

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

GUSTAVO ERNESTO FERREIRA DOS SANTOS

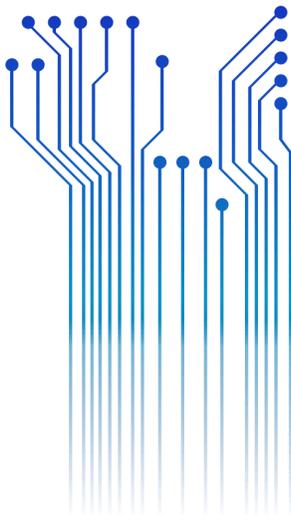


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

GUSTAVO ERNESTO FERREIRA DOS SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

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

Área de Concentração: Geração Energia

Orientador:

Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.

Campina Grande

2017

GUSTAVO ERNESTO FERREIRA DOS SANTOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

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

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em     /     /

**Professor Convidado**

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

**Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.**

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador, UFCG

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu gostaria de agradecer a Deus, por ter me ajudado a nunca desistir, apesar de toda a pressão, dificuldades e notas baixas que enfrentei durante a graduação. Por ter me dado foco e empenho em momentos cruciais durante esta longa jornada.

Agradeço a minha família, principalmente ao meu irmão Diego e aos meus pais, Adalberto e Marluce, por todo incentivo e apoio nos momentos que precisava. Meus pais fizeram de tudo para me garantir uma boa educação e formar a pessoa que sou hoje. Se hoje estou me formando Engenheiro é graças a eles.

A todos professores, em especial Damásio Fernandes, Edson Guedes, Leimar Oliveira e Gutemberg de Assis, por todas as aulas, lições e por me ajudarem a me apaixonar novamente pela Engenharia Elétrica. Um agradecimento especial também aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, em especial a Adail e Tchaikovsky, por todo apoio e por sempre fazerem tudo ao alcance para ajudar cada aluno.

Também faço um agradecimento especial a Célio Anésio da Silva, pela orientação, apoio e tempo dedicado no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus amigos, principalmente do GLEES, por todos os momentos que vão me fazer sentir falta da UFCG, pelas noites de estudo (ou não), por me ajudarem a lembrar da matéria quando precisava e depois esquecer tudo posteriormente no Parque do Povo.

Por fim a Fabio Xavier, por sempre me ajudar, mesmo sem saber. Por me manter focado, incentivado e são.

# RESUMO

Um sistema de energia solar fotovoltaico é capaz de gerar energia elétrica utilizando o Efeito Fotovoltaico e convertendo energia luminosa em energia elétrica. Este sistema utiliza células fotovoltaicas fabricadas de material semicondutor adicionado de materiais dopantes e são a principal unidade no processo de conversão na geração com fonte solar. Com o avanço tecnológico e uma certa popularização na utilização da energia solar, já existem diversos projetos que utilizam dessa fonte tão abundante no nosso território nacional. Já existem diversos casos de sucesso em que as células são aplicadas para reduzir a conta de energia no final do mês ou até sanar por completo. O presente trabalho procura então realizar o dimensionamento de um sistema de geração alternativo – tipo geração fotovoltaica, para o suprimento de energia elétrica a uma residência rural eco-eficiente não conectada a rede.

**Palavras-chave:** Geração Solar, Residência Rural Eco-Eficiente, Células Fotovoltaicas, Efeito Fotovoltaico, Silício.

## ABSTRACT

A photovoltaic solar system is capable of generate electricity using Photovoltaic Effect, converting light in electrical energy. These systems apply semiconductor cells added with dopant materials and are the main device used during this conversion. With technological advances in this area and a bigger acceptance of this energy source all around the world, it is possible to find many projects that already use Solar Power everywhere, including Brazil. It is possible to find many satisfactory projects that apply photovoltaic cells to reduce electrical bills at the end of the month, and this paper looks forward to develop an alternative photovoltaic system to supply energy to an eco-efficient rural housing non connected with the power grid.

**Keywords:** Solar Power, Eco-Efficient Rural Housing, Photovoltaic Cells, Photovoltaic Effect, Silicon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 -	Espalhamento dos Raios Solares em Diferentes Superfícies.....	17
Figura 2.2 -	Irradiação Solar Mensal x Meses para as Seguintes Latitudes.....	18
Figura 2.3 -	Esquema de Diagrama de Bandas de Energia de um Semicondutor Intrínseco com o Silício.....	21
Figura 2.4 -	Circuito Equivalente da Célula Fotovoltaica.....	22
Figura 2.5 -	Curva I-V.....	23
Figura 2.6 -	Influência da Temperatura (à Esquerda) e da Intensidade Luminosa (à Direita) nas Curvas I-V.....	25
Figura 2.7 -	Efeito da Variação da Resistência Série (à Esquerda) e Efeito da Variação da Resistência Paralelo (à Direita).....	25
Figura 2.8 -	Partes Constituintes de um Modulo Fotovoltaico.....	26
Figura 2.9 -	Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico.....	27
Figura 2.10 -	Processos de Produção do Si-gM.....	30
Figura 3.11 -	Consumo Médio Residencial por Unidade Consumidora por Região...	38
Figura 3.12 -	Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades Próximas de Puxinanã.....	41
Figura 3.13 -	Configuração do Sistema Isolado.....	46
Figura 3.14 -	Perspectiva do Modelo Proposto para Unidade Habitacional Rural.....	47

## Lista de Quadros

Quadro 3.1 - Tomadas de Uso Geral.....	33
Quadro 3.2 - Pontos de Iluminação por Ambiente.....	34
Quadro 3.3 - Eletrodomésticos Estimados e sua Potência.....	35
Quadro 3.4 - Consumo Médio dos Eletrodomésticos da Nova Residência.....	36
Quadro 3.5 - Consumo Médio dos Pontos de Iluminação da Nova Residência.....	36
Quadro 3.6 - Especificações do Painel Solar Canadian CS6P 265P.....	42
Quadro 3.7 - Especificações do Micro Inversor SUNSHINE SUN-1000G.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µm	Micrometro
A	Ampere
AC	Tensão Alternada
Ah	Amperes-hora
Al	Alumínio
AM	Massa de Ar
AMPM	Amplitude média
As	Arsênio
Au	Ouro
B	Boro
BTU	British Thermal Unit ou Unidade Térmica Britânica
C	Carbono
CdTe	Telureto de Cádmio
CGIS	Disseleneto de Cobre e Índio-Gálio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
CO <sub>2</sub>	Dioxido de Carbomo
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CZ	Método de Czocharalski
DC	Corrente continua
EPE	Empresa de Pesquisa Energetica
eV	Eletron volt
GaAs	Arseneto de Gálio
Ge	Germânio
HDIF	Irradiação Difusa Horizontal
HDIR	Irradiação Direta Normal
HHOR	Irradiação Global Horizontal
HSiCl <sub>3</sub>	Triclorosilano
In	Índio
m-Si	Monocristalino
NDU	Norma de Distribuição Unificada
Nm	Nanometro
NOCT	Nominated Operating Cell Temperature
NO <sub>x</sub>	Oxidos de Nitrogênio
P	Fosforo
Ppm	Partes por milhão
p-Si	Policristalino
R <sub>p</sub>	Resistência em paralelo

Rs	Resistência em série
Sb	Antimônio
Se	Selênio
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
Si	Silício
SiC	Carboneto de Silício
SiCl <sub>4</sub>	Tetracloroeto de Silício
Si-gE	Silício Grau Eletrônico
Si-gM	Silício Grau Metalúrgico
Si-gS	Silício Grau Solar
SiH <sub>4</sub>	Silano
SiO	Monóxido de Silício
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
STC	Standart Testing Conditions
Te	Telurio
UV	Radiações Ultravioleta
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado
Wh	Watt Hora
Wh/R\$	Relação de unidade de custo
Wp	Watt pico
ZF	Método de Fusão Zonal Flutuante

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Local do Estágio.....	14
1.2	Motivação do Trabalho.....	14
1.3	Estrutura do Trabalho.....	15
2	Revisão Bibliográfica.....	16
2.1	Energia Solar.....	16
2.1.1	Radiação Solar.....	16
2.1.2	Distribuição da Radiação Solar na Superfície Terrestre.....	17
2.1.3	Arquitetura Solar .....	18
2.2	Energia Solar Fotovoltaica e Células Fotovoltaicas.....	19
2.2.1	Células Fotovoltaicas.....	19
2.2.2	Princípio de Funcionamento das Células Fotovoltaicas.....	20
2.2.3	Características Elétricas.....	22
2.2.4	Fatores que Afetam o Rendimento.....	24
2.2.5	Módulos Fotovoltaicos.....	26
2.2.6	Classificações dos Sistemas Fotovoltaicos.....	27
2.2.7	Localização do Sistema.....	28
2.3	Tecnologias e Materiais.....	28
2.3.1	Características do Silício (Si).....	29
2.3.2	Processo de Obtenção do Silício para Fabricação de Células Fotovoltaicas.....	29
2.3.3	Tecnologia das Células Fotovoltaicas – Silício Cristalino.....	31
3	Atividades do Estágio.....	32
3.1	Material Utilizado.....	32
3.2	Dimensionamento da Carga para a Nova Residência.....	32
3.2.1	Tomadas de Uso Geral.....	32
3.2.2	Dimensionamento da Iluminação.....	33

	13
3.3 Dimensionamento da Potência Instalada.....	34
3.4 Dimensionamento do Consumo Médio Diário.....	35
3.5 Dimensionamento das Baterias.....	38
3.6 Configuração dos Painéis Fotovoltaicos.....	39
3.7 Dimensionamento do Inversor.....	43
3.8 Dimensionamento das Proteções.....	45
3.9 Configuração do Sistema.....	45
3.10 Possível Conexão com a Rede.....	45
3.11 Construção Eco-Eficiente.....	47
4 Conclusões.....	49
Referências Bibliográficas.....	51
Anexo A – Orçamento do Projeto de Geração Solar.....	53
Anexo B – Vista Lateral 1.....	54
Anexo C – Vista Lateral 2.....	55
Anexo D – Vista Superior.....	56
Anexo E – Planta da Casa.....	57

# 1 Introdução

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas pelo estudante Gustavo Ernesto Ferreira dos Santos durante o período de estágio supervisionado realizado no Laboratório de Sistemas Elétricos (LSP) da Universidade Federal de Campina Grande. O estágio teve carga horária 270 horas, durante o período de 21 de Novembro de 2016 a 31 de Março de 2017, sob a orientação do professor Célio Anésio da Silva e supervisão do professor Washington Luiz Araújo Neves.

