



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## **PROJETO DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA APLICADA A UMA RESIDÊNCIA**

Bruno Cordeiro Chamma

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Walter Issamu Suemits, Dr. Ing.

**RIO DE JANEIRO**

**Fevereiro de 2017**

Bruno Cordeiro Chamma

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHAIRO ELETRICISTA.

Examinado por:

---

Prof. Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

---

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph. D.

---

Gustavo Figueiredo Gontijo, Eng.

RIO DE JANEIRO

Fevereiro de 2017

Chamma, Bruno Cordeiro.

Projeto de uma microgeração fotovoltaica aplicada a uma residência/ Bruno Cordeiro Chamma – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.

XIII, 63p.; il.: 29,7cm.

Orientador: Walter Issamu Suemitsu

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/Curso de Engenharia Elétrica, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 72-73

1. Introdução. 2. Energia Solar Fotovoltaico. 3. Regulamentações Para Geração Fotovoltaica. 4. Projeto. 5. Análise de Viabilidade Econômica. I.Suemitsu, Walter Issamu. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica. III. Título

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, quero de agradecer a meu pai Paulo por ter me dado todo apoio e nunca ter desistido de acreditar em mim.

À minha mãe Marcia, por sempre confiar em mim e ter me dado todo o suporte nos piores momentos desta jornada.

À minha irmã Renata por me incentivar a fazer esse curso e não me deixar desistir.

À minha namorada Camila por ter tido paciência nesses últimos meses de faculdade.

Ao meu querido professor e orientador Walter Issamu Suemitsu pela paciência, e pela oportunidade de realizar este projeto como seu orientado.

Aos meus amigos que me ajudaram ao longo da faculdade.

**Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.**

**PROJETO DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA APLICADA A UMA RESIDÊNCIA**

Bruno Cordeiro Chamma

Fevereiro 2017

Orientador: Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

Curso: Engenharia Elétrica

Este Projeto de Graduação apresenta o dimensionamento de uma Microgeração fotovoltaica conectada à Rede, conforme a Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015 da ANEEL, além de apresentar uma breve análise de viabilidade econômica considerando o custo estimado dos equipamentos.

Ao longo deste projeto será mostrada a base teórica de uma geração fotovoltaica, em seguida o dimensionamento dos equipamentos que compõem o SFCR e, para finalizar, o estudo econômico durante a vida útil do Sistema.

Palavras-chave: Fotovoltaica, Geração de Energia, Residência, Viabilidade Econômica

**Abstract of the Undergraduate Project, presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the necessary requirements to obtain the degree of Electrical Engineer.**

Bruno Cordeiro Chamma

February 2017

Tutor: Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing.

Course: Electrical Engineering

This Undergraduate Project presents the design of a photovoltaic microgeneration connected to the Network, according to ANEEL Normative Resolution No. 687, dated November 24, 2015, and presents a brief economic feasibility analysis considering the estimated cost of the equipment.

Throughout the Project it will be shown the theoretical basis of a photovoltaic generation, then the sizing of the equipment that composes the SFCR and finally, the economic study, during the useful life of the system, is carried out.

Keywords: Photovoltaic, Power Generation, Residence, Feasibility study

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iv
SUMÁRIO .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE SIGLAS .....	xii
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONTEXTO ENERGÉTICO BRASILEIRO .....	2
1.2. OBJETIVO.....	4
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	4
<b>CAPÍTULO 2 - ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>6</b>
2.1. ENERGIA SOLAR .....	6
2.2. RADIAÇÃO SOLAR .....	7
2.3. A POSIÇÃO DO SOL-TERRA .....	8
2.4. EFEITO FOTOVOLTAICO .....	11
2.5. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	12
2.5.1. Primeira Geração (silício cristalino) .....	13
2.5.2. Segunda Geração (filmes finos): .....	14
2.5.3. Terceira Geração (concentrador solar) .....	15
2.6. NOÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	15
2.6.1. Módulos Fotovoltaicos .....	15
2.6.2. Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos .....	16
2.6.2.1. Tensão de Circuito Aberto ( <b>VOC</b> ).....	16
2.6.2.2. Corrente de Curto Circuito ( <b>Isc</b> ) .....	17
2.6.2.3. Curva Característica do Módulo <b>IxV</b> .....	17
2.6.2.4. Curva <b>PxV</b> .....	18
2.6.2.5. Fator de Forma <b>FF</b> .....	18
2.6.2.6. Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos .....	19
2.6.2.7. Temperatura e Intensidade Luminosa dos módulos .....	19
2.6.3. Características das conexões dos módulos fotovoltaicos .....	21
2.7. DISPOSITIVOS UTILIZADOS EM UM SF.....	23
2.7.1. Inversores.....	23
2.7.2. Diodo de Desvio e de Bloqueio.....	23
2.7.3. Seguidor do Ponto de Máxima Potência ( <b>MPPT</b> ) .....	25
2.7.4. Fusíveis de Fileira (Lado CC) .....	25
2.7.5. Disjuntores .....	25

2.7.6. <i>Aterramento e Proteção contra Descargas Atmosféricas</i> .....	26
2.7.7. <i>Medidores de Energia</i> .....	26
<b>CAPÍTULO 3 - REGULAMENTAÇÕES PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>27</b>
3.1. REQUISITO DE ACESSO.....	27
3.2. PROCEDIMENTO DE ACESSO .....	30
<b>CAPÍTULO 4 - PROJETO.....</b>	<b>32</b>
4.1. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO .....	32
4.2. AVALIAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO .....	33
4.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	34
4.3.1. <i>A Escolha dos módulos</i> .....	34
4.3.2. <i>Dimensionamento do SF</i> .....	36
4.3.3. <i>Caixa de Conexão</i> .....	38
4.3.4. <i>O inversor Grid-Tie</i> .....	40
4.3.5. <i>Sombreamento nos Módulos</i> .....	42
4.3.6. <i>Cabeamento no Lado CC</i> .....	43
4.3.7. <i>Diodos de Bloqueio e Fusíveis de Fileira</i> .....	43
4.3.8. <i>Disjuntor no Lado CC</i> .....	43
4.3.9. <i>Cabeamento do Lado CA</i> .....	44
4.3.10. <i>Disjuntor no Lado CA</i> .....	44
4.4. DISPOSITIVO DE SECCIONAMENTO VISÍVEL (DSV).....	45
4.5. SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	47
<b>CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>49</b>
5.1. ESTIMATIVA DA GERAÇÃO ATRAVÉS DO PVSYS.....	49
5.2. LEVANTAMENTO DE PREÇOS DOS EQUIPAMENTOS.....	50
5.3. CUSTO DOS COMPONENTES .....	50
<b>SDD62C10 .....</b>	<b>50</b>
5.4. DEMAIS CUSTOS: CONDUTORES E FIXAÇÃO .....	51
5.5. CUSTO TOTAL.....	52
5.6. CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	53
5.7. VALOR DA TARIFA DESCONTADA .....	54
5.8. PARÂMETROS DE VIABILIDADE .....	55
5.8.1. <i>Payback</i> .....	55
5.8.2. <i>VPL</i> .....	55
5.8.3. <i>Taxa Interna de Retorno</i> .....	56
5.9. RESULTADOS.....	56



<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO III .....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - POTÊNCIA GERADA PELOS TIPOS DE FONTES DE ENERGIA. FONTE[1] .....	3
FIGURA 2 - AQUECEDOR SOLAR.....	7
FIGURA 3 - COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR. ....	8
FIGURA 4 - ESTAÇÕES DO ANO.....	9
FIGURA 5 - POSIÇÃO DO SOL EM RELAÇÃO AO PLANO HORIZONTAL. ....	10
FIGURA 6 - ORIENTAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE INCLINADA EM RELAÇÃO AO MESMO PLANO. ....	11
FIGURA 7 - FUNCIONAMENTO DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA. ....	12
FIGURA 8 - CÉLULAS MONO E POLI CRISTALINOS. ....	13
FIGURA 9 - CÉLULAS DE FILME FINOS. ....	14
FIGURA 10 - CONCENTRADOR SOLAR. ....	15
FIGURA 11 - NORMA DE REPRESENTAÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO. ....	16
FIGURA 12 - CURVA CARACTERÍSTICA IxV.....	17
FIGURA 13 - CURVA PxV .....	18
FIGURA 14 - IRRADIANCIA SOLAR .....	20
FIGURA 15 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE O MÓDULO SOLAR.....	20
FIGURA 16 - MÓDULOS CONECTADOS EM SÉRIE .....	21
FIGURA 17 - MÓDULOS CONECTADOS EM PARALELO .....	22
FIGURA 18 - MÓDULOS CONECTADOS EM SERIE E PARALELO .....	22
FIGURA 19 - DIODO DE BY-PASS .....	24
FIGURA 20 - DIODO DE BLOQUEIO .....	25
FIGURA 21 - ESPAÇO DISPONÍVEL NO TERRAÇO.....	34
FIGURA 22 - PLACA SOLAR DA MARCA CANADIAN.....	36
FIGURA 23 - DISPOSIÇÃO DAS PLACAS NO TERRAÇO.....	37
FIGURA 24 - CAIXA DE CONEXÃO .....	38
FIGURA 25 - CAIXA DE CONEXÃO .....	40
FIGURA 26 - INVERSOR FOTOVOLTAICO .....	42
FIGURA 27 - DISJUNTOR DO LADO CC .....	44
FIGURA 28 - DISJUNTOR TRIPOLAR DO LADO CA.....	45
FIGURA 29 - CHAVE SECCIONADORA .....	46
FIGURA 30 - CAIXA DO DSV .....	46
FIGURA 31 - MEDIDOR DE QUATRO QUADRANTES. ....	48
FIGURA 32 - GERAÇÃO ANUAL FEITO PELO PVSYSYD .....	49

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESPECTIVO VALOR PARA CADA TIPO DE ENERGIA. FONTE [1] .....	3
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE GERAÇÃO.....	27
TABELA 3 - NÍVEL DE TENSÃO DE CONEXÃO .....	28
TABELA 4 – CRITÉRIOS DO PRODIST .....	28
TABELA 5 - ETAPAS DE ACESSO DE MICROGERADORES AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA LIGHT SESA .....	31
TABELA 6 - ANÁLISE DO CONSUMO RESIDENCIAL.....	32
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DA PLACA CANADIAN.....	35
TABELA 8 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR.....	41
TABELA 9 - TIPOS DE PROTEÇÃO COM O INVERSOR.....	41
TABELA 10 - CUSTO DOS COMPONENTES .....	50
TABELA 11 - REFERÊNCIA DOS DEMAIS CUSTOS.....	51
TABELA 12 - DEMAIS CUSTOS DO PROJETO .....	52
TABELA 13 - CUSTO TOTAL DO PROJETO.....	52
TABELA 14 - TARIFA DE CONSUMO (BAIXA TENSÃO) .....	54
TABELA 15 - REAJUSTE ANUAL DA TARIFA INCIDENTE .....	54
TABELA 16 - VALORES PARA FLUXO DE CAIXA ANUAL .....	56
TABELA 17 - RESULTADOS.....	57

## LISTA DE SIGLAS

<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ABINEE</b>	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>CAPEX</b>	<i>Capital Expenditure</i>
<b>CC</b>	Corrente Contínua
<b>CEPEL</b>	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
<b>CONFINS</b>	Conselho Nacional de Política Fazendária
<b>CRESESB</b>	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
<b>DPS</b>	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
<b>DSV</b>	Dispositivo de Seccionamento Visível
<b>FV</b>	Fotovoltaico
<b>HSP</b>	Horas de Sol Pleno
<b>ICMS</b>	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
<b>IEA</b>	<i>International Energy Agency</i>
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>INMETRO</b>	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
<b>IPI</b>	Imposto Sobre Produtos Industrializados
<b>MPPT</b>	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
<b>O&amp;M</b>	Operação e Manutenção
<b>OPEX</b>	Operational Expenditure
<b>PRODIST</b>	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional
<b>SF</b>	Sistema Fotovoltaico

<b>SFCR</b>	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
<b>SONDA</b>	Sistema de Organização Conectado à rede
<b>SWERA</b>	Solar and Wind Energy Resource Assessment
<b>STC</b>	<i>Standart Test Conditions</i>
<b>TIR</b>	Taxa Interna de Retorno
<b>VP</b>	Valor Presente
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido
<b>WP</b>	Watt-Pico

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

A sustentabilidade é um dos temas mais discutidos na atualidade. O mundo vem sofrendo uma grande mudança em relação a sua matriz energética e, nesse cenário especificamente, o incentivo às fontes de energia renováveis e eficiência energética são os principais instrumentos das políticas energéticas para contribuir com o desenvolvimento sustentável.

As fontes renováveis de energia utilizam-se de recursos não esgotáveis, como a radiação solar, os ventos, a energia hidráulica, a biomassa e o calor geotérmico. Algumas vantagens da utilização de fontes renováveis de energia são devido ao fato de serem consideradas inesgotáveis à escala humana, provocarem um impacto ambiental menor do que o impacto provocado pelos combustíveis fósseis, uma vez que não produzem dióxido de carbono e outros gases. Oferecerem menos riscos do que a energia nuclear, permitem a criação de novos postos de emprego, com investimentos em zonas desfavorecidas, garantem autonomia energética a um país, uma vez que a sua utilização não depende da importação de combustíveis fósseis, entre outros fatores.

As fontes não renováveis de energia são aquelas que se utilizam de recursos naturais esgotáveis. Em alguns casos, esse tipo de energia costuma apresentar problemas de ordem ambiental, além de disputas envolvendo a extração e comercialização de suas matérias-primas. Dessa forma, podemos afirmar que os principais exemplos de fontes de energia não renováveis são os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural e xisto betuminoso) e os combustíveis nucleares.

Em sua maioria, a matriz energética mundial se baseia em dois sistemas principais: o petróleo e a força utilizada pela água. A geração do tipo hidrelétrica é usada como um recurso renovável que causa grande impacto ambiental e social, principalmente quando há necessidade de desviar cursos de rios e criar inundações gigantescas para à criação dos lagos.

Além disso, infere-se que as barragens hidrelétricas são responsáveis pela produção de grandes quantidades de gás metano, carbônico e óxido nitroso, e são eles

os principais causadores do efeito estufa. Sua produção é causada pela decomposição do material morto ou destruído pela inundação das áreas usadas na construção da barragem.

Diferentemente, a geração fotovoltaica é uma das formas de se obter energia limpa, usando diretamente a irradiação solar, o que contribui diretamente para a sustentabilidade ambiental no planeta. De forma positiva, tem-se a facilidade de sua aplicação em qualquer tipo de terreno e local, onde, até então, era impossível se garantir a chegada de energia, já que se dependia diretamente de pontos de distribuição e linhas de transmissão.

Conclui-se, portanto, que hoje o grande desafio da sociedade é a busca de novas alternativas para minimizar os impactos ao meio ambiente e garantir o fornecimento de energia para toda a população.

### **1.1. Contexto Energético Brasileiro**

As hidrelétricas, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), são a principal fonte de energia brasileira, o que corresponde a 61,38% da totalidade. Entretanto, este tipo de geração apresenta variações com as mudanças climáticas, uma vez que as hidrelétricas não atendem à demanda social, o que acaba sendo necessário compensar esse tipo de geração utilizando outras fontes de energia, que normalmente são geradas pelas termelétricas, acarretando o uso de combustíveis fósseis e elevando o custo da produção de energia, ou até mesmo fazendo uso da importação de energia, como mostra a Figura 1.

