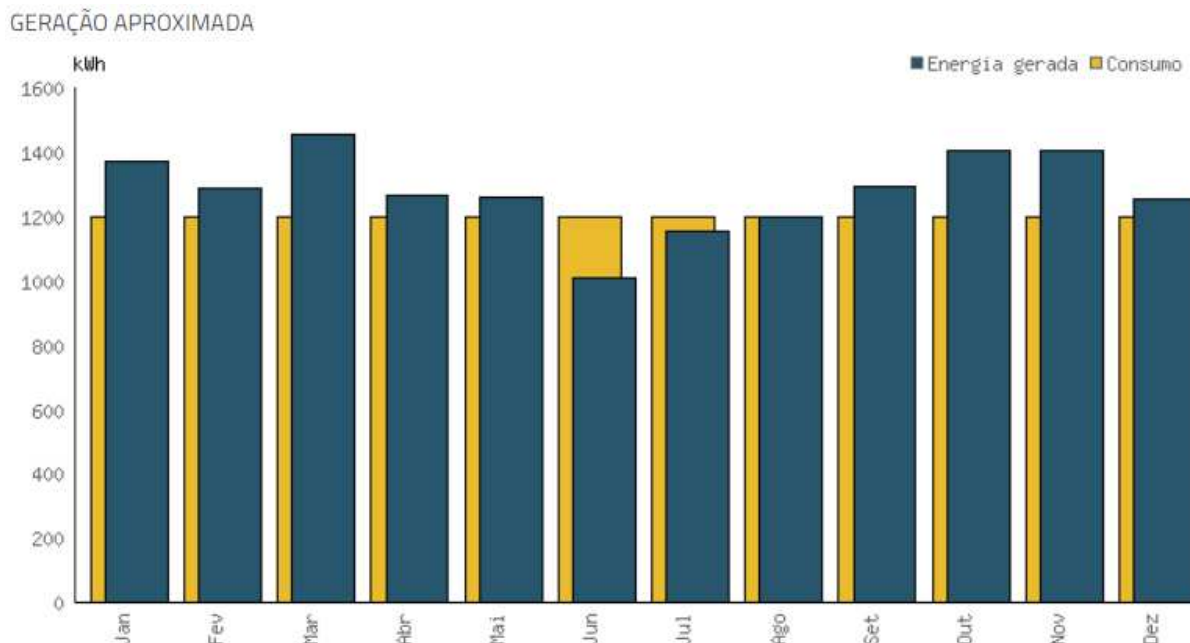
Figura 26 – Gráfico do retorno financeiro do sistema.



Fonte: Próprio Autor.

A plataforma apresenta também uma estimativa de geração média mensal, que pode ser visualizada na Figura 27. Pode-se visualizar que a média de geração mensal é menor no período do inverno e bem mais alta no período do verão. Como a energia injetada na rede gera créditos, esses créditos são utilizados nos meses onde a geração é mais baixa, caso venha a ser inferior ao consumo de energia do mês. Ou seja, o sistema é dimensionado para ter uma média anual de geração que seja suficiente para cobrir o consumo, mas pode apresentar geração inferior ao consumo em alguns meses, sendo compensada nos meses onde a geração é superior.

Figura 27 – Análise da geração de energia do sistema em comparação com o consumo.



Fonte: Plataforma Brassunny. ¹

O barateamento da tecnologia com o passar do tempo torna o *Payback* cada vez mais rápido, além da inflação que acompanha as tarifas de energia, fazendo com que o sistema fotovoltaico se torne mais atrativo para maiores taxas de inflação.

É importante ressaltar que todos os cálculos realizados até o momento utilizam valores médios de acordo com o histórico passado, o que torna o *Payback* uma estimativa sobre o retorno do investimento do cliente. Contudo, o fato de ser uma estimativa não torna o sistema menos atrativo, tendo em vista que a economia é notória e que os lucros são bastante consideráveis quando analisados mais a fundo. (FERNANDES, 2018)

5.2 Resultados

Pode-se verificar, através da análise do *Payback*, que o retorno do investimento realizado é dado antes da meia vida do projeto, fato que já demonstra a viabilidade econômica desse tipo de projeto.