A disciplina de estágio, sendo supervisionado ou integrado, tem como principal objetivo o cumprimento das exigências da disciplina integrante da grade curricular, Estágio Curricular, do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. No entanto, essa disciplina não representa apenas uma obrigação curricular a ser cumprida. De fato, o estágio é indispensável para a formação profissional, já que consolida os conhecimentos, adquiridos previamente pelos alunos nas demais disciplinas, e direciona para uma atividade do mercado de trabalho.

Inicialmente, o orientador apresentou diversos artigos que propunham desenvolvimento de projetos que utilizavam como fonte energética a luz solar e painéis fotovoltaicos. A partir disso, escolheu-se um projeto que tinha como objetivo o desenvolvimento de uma habitação rural eco-eficiente com materiais e equipamentos que mais se adequassem ao local em que a residência seria construída.

## 1.1 Local do Estágio

O estágio supervisionado foi realizado no Laboratório de Sistemas Elétricos de Potência (LSP), do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Para o cumprimento das atividades, foi disponibilizada a sala de Laboratório de Simulações (LabSim).

## 1.2 Motivação do Trabalho

Um sistema de energia solar fotovoltaico, também conhecido como sistema de energia solar ou sistema fotovoltaico, é um sistema capaz de gerar energia elétrica, utilizando

o Efeito Fotovoltaico, convertendo diretamente energia luminosa em energia elétrica, gerando potencial elétrico utilizando células fotovoltaicas. Estas são fabricadas de material diversos tipos de materiais semicondutor adicionado de materiais dopantes e são a principal unidade no processo de conversão na geração com fonte solar.

Sabe-se que no cenário atual existe uma grande preocupação com o impacto ambiental e econômico associado a toda geração de energia elétrica, seja baseado em fontes renováveis ou não. Além disso, é necessário levar em consideração a elevação da demanda energética devido ao aumento da população e o desenvolvimento tecnológico e industrial. Baseado nisso, não se busca mais apenas fontes de energia que sejam sustentáveis, mas também a possibilidade de aplicações dessa tecnologia em larga escala nas casas, de forma que seja viável economicamente e que possua uma eficiência considerável.

Com o avanço tecnológico e uma certa popularização na utilização da energia solar, já existem diversos projetos que utilizam dessa fonte tão abundante no nosso território nacional. Já existem diversos casos de sucesso em que as células são aplicadas para reduzir a conta de energia no final do mês ou até sanar por completo.

Com isto em mente, o presente trabalho procura então realizar o dimensionamento de um sistema de geração alternativo – tipo geração fotovoltaica, para o suprimento de energia elétrica a uma habitação rural eco-eficiente sem conexão inicial com a rede.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 introduz o trabalho, contextualizando e destacando as motivações de sua realização, objetivos em seu desenvolvimento e estrutura aplicada em toda sua extensão.

No Capítulo 2 inicia-se uma revisão bibliográfica, introduzindo conceitos e assuntos que foram aplicados para a realização do estágio.

Já no Capítulo 3 apresentou-se todo o desenvolvimento do projeto fotovoltaico para a alimentação da habitação rural eco-eficiente. Realizou-se uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas.

Por último, no Capítulo 4 encontra-se algumas conclusões obtidas durante o desenvolvimento deste relatório e do estágio supervisionado como um todo.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Energia Solar

O sol é uma estrela composta de mistura de gases localizada no centro da Via Láctea, ocorrendo no seu interior o processo de fusão nuclear, convertendo hidrogênio em hélio. Nessa transformação, para um elemento de massa menor, ocorre a liberação de energia, fenômeno esse estudado por Einstein, ficando conhecido pela Expressão 1:

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 \quad (1)$$

A energia liberada do sol é a principal responsável pela origem de todas as fontes energéticas primárias na Terra, fornecendo a energia necessária para os sistemas e ciclos globais. A radiação solar é responsável também pela evaporação das águas, indução dos movimentos dos ventos, desenvolvimento de toda a matéria orgânica e a criação dos combustíveis fósseis.

#### 2.1.1 Radiação Solar

A energia proveniente do Sol é renovável e praticamente inesgotável, podendo ser aproveitada pela sociedade para suprir as suas necessidades energéticas. De acordo com IEA (2014), de toda energia solar que chega a Terra, aproximadamente metade atinge a superfície, totalizando 885 milhões de TWh/ano, o que seria mais de 8.000 vezes o consumo final total da energia mundial em 2013 (IEA, 2015). O potencial dessa energia é gigantesco, podendo ser aproveitado de forma direta ou indireta, seja por sistemas de captação ou em conversão em outros tipos de energia.

A radiação solar total que atinge a Terra pode ser decomposta em dois planos: um horizontal e outro inclinado. A de maior interesse para a geração fotovoltaica é a Irradiação Global Horizontal (HHOR), que é a radiação recebida pela superfície plana horizontal. A HHOR é composta por duas parcelas: a Irradiação Difusa Horizontal (HDIF), que é a parcela dispersa e atenuada na atmosfera por reflexões em geral; e a Irradiação Direta Normal (HDIR), parcela que atinge o solo diretamente sem reflexões (EPE, 2016).

De acordo com GHENSEV (2006), um percentual de 47 % da energia incidente à superfície terrestre ( $642,5 \text{ W/m}^2$ ) é armazenada na forma de calor, sendo 38% - ( $519,5 \text{ W/m}^2$ ) absorvida pelos oceanos e 9% - ( $519,5 \text{ W/m}^2$ ) pelos continentes, mantendo os processos naturais e a vida na Terra.

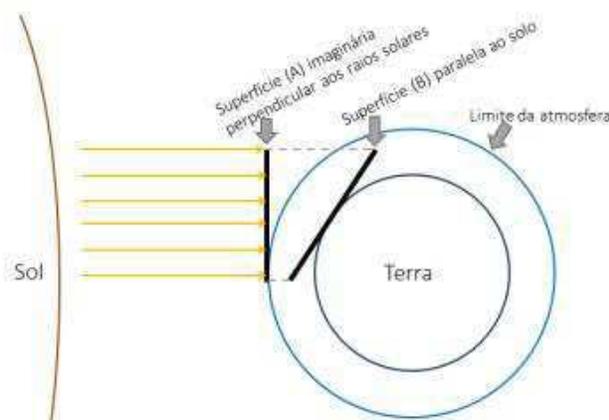
## 2.1.2 Distribuição da radiação solar na superfície terrestre

A radiação solar que alcança à terra, não é constante, sendo influenciada pelas condições geográficas do local e dos movimentos de rotação e translação, somando-se ainda os fenômenos climáticos. Pode-se apenas então criar uma certa previsão deste recurso.

Ao realizar o movimento de translação, a Terra determina um plano conhecido como plano da eclíptica. Enquanto isso, o movimento de rotação é realizado em torno de um eixo que possui inclinação de  $23,45^\circ$  em relação à perpendicular do plano da eclíptica, ocasionando a mudança das estações ao longo do ano.

Pode-se afirmar que os raios solares atingem a Terra de forma paralela e, em uma superfície imaginária perpendicular aos raios e localizado na borda da atmosfera, com intensidade praticamente constante. Contudo, nem toda superfície terrestre é perpendicular aos raios solares, reduzindo a insolação neste plano por um fenômeno conhecido como efeito cosseno (STINE; GEYER, 2001), conforme mostra a Figura 2.1.

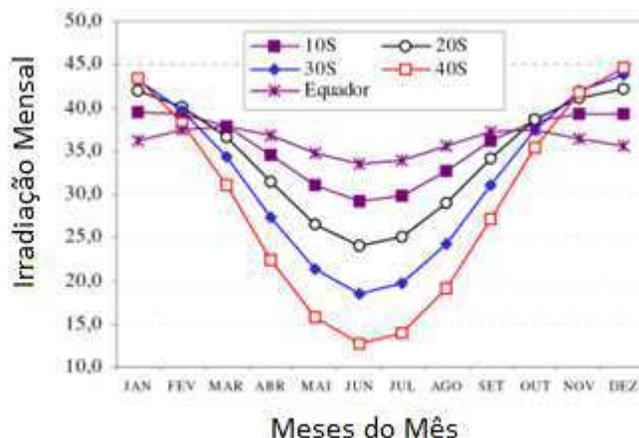
Figura 2.1 – Espalhamento dos Raios Solares em Diferentes Superfícies.