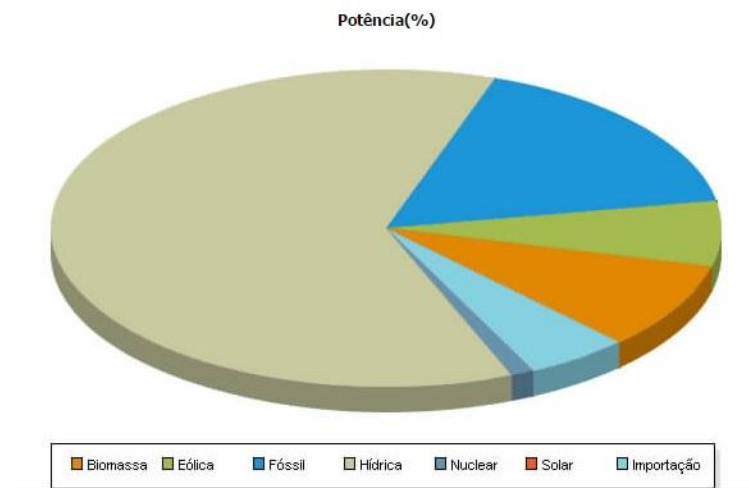


Figura 1 - Potência gerada pelos tipos de fontes de energia. Fonte[1]

Tabela 1 - Respetivo valor para cada tipo de energia. Fonte [1]

Biomassa	8,8796 %
Eólica	6,5375 %
Fóssil	16,8246 %
Hídrica	61,381 %
Nuclear	1,2461 %
Solar	0,0144 %
Importação	5,1162 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

O Brasil possui os principais fatores para a geração fotovoltaica (FV): uma das maiores reservas de silício do mundo, principal matéria prima para construção dos painéis FV, sua localização favorecida em relação a radiação solar e o seu tamanho continental.

O governo brasileiro é cada vez mais a favor de fontes de energia limpas, estimulando o investimento através da criação de leis e normas para esse tipo de geração. Tanto é assim, que um dos principais incentivos governamentais para a geração FV distribuída foi a aprovação da Resolução Normativa N° 482/2012, feita pela ANEEL, que dispõe ao consumidor brasileiro a possibilidade de gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e, inclusive,



fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Desta forma, a energia é injetada na rede e cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 (sessenta) meses.

Segundo as novas regras, o uso de qualquer fonte renovável é permitido, e a isso dá-se o nome de microgeração distribuída, aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

## **1.2. Objetivo**

Devido ao crescimento da utilização deste tipo de fonte limpa de energia, e do mercado em grande ascensão, o presente trabalho tem como objetivo dimensionar e apresentar a instalação de um sistema fotovoltaico (SF) para uma residência específica, sendo o sistema conectado à rede, avaliando a sua viabilidade econômica durante a vida útil do equipamento.

Sendo assim, será feito o dimensionamento dos principais componentes do SF, tendo por base as normas criadas pela ANEEL e os seus aspectos técnicos e econômicos.

## **1.3. Estrutura do Trabalho**

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

No capítulo 1 foi abordado o contexto nacional do sistema elétrico brasileiro e mundial, tendo como foco as fontes de energias renováveis.

No capítulo 2 será apresentado um breve resumo sobre a energia solar fotovoltaica, mostrando o efeito fotovoltaico e os principais componentes de uma planta fotovoltaica.

No capítulo 3, por sua vez, serão introduzidas as normas e as resoluções criadas pelas agências reguladoras que devem ser respeitadas, quando aplicadas em um sistema fotovoltaico.

No capítulo 4 será apresentado o dimensionamento do projeto de acordo com as características indicadas pela residência em questão, sendo apresentados todos os componentes necessários para sua Implantação.

No capítulo 5 será exibido um estudo de viabilidade econômica, em que será considerado todo o custo do projeto e o seu retorno financeiro.

O capítulo 6, por fim, contém os resultados, conclusões e trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **2.1. Energia Solar**

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento da humanidade.

Trata-se de uma fonte inesgotável e gratuita, responsável também pela origem de outras fontes de energia na terra, como para as plantas, através da fotossíntese, ou para a energia hidráulica, ao possibilitar a evaporação da água e iniciar o ciclo das águas.

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Vale dizer, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes, e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode, ainda, ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

Existem dois tipos para aproveitamento térmico:

- O primeiro é feito através da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes. Este meio é denominado aquecimento solar passivo, proveniente da penetração ou da absorção da radiação solar nos prédios construídos, o que reduz a necessidade de iluminação e aquecimento.
- O segundo é o aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos, o qual é feito com o uso de coletores ou concentradores solares, conforme se observa na Figura 2. Esses coletores são mais indicados em aplicações residenciais ou comerciais, tendo como objetivo o aquecimento de água. Já os concentradores solares são mais utilizados em locais onde há necessidade de temperaturas mais elevadas, como secagem de grãos e produção de vapor.



Figura 2 - Aquecedor Solar.

A energia elétrica, por sua vez, é produzida diretamente pela conversão da energia solar proveniente dos efeitos da radiação.

Durante a conversão de energia são obtidos os efeitos termoelétrico e fotovoltaico, onde o calor é o responsável pelo efeito termoelétrico e, a luz pelo efeito fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica através das placas solares.

## 2.2. Radiação Solar

A distância entre a atmosfera do planeta Terra e o Sol ao longo do ano, caracteriza a radiação solar. Essa distância pode variar entre  $1,47 \times 10^8$  e  $1,52 \times 10^8$  km, obtendo uma distância média de  $1,495 \times 10^8$  km. Desta forma, a densidade média anual do fluxo energético proveniente da radiação solar (irradiância solar), quando medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre, recebe o nome de “constante solar” e corresponde ao valor de  $1.367 \text{ W}/\text{m}^2$  [2].

A radiação solar possui alguns componentes que a representam. A radiação direta é caracterizada pela componente que atinge a superfície da Terra sem sofrer qualquer interferência ao atravessar a atmosfera.

A radiação difusa, por outro lado, ocorre quando a luz solar sofre algum espelhamento por alguns componentes atmosféricos, como nuvens, poeiras e outros.

Por fim, as componentes da radiação solar, a radiação refletida ou Albedo, corresponde à luz solar que é refletida a partir do solo. Para auxiliar o entendimento da radiação solar, segue a figura 3.

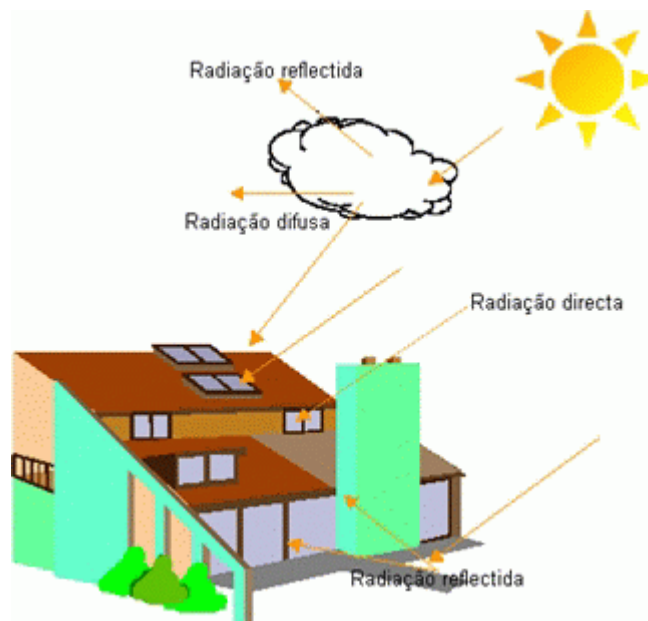


Figura 3 - Componentes da radiação solar.

Com isso, as componentes de radiação se distribuem em: Radiação Solar Global (ou horizontal) e Radiação solar total (ou inclinada).

A Radiação Solar Global corresponde às componentes direta e difusa recebidas em uma superfície plana horizontal.

A Radiação Solar total é composta pelas componentes direta, difusa e a refletida, que são recebidas em uma superfície plana com qualquer inclinação.

### 2.3. A Posição do Sol-Terra

O planeta Terra, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve uma trajetória elíptica. O seu eixo em relação ao plano do Equador apresenta uma inclinação de aproximadamente  $23,45^\circ$ , denominado Declinação Solar ( $\delta$ ). Essa inclinação,

juntamente com o movimento de translação do planeta Terra, dá origem às estações do ano, conforme se observa na Figura 4.

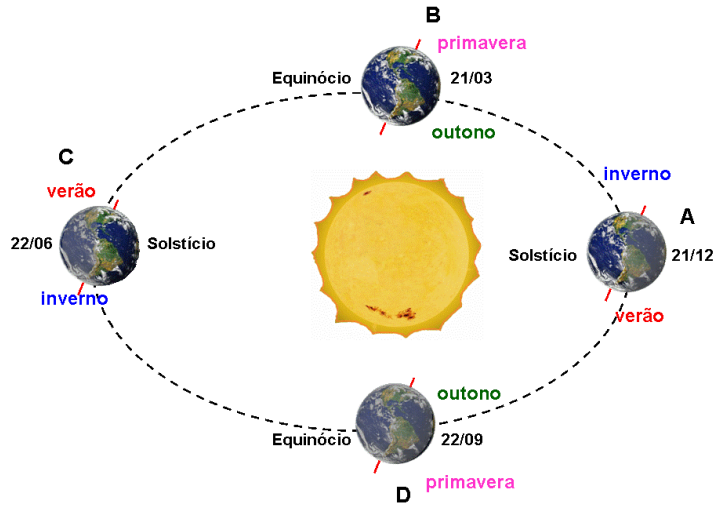


Figura 4 - Estações do Ano.

Percebe-se que a inclinação da Terra provoca variações na duração dos dias ao longo de sua trajetória em torno do sol, podendo ser observada em uma determinada localidade:

- Dias mais longos: hemisfério sul, no solstício de verão.
- Dias mais curtos: hemisfério sul, no solstício de inverno.

Outra observação que merece destaque é que no Equador a duração dos dias é sempre igual e nas suas proximidades as variações são pequenas ao longo do ano.

A declinação solar pode ser calculada utilizando a Equação 2.1 [2].

$$\text{sen}(\delta) = -\text{sen}(23,45) \cos \left[ \left( \frac{360}{365,25} \right) (n + 10) \right] \quad (2.1)$$

Onde:

$\delta$  – Declinação solar;

$n$  – É o número do dia do ano contado a partir do dia 1 de janeiro;

O movimento aparente do Sol consiste no ângulo de declinação solar com a posição da latitude local para um determinado dia.

Por outro lado, as relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento aparente do sol e a superfície da terra, são descritas da seguinte forma:

- Ângulo de incidência ( $\theta$ ): É o ângulo formado entre os raios do sol e a normal à superfície de captação;
- Ângulo azimutal da superfície ( $\gamma$ ): É o ângulo entre o norte geográfico e a projeção da reta normal à superfície no plano horizontal. O deslocamento angular é tomado a partir do norte, sendo positivo no sentido leste e negativo no oeste, variando entre  $-180^\circ$  e  $180^\circ$ ;
- Ângulo Azimutal do sol ( $\gamma_s$ ): também chamado de azimute solar, é o ângulo entre o norte geográfico e a projeção do raio solar no plano horizontal. O deslocamento angular é tomado a partir do norte, sendo positivo no sentido leste e negativo no oeste, Variando entre  $-180^\circ$  e  $180^\circ$ ;
- Altura ou Elevação solar ( $\alpha$ ): é o ângulo compreendido entre os raios do Sol e a projeção dos mesmos sobre o plano horizontal;
- Inclinação da superfície ( $\beta$ ): é o ângulo de menor declive entre a superfície e o plano vertical, variando entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ ;
- Ângulo horário do Sol ou Hora Angular ( $\omega$ ): é o ângulo diedro com aresta no eixo de rotação da terra, formado pelo semiplano que contém o Sol e o semiplano que contém o meridiano local. Podendo variar entre  $-180^\circ$  e  $180^\circ$ , sendo os valores negativos para o período da manhã, e os positivos para o da tarde e o zero ao meio-dia;
- Ângulo Zenital( $\theta_z$ ): é o ângulo com vértice no observador e formado pelas semirretas definidas pela direção do Sol e a vertical (zênite).

Os ângulos estão representados na Figura 5 [2] e na Figura 6 [2].

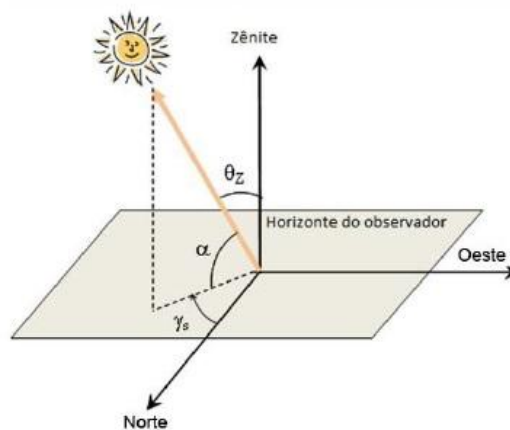


Figura 5 - Posição do sol em relação ao plano Horizontal.

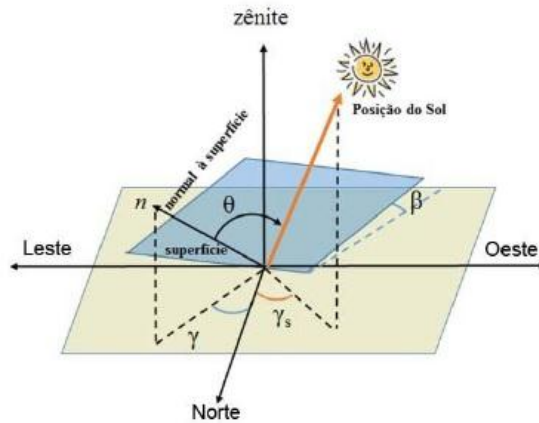


Figura 6 - Orientação de uma superfície inclinada em relação ao mesmo plano.

## 2.4. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico ocorre nas células fotovoltaicas, que, uma vez expostas a radiação solar, provocam uma diferença de potencial nos terminais do material semicondutor. O conjunto dessas células denominam os módulos fotovoltaicos e são feitos através de lâminas de silício em elevado grau de pureza.

Durante o processo de fabricação destas células, o silício sofre acréscimo de outros materiais que o ajudam a desempenhar sua função corretamente. Este processo é chamado de dopagem e pode ser feito com os elementos Fósforo e Boro.

Os átomos de silício formam uma rede cristalina, formando quatro elétrons de ligação que se ligam aos vizinhos. Ao adicionar o elemento Fósforo (dopante n), que possui cinco elétrons em sua camada de valência, tem-se um elétron sobrando, o que faz com que a sua ligação ao átomo de origem, torne-se fraca. Neste caso, o material ficará negativamente carregado, caracterizando o semicondutor do tipo N.