Além disso, o valor do VPL (Valor Presente Líquido), que determina o valor atual do retorno do investimento, é de R\$ 152.026,22. Para os dias atuais, utiliza-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) no valor de 13,75% a.a., valor atual da taxa Selic. É necessário que o investimento tenha um retorno maior que o valor dessa taxa, para que o investimento seja considerado viável. A partir desses valores, pode-se determinar a Taxa Interna de Retorno, no valor de 43%. Observa-se que o valor da TIR é superior ao valor da TMA, o que significa que o investimento é viável.

¹ Disponível em: <<https://www.brassunny.com.br/>>

Outro fato determinante é que, para casos em que a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá da concessionária um prazo de 36 meses para utilização do excedente. Ou seja, mesmo que o sistema pare de funcionar, caso o cliente tenha excedente poderá utilizar para abater as faturas seguintes.

É importante ressaltar que a preocupação com o meio ambiente condiz também na economia de energia elétrica, desse modo, a consciência dos consumidores é de fundamental importância para a viabilidade econômica e ambiental de tal sistema.

Outro fato importante é a relação entre a geração de energia fotovoltaica e a geração de energia hidrelétrica. Nos momentos nos quais as usinas hidrelétricas estiverem com baixos níveis nos reservatórios, a energia fotovoltaica poderá aliviar a demanda atendida por essas usinas. Da mesma forma, em uma situação na qual os reservatórios estão cheios, a energia fotovoltaica pode prejudicar a geração hidrelétrica, visto que a demanda pode não ser suficiente para a manutenção do nível de água dos reservatórios, podendo levar a um potencial desperdício de água. (DANTAS; POMPERMAYER, 2018)

Uma das principais desvantagens do sistema *on grid* é a tributação por ICMS. A energia gerada pelo consumidor é aplicada na rede sem tributação, contudo, ao consumi-la, a concessionária devolve ao consumidor aplicando essa tributação. Isso faz com que o valor seja reduzido, no entanto não afeta o consumo direto, já que não passa pelo medidor.

6 Conclusão

Analisando a viabilidade econômica desenvolvida neste trabalho é possível considerar que a instalação de um projeto fotovoltaico é um ótimo investimento, considerando as taxas para um consumidor de baixo a elevado consumo de energia elétrica.

Considerando que a eficiência de geração de um módulo fotovoltaico atinge um valor de aproximadamente 80% após 25 anos, e levando em consideração o valor do investimento realizado, o projeto mostrou-se com resultados positivos devido ao fato da recuperação do valor investido ser dado em um período bastante inferior a 25 anos.

Percebe-se então que o conhecimento na área de sistemas de micro geração fotovoltaica é de fato vantajoso e pode-se prever que o mesmo estará em expansão nos próximos anos.

Assim, o presente trabalho foi capaz de demonstrar de forma objetiva os métodos para a implementação de um projeto fotovoltaico conectado a rede. Além da metodologia do dimensionamento do sistema fotovoltaico, foram abordadas as formas de análise da viabilidade econômica do projeto, sendo este um dos principais fatores para a energia solar fotovoltaica crescer no Brasil.