Fonte: EPE, 2016.

Logo se concluí que a irradiância solar varia com a posição terrestre e o ângulo de incidência dos raios solares, onde regiões localizadas mais próximas a linha do equador apresentam uma redução na variação da irradiação ao longo do ano. Já em regiões de grandes latitudes observa-se maiores variações de irradiação durante o ano e uma energia anual total menor, conforme observado no gráfico na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Irradiação Solar Mensal x Meses para as Seguintes Latitudes



Fonte: EPE, 2016.

Baseando-se nessas condições de incidência, pode-se descobrir as perdas que a energia solar sofre ao atingir o solo.

### 2.1.3 Arquitetura Solar

Um dos principais estudos da energia proveniente da luz do Sol é conhecido como arquitetura solar, que tem como interesse o aproveitamento de técnicas solares de forma passiva e ativa.

Tem-se que o estudo da arquitetura solar passiva é focado na captação, armazenamento e utilização da energia solar, seja através de ganho direto ou indireto. Segundo SANTOS (2014), este estudo ainda trata do controle do ganho solar através da ventilação natural e sistemas de sombreamento, levando em conta a localização e o clima do local estudado.

As diversas aplicações dessa área de estudo podem trazer diversos benefícios aos projetos arquitetônicos, procurando reduzir ao mínimo os aspectos de consumo de energia naquela obra realizada. Projetos que envolvem esse tipo de aplicação não costumam ter despesas acrescidas, pois estas técnicas estão ligadas à construção dos projetos arquitetônicos e não na utilização de dispositivos eletrônicos.

Os fatores que são considerados em projetos que envolvem arquitetura solar passiva procuram proporcionar conforto térmico e visual aos seus inquilinos. Alguns elementos considerados são iluminação natural, água, vegetação, vento, umidade, inércia térmica, temperatura, massa térmica, isolamento, proteção solar, efeito estufa, localização forma e orientação dos projetos.

Já a arquitetura solar ativa lida com a produção da energia térmica e elétrica através da utilização de painéis fotovoltaicos ou outros dispositivos de transformação de energia solar (SANTOS, 2014).

Um das principais utilizações, e a que será utilizada nesse trabalho, é a energia solar elétrica ou fotovoltaica. Esta é uma tecnologia que possibilita a geração de uma corrente elétrica (nível DC) a partir de semicondutores quando iluminados por fótons. Enquanto as células solares permanecem iluminadas, ocorre geração de eletricidade. Esta geração é interrompida quando as células deixam de ser iluminadas.

## 2.2 Energia Solar Fotovoltaica e Células Fotovoltaicas

### 2.2.1 Células Fotovoltaicas

Células Fotovoltaicas (chamadas também como Células Solares), segundo o Portal Solar (2017), é um dispositivo elétrico que possui a característica de converter a energia da luz do Sol diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839, pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel, ao observar que placas metálicas (de platina ou prata) submersas em uma determinada solução ácida gerava uma corrente elétrica ao ser exposta à luz.

Os estudos nessa área continuaram se desenvolvendo, até que em 1954, com o avanço no estudo dos semicondutores, surgiram as primeiras células fotovoltaicas produzidas nos Estados Unidos, com Silício cristalino. Apesar de sua baixíssima eficiência (6% para uma área de 2 cm<sup>2</sup>). Apenas em 1958, com a utilização de células fotovoltaicas pelo programa espacial americano como fonte de energia para suprimento dos sistemas de comunicação dos satélites é que se experimentou um avanço significativo no desenvolvimento das células solares, consolidando-se em meados da década de 70, quando a crise do petróleo elevou os custos de produção baseada em outras fontes energéticas, tornando a energia solar mais atrativa e competitiva.

Com a solidificação da tecnologia, novas alternativas de geração com células fotovoltaicas começaram a surgir, como o Arseneto de Gálio (GaAs), Disseleneto de Cobre e Índio (CIS e CGIS), Silício amorfo e Telureto de Cádmio (CdTe). Contudo, as tecnologias que utilizam do Silício como base ainda dominam o mercado, seja o Silício monocristalino ou policristalino.

### 2.2.2 Princípio de funcionamentos das células fotovoltaicas

O princípio de funcionamento das células e a conversão de luz solar para corrente elétrica ocorre devido ao efeito fotovoltaico, no qual ocorre através da transferência de energia dos fótons da luz solar incidente para os elétrons na estrutura atômica do material semicondutor.

Os elementos semicondutores são aqueles que estão localizados entre os grupos 13 e 16 da tabela periódica (anteriormente conhecidos como IIIA a VIA), cujos principais semicondutores são: Arsênio (As), Boro (B), Carbono (C), Germânio (Ge), Fósforo (P), Silício (Si), Selênio (Se) e Telúrio (Te), os quais possuem três, quatro ou seis elétrons na camada de valência. Além destes elementos, tem-se ainda compostos semicondutores conhecidos como binários – exemplo, telureto de cádmio, CdTe, ternário – exemplo, disseleneto de cobre-índio, CIS e quaternário – exemplo, fosfeto arseneto de gálio-índio, InGaAsP.

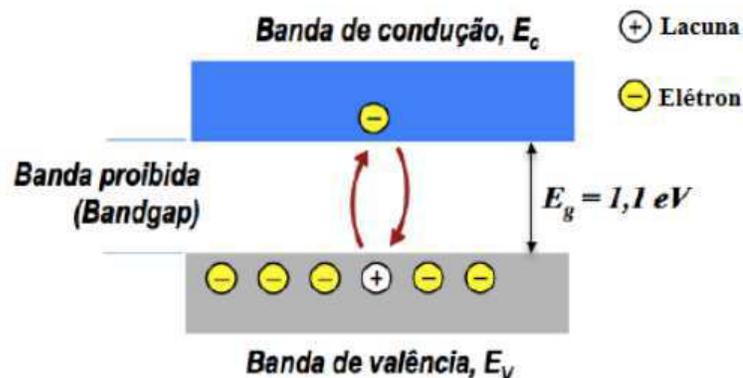
Apesar da vasta gama de possibilidades de semicondutores conhecidos, o mais utilizado na fabricação das células fotovoltaicas continua sendo o Silício, que embora exista

apenas associado a areia de sílica, e não no formato de um elemento químico isolado, possui uma disponibilidade elevada.

O átomo Silício, por pertencer ao grupo 14 da tabela periódica, possui quatro elétrons na camada mais externa ou banda de valência. Logo, em cristal de Si, existe a formação de quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos, tornando o átomo estável com oito elétrons em sua última camada.

Quando um cristal de silício é submetido a uma temperatura de aproximadamente 20°C, a energia térmica fornecida ao elétron é capaz de excitar elétrons, permitindo com que este elétron passe da banda de valência para a banda de condução, deixando para trás uma lacuna na banda de valência, que se comporta como uma carga positiva. Contudo, estamos lidando com um cristal de Silício puro, ou seja, não existem outros elétrons para preencher a lacuna na banda de valência e nem uma diferença de potencial. Isso permite com que o elétron que foi levado a banda de condução se reconecte imediatamente com a lacuna, sem permitir a origem de corrente elétrica, mostrado na Figura 2.3 a seguir.

Figura 2.3 – Esquema de Diagrama de Bandas de Energia de um Semicondutor Intrínseco com o Silício.



Fonte: Mendonça, 2016.

Então, para que haja a potencialização da condução nestes materiais semicondutores se faz necessária a existência de um campo elétrico, separando os portadores através de uma junção. Para constituir esta junção, são adicionadas impurezas, ou elementos dopantes, no semicondutor de forma a mudar as propriedades elétricas do material. Essa ação é chamada

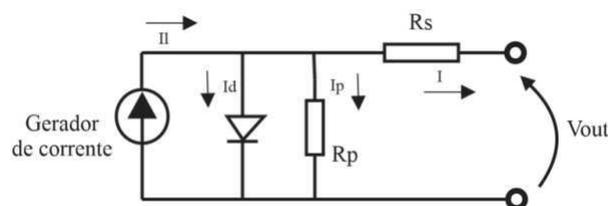
de dopagem, em que são usados elementos químicos que possuem a característica de doar elétrons são chamados de impurezas ou dopantes do tipo *n*. Os elementos comumente utilizados são Fósforo (P), Arsênio (As) e Antimônio (Sb). Já quando são adicionados elementos aceitadores de elétrons, estes são conhecidos como dopantes tipo *p* e os elementos mais utilizados são Boro (B), Gálio (Ga), Alumínio (Al) e Índio (In).

Ainda pode ser realizado os dois tipos de dopagem, uma em cada lado da lâmina de Silício. Esta dopagem, conhecida como junção *pn*, configura os elétrons em excesso do lado *n* migrando para a região *p*, de forma a deixar cargas fixas positivas na região *n* e cargas fixas negativas na região *p*. Esta migração ocorre até que o equilíbrio seja atingido, de forma que o campo elétrico formado por esse excesso de elétrons e lacunas nas regiões especificadas impeça o traslado dos portadores de carga.

### 2.2.3 Características Elétricas

Podemos apresentar uma célula fotovoltaica pela conexão em paralelo de um diodo, representado a junção *pn*, e um gerador de corrente comum. Observa-se que pelo diagrama na Figura 2.4, a corrente gerada nessa célula é então a soma da corrente no diodo, quando não há tensão externa de polarização, e a corrente que foi gerada pela radiação solar incidente na célula.