Ao adicionar o elemento Boro, que possui três elétrons em sua camada de valência, faz-se surgir uma lacuna vazia para completar a ligação covalente com o átomo de silício, tornando o material carregado positivamente, caracterizando-o como semicondutor do tipo P.



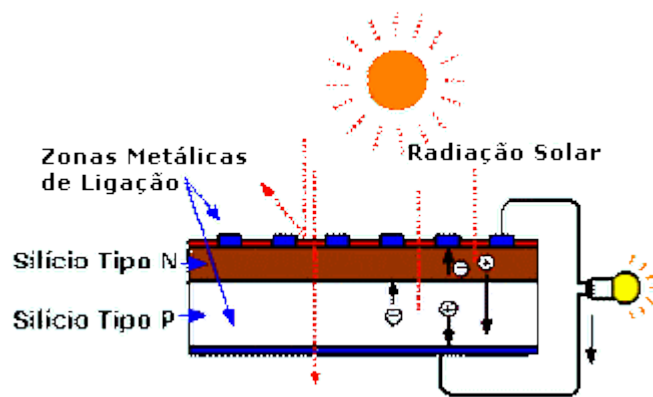


Figura 7 - Funcionamento de uma célula fotovoltaica.

A figura 7 mostra o funcionamento de uma célula fotovoltaica. O material semicondutor isolado não produz energia, ou seja, cada célula é composta por uma camada mais fina do semicondutor do tipo N e uma mais espessa do semicondutor do tipo P, o que caracteriza a junção PN.

As células fotovoltaicas, ao serem expostas à radiação solar, acabam possibilitando que os elétrons livres da camada N migrem para as lacunas da camada P. Ao conectar as zonas metálicas de ligação em cada extremidade dos semicondutores, cria-se um caminho para os elétrons e, desta forma, é gerada uma corrente elétrica a qual poderá ser aproveitada.

## 2.5. Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são compostas por semicondutores que, ao serem expostos à radiação solar, conseguem converter a luz solar em energia. Um conjunto dessas células dá origem aos módulos fotovoltaicos que são utilizados na captura de energia solar.

A tecnologia na fabricação destas células pode ser classificada através de três gerações:

- Primeira geração é proveniente da fabricação através do silício mono e poli cristalino.
- Segunda geração é proveniente da fabricação através do silício amorfo ou filme fino

- Terceira geração é proveniente da fabricação por concentradores fotovoltaicos.

### 2.5.1. Primeira Geração (silício cristalino)

As células mais utilizadas e comercializadas são feitas através do silício (poli e mono cristalino), porém, de acordo com o estudo feito pelo Instituto de Energia Solar da Alemanha[3], a de maior utilização é a poli cristalino.

As células fabricadas pelo silício monocristalino (m-Si) possuem uma eficiência em média de 13 a 19 % , quando em comparação às policristalinas (p-Si), que possuem em média, de 11 a 15% de eficiência [4]. Entretanto, a grande diferença entre elas se encontra no processo de fabricação de cada tipo.

As células de monocristalinas são chamadas desta forma por possuir uma estrutura única (homogênea) em toda a sua extensão. Para sua fabricação é necessário que o grau de pureza do silício seja de 99,9999%. Contudo, observa-se que a obtenção deste grau de pureza é mais cara do que a fabricação dos policristalinos [4].

Já as células policristalinas possuem basicamente a mesma técnica de fabricação que as monocristalinas. Porém, elas se diferem ao ter um gasto menor e um menor rigor no controle do processo de fabricação.

A Figura 8, mostra os aspectos visuais de ambos os tipos [4].

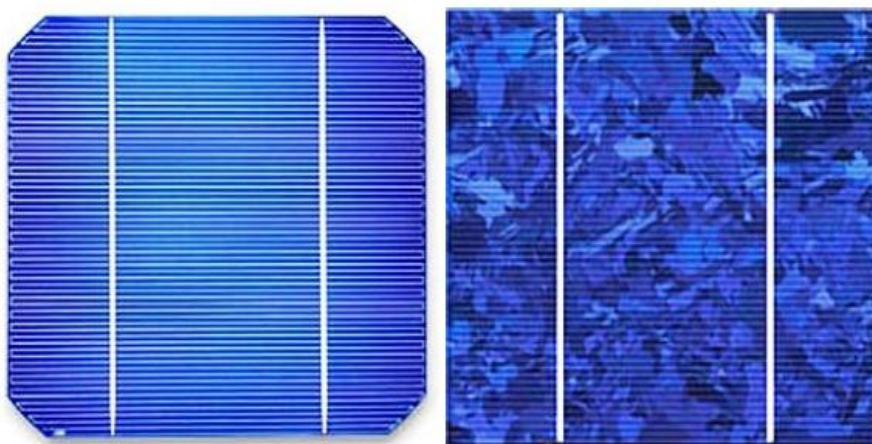


Figura 8 - Células mono e poli cristalinos.

### 2.5.2. Segunda Geração (filmes finos)

A segunda geração é caracterizada pela produção das células do tipo filmes finos, e que são fabricadas por meio de um processo de depósito de camadas finas sobre um substrato. Esse material pode possuir qualquer tipo de forma e flexibilidade, e normalmente são revestidas por vidro, plástico ou metal.

Em sua fabricação, os semicondutores mais utilizados são: silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) ou disseleneto de cobre índio gálio (CIGS)[4]. Sua produção é caracterizada por ter um gasto menor de energia, porém, sua eficiência também é menor. Outro detalhe importante deste tipo de célula solar é que sua eficiência diminui acentuadamente logo nos primeiros meses após sua instalação.

Eficiência de cada tipo de filme fino [4]:

- Silício amorfo (a-Si): 4 a 8 %
- Telureto de Cádmio (CdTe): 10 a 11%
- Disseleneto de cobre índio gálio (CIGS): 7 a 12%

Uma grande vantagem de sua utilização, por outro lado, é a liberdade de instalação em qualquer tipo de superfície, como, se verifica na Figura 9:

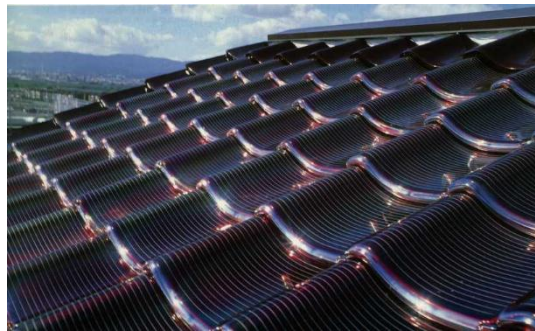


Figura 9 - Células de filme finos.

De toda maneira, pelo estudo feito [3], observou-se que a utilização deste tipo de célula vem diminuindo gradativamente ao longo dos anos.

### **2.5.3. Terceira Geração (concentrador solar)**

Esta geração basicamente consiste em usar algum tipo de aparelho espelhado que possa concentrar os raios solares em uma área menor e, desse modo, aumentar a eficiência de absorção da irradiação solar. A vantagem em utilizar os concentradores solares é utilizar uma quantidade menor de células fotovoltaicas[4].



Figura 10 - Concentrador Solar.

## **2.6. Noções do Sistema Fotovoltaico**

Um sistema fotovoltaico (SF) é classificado de acordo com a configuração do sistema. Eles podem ser do tipo ligados à rede, autônomos ou híbridos. O sistema híbrido normalmente utiliza baterias para armazenamento de energia.

Este projeto consiste em um sistema ligado à rede, onde toda energia gerada será injetada na rede elétrica sem armazenamento de energia. Desta forma, a energia gerada irá conceder créditos ao usuário. Todo dimensionamento dos equipamentos será projetado para este tipo de ligação.

### **2.6.1. Módulos Fotovoltaicos**

O módulo fotovoltaico representa uma quantidade de células fotovoltaicas em série e paralelo, visto que cada célula possui uma tensão de saída realmente baixa,

podendo variar entre  $0,5 V$  e  $0,8 V$ . Esses módulos são fabricados com o objetivo de serem colocados em série ou em paralelo de acordo com a configuração desejada para o projeto e, desta forma, são formados os arranjos fotovoltaicos.

Segundo dispõe a norma NBR 10899, a hipótese mostrada na Figura 11 pode ser usada durante um projeto para representar:

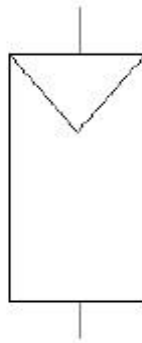


Figura 11 - Norma de representação do módulo fotovoltaico.

- Uma célula Solar
- Uma Série de Células Solares
- Módulos fotovoltaicos
- Arranjo fotovoltaico
- Planta fotovoltaica

## 2.6.2. Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos

A principal característica disponibilizada pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos é a potência máxima de saída que pode ser atingida, e é chamada de watt-pico (Wp). Para um projeto, faz-se necessária a avaliação de outros parâmetros, como, por exemplo, tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ), corrente de curto circuito ( $I_{SC}$ ).

### 2.6.2.1. Tensão de Circuito Aberto ( $V_{OC}$ )

A tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ) é encontrada quando o módulo está desconectado da carga a ser alimentada. Desta forma, não existe corrente elétrica

circulando e possui o maior valor de tensão que o módulo pode atingir. Para conseguir esse valor, o teste é realizado com um voltímetro ligado em seus terminais de saída e colocando o painel em condições padronizadas de teste.

### 2.6.2.2. Corrente de Curto Circuito ( $I_{SC}$ )

A corrente de curto circuito ( $I_{SC}$ ) é a maior corrente que o módulo pode conseguir ao se curto-circuitar seus terminais, sendo a tensão em seus terminais igual a zero. O teste realizado para descobrir a corrente de curto circuito se utiliza da instalação de um amperímetro em seus terminais, curto circuitando os terminais de saída, sendo realizada em condições nominais de teste.

### 2.6.2.3. Curva Característica do Módulo $I \times V$

A curva  $I \times V$  (corrente-tensão) figura 12, é caracterizada por apresentar a potência fornecida pelo módulo, e cada ponto da curva representa a potência gerada dependendo de sua condição de operação (irradiação solar e temperatura de operação). Essa curva também pode indicar o fator de forma ( $FF$ ) e a eficiência do módulo ( $\eta$ ), nas seções 2.6.2.5 e 2.6.2.6 respectivamente.

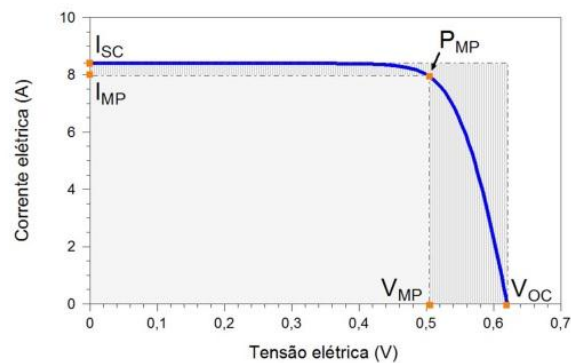


Figura 12 - Curva característica  $I \times V$

#### 2.6.2.4. Curva $P \times V$

A curva Potência com a Tensão  $P \times V$ , pode sofrer variações de acordo com as condições operativas, como a temperatura de operação e a irradiação solar.

O grande destaque da curva  $P \times V$  é o ponto de máxima potência ( $MPP$ ), em que podem ser adquiridas a tensão no ponto de máxima potencia ( $V_{MPP}$ ) e a corrente no ponto de máxima potência ( $I_{MPP}$ ), conforme na Figura 13[2].

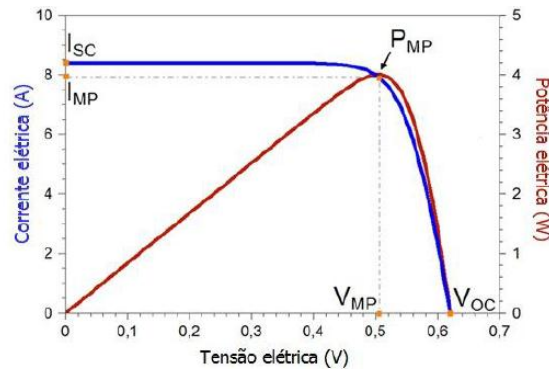


Figura 13 - Curva  $P \times V$

Diante disso, é de fácil percepção que a amplitude da  $V_{MP}$  é menor que a  $V_{oc}$  pois, neste caso, o módulo está conectado a uma carga.

#### 2.6.2.5. Fator de Forma ( $FF$ )

O  $FF$  é uma forma de analisar a qualidade das células nos módulos fotovoltaicos. Ela se caracteriza através do quanto a curva característica  $I \times V$  se aproxima de um retângulo como mostra a Figura 12. Sua definição é:

$$FF = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.2)$$

### 2.6.2.6. Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos

A eficiência é um parâmetro que define quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica[2].

Sua definição é:

$$\eta = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{A \times I_c} \quad (2.3)$$

Onde:

$A$  = Área útil do módulo ( $m^2$ )

$I_c$  = Luz incidente – Potência luminosa incidente ( $W/m^2$ )

### 2.6.2.7. Temperatura e Intensidade Luminosa dos módulos

As curvas sofrem influências diretas de acordo com as condições operacionais do SF, principalmente ao falar sobre intensidade luminosa e temperatura.

A corrente produzida pelos módulos é diretamente proporcional a irradiância solar ou intensidade luminosa, ou seja, quanto menor a irradiância, menor a corrente produzida, como mostra a figura 14 [2].



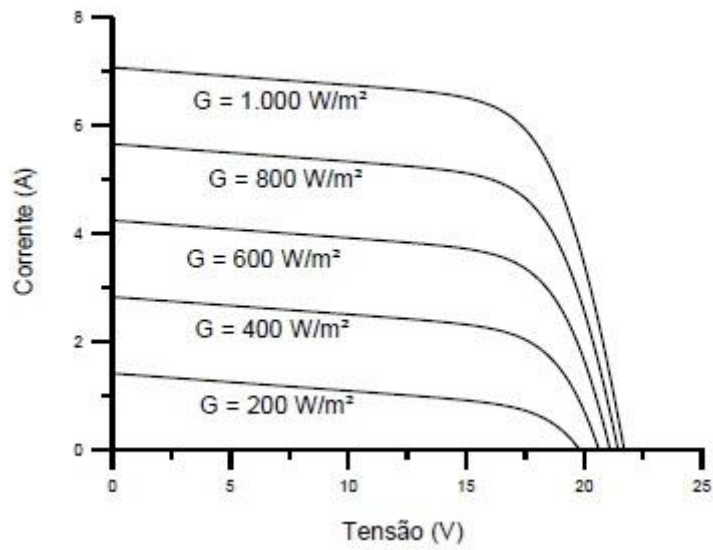


Figura 14 - Irradiancia Solar

A temperatura ambiente implica diretamente nas temperaturas das células que compõe o módulo fotovoltaico. A Figura 15[2], indica que há uma queda de tensão com o aumento da temperatura da célula. A corrente sofre uma elevação muito pequena, praticamente desprezível.