Referências

- ABNT. *Norma Brasileira ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão*. 2004.
- ANEEL. *Resolução Normativa Nº 482*. 2012.
- ANEEL. *Resolução Normativa Nº 687*. 2015.
- BLUESOL. *Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo*. 2019. Acesso em: 12/05/2022. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- CUSTÓDIO, D. *Topografia – I (Aula 06) Declinação Magnética*. 2016. Acesso em: 04/06/2022. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2029993/mod_resource/content/1/6_Declina%C3%A7%C3%A3o_Magnetica_TOPO-1_2016_1.pdf>. Citado na página 26.
- DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. *Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico*. 2018. Citado na página 45.
- ENERGISA. *Norma de Distribuição Unificada 001 - Fornecimento de energia elétrica a edificações individuais ou agrupadas até 3 unidades consumidoras*. 2020.
- ENERGISA. *Norma de Distribuição Unificada 013 - Critérios para a Conexão em Baixa Tensão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição*. 2022.
- ENERGYSHOP. *Módulos fotovoltaicos em série e paralelo*. 2019. Acesso em: 13/08/2022. Disponível em: <<https://blog.energyshop.com.br/categorias/guia-da-energia-solar/modulos-fotovoltaicos-em-serie-e-paralelo/>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- FADIGAS, E. A. F. A. *Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica*. 2012. Acesso em: 14/05/2022. Disponível em: <<https://pt.b-ok.lat/book/11006039/fc7f17>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.
- FERNANDES, E. S. *Instalação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos*. 2018. Citado 4 vezes nas páginas 24, 26, 27 e 44.
- GÓMEZ, J. M. R. et al. *A irradiância solar: conceitos básicos*. 2018. Acesso em: 13/05/2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/DfZGpdWH53yHvvj9kwjMqqt/?lang=pt>>. Citado na página 20.
- HCCENERGIASOLAR. *Conheça os principais tipos de produção de energia elétrica*. 2022. Acesso em: 16/07/2022. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/conheca-os-principais-tipos-de-producao-de-energia-eletrica/>>.
- LEITE, S. F. *Qual a forma correta de inclinação do painel solar?* 2022. Acesso em: 08/06/2022. Disponível em: <<https://siesolucoes.com.br/qual-a-forma-correta-de-inclinacao-do-painel-solar-da-forma-correta-da-inclinacao/>>. Citado na página 27.
- MELLO, H. A. de; BIASI, R. S. de. *Introdução à Física dos Semicondutores*. [S.l.]: Editora Edgard Blucher Ltda, 1975. Citado na página 15.

- NASCIMENTO, D. A. et al. Instalações de sistemas de geração solar fotovoltaica. 2016 *Brazilian Technology Symposium*, 2016. Citado na página 33.
- PEREIRA, E. B. et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2ª. ed. INPE, 2017. Acesso em: 13/05/2022. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>.
- PEREIRA, L. *O que é Valor Presente Líquido (VPL) e como calcular*. 2022. Acesso em: 27/08/2022. Disponível em: <<https://www.dicionariofinanceiro.com/valor-presente-liquido/>>.
- PERUZZO, E. S. *Como Deve ser Feito o Aterramento em Sistemas de Geração Fotovoltaico*. 2021. Acesso em: 26/06/2022. Disponível em: <<https://blog.solarinove.com.br/aterramento-em-sistemas-de-geracao-fotovoltaico/>>. Citado na página 32.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CEPEL-CRESESB, 2014. Acesso em: 13/05/2022. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 17, 24 e 28.
- PORTALSOLAR. *Célula fotovoltaica: tudo o que você precisa saber*. Acesso em: 09/06/2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>.
- PORTALSOLAR. *De quantos painéis solares preciso para uma residência?* 2022. Acesso em: 20/07/2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/quantos-paineis-solares-preciso-para-residencia.html>>.
- RESULTADOSDIGITAIS. *Como calcular o payback? Saiba quando seus investimentos trarão retorno*. 2022. Acesso em: 21/07/2022. Disponível em: <<https://resultadosdigitais.com.br/vendas/payback/>>. Citado na página 41.
- SOLARBRASIL. *Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos*. 2016. Acesso em: 12/05/2022. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/energia-solar-fotovoltaica-conceitos/>>.
- SOLARINOVE. *Principais Mudanças da Lei 14.300/2022*. 2022. Acesso em: 05/08/2022. Disponível em: <<https://blog.solarinove.com.br/principais-mudancas-da-lei-14-300-2022/>>.
- SOLENERG. *Conceitos básicos de um Sistema Fotovoltaico*. 2022. Acesso em: 12/05/2022. Disponível em: <<https://www.solenerg.com.br/sistemas-fotovoltaicos-conceitos-basicos/>>. Citado na página 24.
- SOUZA, R. D. *Os sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*. BlueSol Educacional, 2016. Acesso em: 13/05/2022. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 20 e 21.
- VINTURINI, M. *Entenda as especificações básicas dos componentes da string box*. 2019. Acesso em: 20/06/2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>>. Citado na página 30.