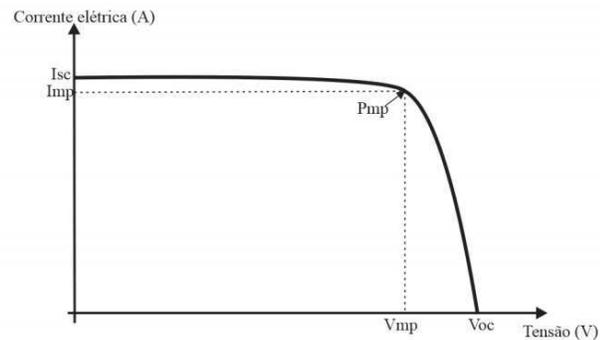
Figura 2.4 – Circuito Equivalente da Célula Fotovoltaica.



Fonte: *Monteiro, 2016*.

São consideradas ainda duas resistências no circuito: **Rs** são as resistências em série associadas a junção, malhas metálicas e regiões dopadas, enquanto que **Rp** são as resistências em paralelo associadas a pontos de curto circuito na junção *pn*. Baseando-se na equação de corrente no diodo ideal e do circuito equivalente mostrado acima, podemos então levantar a equação da curva característica I-V da célula – mostrada na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Curva I-V.



Fonte: *Monteiro, 2016*.

Observando-se a curva I-V da célula fotovoltaica, é possível determinar alguns parâmetros fundamentais para a caracterização das células. Estes normalmente são fornecidos pelos próprios fabricantes ou podem ser calculados a partir destes e são:

- **Corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ ):** Esta é a corrente máxima que pode ser obtida quando a tensão nos terminais da célula é nula. Este valor depende diretamente de valores como área da célula, irradiância solar, distribuição espectral e outros, logo, esta corrente varia para cada tecnologia aplicada;
- **Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ):** Esta é a tensão máxima encontrada entre os terminais do circuito quando o circuito está aberto e sem circulação de corrente;
- **Ponto de máxima potência ( $P_{mp}$ ):** Esta grandeza representa o ponto no qual o produto entre tensão e corrente possui valor máximo, ou seja, eficiência máxima;
- **$V_{mp}$  e  $I_{mp}$ :** São, respectivamente, a tensão (dada em Volts) e a corrente (dada em Amperes) no ponto de máxima potência;
- **Fator de Forma ( $FF$ ):** Este fator é aquele que é utilizado como parâmetro para determinar a potência média real obtida pela célula;

- **Eficiência ( $\eta$ ):** Parâmetro utilizado para quantificar a eficiência do processo de conversão de energia na célula solar. Associado diretamente com a área da célula e a irradiância incidente.

## 2.2.4 Fatores que Afetam o Rendimento

Segundo o Portal Solar, a eficiência dos painéis solares é medida em condições padronizadas e normatizadas em laboratório pelo Standart Testing Conditions (STC). Para este padrão, temos:

- Temperatura da célula; 25°C;
- Irradiação Solar: 1000W/m<sup>2</sup>;
- Massa de Ar: 1,5.

Parâmetros fora desse padrão causam efeitos que podem ser notados diretamente na curva I-V dos módulos fotovoltaicos.

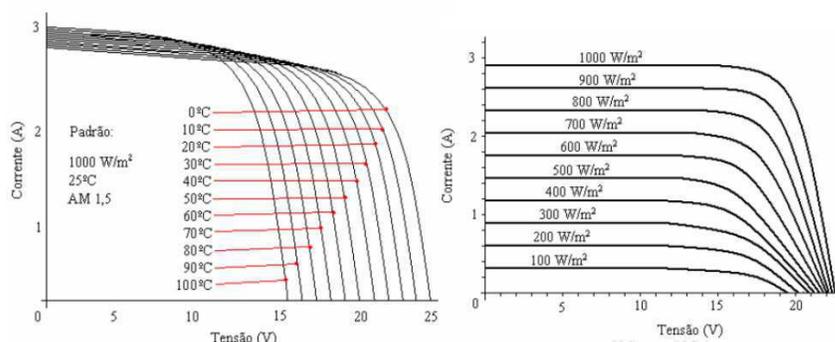
A elevação da temperatura nas células fotovoltaicas resulta nos pontos de máxima potência mais baixos da curva, o que indica uma menor eficiência, como pode-se observar na Figura 2.6. Deve-se levar em consideração que o ponto de máxima potência é dificilmente atingido na prática, pois a potência gerada costuma diminuir com o aumento da temperatura, mesmo para insolações elevadas.

Já quanto a intensidade luminosa, como abordado anteriormente, sabe-se que a radiação solar é composta por várias faixas de comprimento de onda e de energia, e que várias partes dessa radiação são dissipadas na atmosfera, restando apenas uma parte da radiação que poderá ser convertida em energia elétrica. Tem-se que esses níveis de energia capazes de realizar o efeito fotovoltaico nas células dependem e variam com o material utilizado na fabricação dos painéis.

O reflexo dos painéis fotovoltaicos é um fator que afeta diretamente a eficiência da convenção das células, já que isto influencia diretamente a quantidade de radiação que poderá ser utilizada na conversão. Existem diversas técnicas e tecnologias utilizadas pelos fabricantes para otimizar a absorção da energia solar como, por exemplo, aplicação de camadas antirreflexo à camada mais superior dos painéis.

Um fator que influencia no rendimento e eficiência das células são as resistências abordadas no circuito equivalente na Figura 2.4. A resistência em série é originada a partir da resistência do próprio material semiconductor, nos contatos metálicos e nas junções metal-semiconductor. Esta resistência reduz o Fator de Forma da célula, reduzindo assim a eficiência e os valores da corrente de curto circuito da placa.

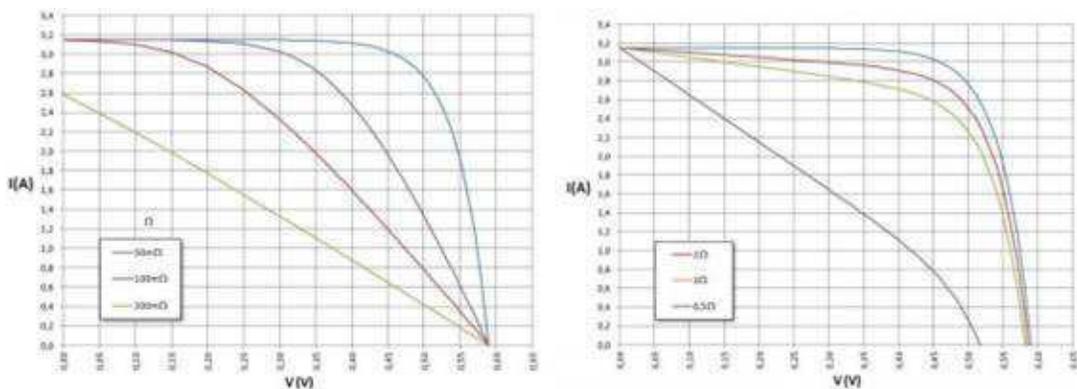
Figura 2.6 – Influencia da Temperatura (à Esquerda) e da Intensidade Luminosa (à Direita) nas Curvas I-V.



Fonte: Ghensev, 2006.

Enquanto isso, as resistências paralelas geram reduções na tensão de circuito aberto das células e no fator de forma, também. Porém, estas não influenciam nos valores de curto circuito como as resistências em série. Pode-se observar na Figura 2.7 abaixo como essas resistências influenciam nas curvas I-V das células.

Figura 2.7 – Efeito da Variação da Resistência Série (à Esquerda) e Efeito da Variação da Resistência Paralelo (à Direita).

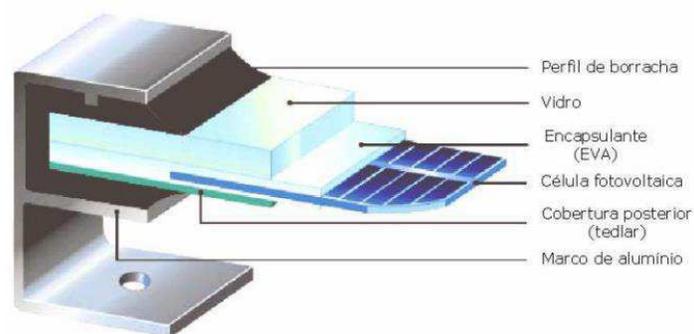


Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

## 2.2.5 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos ou painéis fotovoltaicos são formados pela associação das células estudadas separadamente até agora. O módulo pode ser constituído por conjuntos de 36, 20 e 16 células, sendo protegidas por soldas e encapsulamentos, proporcionando uma certa resistência mecânica ao módulo como um todo. Pode-se observar as partes constituintes desse módulo abaixo na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Partes Constituintes de um Módulo Fotovoltaico.



Fonte: *Monteiro, 2016.*

Na parte superior do módulo se utiliza vidro temperado com alta transparência e para se reduzir as perdas por reflexão, como citado anteriormente, é aplicado um acabamento texturizado. Abaixo destas camadas, utiliza-se um polímero transparente como encapsulante, com objetivo de isolar, evitar umidade, fadiga mecânica e as radiações UV. Já na cobertura posterior é comum se fazer uso de fluoreto de polivinil, ou Tedlar. Por fim, para fornecer rigidez mecânica para o conjunto do módulo e ajudar em sua fixação para geração, é utilizado uma moldura metálica que costuma ser de alumínio.