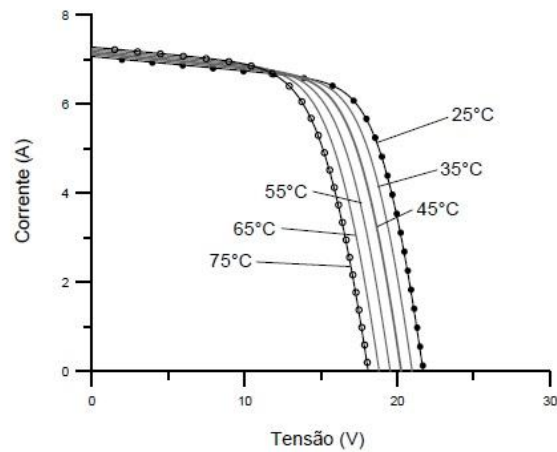


Figura 15 - Influência da Temperatura sobre o módulo solar

### 2.6.3. Características das conexões dos módulos fotovoltaicos

Os critérios adotados pelo projeto irão indicar os tipos de associações feitas pelos módulos fotovoltaicos. Eles podem ser conectados em série e/ou em paralelo. Os efeitos da tensão e da corrente são os mesmos para os dispositivos fotovoltaicos.

Para as conexões em série, o terminal positivo de um módulo é conectado ao terminal negativo de outro módulo e assim por diante. Neste caso, a conexão dos dispositivos em série faz com que as tensões sejam somadas e a corrente elétrica do sistema inalterada. Exemplo na figura 16 [5].

Para indicar a soma das tensões e a mesma corrente no sistema conectado em série, temos:

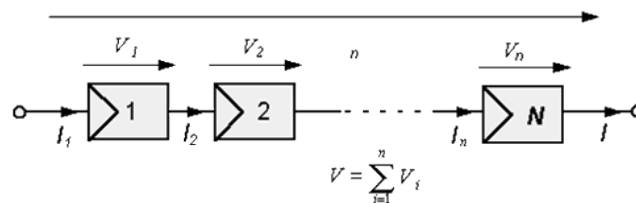


Figura 16 - Módulos conectados em série

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2.4)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (2.5)$$

Já para as conexões feitas em paralelo, o terminal positivo é ligado no terminal positivo e o terminal negativo é ligado no terminal negativo. Desta forma, os dispositivos apresentam a mesma tensão e somam as correntes. Exemplo figura 17[5].

Para indicar a conexão em paralelo, temos:

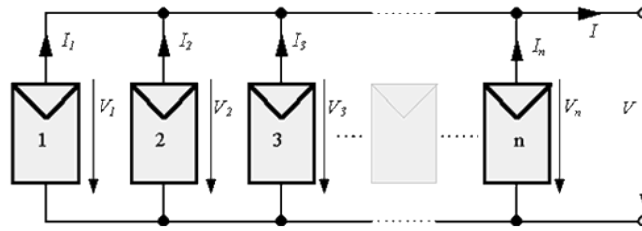


Figura 17 - Módulos conectados em paralelo

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (2.6)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (2.7)$$

A Figura 18 nos mostra a conexão de nove módulos fotovoltaicos idênticos, sendo que três de cada estão ligados em série, podendo ser notado o aumento na tensão em cada acréscimo de módulo. De mesmo modo, temos 3 (três) fileiras em paralelo, indicando o aumento de corrente a cada acréscimo em paralelo.

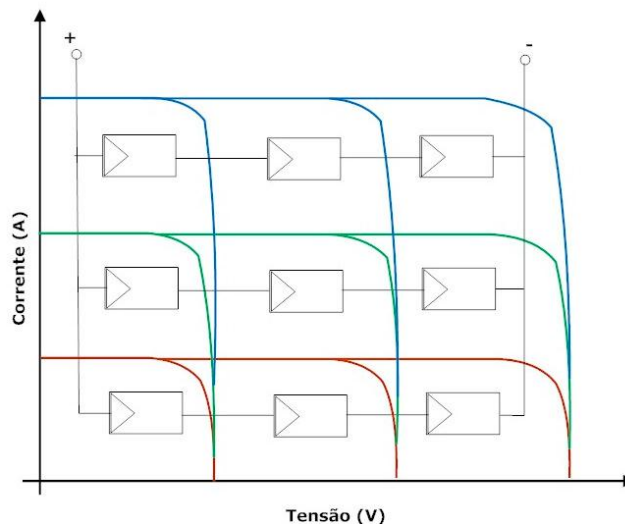


Figura 18 - Módulos conectados em serie e paralelo

## **2.7. Dispositivos Utilizados em um SF**

### **2.7.1. Inversores**

O dispositivo chamado inversor é também conhecido como conversor CC-CA, e ele é o responsável por converter energia elétrica de uma fonte em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA).

Atualmente, existem basicamente dois tipos de inversores no mercado: os inversores de rede conhecido como *Grid-tie* e os inversores autônomos, também conhecidos como *Stand-Alone*. O tipo de inversor a ser escolhido irá depender do tipo de projeto. A diferença entre eles é que o primeiro trabalha conectado à rede elétrica e o segundo isolado.

Os inversores *Grid-Tie* transferem energia diretamente ao quadro de distribuição elétrica. Eles permitem que o usuário possa consumir a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, ou até mesmo injetar à rede elétrica quando não for consumida.

Esses equipamentos utilizados normalmente apresentam uma característica muito interessante, que seria um algoritmo de controle, implementando em um micro controlador eletrônico chamado de MPPT – *Maximum power point tracker*, o qual é responsável pela regulação da tensão nos terminais do sistema fotovoltaico, a fim de se obter a máxima potência produzida pelo módulo.

### **2.7.2. Diodo de Desvio e de Bloqueio**

Em circuitos fotovoltaicos existem diodos de desvio (*by-pass*), que são utilizados a fim de evitar pontos quentes nas placas solares, limitando, assim, a dissipação de potência no conjunto células sombreadas. Desta maneira, a perda de energia e o risco de danificar o módulo fotovoltaico são reduzidos.

Os diodos de desvio são encontrados dentro da caixa de conexão, e são conectados em antiparalelo com um conjunto de 15 (quinze) a 30 (trinta) células em série para cada diodo. Eles devem suportar a mesma corrente das células.

Desta maneira, a proteção ocorre, pois, com o diodo de desvio, a máxima potência dissipada em uma das células seria a potência do conjunto que o diodo envolve.

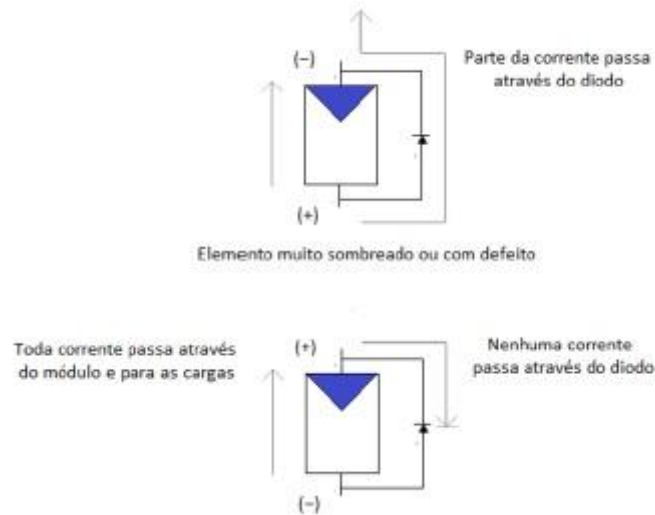


Figura 19 - Diodo de by-pass

A figura 19[2] mostra o funcionamento do diodo de by-pass. Normalmente, os módulos fotovoltaicos já incluem o diodo de passagem.

Já o diodo de bloqueio, também utilizado para proteção do sistema fotovoltaico, tem por objetivo impedir o fluxo de corrente de um conjunto de painéis conectados em serie com tensão maior para um com tensão menor.

Ele também é utilizado em sistemas híbridos, que possuem baterias para armazenamento. Possui o objetivo de impedir descargas noturnas das baterias, já que a noite os módulos podem produzir uma corrente reversa, o que por consequência gera descarga das baterias. A Figura 20[2] mostra o local de instalação dos diodos de bloqueio.

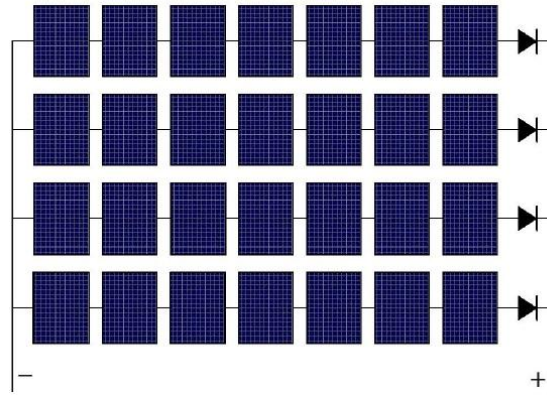


Figura 20 - Diodo de bloqueio

### 2.7.3. Seguidor do Ponto de Máxima Potência (*MPPT*)

Os níveis de radiação e de temperatura variam ao longo do dia, e consequentemente, o ponto de máxima potência varia dentro de uma faixa de valores. Para conseguir um rendimento maior da geração, utiliza-se um sistema de controle capaz de rastrear o ponto de máxima potência.

### 2.7.4. Fusíveis de Fileira (Lado CC)

Os fusíveis de fileira estão localizados no lado CC do sistema fotovoltaico e possuem o objetivo de proteger os condutores contra sobrecarga.

### 2.7.5. Disjuntores

O disjuntor é capaz de interromper correntes anormais do sistema, antes que a corrente cause danos ao circuito, e o seu dimensionamento é feito de acordo com o projeto do sistema fotovoltaico.

### **2.7.6. Aterramento e Proteção contra Descargas Atmosféricas**

Uma forma de proteger os circuitos elétricos é o sistema de aterramento. Ele fornece um caminho de baixa resistência de um ponto aterrado no sistema para a terra, de forma que a corrente de curto circuito possa ser dissipada com segurança.

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas fica a critério do projetista, já que nos inversores mais modernos tal proteção já está inclusa. Sua proteção é feita em ambos os lados, tanto no lado CC quanto no lado CA.

### **2.7.7. Medidores de Energia**

Os medidores de energia possuem a função de obter a medição de quanto de energia será injetada na rede durante a geração do SFCR.

## CAPÍTULO 3 - REGULAMENTAÇÕES PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Nos últimos anos, o Brasil passou a incentivar a utilização de fontes alternativas de energia, de modo a ampliar a sua matriz energética. Foram criados pela ANEEL mecanismos de regulação para estimular o uso da tecnologia fotovoltaica, como, por exemplo:

- Resolução normativa N° 687: Esta norma modificou a Resolução Normativa N°482 quanto aos aspectos regulatórios para geração distribuída de energia, estabelecendo condições gerais para o acesso à microgeração e minigeração distribuída.

Tabela 2 - Classificação dos tipos de geração

<b>Tipo de geração distribuída</b>	<b>Potência instalada</b>
<b>Microgeração</b>	$P_{inst} \leq 75 \text{ kW}$
<b>Minigeração</b>	$75 \text{ kW} \leq P_{inst} \leq 5 \text{ MW}$

Outro aspecto importante da norma é quando ela diz que a energia ativa injetada no sistema de distribuição irá gerar crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. [6]

- O Decreto 3827/01 estabeleceu que o IPI sobre os módulos fotovoltaicos seria reduzido para 0%. Com isso, o custo do projeto seria reduzido, ficando mais fácil a sua compra.
- INMETRO passou a ter responsabilidade de aprovar os componentes do sistema fotovoltaico.

### 3.1. Requisito de Acesso

Não existe um padrão para conexão do sistema fotovoltaico à rede de distribuição local. Desta forma, torna-se a concessionária local a responsável por criar requisitos aos procedimentos para a conexão.

O PRODIST define os critérios técnicos e operacionais em relação à conexão do SFCR. Esses critérios podem ser encontrados em seus módulos e, no caso em análise,



tem-se o módulo 3. O PRODIST são documentos feitos pela ANEEL, onde normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

De acordo com o módulo 3 do PRODIST, a tabela a seguir define os níveis das tensões das conexões para centrais geradoras. [7]

Tabela 3 - Nível de Tensão de Conexão

<b>Potência Instalada</b>	<b>Nível de Tensão de Conexão</b>
<b>&lt; 10 kW</b>	Baixa Tensão (monofásico)
<b>10 a 75 kW</b>	Baixa Tensão (trifásico)
<b>76 a 150 kW</b>	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
<b>151 a 500 kW</b>	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
<b>501 a 10 MW</b>	Média Tensão / Alta Tensão
<b>11 a 30 MW</b>	Média Tensão / Alta Tensão
<b>&gt; 30 MW</b>	Alta Tensão

A próxima Tabela do PRODIST indica as proteções mínimas necessárias para o ponto de conexão da central geradora. Foram acrescentados os critérios adotados pela ANEEL, nos termos da Resolução n°482[6].

Tabela 4 – Critérios do PRODIST

<b>Equipamento</b>	<b>Potência instalada</b>		
	<b>&lt; 10 kW</b>	<b>10 kW a 500 kW<sup>(4)</sup></b>	<b>&gt; 500 kW<sup>(4)</sup></b>
<b>Elemento de desconexão <sup>(1)</sup></b>	Sim	Sim	Sim
<b>Elemento de</b>	Sim	Sim	Sim

<b>interrupção</b> <sup>(2)</sup>			
<b>Transformador de acoplamento</b>	Não	Sim	Sim
<b>Proteção de sub e sobretensão</b>	Sim <sup>(3)</sup>	Sim <sup>(3)</sup>	Sim
<b>Proteção de sub e sobrefrequência</b>	Sim <sup>(3)</sup>	Sim <sup>(3)</sup>	Sim
<b>Proteção contra desequilíbrio de corrente</b>	Não	Não	Sim
<b>Proteção contra desbalanço de tensão</b>	Não	Não	Sim
<b>Sobrecorrente direcional</b>	Não	Não	Sim
<b>Sobrecorrente com restrição de tensão</b>	Não	Não	Sim
<b>Relé de sincronismo</b>	Sim	Sim	Sim
<b>Anti-ilhamento</b>	Sim	Sim	Sim
<b>Estudo de curto-circuito</b>	Não	Sim <sup>(5)</sup>	Sim <sup>(5)</sup>
<b>Medição</b>	Sistema de Medição Bidirecional <sup>(6)</sup>	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

- (1). É um dispositivo conhecido como Chave seccionadora, onde deve ser visível e acessível para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema.
- (2) Elemento de desconexão e interrupção automático acionado por comando e/ou proteção.
- (3) não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletro-eletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de desconexão.

- (4) *em relação às conexões acima de 300 kW, caso o lado da acessada do transformador de acoplamento não for aterrado, deve-se usar uma proteção de sub e de sobretensão nos secundários de um conjunto de transformador de potência em delta aberto.*
- (5) *caso a norma da distribuidora indique a necessidade de realizar um estudo de curto-circuito, o cliente é o responsável pela sua execução.*
- (6) *O sistema de medição bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede.*

Para o SFCR, os itens da tabela são esclarecidos a seguir:

- Elemento de desconexão: é conhecido como chave seccionadora e deve ser instalada em local visível, aberto e acessível à concessionária.
- Elementos de interrupção: A central geradora deve ser conectada através de disjuntor ou fusível. Hoje em dia, os inversores mais modernos já possuem os elementos de interrupção e, desta forma, já atendem a esse requisito da norma.
- Proteção de sub e sobre frequência: O inversor já possui esse tipo de proteção e, havendo alguma anomalia na rede elétrica, o inversor isola a conexão com a rede e impede o religamento até os parâmetros voltarem a níveis normais.
- Proteção de sub e sobretensão: Como no caso anterior, o inversor também possui esse tipo de proteção. O inversor isola a conexão da rede até seus parâmetros voltarem ao normal.
- Anti-ilhamento e relé de sincronismo: Sempre que houver necessidade do desligamento da concessionária, o inversor deve ter capacidade de se desconectar da rede com o objetivo de proteger o SFCR.