Anexos

ANEXO A – *Datasheet* do Inversor

MIN 8000 - 10000 TL-X

- Eficiência máxima de 98.1 %
- 2/3 MPP trackers
- SPD Type II no lado CC
- Suporta controle de exportação
- Display OLED e Touch



P O W E R
- I N G
T O M O -
R R O W

powering tomorrow
Growatt

www.ginverter.com

Ficha de dados

MIN 8000TL-X(E)

MIN 10000TL-X

Dados de entrada (CC)

Potência máxima FV máxima recomendada (por módulo STC)	11200W	15000W
Tensão Máxima CC	600V	
Tensão de start	100V	
Tensão nominal	360V	
Faixa de tensão MPP	60-550V	
Número de MPP trackers	2	3
Número de strings FV por MPP tracker	1/2	1/1/2
Corrente máxima de entrada por MPP tracker	13.5A/27A	13.5A/13.5A/27A
Corrente máxima de curto circuito por MPP tracker	16.9A/33.8A	16.9A/16.9A/33.8A

Dados de saída (CA)

Máxima potência nominal CA	8000W	10000W
Tensão nominal CA	220V/160~300V	
Frequência da rede CA	50/60Hz(44-55Hz/54-65Hz)	
Corrente de saída máxima	38.3A	45.5A
Fator de potência ajustável	0.8i-0.8c	
THDI	<3%	
Tipo de conexão de rede CA	Monofásico	

Eficiência

Eficiência máxima	97.3%	98.1%
Eficiência europeia		97.6%
Eficiência MPPT		99.5%

Dispositivos de proteção

Proteção de polaridade reversa CC	Sim
Chave seccionadora CC	Sim
Proteção contra sobretensão CC/CA	Type II / Type III
Monitoramento de resistência de isolamento	Sim
Proteção de curto circuito CA	Sim
Monitoramento de falha da rede	Sim
Monitoramento da rede	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Monitoramento de corrente residual	Sim

Dados Gerais

Dimensões (L/A/P)	425/387/180mm
Peso	18.2kg
Faixa de temperatura operacional	- 25 °C ... +60 °C
Consumo noturno	< 1W
Topologia	Sem transformador
Resfriamento	Refrigeração natural
Grau de proteção	IP66
Humidade relativa	0-100%
Altitude	4000m
Conexão CC	H4
Conexão CA	Cable gland +OT terminal
Display	OLED+LED/WIFI+APP
Interfaces: RS485 / USB / Wi-Fi	Sim/Sim/Sim
Garantia: 5 anos	Sim

CE, IEC 62116, IEC 61727, IEC62109, INMETRO, AS4777

ANEXO B – *Datasheet* do Módulo Fotovoltaico

Tiger Pro 60HC

440-460 Watt

Módulo Monofacial

P-Type

Tolerância de potência positiva de 0~+ 3%

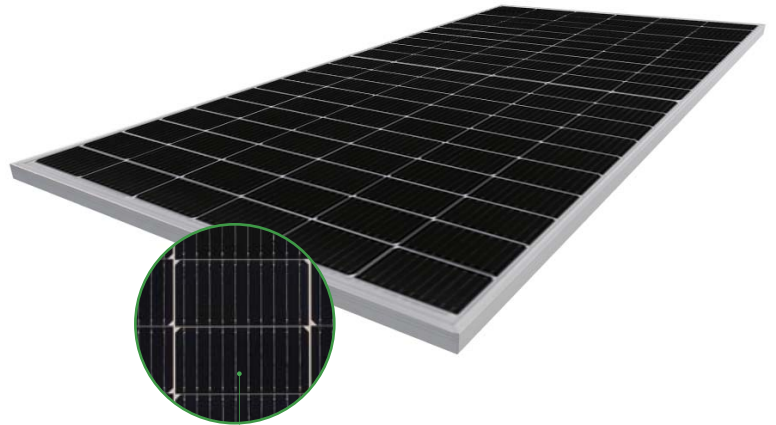
IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Sistema de Gestão da Qualidade

ISO14001:2015: Sistema de Gestão Ambiental

ISO45001:2018

Sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional



MBB HC Technology

MBB HC Technology

Características Principais



Tecnologia Multi Busbar

Melhor captura de luz e coleta de corrente para melhorar a confiabilidade e a saída de energia do módulo.