Assim como ocorre nas células fotovoltaicas que formam os painéis fotovoltaicos, os módulos também podem ser conectados em série e/ou paralelo para obter uma tensão ou corrente desejadas. Segundo PINHO e GALDINO (2014), após feita a definição de como serão feitas as associações dos módulos utilizados, é também necessário saber como será feita a instalações destes painéis e quais componentes serão necessários, pois as tensões e correntes devem ser compatíveis com estes componentes, provendo segurança e isolamentos necessários.

Para a associação em série, conecta-se o terminal positivo de um dos módulos ao terminal negativo do módulo seguinte e assim sucessivamente. Para o caso de módulos idênticos e submetidos as mesmas condições como radiação e temperatura, tem-se que as tensões destes são somadas e sua corrente não é afetada.

Diferente da associação em série, na associação em paralelo os terminais positivos de todos os módulos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. Assim, as correntes geradas são somadas enquanto a tensão permanece a mesma.

## 2.2.6 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são classificados segundo a sua conexão com a rede, tendo-se três categorias: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Apesar disso, todos os sistemas possuem uma configuração básica (CRESESB, 2006), como podemos observar no diagrama da Figura 2.9 abaixo.



Fonte: *CRESESB, 2006*.

Os sistemas isolados têm como principal característica não estarem conectados à rede elétrica, de forma se gerar a energia no local e utilizar alguma forma de armazenamento, que normalmente é feito através de baterias.

Nestes se utiliza também um dispositivo conhecido como controlador de carga, para monitorar a carga e descarga da bateria, protegendo a mesma ou banco de baterias. Este dispositivo desconecta o gerador fotovoltaico quando a bateria atinge a carga plena e interrompe o fornecimento de energia caso ela atinja o limite mínimo de segurança. Quando procura-se utilizar eletrodomésticos em corrente alternada, se utiliza um inversor e um

segurador de ponto de máxima potência como controlador de carga, procurando otimizar a potência final produzida.

Já os sistemas conectados à rede (ou SFGR) são um tipo de sistema que não utilizam baterias, pois a energia que é produzida em sítio pode ser consumida diretamente pela carga local ou injetada na rede elétrica convencional, de forma a ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição (PINHO e GALDINO, 2014).

### 2.2.7 Localização do Sistema

A escolha da localização dos painéis fotovoltaicos dimensionados neste projeto é um fator determinante para o desempenho destes e, para isso, se faz necessária uma integração dos elementos abordados até agora procurando atingir a maior eficiência possível do sistema. Como a instalação será do tipo *rooftop* (no telhado da residência), tem-se menos liberdade no posicionamento destes (PINHO E GALDINO, 2014).

O sol nasce no Leste, eleva-se a sua posição mais alta inclinando-se para o Norte e se põe no Oeste. Conclui-se, então, que a posição ideal para instalação dos módulos fotovoltaicos no país seria voltada para o Norte, de forma a mantê-los iluminados por mais tempo, produzindo mais energia. Sabe-se também que o ângulo de inclinação ótima para a instalação destes painéis seria igual ao valor da latitude do local de instalação (PORTAL SOLAR).

Entretanto, permite-se que esta instalação seja realizada em faces voltadas para o Leste ou Oeste, pois a perda de geração não é considerada muito elevada. Como a residência em questão não possui face de telhado voltado para Norte, segue-se a instalação no telhado voltado para Leste.

## 2.3 Tecnologias e Materiais

Nos últimos anos, o mercado de células fotovoltaicas vem modificando-se bastante devido a inserção de novos métodos de fabricação de células fotovoltaicas. Estas alternativas permitem um menor custo de produção das células e fornecem uma maior eficiência na geração de energia, podendo diversificar mais ainda suas aplicações.

Hoje, existem diversos tipos de materiais semicondutores que são utilizados na fabricação de componentes fotovoltaicos, onde os mais utilizados são o silício cristalino, o silício amorfo, o telureto de cádmio (CdTe) e compostos de disseleneto de cobre e índio e gálio (CIS). Algumas destas tecnologias alternativas possuem uma grande aceitação devido ao seu custo reduzido. Porém, estes materiais ainda possuem baixo rendimento, baixa longevidade, são mais raros e difíceis de serem encontrados na superfície terrestre (como o índio) e elevada toxicidade de alguns outros (como o cádmio) (PINHO e GALDINO, 2014). Para produção em larga escala, o principal elemento que ainda se utiliza é o silício.

### 2.3.1 Características do Silício

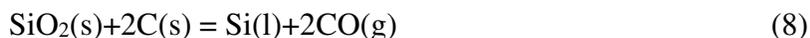
O silício por si só é considerado inerte e não tóxico, ou seja, não oferece risco para seres humanos. Contudo, o quartzo, principal material a partir do qual o silício é obtido, possui um pó fino que, ao inalado no ambiente de extração, causa uma doença respiratória conhecida como silicose. Além disso, a produção do silício tem um grande impacto ambiental devido ao elevado consumo de energia em sua produção e a emissão de gases poluentes, como o CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>.

Para a fabricação das células fotovoltaicas utilizadas neste projeto, utiliza-se o silício ultrapuro, o silício grau eletrônico (Si-gE, com grau de pureza de 99,9999999%) ou o silício grau solar (Si-gS, com grau de pureza 99,9999%).

### 2.3.2 Processo de Obtenção do Silício para Fabricação de Células Fotovoltaicas

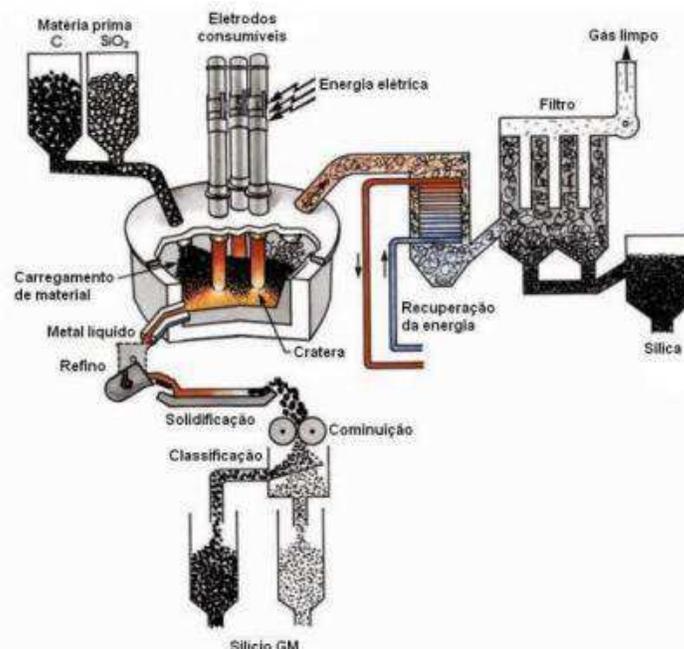
O silício necessita passar por diversos tratamentos e processos até atingir a pureza procurada para aplicações fotovoltaicas. O primeiro estágio do processo é a obtenção do silício de grau metalúrgico, ou Si-gM, que possui pureza aproximada de 98,5% e é produzido em fornos elétricos de arco convencionais. Estes tipos de silício contêm impurezas como alumínio, ferro e cálcio na proporção de 1200, 4000 e 1600 ppm, respectivamente.

O processo mais comum e barato utilizado é a redução carbônica da sílica em cadinhos com quartos e materiais carbônicos, que consiste na redução do quartzo pelo carbono em altas temperaturas, pode-se ilustrar esse processo pela seguinte reação:



A mistura é aquecida a altas temperaturas nos fornos elétricos mencionados acima, de forma que o silício líquido gerado é drenado do fundo do forno, enquanto uma mistura dos materiais brutos formados de quartzo e carbono é carregada no forno.

Figura 2.10 – Processos de Produção do Si-gM.



Fonte: *Monteiro, 2016.*

O silício tratado é armazenado em moldes de fundição e as impurezas, removidas mecanicamente ou por gravidade, são rejeitadas. O processo todo pode ser ilustrado pela Figura 2.10 acima.

O silício de grau solar, ou Si-gS, ainda requer algumas técnicas intermediárias para atingir o grau de pureza necessário. Utiliza-se então três métodos: a solidificação direcional, resultando na produção de lingotes de silício policristalino, ou utiliza-se o método de Czocharalski (CZ) e o método de fusão zonal flutuante (ZF), que são técnicas específicas de solidificação direcional e resultam na produção de lingotes de silício monocristalino,

A solidificação direcional ou moldagem em cadinho, é um método que garante a solidificação homogênea do silício. Neste método são utilizados cadinhos de quartzo ou

grafite de alta densidade envoltos por bobinas de indução eletromagnética que derretem o silício disposto neste cadinho. Quando a solidificação começa a acontecer, as impurezas permanecem segregadas na porção do material que continua em estado líquido, que é descartada por completo, resultando no refino do Silício (OLIVEIRA, 2008).

### 2.3.3 Tecnologia das células fotovoltaicas – Silício Cristalino

O silício cristalino exige durante seu o processo de fabricação altas temperaturas e pressões, demanda um longo período de tempo e exige um grau elevado de precisão, o que eleva o custo final do módulo fotovoltaico (RUTHER, 2004).