Para o relé de sincronismo, o inversor emula a tensão da rede, definindo assim a frequência de comutação interna, com o intuito de maximizar a produção dos arranjos fotovoltaicos. Desta forma, o inversor está sempre em sincronismo com a rede, uma vez que a referência de tensão sai dos parâmetros estabelecidos e o inversor isola o circuito da planta e da rede, interrompendo a produção. O sincronismo e religamento são automáticos, assim que o inversor apresentar condições de operação normais. \

### **3.2. Procedimento de Acesso**

O projeto é feito em uma casa, localizada no Rio de Janeiro, onde o fornecimento de energia para tal residência é feita pela concessionária de energia Light.

Os procedimentos de acesso ao sistema de distribuição da Light aplicam-se tanto para novos acessantes quanto para alteração de geração. Para atender as necessidades da

concessionaria é necessário cumprir as etapas de solicitação de acesso e parecer de acesso. Essas etapas são indicadas na tabela a seguir:

Tabela 5 - Etapas de acesso de microgeradores ao sistema de distribuição da Light SESA

<b>ETAPA</b>	<b>AÇÃO</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>	<b>PRAZO</b>
1. Solicitação de acesso	(a) Formalização da solicitação de acesso, com o encaminhamento de documentação, dados e informações pertinentes, bem como dos estudos realizados.	Acessante	-
	(b) Recebimento da solicitação de acesso.	Distribuidora	-
	(c) Solução de pendências relativas às informações solicitadas	Acessante	Até 60 (sessenta) dias após a ação 1(b)
2. Parecer de acesso	(a) Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	Distribuidora	Se não houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 1(b) ou 1(c).
3. Contratos	(a) Assinatura dos Contratos, quando couber, e do Relacionamento Operacional	Acessante e Distribuidora	Até 90 (noventa) dias após a ação 2(a)
4. Implantação da conexão	(a) Solicitação de comissionamento	Acessante	Definido pelo acessante
	(b) Realização de comissionamento.	Distribuidora	Até 30 (trinta) dias após a ação 4(a)
	(c) Entrega para acessante do Relatório de comissionamento.	Distribuidora	Até 15 (quinze) dias após a ação 4(b)
5. Aprovação do ponto de conexão	(a) Adequação das condicionantes do Relatório de comissionamento.	Acessante	Definido pelo acessante
	(b) Aprovação do ponto de conexão, liberando-o para sua efetiva conexão	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a ação 4(c), desde que não haja pendências.

## CAPÍTULO 4 - PROJETO

Este capítulo tem por objetivo dimensionar os equipamentos utilizados no projeto de um SFCR. Inicialmente, realizar-se-á uma avaliação do potencial de geração e, posteriormente, uma análise do espaço físico de onde serão colocados os módulos solares.

A primeira parte do estudo consiste em avaliar mais a fundo a conta de luz do cliente e o potencial solar do local, tornando possível a determinação dos componentes da planta fotovoltaica.

### 4.1. Avaliação do Potencial de Geração

Primeiramente, será avaliada a conta de luz do cliente. Desta forma, será obtido seu consumo médio, possibilitando um dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico que suprirá tal demanda, assim como a energia máxima a ser gerada. A Tabela 6, mostra o consumo de energia em *kWh* pela residência no ano de 2016.

Tabela 6 - Análise do consumo residencial

Mês	Consumo (KWh)
Janeiro	2.781
Fevereiro	1.927
Março	1.690
Abril	2.158
Maiο	1.616
Junho	1.588
Julho	1.603
Agosto	2.714
Setembro	1.162
Outubro	1.570
Novembro	1.425
Dezembro	1.836
<b>TOTAL</b>	<b>22070 kWh</b>

Conforme a indicação da tabela 6, pode-se perceber que o consumo da residência possui uma média aproximada de 22 MWh/ano.

A conta de luz possui um valor mínimo que é referente a 100kWh por mês de acordo com o simulador da light [12]. Dessa forma, foi analisado o seguinte:

$$\text{Valor da geração} = 22\text{MWh/ano} - (12 \times 100\text{kWh})/\text{ano} = 20800 \text{ kWh/ano} \quad (4.1)$$

Após ter uma referência da potência a ser instalada, busca-se, em segundo lugar, saber o potencial energético solar do local, ou seja, a irradiação global incidente sobre os módulos fotovoltaicos.

Existem bases de dados solarimétricos confiáveis, onde se podem tirar as informações para calcular a estimativa de energia gerada dos módulos, tais como:

- Programa SunData desenvolvido pelo CEPEL [8];
- Estações Automáticas do INMET [9];
- Estações Solarimétricas do SONDA [10];
- Dados de satélite meteorológicos do site SWERA [11].

Neste projeto, para obter os dados da irradiância, utilizar-se-á o programa PVSyst, com base nos dados Solarimétrico do SWERA. A média da irradiação solar dada pelo programa é de  $4,875 \text{ kW}/\text{m}^2$  dia

## **4.2. Avaliação do Espaço Físico**

O local de instalação do projeto será no terraço de determinada casa, localizada na Barra da Tijuca, estado do Rio de Janeiro. Analisando-se a Figura 21, conclui-se pela existência de grande área em potencial para a instalação das placas solares.

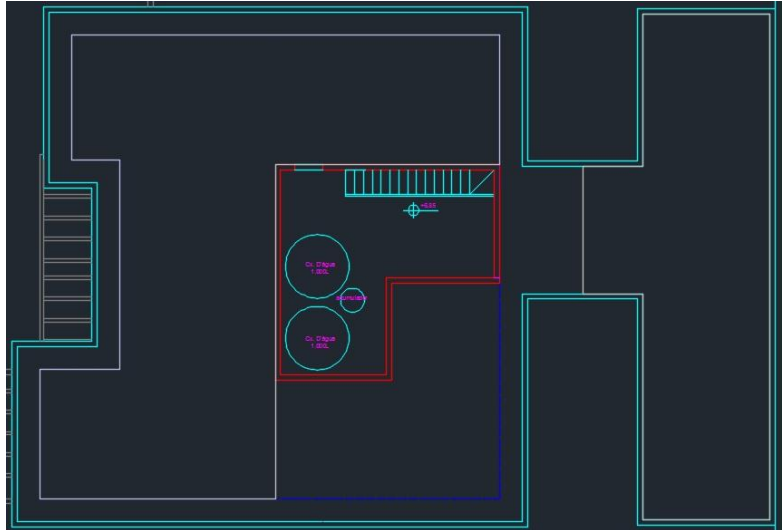


Figura 21 - Espaço disponível no terraço.

O espaço útil para a instalação dos módulos fotovoltaicos está marcado com a cor amarela, conforme indicado na Figura 21. O objetivo do projeto é tentar gerar aproximadamente 20,8 MWh, valor esse próximo à medida obtida em um ano de consumo.

### 4.3. Dimensionamento do Sistema

#### 4.3.1. A Escolha dos módulos

Para este projeto foi escolhido o painel de silício - poli cristalino, já que possui uma eficiência muito próxima ao painel do tipo monocristalino, porém, com um custo de fabricação menor. Atualmente, este tipo de painel é o mais comercializado no mercado, tornando mais fácil qualquer tipo de manutenção necessária ao longo dos anos.

O módulo fotovoltaico escolhido é o da marca Canadian modelo CSI CSP-265P – BR, e a folha de dados do painel encontra-se no **Anexo I**. Este painel foi escolhido devido às características:

- Excelente desempenho mesmo com baixa irradiação solar;
- Estrutura reforçada para suportar pressão causada por vento de até 2400 Pa;

- Painéis solares com Antirreflexo;
- Resistente a Névoa, Sal, amônia e areia;
- Garantia do Fabricante de 10 anos contra defeito de fabricação e 25 anos para perda de eficiência maior que 20%.

Suas características técnicas são apresentadas na tabela 7, e são relacionadas a condição padrão de teste STC/CPT: Irradiação de  $1000 \text{ W/m}^2$ , Espectro de massa de Ar 1,5 e Temperatura da Célula de  $25^\circ\text{C}$ .

Tabela 7 - Características da placa Canadian

<b>Marca do módulo fotovoltaico</b>	Canadian
<b>Modelo</b>	CSI CSP-265-BR
<b>Tipo</b>	Poly - Si
<b>Potência Máxima (<math>P_{m\acute{a}x}</math>)</b>	$265 \text{ W}_p$
<b>Eficiência (<math>\eta</math>)</b>	16,47 %
<b>Tensão de Máxima Potência (<math>V_{mpp}</math>)</b>	$30,6 \text{ V}$
<b>Corrente de Máxima Potência (<math>I_{mpp}</math>)</b>	$8,66 \text{ A}$
<b>Tensão de circuito aberto (<math>V_{oc}</math>)</b>	$37,7 \text{ V}$
<b>Corrente de curto circuito (<math>I_{sc}</math>)</b>	$9,23 \text{ A}$
<b>Comprimento</b>	1,63 m
<b>Largura</b>	0,982 m
<b>Área do módulo</b>	$1,6 \text{ m}^2$
<b>Peso (<math>kg</math>)</b>	18 Kg
<b>Número de células</b>	60





Figura 22 - Placa Solar da marca Canadian.

#### 4.3.2. Dimensionamento do SF

Foi utilizado o programa PVsyst para descobrir o quanto de potência precisa ser gerada no terraço da casa, em média por mês. A simulação foi feita com os dados dos equipamentos escolhidos como o módulo fotovoltaico e o inversor.

O total de placas decidido foi o de 17 módulos de 3 (três) fileiras e o inversor da marca Fronius, que será comentado mais à frente.

O valor esperado pelo simulador é de 19572 *kWh/ano* com uma potência de 13,5 *kW<sub>p</sub>*, o que para este projeto, está bem aceitável.

Outra forma de dimensionar a potência é utilizar tabela de consumo mensal, onde a média de 1.839,16 *kWh/mês* e 61.305,55 *Wh/dia*. Sendo assim, é feito o dimensionamento da quantidade de placas solares a ser utilizada. A fórmula para o dimensionamento da quantidade de placas do projeto é indicada pelo Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos do CRESESB[2].

$$P_{FV}(W_P) = \frac{(E/TD)}{HSP} \quad (4.2)$$

$$P_{FV}(W_P) = \frac{\frac{61305,55}{0,8}}{4,875} = 15.719,37 W_P \quad (4.3)$$

Onde,

$P_{FV}(W_p)$  – Potência de pico do painel fotovoltaico

$E(Wh/dia)$  – Consumo diário médio anual da edificação

$HSP(h)$ - média diária anual das HSP incidente no plano do painel

$TD$  – Taxa de desempenho do sistema (0,7 – 0,8)[IEA 2007]

Utilizando-se a potência escolhida do painel, temos a quantidade de painéis a ser utilizado no projeto.

$$N^{\circ} \text{ painéis} = \frac{15719,37}{265} = 59,31 \cong 60 \text{ painéis}$$

Então, a potência corrigida  $60 \times 265 = 15.900 W_p$

O projeto foi feito com base na simulação do Programa PVsyst, com o total de 51 placas solares.

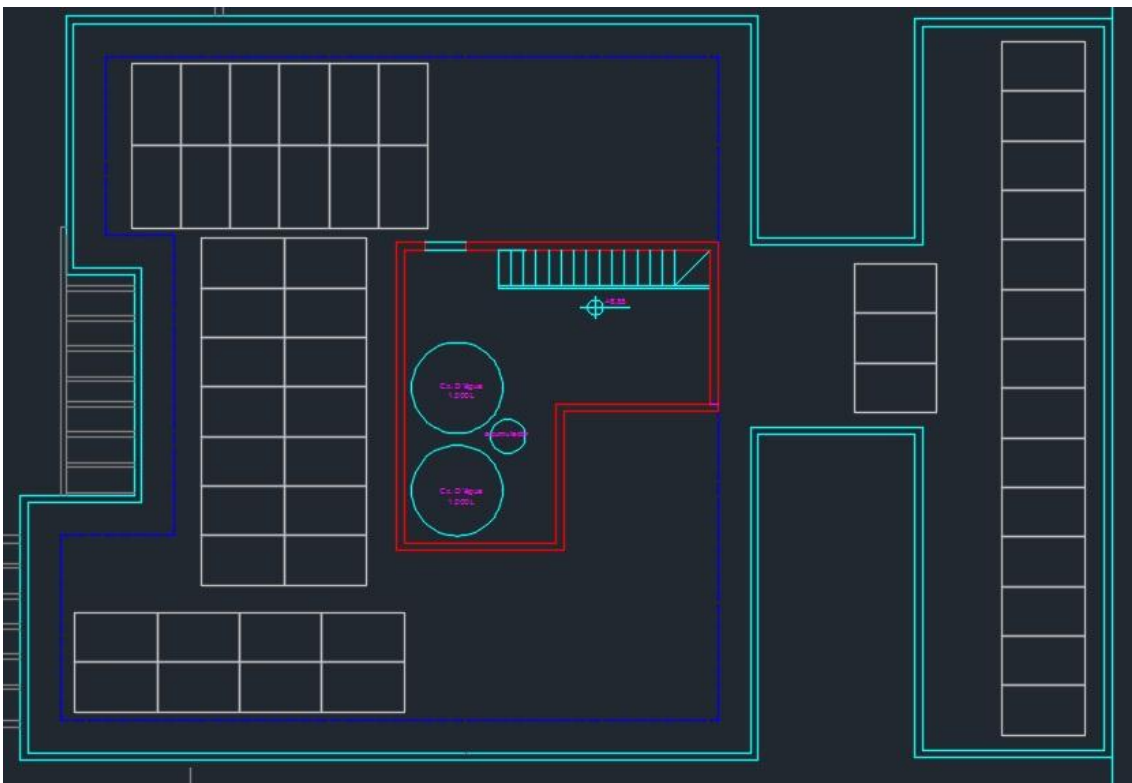


Figura 23 - Disposição das placas no terraço

A distribuição das placas será de acordo com a figura, cada fileira possui uma tensão máxima de  $37,7 \times 17 = 640,9 V$ .

A corrente máxima é referente a soma das correntes das fileiras ( $3 \times 9,23 A = 27,69 A$ ) e a potência total dos painéis será  $51 \times 265 = 13515 W$ .

### 4.3.3. Caixa de Conexão

A caixa de conexão também conhecida como *string box*, é responsável pelas conexões entre os arranjos fotovoltaicos do sistema com o inversor. A *string box* tem o objetivo de conectar em paralelo os arranjos e, no caso do projeto em estudo, as 3 fileiras são conectadas na entrada da caixa de conexão e transformada em uma saída.