Resistência PID

Excelente garantia de desempenho Anti-PID através de processo de produção em massa otimizado e controle de materiais.



Durabilidade contra condições ambientais extremas

Alta resistência à névoa de sal e amônia.



Perda de ponto quente reduzida

Projeto elétrico otimizado e menor corrente de operação para redução da perda de pontos quentes e melhor coeficiente de temperatura.



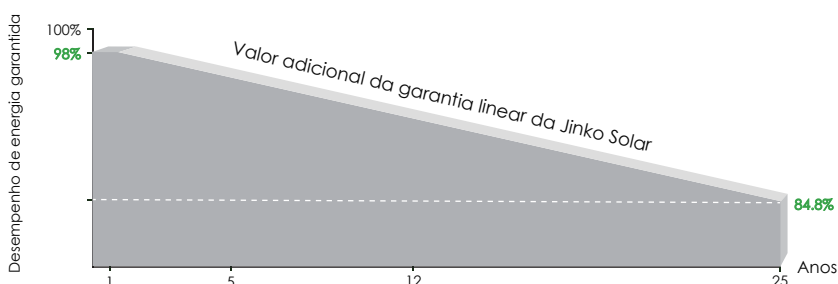
Carga Mecânica Aprimorada

Certificado para suportar: carga de vento (2400 Pascal) e carga de neve (5400 Pascal).



POSITIVE QUALITY™
Continuous Quality Assurance

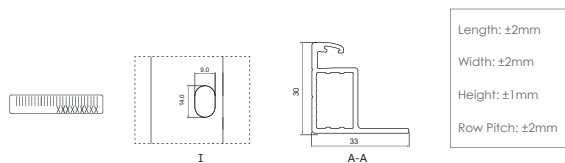
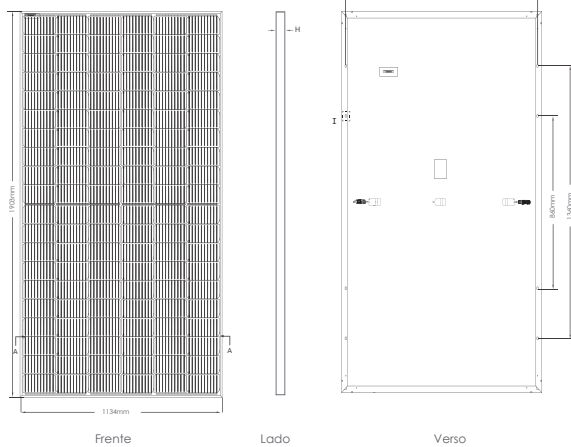
GARANTIA DE DESEMPENHO LINEAR



Garantia de produto de **12** anos

Garantia de energia linear de **25** anos

0,55% de degradação anual em 25 anos

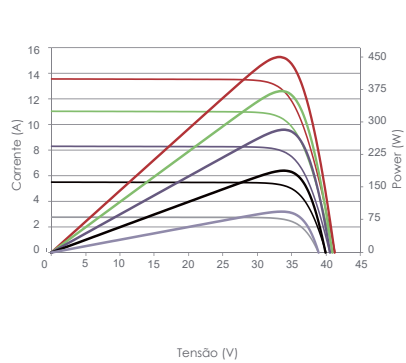


Configuração de embalagem

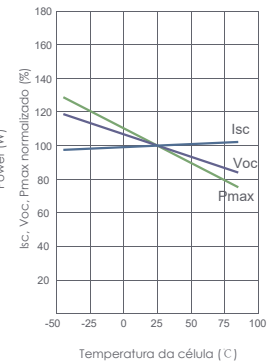
(Dois paletes = uma pilha)