Também já foi apresentado anteriormente, este material pode ser monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). O m-Si é bastante utilizado em aplicações comerciais devido a sua eficiência, enquanto que o p-Si possui uma eficiência menor devido a imperfeições cristalina inerentes ao processo de produção. Apesar disto, o silício policristalino ainda é o mais utilizado no mercado global, pois possui um menor custo de produção, pois demanda menos energia elétrica seu processo de fabricação (AMÉRICA DO SOL, 2011).

As células que utilizam a tecnologia de silício monocristalina são comercializadas comumente como conversor direto de energia solar em eletricidade, apesar de serem mais caras devido ao seu processo de produção. Células produzidas com este material podem atingir uma eficiência de até 24,2%, mas normalmente a eficiência dos módulos comerciais costumam variar de 16,84% até 20,4% dependendo do fabricante (TIRADENTES, 2007).

Já os módulos de silício policristalino ou multicristalino foram introduzidos no mercado em 1981 e são comumente utilizados em dispositivos ativos, como diodos ou células solares, devido a possibilidade de obter junções *pn*. O fato da condutividade do silício policristalino poder ser controlada através de dopagem permite a utilização deste material em resistências ou emissores em transistores bipolares (PEREIRA, 2008).

O processo da produção destas células é mais barato, pois consome menos energia, tempo e gera menos desperdício que os outros métodos. Contudo, as células produzidas com esta tecnologia possuem uma tolerância ao calor inferior se comparada com as células de silício monocristalino, o que torna seu desempenho pior em altas temperaturas (MAEHLUN, 2012).

## 3 Atividades do Estágio

As atividades desenvolvidas durante a vigência do estágio constituíram na adaptação de um projeto de habitação rural eco-eficiente para o estado da Paraíba. Este projeto foi originalmente proposto no artigo *Projeto de Habitação Rural Eco-Eficiente com Geração Solar Fotovoltaica Individual* (MOTA, SAAVEDRA E LIMA).

### 3.1 Material Utilizado

Para o desenvolvimento das atividades solicitadas durante a vigência do estágio supervisionado, utilizou-se os seguintes *softwares*:

- *Microsoft Office Word*: Editor de texto com diversas funções utilizadas para a realização do relatório;
- *Microsoft Office Excel*: Editor de planilhas que permite adicionar dados, classifica-los, filtrá-los, inserir tabelas, realizar cálculos, dentre outras funções;
- AutoCAD: Amplamente utilizado na área de arquitetura, engenharias, desenho industrial e outros. É um *software* de desenho utilizado na elaboração de projetos em duas ou três dimensões;
- SunData: O programa gratuito SunData é fornecido no site da CRESESB e destina-se ao cálculo da irradiação média mensal em qualquer ponto do território nacional.

### 3.2 Dimensionamento da Carga para a Nova Residência

O projeto originalmente implantado parecia ser muito simplório tanto quanto o dimensionamento das tomadas de uso geral (TUG) quanto nos pontos de luz instalados e não parecia seguir as regras indicadas pela NBR 5410. Realizou-se, então, um novo levantamento da carga para a nova residência. A instalação elétrica destas tomadas pode ser vista no Anexo F.

#### 3.2.1 Tomadas de uso geral

Baseado na norma NBR 5410, obteve-se a seguinte Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Tomadas de Uso Geral

	<b>Sugerido</b>	<b>Área</b>	<b>Perímetro</b>	<b>Calculado</b>	<b>Acatado</b>
<b>Banheiro</b>	1 ponto			-	2 tomadas
<b>Varanda</b>	1 ponto			-	2 tomadas
<b>Sala</b>	1 ponto a	10,73	13,2	3 tomadas	5 tomadas
<b>Quarto F</b>	cada 5m de	7,84	11,2	3 tomadas	3 tomadas
<b>Quarto C</b>	perímetro ou fração	7,65	11,06	3 tomadas	3 tomadas
<b>Cozinha</b>	1 ponto a	4,95	8,9	3 tomadas	4 tomadas
<b>Lavanderia</b>	cada 3,5m de perímetro, sendo um sobre a pia	1,26	5	2 tomadas	2 tomadas
<b>Corredor</b>	$A \leq 6m^2 - 1$ ponto $A > 6m^2 - 1$ ponto a cada 5m de perímetro	3,18	7,98	1 tomadas	1 tomadas

Fonte: *Próprio Autor.*

A norma sugere um número de tomadas baseado na área ou perímetro do ambiente e sua finalidade. Procurando um conforto maior, tomou-se a liberdade de adicionar algumas tomadas em locais com uma maior permanência, como cozinha e sala, proporcionando um maior conforto para seus habitantes. Logo, decidiu-se instalar um total de 22 tomadas no total.

### 3.2.2 Dimensionamento da iluminação

Baseado na norma NBR 5410, obteve-se a seguinte Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Pontos de Iluminação por Ambiente.

	<b>Sugerido</b>	<b>Área</b>	<b>Perímetro</b>	<b>Calculado</b>
<b>Banheiro</b>	Primeiro 6m <sup>2</sup>			1 ponto
<b>Varanda</b>	– 100VA			1 ponto
<b>Sala</b>	A cada 4m <sup>2</sup>	10,73	13,2	1 ponto
	– 60VA			200VA ou 2 pontos
				100VA
<b>Quarto F</b>		7,84	11,2	1 ponto
				100VA
<b>Quarto C</b>		7,65	11,06	1 ponto
				100VA
<b>Cozinha</b>		4,95	8,9	1 ponto
				100VA
<b>Lavanderia</b>		1,26	5	1 ponto
				100VA
<b>Corredor</b>		3,18	7,98	1 ponto
				100VA

Fonte: *Próprio autor.*

Em cômodos com maior área e perímetro, como a sala por exemplo, é necessário um ponto de iluminação com potência maior. Decidiu-se aplicar então dois pontos na sala: um localizado na porção referente à sala de estar e outra na porção referente à sala de jantar. Logo, decidiu-se instalar um total de 9 pontos de iluminação pela casa.

### 3.3 Dimensionamento da Potência Instalada

Baseado no dimensionamento das tomadas de uso geral e pontos de iluminação, desenvolveu-se a seguinte tabela, estimado-se quais eletrodomésticos serão instalados nesta residência, para se ter uma noção da potência instalada. Tem-se então o seguinte Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Eletrodomésticos Estimados e sua Potência.

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Total (W)</b>
<b>Geladeira 260L</b>	1	90	90
<b>Máquina de Lavar</b>	1	100	100
<b>Roupas</b>			
<b>Televisão LED 42”</b>	1	77	77
<b>Aparelho de DVD</b>	1	12	12
<b>Batedeira</b>	1	100	100
<b>Liquidificador</b>	1		200
<b>Notebook</b>	1	30	30
<b>Roteador</b>	1	10	10
<b>Modem</b>	1	5	5
<b>Ventilador</b>	1	65	65
<b>Prancha</b>	1	50	50
<b>Carregador</b>	4	5	20
		<b>Total</b>	849

Fonte: *Próprio autor.*

Somando-se a potência total dos eletrodomésticos com as 9 lâmpadas LED de 10W utilizadas na iluminação da residência modelo, temos que a potência total instalada vale:

$$P_{Total} = P_{Iluminação} + P_{Eletrodomésticos} = 849 + 90 = 939W$$

### 3.4 Dimensionamento do Consumo Médio Diário

Na seguinte Quadro 3.4, ilustrou-se o cálculo do consumo médio dos eletrodomésticos na residência modelo. Os valores utilizados na mesma foram obtidos no site do Procel Info. Tem-se os seguintes valores:

Quadro 3.4 – Consumo Médio dos Eletrodomésticos da Nova Residência.

<b>Aparelho</b>	<b>Dias Estimados de Uso/Mês</b>	<b>Média Utilização/Dia</b>	<b>Consumo Médio Mensal (kWh)</b>	<b>Consumo Médio Diário (kWh)</b>
<b>Aparelho de DVD</b>	8	2h	0.240	0.030
<b>Batedeira</b>	8	20min	0.400	0.050
<b>Geladeira</b>	30	24h	25.200	0.840
<b>Máquina de Lavar Roupas</b>	12	1h	1.760	0.147
<b>Liquidificador</b>	15	15min	0.800	0.053
<b>Notebook</b>	30	8h	4.800	0.160
<b>Roteador</b>	30	8h	1.440	0.048
<b>Sandueira</b>	30	10min	3.350	0.112
<b>TV LED 42”</b>	30	5h	30.450	1.015
<b>Ventilador</b>	30	8h	17.280	0.576
<b>Prancha</b>	20	30min	0.330	0.011
<b>Carregador</b>	30	1h	0.150	0.005
<b>Modem</b>	30	24h	3.600	0.120
<b>Total</b>				<b>3.182</b>

Fonte: *Próprio autor.*

Para o cálculo do consumo médio da iluminação da residência modelo, tem-se a seguinte Quadro 3.5 também utilizando os dados da Procel:

Quadro 3.5 - Consumo Médio dos Pontos de Iluminação da Nova Residência.