Em seu interior pode se encontrar fusíveis, que são utilizados para manter a integridade dos inversores para qualquer tipo de anomalia no SF.

Não foi utilizada caixa de conexão no projeto, pois o inversor escolhido possui 06 (seis) entradas para a conexão CC. Sendo assim, reduzir-se o custo do projeto. Um exemplo de modelo e suas características são apresentadas a seguir:



Figura 24 - Caixa de conexão

Suas principais informações são:

- Quantidade de Strings: 4;
- Máxima tensão de trabalho:  $1000 V_{CC}$ ;
- Protetores de Surto: Positivos e Negativos;
- DPS/Centelhador:  $600 V_{CC}$  até  $1000 V_{CC}$ ;
- Quantidade de fusíveis: 8 (positivo e negativo);
- Corrente Por *String*: até  $15 A$ ;
- Disjuntor Geral (Chave Seccionadora):  $32 A$  ou  $63 A / 1000 V_{CC}$ ;
- Fixação: Parede;
- Grau de proteção: IP65.

Para o lado CC:

- Protetores de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas;
- Chave Seccionadora (disjuntor) de corte dos painéis fotovoltaicos ( $1000 V_{CC} / 63 A$ );
- Fusíveis de proteção em CC (polo positivo e negativo);
- Caixa com grau de proteção IP65

Para o lado CA:

- Protetores de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas -  $275 V_{ca} - 50 kA$  (fases);
- Protetor de surto (DPS) para proteção contra descargas atmosféricas -  $45 kA$  (neutro);
- Chave Seccionadora tripolar (disjuntor) de corte ( $40 A$ ).

O esquema elétrico da Caixa de conexão, está indicado abaixo na figura 25.

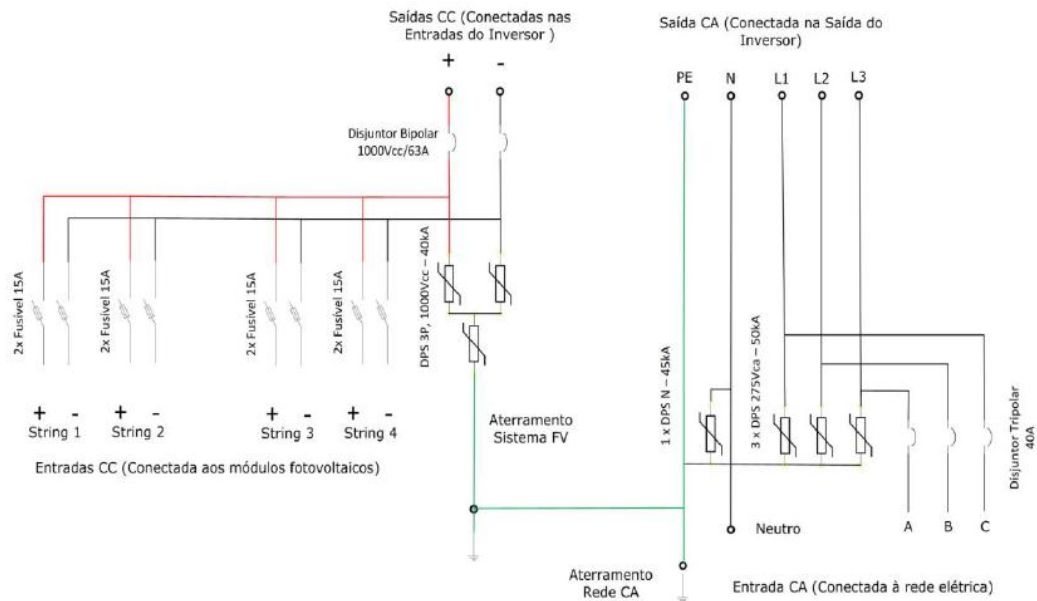


Figura 25 - Caixa de conexão

#### 4.3.4. O inversor *Grid-Tie*

Como visto anteriormente, o inversor é o equipamento responsável pela conversão da energia elétrica CC para CA, e o modelo selecionado precisa suportar os critérios de projeto, como, por exemplo:

- A tensão nominal de entrada do inversor deve ser maior do que a tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ )  $17 \times 37,7 \text{ V} = 640,9 \text{ V}$ .
- A corrente nominal de entrada do inversor deve ser maior do que a soma da corrente de curto circuito de cada fileira,  $3 \times 9,23 = 27,69 \text{ A}$ .
- $13,515 \text{ W}_p$ .
- No mínimo 3 entradas para as fileiras do SF

Devido aos motivos apresentados, foi escolhido o inversor da marca Fronius, modelo Fronius Symo Brasil 15.0-3, e suas principais características estão indicadas na tabela 8. Já a sua folha de dados se encontra no **Anexo II**.

Tabela 8 - Principais características do inversor.

<b>Potência PV recomendada (<math>kW_p</math>)</b>	12.0 – 19.5
<b>Potência CA</b>	15000 W
<b><math>V_{cc}</math> max</b>	1000 $V_{cc}$
<b>Faixa de tensão de MPPT</b>	350 $V_{cc}$ – 800 $V_{cc}$
<b>Corrente CC max</b>	50 A
<b>Rendimento</b>	98%

Este modelo de inversor, além de suportar todos os requisitos, também possibilita um acréscimo de placas ao SF no futuro. Este modelo apresenta características de proteção e qualidades requeridas pela ANEEL, sendo assim não será necessário projetar a proteção do sistema, reduzindo, por conseguinte, o custo do projeto. Na tabela 9 a lista completa dos dispositivos de proteção:

Tabela 9 - Tipos de proteção com o inversor.

<b>Dispositivos de proteção embutido no inversor</b>	<b>Item exigido pela Distribuidora ou pela ANEEL</b>	<b>Atende/ Não atende</b>
<b>Elementos de desconexão</b>	Sim	Atende
<b>Elemento de interrupção</b>	Sim	Atende
<b>Proteção de sub e sobrefrequência</b>	Sim	Atende
<b>Proteção de sobre corrente</b>	Sim	Atende
<b>Relé de sincronismo</b>	Sim	Atende
<b>Anti-ilhameno</b>	Sim	Atende



Figura 26 - Inversor Fotovoltaico

Pelo fato do inversor possuir saída CA compatível com a tensão de saída padrão do Brasil (127/220 V), não será necessária a utilização de um transformador. Da mesma forma, não será utilizada caixa de junção, pois o inversor possui 3 (três) entradas do lado CC, e nem o diodo de bloqueio, pois o mesmo é capaz de identificar uma corrente reversa.

#### **4.3.5. Sombreamento nos Módulos**

O sombreamento nos módulos pode ser causado por acúmulo de sujeira, folhas, ou até mesmo por algum tipo de construção, e pode vir a ter perdas em sua geração de energia.

Ao longo do terraço existe um guarda corpo ao seu redor com aproximadamente 1 (um) metro de altura, o que poderá causar sombreamento nos módulos instalados. Deste modo, pensou-se em utilizar uma mesa com 0.80 metros de altura com o objetivo de eliminar o sombreamento ao longo do dia.

#### 4.3.6. Cabeamento no Lado CC

O dimensionamento dos condutores que saem das fileiras será feito pela maior corrente gerada nos módulos, ou seja, a corrente de curto circuito.

Através da norma europeia IEC 60364-7-7-712, o dimensionamento do condutor deve ser feito para suportar  $1,25 \times I_{sc} = 1,25 \times 9,23 A = 11,53 A$  [14]. Segundo a norma ABNT NBR-5410 [15], o condutor deve possuir a bitola de pelo menos  $1,5 \text{ mm}^2$  de área.

#### 4.3.7. Diodos de Bloqueio e Fusíveis de Fileira

O inversor possui entradas suficientes para o número de fileiras do SF no lado CC, neste caso não há necessidade do diodo de bloqueio.

O manual do inversor escolhido informa existência de dispositivo de desconexão para sobrecargas e curto circuito, tornando dispensável o uso dos fusíveis de fileira.

#### 4.3.8. Disjuntor no Lado CC

Foram selecionados três disjuntores, sendo um para cada fileira do SF. Eles serão instalados para que quando haja necessidade de manutenção, o sistema possa ser isolado do inversor sem comprometer a geração de outras fileiras.

Pela norma ABNT NBR-5410 [15], o dimensionamento dos disjuntores deve seguir o seguinte critério:

$$I_N \leq I_d \leq I_{MAX} \quad (4.4)$$

Onde:

$I_N$  - Corrente Nominal do SF de cada string;

$I_d$  - Corrente Nominal do disjuntor;

$I_{MAX}$  - Corrente máxima permitida no condutor.



A corrente Nominal do SF é de 8,66 A e a corrente máxima permitida no condutor é de 15 A , nos termos da Norma NBR-5410[15], ou seja, tem-se  $8,66 \leq I_d \leq 15 A$ .

O disjuntor escolhido para o projeto é o disjuntor bipolar (2P) da Marca STECK, igual ao da figura, e projetado para suportar até 10A.



Figura 27 - Disjuntor do lado CC

#### 4.3.9. Cabeamento do Lado CA

O condutor especificado para o lado CA deverá suportar a corrente máxima de saída do inversor de 41,6 A. Neste caso, de acordo com NBR-5410 [15], o condutor será de  $10 \text{ mm}^2$ .

#### 4.3.10. Disjuntor no Lado CA

De acordo com as normas técnicas exigidas pela Light [16], há necessidade de instalação de um disjuntor entre a saída do inversor e o barramento.

Novamente, a NBR 5410 [15] exige que a escolha do disjuntor seja através do seguinte critério:

$$I_N \leq I_d \leq I_{MAX} \quad (4.5)$$

Onde:

$I_N$  - Corrente Nominal da saída do inversor;  $I_{saída} = 41,6 A$

$I_d$  - Corrente Nominal do disjuntor;

$I_{MAX}$  - Corrente máxima permitida no condutor.  $I_{MAX} = 50 A$

Sendo a corrente de saída do inversor como a corrente nominal ( $I_{saída}$ ) e a corrente máxima do condutor ( $I_{MAX}$ ) sendo 50 A, o disjuntor escolhido precisará trabalhar entre 41,6 A e 50 A.

O disjuntor tripolar escolhido é da marca STECK e suporta uma corrente máxima de 50 A.



Figura 28 - Disjuntor tripolar do lado CA

#### 4.4. Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV)

O dispositivo de seccionamento visível (DSV) consiste em uma chave seccionadora, que precisa ser visível, acessível e abrigada por um invólucro que a

Light SESA utilizará para garantir a desconexão da Microgeração ou da Minigeração durante manutenção em seu sistema.

O DSV deverá ser instalado entre o sistema de medição e o barramento da residência. Ela deverá ter a capacidade de condução e abertura compatível com a potência da Microgeração, figura29.



Figura 29 - Chave seccionadora

A chave seccionadora precisa estar abrigada em uma caixa própria, padrão da concessionária, podendo ser metálica ou polimérica, desde que respeitado o grau de proteção mínimo igual à IP 54.

A figura 30 apresenta o padrão da caixa, onde o dispositivo de seccionamento visível será instalado.

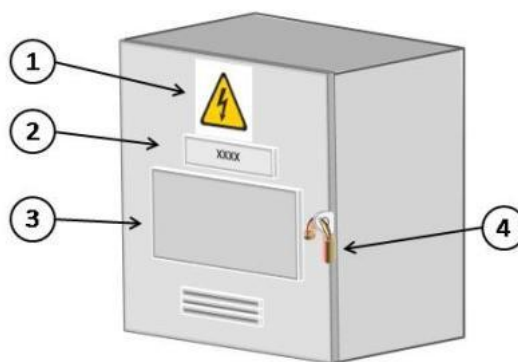


Figura 30 - Caixa do DSV

- 1- Placa de aviso de segurança (referência: NBR 13434 );
- 2- Placa de identificação da instalação (a ser fornecida pela Light SESA);
- 3- Janela protetora de policarbonato permitindo a visualização do posicionamento da chave seccionadora;
- 4- Dispositivo mecânico de bloqueio de equipamento de rede aérea.

A chave dimensionada do projeto é da marca SIEMENS, Modelo Triopolar S32-63/3". Essa chave possui corrente máxima de 63 A e tensão de isolamento de 800 V. Outras informações poderão ser encontradas no **ANEXO III**.

#### **4.5. Sistema de Medição**

De acordo com a referência [16], o medidor existente terá que ser substituído por um de quatro quadrantes que registrará tanto o fluxo de energia ativa injetada ou retirada da rede.

O modelo escolhido da LANDIS GYR é um medidor eletrônico polifásico de quatro quadrantes. O modelo E650 contém interfaces de comunicação que viabilizam a troca de dados remotamente e, conseqüentemente, uma melhoria nas operações da concessionária e informações ao consumidor de energia.

O medidor escolhido possui as seguintes características:

- Tensão: 120 a 240 V;
- Corrente máx: 120 A;
- Registro de eventos;
- Demanda programável;
- Monitoramento da tensão de alimentação.



Figura 31 - Medidor de quatro quadrantes.

## CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

### 5.1. Estimativa da Geração através do PVsyst

A ferramenta utilizada é de bastante uso em projetistas ligados a sistemas fotovoltaicos. Para a simulação no PVsyst, foi necessário informar as características base do projeto, por exemplo:

- Localização geográfica;
- Azimute;
- Inclinação dos módulos;
- Base de dados solarimétricos a ser utilizada;
- Número e modelo de inversores e módulos fotovoltaicos;
- Modo de conexão das fileiras e arranjos.

Após as informações indicadas no programa, o PVsyst é capaz de simular e estimar os valores gerados durante o ano. A Figura 32 indica a geração anual (*kWh*) obtida pelo programa.

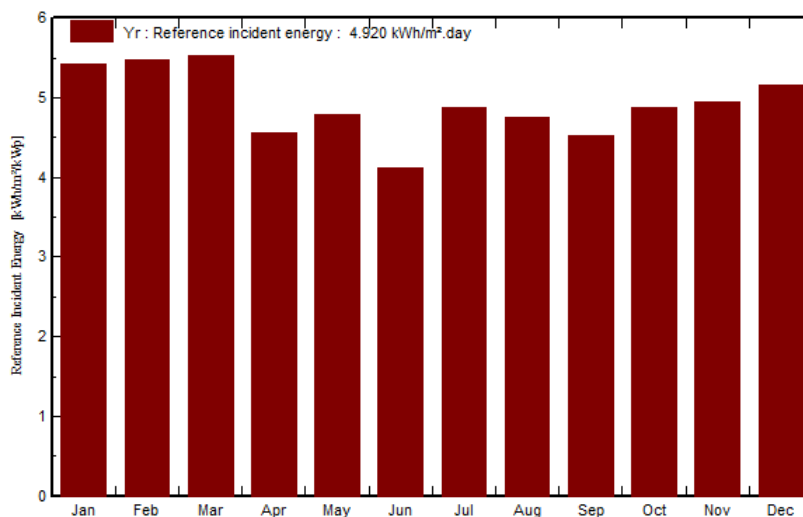


Figura 32 - Geração Anual feito pelo PVsyst

A produção anual estimada é de 19.341 *kWh/ano*, atendendo os requisitos do projeto.

O programa PVsyst é uma ferramenta profissional de geração de energia, e representa as características de todos os equipamentos do sistema, utilizando as informações de geração anual para realizar os estudos de Fluxo de caixa.