35pcs/ palete, 70 pcs/pilha, 840 pcs/container de 40'HQ

Curvas de corrente-tensão e potência-voltagem (450W)



Dependência de temperatura de Isc, Voc, Pmax



Características mecânicas

Tipo de célula	P type Mono-crystalline
Nº de células	120 (6×20)
Dimensões	1903×1134×30mm (74.92×44.65×1.18 inch)
Peso	24.2 kg (53.35 lbs)
Vidro frontal	3,2 mm, revestimento anti-reflexo, alta transmissão, baixo teor de ferro, vidro temperado
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	Classificação IP68
Cabos de saída	TUV 1 × 4.0 mm ² (+): 290 mm, (-): 145 mm ou comprimento personalizado

ESPECIFICAÇÕES

Tipo de Módulo	JKM440M-60HL4		JKM445M-60HL4		JKM450M-60HL4		JKM455M-60HL4		JKM460M-60HL4	
	JKM440M-60HL4-V	JKM445M-60HL4-V	JKM450M-60HL4-V	JKM455M-60HL4-V	JKM460M-60HL4-V	JKM460M-60HL4-V	JKM460M-60HL4-V	JKM460M-60HL4-V	JKM460M-60HL4-V	JKM460M-60HL4-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima (Pmax)	440Wp	327Wp	445Wp	331Wp	450Wp	335Wp	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp
Tensão máxima de energia (Vmp)	33.72V	31.39V	33.82V	31.56V	33.91V	31.73V	34.06V	31.91V	34.20V	32.07V
Corrente de potência máxima (Imp)	13.05A	10.43A	13.16A	10.49A	13.27A	10.55A	13.36A	10.61A	13.45A	10.67A
Tensão de circuito aberto (Voc)	41.02V	38.72V	41.10V	38.79V	41.18V	38.87V	41.33V	39.01V	41.48V	39.15V
Corrente de curto-circuito (Isc)	13.73A	11.09A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.93A	11.25A	14.01A	11.32A
Eficiência do Módulo STC (%)	20.39%		20.62%		20.85%		21.08%		21.32%	
Temperatura de operação (°C)	-40°C~+85°C									
Tensão máxima do sistema	1000/1500VDC (IEC)									
Classificação máxima do fusível em série	25A									
Tolerância de potência	0~+3%									
Coeficientes de temperatura de Pmax	-0.35%/°C									
Coeficientes de temperatura de Voc	-0.28%/°C									
Coeficientes de temperatura de Isc	0.048%/°C									
Temperatura nominal da célula operacional (NOCT)	45±2°C									

*STC: Irradiance 1000W/m² Temperatura da célula 25 °C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Temperatura ambiente 20 °C AM=1.5

Velocidade do vento 1m/s

ANEXO C – Parâmetros Para Cálculo do *Payback* na Plataforma *Brassunny*

Tipo de dimensionamento CONSUMO MENSAL	Fase TRIFÁSICO	Tensão da rede 220/380	Orientação do telhado NORTE
Tipo de fiação COLONIAL	Distribuidora EBO - ENERGISA BOBOREMA S.A.	% do consumo à atender 100,00	Limite de módulos
Módulos por linha 10	Incluir transformador SIM		

LOCAL DE INSTALAÇÃO

* CEP
58 400-156

INFORMAÇÕES FISCAIS

Estado aderiu isenção de ICMS? SIM	% Aliquota de ICMS 0	% Aliquota do PIS 0	% Aliquota do COFINS 0
---------------------------------------	-------------------------	------------------------	---------------------------

DETALHAMENTO DO CONSUMO ELÉTRICO (KWH) DOS ÚLTIMOS 12 MESES

Julho 1200	Junho 1200	Mai 1200	Abril 1200	Março 1200	Fevereiro 1200
Janeiro 1200	Dezembro 1200	Novembro 1200	Outubro 1200	Setembro 1200	Agosto 1200