	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Nominal (W)</b>	<b>Horas de Uso/Dia</b>	<b>Consumo Diário (kWh)</b>
<b>Banheiro</b>	1 ponto	10	2	0.20
<b>Varanda</b>	1 ponto	10	6	0.60

<b>Sala</b>	2 pontos 100VA	10	3	0.60
<b>Quarto F</b>	1 ponto 100VA	10	1	0.10
<b>Quarto C</b>	1 ponto 100VA	10	1	0.10
<b>Cozinha</b>	1 ponto 100VA	10	3	0.30
<b>Lavanderia</b>	1 ponto 100VA	10	1	0.10
<b>Corredor</b>	1 ponto 100VA	10	1	0.10
<b>Total</b>				0.190

Fonte: *Próprio autor.*

Por fim, calculou-se o valor médio total consumido pela residência modelo somando-se o consumo médio das lâmpadas LED de 10W utilizadas na iluminação e do consumo médio das cargas estimadas desta residência. Logo, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{total} &= \text{Consumo}_{iluminação} + \text{Consumo}_{carga} = 0.190 + 3.182 \\ &= 3.372 \text{ kWh/dia} \end{aligned}$$

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo médio mensal de uma residência típica na região Nordeste é de 120,7kWh, como observa-se na Figura 3.11 abaixo.

Calculando-se o consumo médio diário baseado nos dados fornecidos pela EPE, tem-se que o consumo diário de uma residência típica vale  $\text{Consumo}_{Médio} = 4.023,4 \text{ kWh/dia}$ . Logo, observa-se que a estimativa realizada se encaixa nos padrões nacionais.

Figura 3.11 – Consumo Médio Residencial por Unidade Consumidora por Região.



Fonte: EPE (2016).

### 3.5 Dimensionamento das baterias

Sabe-se que o projeto desenvolvido não é conectado à rede, ou seja, toda a demanda energética deverá ser suprida exclusivamente pelos painéis fotovoltaicos e baterias.

Considera-se, então, o valor de consumo médio  $Consumo_{Médio} = 3.372$  kWh/dia. Assim como no projeto original, utiliza-se baterias de chumbo-ácido que possuem descargas profundas, ou seja, podem ser descarregadas entre 20% a 80% de sua carga e serem recarregadas sem redução de sua vida útil. Logo, estima-se que estas baterias terão uma descarga de 40% por dia. Logo, calcula-se a energia nominal mínima da bateria.

$$E_{bateria} = \frac{3.372}{0,4} = 8.430 kWh$$

Utiliza-se baterias de 12V por serem comumente encontradas no mercado. Logo, as baterias devem possuir a seguinte quantidade de Ah (Amperes hora) ao dia:

$$C_{bateria} = \frac{8430}{12} = 702,5 Ah/dia$$

Para um banco de baterias de 145Ah de capacidade, tem-se o seguinte número de baterias necessárias:

$$\text{Numero de Baterias} = \frac{702,5}{145} = 4,8448 \cong 5 \text{ baterias}$$

Serão necessárias então 5 baterias. Contudo, para garantir-se a não interrupção do fornecimento de energia para dois dias sem sol e uma maior confiabilidade do sistema, dobra-se o número de baterias. Logo:

$$\text{Numero de Baterias} = 5 \times 2 = 10 \text{ baterias}$$

Considera-se, então, a instalação de 10 baterias em ligação série para suprir a energia demandada pela casa.

### 3.6 Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Como informou-se anteriormente, este projeto visa adaptar este projeto a uma cidade do interior da Paraíba. A cidade escolhida foi então foi Puxinanã – Paraíba, encontrada nas coordenadas 7.1468°S, 35.9624° W, por ser próxima da cidade de Campina Grande e possuir residências em que a rede ainda não chega.

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos é necessário saber insolação média diária neste município. Foi-se utilizado então a ferramenta SunDada, fornecida no site da Cresesb, que possibilita os usuários analisarem o potencial solar da região escolhida. Infelizmente, o site da Cresesb não possui os dados de algumas cidades interioranas e o mesmo ocorre com a localidade escolhida para aplicação do projeto.

Então realizou-se uma média das insolações médias nas 3 cidades mais próximas que possuem dados no site da Cresesb, sendo estas Campina Grande (PB), Surubim (PE) e Nazaré da Mata (PE). Como a residência provavelmente será utilizada em todos os meses do ano, será utilizada a menor insolação encontrada na tabela, referente ao período de inverno (momento crítico para a geração de energia solar). Tem-se então a seguinte Figura 12.

Para a radiação média, tem-se o seguinte cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Radiação}_{\text{média}} &= \frac{R_{\text{Campina Grande}} + R_{\text{Surubim}} + R_{\text{Nazaré da Mata}}}{3} = \frac{3.83 + 4.17 + 4.00}{3} \\ &= 4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \end{aligned}$$

Deve-se deixar claro que o Atlas Solar Brasileiro não é atualizado desde 2006 e que os dados deste atlas são utilizados pelo SunData. Por isso, a medição da Irradiação Solar no local da implantação do projeto sempre se fará indispensável para um dimensionamento mais preciso.

Baseado nos cálculos acima, tem-se que a radiação achada equivale a 4 horas de sol pleno por dia no período mais crítico. Utiliza-se então o consumo por dia estimado e os valores de radiação média solar para se calcular a potência necessárias do conjunto de placas.

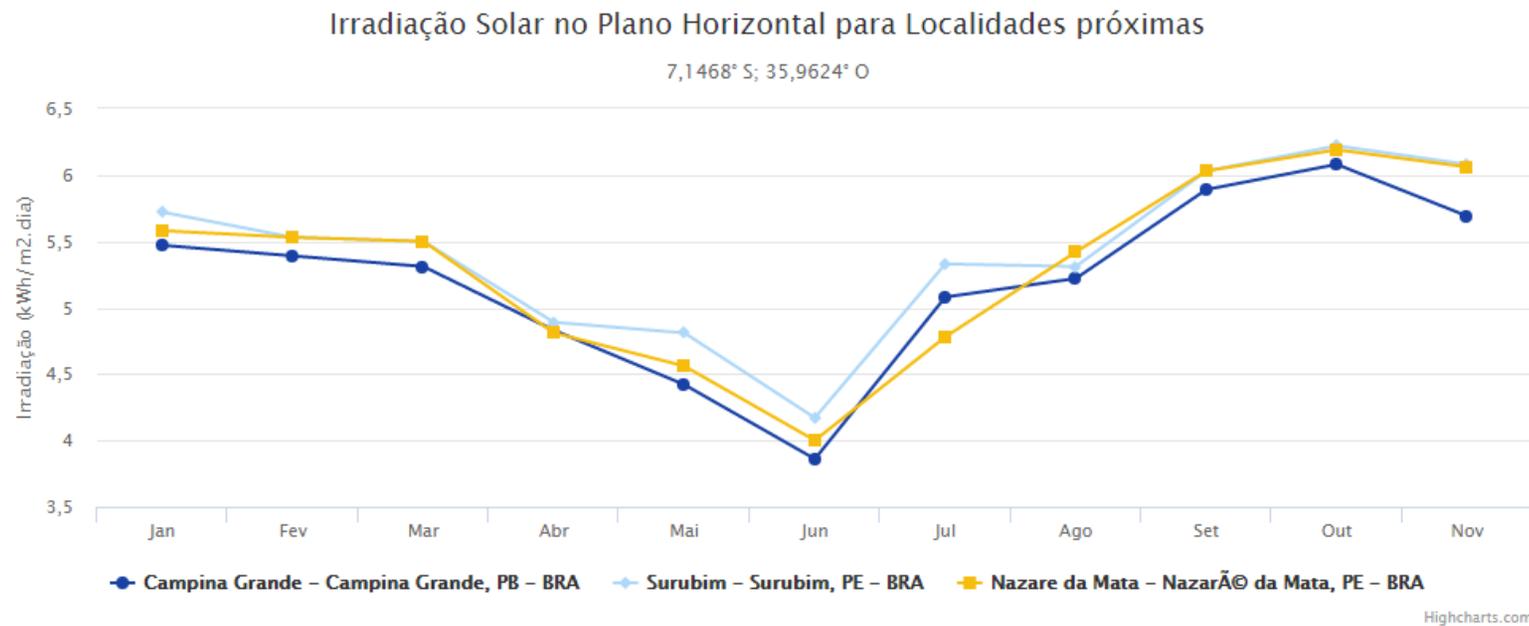
Logo:

Figura 3.12 – Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades Próximas de Puxinanã.

## Localidades próximas

Latitude: 7,1468° S  
 Longitude: 35,9624° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Campina Grande	Campina Grande	PB	BRA	7,2° S	35,895555° O	9,5	5,47	5,39	5,31	4,83	4,42	3,86	<b>3,83</b>	5,08	5,22	5,89	<b>6,08</b>	5,69	5,09	2,25
<input checked="" type="checkbox"/>	Surubim	Surubim	PE	BRA	7,8° S	35,757222° O	76,2	5,72	5,53	5,50	4,89	4,81	<b>4,17</b>	4,33	5,33	5,31	6,03	<b>6,22</b>	6,08	5,33	2,05
<input checked="" type="checkbox"/>	Nazare da Mata	Nazarã da Mata	PE	BRA	7,7° S	35,227777° O	101,8	5,58	5,53	5,50	4,81	4,56	<b>4,00</b>	4,33	4,78	5,42	6,03	<b>6,19</b>	6,06	5,23	2,19



Fonte: SunData.

$$Potência_{crítica} = \frac{Consumo_{total}}{Radiação_{média}} = \frac{3372}{4} = 843W$$

Deve-se levar em consideração as perdas totais do sistema, de forma a torna-lo o mais próximo possível da realidade. Considera-se, então, as perdas nos cabos em 6%, perdas de conversão de energia na bateria 10% e 10% de perdas por desajuste. Logo, tem-se:

$$Potência_{necessária} = \frac{843}{(1 - 0.06). (1 - 0.10). (1 - 0.10)} = 1107,2W$$

Escolheu-se uma placa do fabricante Canadian modelo CS6P265P, com potência de pico de 265 Wp. Pode-se observar os dados de placa na Quadro 3.6 abaixo.