## 5.2. Levantamento de Preços dos Equipamentos.

Os equipamentos utilizados no projeto são vendidos no país. Sendo assim, foi feito o levantamento de preços para fazer os cálculos econômicos relacionados ao projeto.

## 5.3. Custo dos Componentes

Os valores indicados na tabela, referentes aos equipamentos utilizados, já incluem os custos inerentes ao frete e impostos, ou seja, representam o valor final do produto.

Tabela 10 - Custo dos componentes

<b>Equipamento</b>	<b>Placa Solar</b>	<b>Inversor</b>	<b>Disjuntor (Lado CC)</b>	<b>Disjuntor (Lado CA)</b>	<b>DSV</b>	<b>Medidor</b>
<b>Marca</b>	Canadian	Fronius	Steck	Steck	Siemens	Landis Gyr
<b>Modelo</b>	CSI CSP-265-BR	Symo Brasil 15.0-3	Sdd62C10	SDD63C50	Triopolar S32-63/3"	E650
<b>Preço Unitário</b>	R\$ 760,00	R\$ 28.890,00	R\$ 34,90	R\$ 47,90	R\$ 180,00	R\$ 1000,00
<b>Quantidade estimada</b>	51	1	3	1	1	1
<b>Custo Total</b>	R\$ 38.760,00	R\$ 28.890,00	R\$ 104,70	R\$ 47,90	R\$ 180,00	R\$ 1000,00

#### 5.4. Demais custos: Condutores e Fixação

Os demais componentes que completam o SFCR são relacionados:

- Equipamentos: Estruturas para fixação dos módulos solares, condutores, quadros elétricos.
- Serviços: O projeto básico, autorização na ANEEL, licenciamento e instalação.

De acordo com a referência [17], uma estimativa de custo dos demais componentes é diferenciada da seguinte forma:

- Instalação de 3 kW – Residencial
- Instalação de 30 kW – Comercial
- Instalação de 30 MW – Usina

Tabela 11 - Referência dos demais custos

	Residencial	Comercial	Industrial
<b>Capacidade</b>	3 kW	30 kW	30.000 kW
<b>Custo de cabos e proteções</b>	R\$ 2.250,00	R\$ 18.000,00	R\$ 13.100.000,00
<b>Custo do sistema de fixação</b>	R\$ 3.750,00	R\$ 24.000,00	R\$ 14.000.000,00
<b>Demais custos (conexão, projetos, etc)</b>	R\$ 3.750,00	R\$ 30.000,00	R\$ 18.000.000,00
<b>Total (BRL)</b>	R\$ 9.750,00	R\$ 72.000,00	R\$ 45.100.000,00

Utilizando a tabela foi feito a estimativa dos demais custos do projeto. A partir da potência instalada do sistema FV de  $13,5 kW_p$ , os valores foram interpolados dando origem a tabela abaixo:



Tabela 12 - Demais custos do projeto

<b>Capacidade</b>	13,5 Kw
<b>Custo de cabos e proteções</b>	R\$ 8.375,00
<b>Custo do sistema de fixação</b>	R\$ 11.625,00
<b>Demais custos (conexões, projeto, etc)</b>	R\$ 13.958,00
<b>Total</b>	R\$ 33.984,00

Uma forma de saber o custo do projeto se dá através da relação Custo total dividido pela potência instalada. No caso do projeto, o custo dos condutores e fixações é  $1,03 \text{ R\$/}W_p$ .

### 5.5. Custo Total

Após estimar o custo dos equipamentos é possível determinar o custo total do Projeto. A tabela indica o valor do projeto.

Tabela 13 - Custo total do projeto.

<b>Equipamento</b>	<b>Preço</b>
<b>Placas Solares</b>	R\$ 38.760,00
<b>Inversor</b>	R\$ 28.890,00
<b>Disjuntor (lado CC)</b>	R\$ 104,70
<b>Disjuntor (lado CA)</b>	R\$ 47,90
<b>DSV</b>	R\$ 180,00
<b>Medidor de quatro quadrantes</b>	R\$ 1.000,00
<b>Custo de cabos e proteções</b>	R\$ 8.375,00
<b>Custo do sistema de fixação</b>	R\$ 11.625,00
<b>Demais custos (conexões, projeto, etc)</b>	R\$ 13.958,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 102.940,60</b>

A análise de estimativa de custo do projeto é de  $7,62 \text{ R\$/}W_p$ . Na referência [17], o custo total de instalação deste tipo de sistema é de  $7,12 \text{ R\$/}W_p$  para instalações residências,  $6,27 \text{ R\$/}W_p$  para instalações comerciais e  $5,37 \text{ R\$/}W_p$  para usinas de  $30 \text{ MW}$ . Pode-se concluir, portanto, que o valor estimado se encontra dentro dos padrões.

## 5.6. Custo Total de Produção de Sistemas Fotovoltaicos

Seguindo a referência [17], o custo de produção (CP) de um sistema fotovoltaico é expressa em  $\text{R\$/kWh}$  produzido, e é calculado através da expressão abaixo:

$$CP = \frac{[CAPEX + VP(OPEX)]}{VP(ep)} \quad (5.1)$$

Onde:

$CP$  – Custo de produção ( $\text{R\$/kWh}$ )

$CAPEX$  – Custos de investimento do sistema fotovoltaico ( $\text{R\$}$ )

$VP(opex)$  – Valor presente de custos de operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação ( $\text{R\$}$ )

$VP(ep)$  – Valor presente da energia produzida ao longo da vida útil da instalação ( $\text{kWh}$ )

Percebe-se que o custo total de produção leva em consideração tanto o valor total investido no projeto quanto uma previsão sobre custos de operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação. Os seguintes parâmetros típicos serão utilizados na análise do custo de produção:

- Vida útil do sistema: 25 anos.
- O custo de investimento (CAPEX): 102.325,60.
- Custo de O&M (*opex*): estimado em 1% do CAPEX ao ano.
- Queda na eficiência das Células: 1,5% no primeiro ano e 0,75% nos próximos anos.
- Taxa de desconto: 8%.

## 5.7. Valor da Tarifa Descontada

O uso do valor da energia injetada na rede será de acordo com a referência [18], onde é indicado na tabela abaixo:

Tabela 14 - Tarifa de consumo (Baixa Tensão)

<b>Tarifa de Baixa Tensão - R\$/kWh - Fevereiro/2017</b>				
<b>Classe de consumo</b>	<b>Tarifa com PSI/COFINS e ICMS</b>			
	<b>Faixa de consumo</b>			
	<b>Até 50 kWh Residencial</b>	<b>51 até 300 kWh Residencial</b>	<b>Até 300 kWh Demais Classes</b>	<b>Acima de 300 kWh Todas as Classes</b>
<b>Residencial</b>	0,50665	0,626591	-	0,73107
<b>Não Residencial</b>	-	-	0,6427	0,73107
<b>Rural</b>	-	-	0,44990	0,51175

A Residência se enquadra no valor acima de 300 kWh e o preço da energia injetada na rede será 0,73107 R\$/kWh para cada kWh.

Para a oscilação da tarifa incidente sobre as contas de luz, haverá um reajuste em cima do valor anterior para cada ano.

Tabela 15 - Reajuste anual da tarifa incidente

<b>Reajuste anual da tarifa incidente (congelada)</b>	
<b>1 – 25 anos</b>	5%

O valor do fluxo de caixa, respeitara a seguinte formula:

$$F = Tarifa_{ano} \times G(kWh)_{ano} \quad (5.2)$$

Onde:

$Tarifa_{ano}$  – É a tarifa com o reajuste do respectivo ano

$G(kwh)_{ano}$  – Geração do respectivo ano

## 5.8. Parâmetros de Viabilidade

### 5.8.1. Payback

Este é um tipo de indicador bastante usado para determinar o tempo de retorno do projeto. *Payback* é indicado por uma escala (ano, meses, dias) e é a relação do investimento inicial com a energia injetada na rede. Quanto menor for o tempo de payback, mais atrativo será o investimento.

### 5.8.2. VPL

O valor presente líquido (*VPL*) é outro indicador para análise de investimentos em projetos. Ele é utilizado para calcular o valor presente de todo fluxo de caixa durante a vida útil do SF (25 anos). Quanto maior for o *VPL*, mais favorável será o investimento.

$$VPL = \sum_0^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (5.3)$$

Onde:

$F_0$  – Representa o investimento inicial do projeto, e é negativo

$F_n$  - Representa o fluxo de caixa calculado no valor presente

A relação entre o valor Presente líquido e o valor presente será:

$$VPL = VP - CAPEX \quad (5.4)$$

### 5.8.3. Taxa Interna de Retorno

A TIR pode ser calculada através da equação, e é a taxa de desconto que irá igualar o *VPL* a zero. É um indicador bastante usado para análise de investimentos e normalmente é analisada no sentido de que quanto maior for a diferença entre a TIR e a taxa de desconto, melhor será o investimento.

$$0 = \sum_0^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (5.5)$$

### 5.9. Resultados

Para conclusão da viabilidade econômica do projeto, foram feitos os cálculos levando-se em consideração a queda do rendimento do inversor, sendo o primeiro ano com o valor da geração sem as perdas. A tabela foi desenvolvida pelo Programa Microsoft EXCEL e indicará anualmente o fluxo de caixa ao longo da vida útil do SF.

Tabela 16 - Valores para fluxo de caixa anual

Ano	Eficiência dos módulos	Geração anual – <i>G(kWh)</i>	Tarifa de desconto ( <i>R\$/kWh</i> )	Economia Anual Estimada	O&M	Fluxo de caixa	Flux de caixa acumulado
0						-R\$ 102.940,60	-R\$ 102.940,60
1	100%	19341	0,73107	R\$ 14.139,62	R\$ 1.111,76	R\$ 13.027,87	-R\$ 89.912,73
2	98,5%	19050,885	0,7676235	R\$ 14.623,91	R\$ 1.200,70	R\$ 13.423,21	-R\$ 76.489,53
3	97,8%	18905,8275	0,806004675	R\$ 15.238,19	R\$ 1.296,76	R\$ 13.941,43	-R\$ 62.548,10
4	97,0%	18760,77	0,846304909	R\$ 15.877,33	R\$ 1.400,50	R\$ 14.476,84	-R\$ 48.071,26
5	96,3%	18615,7125	0,888620154	R\$ 16.542,30	R\$ 1.512,54	R\$ 15.029,76	-R\$ 33.041,50
6	95,5%	18470,655	0,933051162	R\$ 17.234,07	R\$ 1.633,54	R\$ 15.600,53	-R\$ 17.440,97
7	94,8%	18325,5975	0,97970372	R\$ 17.953,66	R\$ 1.764,22	R\$ 16.189,44	-R\$ 1.251,53
8	94,0%	18180,54	1,028688906	R\$ 18.702,12	R\$ 1.905,36	R\$ 16.796,76	R\$ 15.545,23
9	93,3%	18035,4825	1,080123351	R\$ 19.480,55	R\$ 2.057,79	R\$ 17.422,76	R\$ 32.967,99
10	92,5%	17890,425	1,134129519	R\$ 20.290,06	R\$ 2.222,41	R\$ 18.067,65	R\$ 51.035,63

<b>11</b>	91,8%	17745,3675	1,190835995	R\$ 21.131,82	R\$ 2.400,20	R\$ 18.731,62	R\$ 69.767,25
<b>12</b>	91,0%	17600,31	1,250377795	R\$ 22.007,04	R\$ 2.592,22	R\$ 19.414,82	R\$ 89.182,07
<b>13</b>	90,3%	17455,2525	1,312896684	R\$ 22.916,94	R\$ 2.799,60	R\$ 20.117,35	R\$ 109.299,42
<b>14</b>	89,5%	17310,195	1,378541518	R\$ 23.862,82	R\$ 3.023,56	R\$ 20.839,26	R\$ 130.138,67
<b>15</b>	88,8%	17165,1375	1,447468594	R\$ 24.846,00	R\$ 3.265,45	R\$ 21.580,55	R\$ 151.719,22
<b>16</b>	88,0%	17020,08	1,519842024	R\$ 25.867,83	R\$ 3.526,69	R\$ 22.341,15	R\$ 174.060,37
<b>17</b>	87,3%	16875,0225	1,595834125	R\$ 26.929,74	R\$ 3.808,82	R\$ 23.120,92	R\$ 197.181,29
<b>18</b>	86,5%	16729,965	1,675625832	R\$ 28.033,16	R\$ 4.113,53	R\$ 23.919,64	R\$ 221.100,92
<b>19</b>	85,8%	16584,9075	1,759407123	R\$ 29.179,60	R\$ 4.442,61	R\$ 24.737,00	R\$ 245.837,92
<b>20</b>	85,0%	16439,85	1,847377479	R\$ 30.370,61	R\$ 4.798,02	R\$ 25.572,59	R\$ 271.410,51
<b>21</b>	84,3%	16294,7925	1,939746353	R\$ 31.607,76	R\$ 5.181,86	R\$ 26.425,91	R\$ 297.836,41
<b>22</b>	83,5%	16149,735	2,036733671	R\$ 32.892,71	R\$ 5.596,41	R\$ 27.296,30	R\$ 325.132,72
<b>23</b>	82,8%	16004,6775	2,138570355	R\$ 34.227,13	R\$ 6.044,12	R\$ 28.183,01	R\$ 353.315,72
<b>24</b>	82,0%	15859,62	2,245498872	R\$ 35.612,76	R\$ 6.527,65	R\$ 29.085,11	R\$ 382.400,83
<b>25</b>	81,3%	15714,5625	2,357773816	R\$ 37.051,38	R\$ 7.049,86	R\$ 30.001,52	R\$ 412.402,36

Pelos cálculos realizados na Tabela 16, é possível observar um tempo de retorno de 7 anos.

Tabela 17 - Resultados

<b>Payback</b>	7 anos
<b>VPL</b>	R\$ 1.634,88
<b>TIR</b>	15%

## **CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Este trabalho possui o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede com foco em residências, indicando a viabilidade econômica do projeto principalmente o seu tempo de retorno.

O critério escolhido para o projeto foi reduzir o máximo possível da conta de luz do cliente, visto que ao analisar o espaço do terraço da casa, haveria espaço suficiente para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

No tocante a parte financeira, realizou-se uma demonstração simples com base na geração sistema fotovoltaico, respeitando a queda de eficiência dos equipamentos anualmente.

Através do *payback* do projeto, é possível acreditar que é interessante o investimento neste tipo de geração de energia.