DETALHAMENTO DO CUSTO DO KWH (R\$) DOS ÚLTIMOS 12 MESES

Julho 0,83	Junho 0,83	Mai 0,83	Abril 0,83	Março 0,83	Fevereiro 0,83
Janeiro 0,83	Dezembro 0,83	Novembro 0,83	Outubro 0,83	Setembro 0,83	Agosto 0,83

ANEXO D – Cálculo Completo do Payback do Sistema Fotovoltaico

ANÁLISE FINANCEIRA - RETORNO DO INVESTIMENTO

Ano	Rendimento Módulos	Geração Anual (KWh)	Geração Acumulada	% Reajuste Médio	Economia Gerada Ano	ROI	Economia Acumulada
1*	99.3 %	14.921	14.921	10 %	R\$ 13.622,87	R\$ -25.097,42	R\$ 13.622,87
2*	98.6 %	14.817	29.738	10 %	R\$ 14.880,71	R\$ -10.216,70	R\$ 28.503,59
3*	97.91 %	14.713	44.451	10 %	R\$ 16.253,89	R\$ 6.037,19	R\$ 44.757,48
4*	97.22 %	14.610	59.061	10 %	R\$ 17.754,12	R\$ 23.791,30	R\$ 62.511,59
5*	96.54 %	14.508	73.569	10 %	R\$ 19.393,18	R\$ 43.184,49	R\$ 81.904,78
6*	95.86 %	14.406	87.975	10 %	R\$ 21.182,52	R\$ 64.367,01	R\$ 103.087,30
7*	95.19 %	14.305	102.280	10 %	R\$ 23.137,41	R\$ 87.504,42	R\$ 126.224,71
8*	94.52 %	14.205	116.485	10 %	R\$ 25.273,23	R\$ 112.777,65	R\$ 151.497,94
9*	93.86 %	14.106	130.591	10 %	R\$ 27.606,80	R\$ 140.384,45	R\$ 179.104,74
10*	93.2 %	14.007	144.598	10 %	R\$ 30.154,36	R\$ 170.538,81	R\$ 209.259,10
11*	92.55 %	13.909	158.507	10 %	R\$ 32.937,72	R\$ 203.476,53	R\$ 242.196,82
12*	91.9 %	13.812	172.319	10 %	R\$ 35.978,82	R\$ 239.455,35	R\$ 278.175,64
13*	91.26 %	13.715	186.034	10 %	R\$ 39.298,76	R\$ 278.754,11	R\$ 317.474,40
14*	90.62 %	13.619	199.653	10 %	R\$ 42.926,05	R\$ 321.680,15	R\$ 360.400,44
15*	89.99 %	13.524	213.177	10 %	R\$ 46.889,28	R\$ 368.569,43	R\$ 407.289,72
16*	89.36 %	13.429	226.606	10 %	R\$ 51.215,89	R\$ 419.785,32	R\$ 458.505,61
17*	88.73 %	13.335	239.941	10 %	R\$ 55.943,13	R\$ 475.728,45	R\$ 514.448,74
18*	88.11 %	13.242	253.183	10 %	R\$ 61.108,27	R\$ 536.836,72	R\$ 575.557,01
19*	87.49 %	13.149	266.332	10 %	R\$ 66.747,01	R\$ 603.583,74	R\$ 642.304,03
20*	86.88 %	13.057	279.389	10 %	R\$ 72.908,00	R\$ 676.491,74	R\$ 715.212,03
21*	86.27 %	12.966	292.355	10 %	R\$ 79.639,86	R\$ 756.131,60	R\$ 794.851,89
22*	85.67 %	12.875	305.230	10 %	R\$ 86.989,01	R\$ 843.120,61	R\$ 881.840,90
23*	85.07 %	12.785	318.015	10 %	R\$ 95.019,03	R\$ 938.139,64	R\$ 976.859,93
24*	84.47 %	12.696	330.711	10 %	R\$ 103.793,33	R\$ 1.041.932,97	R\$ 1.080.653,26
25*	83.88 %	12.607	343.318	10 %	R\$ 113.372,30	R\$ 1.155.305,28	R\$ 1.194.025,57