Para trabalhos futuros:

- Trabalho com comparações de Softwares de dimensionamentos de sistemas fotovoltaicas;
- Trabalho de eficiência energética somando o dimensionamento de um SFCR.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Dia: 28/03/2017 hora: 21:32
- [2] CRESESB – CEPEL, “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, Rio de Janeiro, 2014.
- [3] Fraunhofer Institute for Solar Energy System, “Photovoltaics Report”, Freiburg 2016.
- [4] EPE – Empresa de Pesquisa Energética, “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, Rio de Janeiro, 2012.
- [5] CRESESB – CEPEL, “Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica”, encontrado em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutorial\\_solar](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar).
- [6] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, “Resolução Normativa N° 687”, 2015.
- [7] PRODIST, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, “Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição”
- [8] CRESESB – CEPEL, Potencial Solar – SunData, Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>.
- [9] INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>.
- [10] SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/index.html>.
- [11] SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment – Disponível em: <http://en.openei.org/wiki/SWERA/About>
- [12] Light – Simulador de Consumo da Light – Disponível em: <http://www.light.com.br/para-residencias/Simuladores/consumo.aspx>

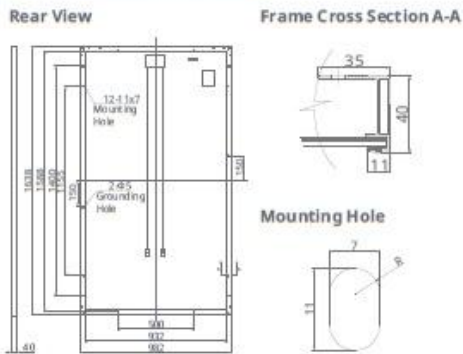


- [13] PVsyst – Photovoltaic Software – Disponível em :  
<http://www.pvsyst.com/en/software>
- [14] Greenpro, “Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação, janeiro 2004.
- [15] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 5410”.
- [16] Light, “Procedimentos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição da Light SESA – Conexão em Baixa Tensão”, Dezembro, 2012.
- [17] ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, ”Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, 2012.
- [18] Light, “Composição da Tarifa, Disponível em: <http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx>.

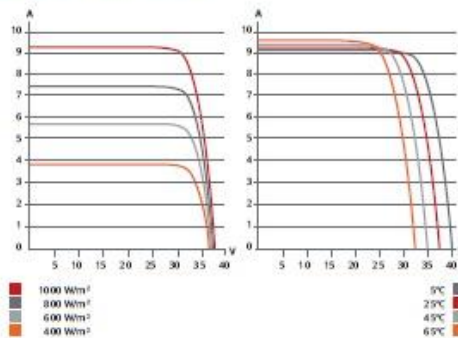
# ANEXO I

## FOLHA DE DADOS DO PAINEL CANADIAN SOLAR

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS6P-265P / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA / STC\*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A
Module Efficiency	16.16 %	16.47 %	16.79 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

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

### ELECTRICAL DATA / NOCT\*

CS6P	260P	265P	270P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W	196 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V	28.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 A	6.88 A	6.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V	34.8 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 A	7.55 A

\* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup> to 200 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)
Weight	18 kg (39.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC) or 4 mm <sup>2</sup> & 12AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional)
Connectors	Friends PV2a (IEC), Friends PV2b (IEC / UL)
Standard	26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs)
Packaging	(quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	728 pieces (40' HQ)

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

### PARTNER SECTION



Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



## ANEXO II

### FOLHA DE DADOS DO INVERSOR UTILIZADO

#### FRONIUS – FRONIUS SYMO 15.0-3



SHIFTING THE LIMITS

## FRONIUS SYMO BRASIL

/ O futuro da energia solar comercial está aqui - Novo Fronius SYMO Brasil

PARA REDE 220V /127V



/ Processo de plano de substituição



/ Sistema de montagem Snap-Inverter



/ Dados de monitorização integrados



/ SuperFlex Design



/ Smart Grid & NEC 2014 Compliant



/ Dynamic Peak Manager



/ APCI Integrado



/ O Fronius Symo Brasil possui categorias de potência 10,12 e 15 kW e completa a nova geração SnapInverter. É um inversor transformador Trifásico, com rendimentos mais elevados e a forma inteligente Fronius PP-tracking. Com este inversor não será mais necessário instalar um transformador externo, a fim de se conectar à rede de 3 fases, além de ser ideal para plantas comerciais, feito para rede 220V/127V. Seu design inovador SuperFlex fornece o máximo de flexibilidade na concepção do sistema, enquanto a montagem SnapInverter torna a instalação e manutenção mais fácil do que nunca. O pacote de comunicação incluído mesmo no modelo padrão, com WLAN, gestão de energia, várias interfaces e muito mais. O melhor vem agora: Este inversor já está disponível!

### DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO BRASIL

DADOS GERAIS	PADRÃO COM TODOS OS MODELOS SYMO
Dimensões (altura x largura x profundidade)	511 x 724 x 227 mm
Grado de proteção	NEMA 4X
Consumo Noturno	< 1 W
Conceito retificador	Sem transformador
Resfriamento	Velocidade do ventilador variável
Instalação	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	-40 - +60 °C
Umidade relativa permitida	0 - 100 %
Tecnologia de conexão de rede	6x CC+ e 6x CC- parafusos fixos de cobre (sólidos / flexíveis/ fine stranded) ou alumínio (sólido / flexível)
Principais tecnologia de conexão	Screw terminals 14-6 AWG
Certificados e compliance para modelo básico	UL 1741-2010, UL1998 (para funções APCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, PCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22. 2 No.107.1-01 (Setembro 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA T11 M-07 Issue 1 -2013, ABNT NR 16149

DADOS GERAIS	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 48/240
Peso	29 kg	29 kg	42 kg

### DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO

DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	PADRÃO COM TODOS OS MODELOS FRONIUS SYMO
APCI & 2014 NEC Ready	Sim
Medição de isolamento CC	Sim
Disjuntor CC	Sim
Proteção à falhas com tela de interrupção	Sim

## DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO BRASIL

DADOS DE ENTRADA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 208/240
Potência PV recomendada (kWp)	8.0 - 13.0	9.5 - 15.5	12.0 - 19.5
Max. corrente do conjunto curto-circuito (MPPT1/MPPT 2)	25.0 A / 16.5 A		50.0A
Faixa de voltagem MPP	300 - 500 V	300 - 500 V	350 - 800 V
Faixa de voltagem operando	200 - 600 V	200 - 600 V	350 - 1000 V
Max. tensão de entrada	600 V	600 V	1000 V
Tensão nominal de entrada	208 220 / 240	350 V 370 V	350 V 370 V
Número de MPPT	2		1
DADOS DE SAÍDA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 208/240
Max. potência de saída	208 220 / 240	9995 VA 9995 VA	11995 VA 11995 VA
Max. corrente de saída	208 220 / 240	31.5 A 29.7 A / 27.3 A	35.0 A 35.0 A / 32.8 A
Max. Eficiência		97.0 %	97.0 %
CEC Eficiência	208 240	96.5 % 96.5 %	96.5 % 96.5 %
Conexão Grid (U <sub>grid</sub> )		208/240	208/240
Frequência (Hz)		60 Hz	
Fator de distorção		< 1.75 %	
Fator de potência		0 - 1 ind./cap.	
INTERFACES	PADRÃO PARA TODOS OS MODELOS FRONIUS SYMO		
Wi-Fi*/Ethernet/Serial	Wireless padrão 802.11 b/g/n / Fronius Solarweb, SunSpec Modbus TCE, JSON / SunSpec Modbus RTU		
6 inputs anal + 4 digital I/Os	Gerenciamento de carga; sinalização; multissuave I/O		
USB (A socket)	Data logging and atualização do inversor é possível via USB		
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, interface protocolo		
Datalogger e Webserver	Incluso		

\* O termo Wi-Fi® é uma marca registrada da Wi-Fi Alliance. \*\* + N para fins de detecção - sem condutor de corrente

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UMA PAIXÃO: SUPERAR OS LIMITES DO POSSÍVEL.

/ Seja na Tecnologia de soldagem, no fotovoltaico ou na tecnologia de carregadores de bateria, o nosso objetivo é claro: queremos ser líderes em inovação. Com aproximadamente 3.300 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos mais de 900 patentes concedidas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Desde sempre. O uso responsável de nossos recursos é a base do nosso negócio.

Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v00 May 2015 BR

Rev.26.2.15 BBA

#### Filial AM

R. Armando Mendes, 33  
Armando Mendes  
CEP: 69089-321  
Marauá AM  
Cel +55 92 8249-1415

#### Filial RS

R. Inspector Valdemar E.  
Arrocha, 309 -  
Cinquentenário - Carlos do Sul  
CEP 95012-640 - RS  
Tel: +55 54 8115-6257

#### Filial SP Interior

R. Padre Francisco Van  
Der Maas, 12-25  
Jd. Contorno - Bauri  
CEP 17047-020  
Tel. +55 14 981116 277

#### Filial MG

Rua LL, 213  
Arvoredo  
Contagem - MG  
CEP 323113-188  
Tel +55 31 3472-6000

#### Filial PR

Rua John Lennon, 225  
Aélio Bena, São José dos  
Pinhalis - PR  
CEP 83090-380  
Tel +55 41 3283-6217

Fronius do Brasil Comércio  
Indústria e Serviços Ltda

Escritório central  
Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3389  
Vila Nogueira, Diadema, SP  
CEP: 09990-080  
Telefone +55 11 3563-3800  
Fax +55 11 3563-3777  
[vendasolar@fronius.com](mailto:vendasolar@fronius.com)  
[www.fronius.com.br](http://www.fronius.com.br)

## ANEXO III

### DSV – DISPOSITIVO DE SECCIONAMENTO VISÍVEL

#### MARCA SIEMENS – S32-63/3”



## Seccionadores S32 e Ergon Tripolares e Tetrapolares - Manobra sob carga

### Características básicas

- Tampa transparente permite visualizar o estado dos contatos, garantindo máxima segurança, em especial, nas tarefas de manutenção.
- Proteção contra toque accidental nos terminais de conexão com o uso de capas protetoras, exceto para seccionadores S32-63/3, S32-63/4, S32-100/3, S32-100/4, que já são fornecidos com as capas (veja em Acessórios).
- Acionamento rotativo frontal. (Os seccionadores Ergon possuem bloqueio por cadeado em qualquer posição).
- Acionamento rotativo externo por acoplamento para porta do painel (veja em Acessórios).
- Permite instalar até dois blocos de contatos auxiliares com 1NA + 1NF (veja em Acessórios).
- Tabela de escolha (página 14) para corrente contínua e abertura de carga capacitiva
- Os seccionadores S32-250 a S32-1600 e Ergon 315 a Ergon 800 podem ser fornecidos com trava eletromecânica que bloqueia a operação manual.
- A liberação do bloqueio dar-se-á por um sinal elétrico (consulte-nos).
- Atendem às normas IEC 60947-1 e IEC 60947-3, com aprovação do Kema.

### Dados Técnicos

Tipo	Tripolares Tetrapolares	S32-63/3 <sup>1)</sup> S32-63/4 <sup>2)</sup>	S32-100/3 <sup>1)</sup> S32-100/4 <sup>2)</sup>	S32-160/3 S32-160/4	Ergon 200	S32-250/3 S32-250/4	Ergon 315	S32-400/3 S32-400/4	Ergon 500	
Corrente em regime permanente (I <sub>n</sub> )	A	63	100	160	250	250	400	400	630	
Corrente térmica (I <sub>th</sub> )	A	63	100	160	250	250	400	400	630	
Tensão nominal (U <sub>n</sub> )	V	500	500	690	500	690	500	690	500	
Tensão nominal de isolamento (U <sub>i</sub> )	V	800	800	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Tensão de impulso (U <sub>imp</sub> )	kV	8	8	8	12	8	12	8	12	
Corrente presumida de curto-circuito com fusível conectado em série para 50/60 Hz (I <sub>cc</sub> )	kA (rms)	50 <sup>1)</sup>	30 / 50 <sup>1)</sup>	50 / 100	80 / 50 <sup>1)</sup>	50 / 100	80 <sup>1)</sup>	50 / 100	80 <sup>1)</sup>	
Máxima corrente In do fusível	A	63A	100 / 63	160 / 100	200 / 250	500/250	400	500/250	630	
Corrente de corte (I <sub>c</sub> ) <sup>1)</sup>	kA	7,7	10,3/7,7	17/14,5	23/24	40/33	60	40/33	60	
Integral de Joule	kA <sup>2</sup> s	14,4	50,8/14,4	600/67	250/450	1.700/380	5.400	1.700/380	5.400	
Capacidade de fechamento em curto-circuito (pico) sem fusível (I <sub>cm</sub> )kA (pico)		10,5	10,5	17,6	20	26,5	30	26,5	30	
Corrente nominal suportável de curta duração (efeito) (I <sub>cw</sub> )	kA (rms) / seg.	5,3 / 0,2	5,3 / 0,2	8 / 0,2	10 / 0,5	12 / 0,3	15 / 1	12 / 0,3	15 / 1	
Capacidade de operação em carga	V	415 500 690	415 500 690	415 500 690	415 500	415 500 690	415 500	415 500 690	415 500	
- corrente operacional I <sub>e</sub> em AC-21	A	63 63 -	100 100 -	160 160 125	250 250	250 250 250	400 400	400 400 400	630 630	
- corrente operacional I <sub>e</sub> em AC-22	A	63 63 -	100 100 -	160 160 125	250 250	250 250 250	400 400	400 400 315	630 630	
- corrente operacional I <sub>e</sub> em AC-23 <sup>3)</sup>	A	55 50 -	55 50 -	154 106 -	250 200	250 250 138	400 400	305 254 138	630 630	
- cap. de operação de motores em AC-23	kW	30 33 -	30 33 -	90 75 -	140 140	147 160 132	220 280	180 180 132	375 450	
Tensão aplicada, 60s	V	3.000	3.000	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	
Corrente nominal de fusíveis retardados (I <sub>n</sub> )	A	63	100	160	250	250	400	400	630	
Vida útil mecânica manobras		20.000	20.000	20.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	
Temperatura ambiente permitida	°C	(-25 até +55)								
Torque requerido para manobra	Nm	2,3	2,3	2,5	8,7	7,5	27	7,5	27	
Grau de proteção		IP 20 (proteção contra toque accidental com uso da capa protetora dos terminais de entrada e saída)								
Perda watt por pólo com corrente em regime	W	1,1	2,8	3,9	11	5,0	19	12,8	42	
Seção dos condutores de conexão										
- cabos com terminal	mm <sup>2</sup>	4 até 35	4 até 50	70	120	150	240	240	(2x) 185	
- barras	mm x mm	7 x 3	8 x 3	15 x 3	25 x 3	20 x 5	30 x 5	25 x 5	(2x) 40 x 5	
- torque no parafuso de conexão	Nm (± 10%)	3	3	7	28	14	28	28	28	
- parafusos dos terminais	sextavado ou allen	-	-	M6 x 15	M10 x 25	M8 x 25	M10 x 30	M10 x 25	M10 x 30	
Contato auxiliar com 1NA + 1NF (acessório)										
- pode-se fixar até		2	2	2	2	2	2	2	2	
- corrente de operação para:	V	380Vca	380Vca	380Vca	380Vca	380Vca	380Vca	380Vca	380Vca	
	A	16 (4) A	16 (4) A	16 (4) A	16 (4) A	16 (4) A	16 (4) A	16 (4) A	16 (4) A	
Peso	Kg	0,5	0,5	1,1	1,8	1,8	5,0	2	5,3	

1) Teste de curto-circuito com proteção por fusível.

2) O teste de capacidade para operação em carga é realizado no fechamento com 10 x I<sub>n</sub>, na abertura com 8 x I<sub>n</sub>, com fator de potência f.p.=0,35 e tensão 1,05 x U<sub>n</sub>.

3) Já fornecidos com capa protetora para terminais.