Quadro 3.6 – Especificações do Painel Solar Canadian CS6P 265P.

Dados Elétricos	
Parâmetros	Valores
Potência de pico ( $P_{máx}$ )	265 Wp
Tensão de pico ( $V_{mp}$ )	30,6 V
Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ )	37,7 V
Corrente de pico ( $I_{mp}$ )	8,66 A
Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ )	9,23 A
Eficiência ( $\eta$ )	16,47 %
Tensão máxima do sistema	1000 V <sub>dc</sub>
Características Térmicas	
Temperatura Nominal da Célula	45 ± 2 °C
Coefficiente de Temperatura ( $P_{máx}$ )	-0,41 % / °C
Coefficiente de Temperatura ( $V_{oc}$ )	-0,31 % / °C
Coefficiente de Temperatura ( $I_{sc}$ )	0,053 % / °C
Faixa de Temperatura em funcionamento	-40 °C – 85 °C
Dados Técnicos	
Tipo de Células	Silício Policristalino
Arranjo das Células	60(6 x 10)
Dimensões	1638 x 982 x 40 mm
Peso	18 kg
Proteção Frontal	Vidro Temperado
Caixa de Junção	IP67, 3 diodos
Cabo de ligação (comprimento/secção)	1000mm/4 mm <sup>2</sup>

Fonte: *Datasheet do Painel.*

Para calcular, por fim, o número de placas necessárias, divide-se a potência necessária após as perdas pelo valor da potência de pico do modelo de painel fotovoltaico escolhido. Logo:

$$\text{Numero de placas} = \frac{\text{Potência}_{\text{necessária}}}{P_{\text{max}}} = 4,178 \cong 5 \text{ placas}$$

Logo, cinco placas serão suficientes para suprir a demanda estimada do projeto. Estas placas irão produzir no total 1325 Wp, de forma a atender todas as necessidades do consumo estimado.

### 3.7 Dimensionamento do Inversor

Para este projeto, escolheu-se um micro inversor modelo SUN 1000G do fabricante SUNSHINE que atende às normas e exigências da concessionária de energia do estado da Paraíba, a Energisa. Suas principais especificações encontram-se no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Especificações do Micro Inversor SUNSHINE SUN-1000G.

<b>Dados Técnicos</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Potência Nominal de saída AC	900 W
Potência Máxima de saída AC	1000 W
Tensão de saída AC	190 V - 260 V
Frequência de saída AC	46 Hz – 65 Hz
Fator de Potência	0,99
Tensão de Entrada DC	22 V – 60 V
Eficiência do inversor no pico	92%
Função MPPT	Sim
Proteção contra sobrecorrente	Sim
Proteção contra super aquecimento	Sim
Proteção contra ligação de polaridade inversa	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim

Fonte: *Manual do Micro Inversor*.

Calcula-se então o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) para checar caso este inversor é aplicável ao projeto. Para isto, divide-se a potência nominal em corrente alternada do inversor (W) pela potência de pico gerada pelo conjunto de painéis fotovoltaicos (W). Logo:

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} = \frac{1000}{1325} = 0,75$$

Observa-se que o valor está muito próximo do recomendado ( $0,75 < FDI < 1,05$ ). Estipula-se, então a utilização de dois inversores, sendo um do modelo SUN 1000G conectado a quatro placas fotovoltaicas e o outro do modelo Sun 250G conectado a placa restante. Logo:

$$FDI_1 = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} = \frac{1000}{1060} = 0,94$$

$$FDI_2 = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} = \frac{500}{256} = 0,94$$

Onde,  $P_{Nca}$  é a potência máxima na saída do inversor e  $P_{FV}$  é a potência total de painéis instalado neste inversor. Observa-se ainda que o valor de ambos os FDI encontrados estão dentro da faixa recomendada ( $0,75 < FDI < 1,05$ ).

Deve-se ainda calcular o número possível de painéis que podem ser conectados em paralelo em cada inversor. Como pode ser observada no Quadro 3.7, a corrente máxima de curto circuito admitida na entrada do inversor é 45,45A e a corrente de curto circuito no módulo fotovoltaico nas condições padrão de ensaio é de 9,23 A, tem-se:

$$n^\circ \text{ de séries FV em paralelo} = \frac{I_{imax}}{I_{sc}} = \frac{45,45}{9,23} = 4,92 \text{ paineis}$$

Observa-se então que cada inversor só pode conectar 4,92 painéis e não 5 como necessário. Mas como o projeto prevê a utilização dois inversores, este problema já é sanado. A conexão destes deve ser feita como indicado no manual e pode ser observada na próxima secção.

As cinco placas conectadas em paralelo e o sistema projetado terão uma potência total igual 1325 Wp, tensão de pico de 30,6V, corrente de pico de 43,3A, tensão de circuito aberto 37,7V e corrente de curto circuito igual a 46,15A.

### 3.8 Dimensionamento das Proteções

Para fornecer um projeto seguro e afim de evitar danos permanentes nos equipamentos do sistema, evitando possíveis trocas e despesas desnecessárias, dimensionou-se proteções para o sistema tanto do lado de tensão contínua (DC) como para o lado de tensão alternada (AC).

Para o lado contínuo (DC), ou seja, próximo aos painéis e antes dos inversores, dimensionou-se um disjuntor de 40A, de forma a assegurar que a corrente que entrará no inversor não irá ultrapassar a corrente máxima deste (que como já foi citado, foi limitada a 45,45A). Ainda foi dimensionado o dispositivo de proteção contra surtos, de forma a proteger tanto os equipamentos quanto a instalação contra surtos, sobretensões ou transientes, sejam estes diretos ou indiretos.

Enquanto isso, para o lado de corrente alternada, que se encontra após os inversores, dimensionou-se um disjuntor de 6A.

### 3.9 Configuração do Sistema

Encontra-se na Figura 3.13 abaixo um esquema de como deverá ser interligado os painéis aos inversores.

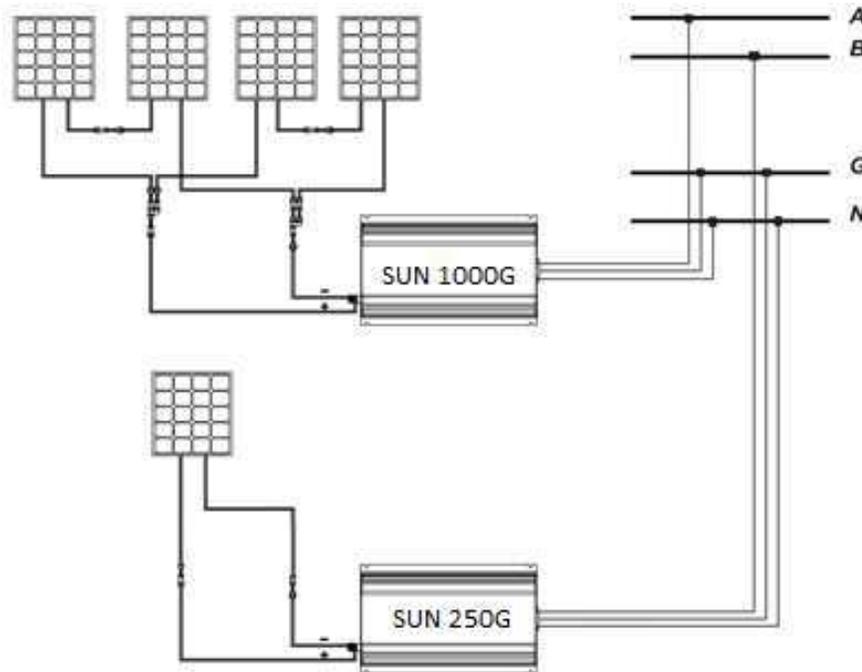
### 3.10 Possível Conexão com a Rede

Segundo o Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia, Altino Ventura Filho, o suprimento de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional está assegurado no triênio 2015/2017, devido à expansão na capacidade energética instalada de 7,7 GW para 9,6 GW para os próximos dois anos em usinas que estão em fase final de construção, sendo superior o crescimento da carga. Com isto, acredita-se que o sistema de distribuição também irá expandir, permitindo que a rede chegue em novos municípios e áreas rurais.

Tornar o sistema desenvolvido em um sistema fotovoltaico conectado à rede, é possível reduzir os custos de manutenção posterior a instalação. O custo unitário de cada

bateria de chumbo-ácido de baterias de 145 Ah, utilizados neste trabalho, é bem elevado e requer trocas, pois possui vida útil reduzida.

Figura 3.13 – Configuração do Sistema Instalado,



Fonte: *Manual do Micro Inversor (modificado pelo autor)*.

Quando a residência puder ser conectada ao Sistema Interligado, será utilizado um medidor bidirecional em que a energia gerada, em vez de armazenada em baterias, é injetada na rede elétrica, onde é gerado um crédito com a concessionária, podendo utilizar esta energia gerada posteriormente (no caso, será utilizada no período noturno, onde não há luz solar para gerar energia).

Tornar este sistema fotovoltaico em um conectado à rede é uma boa solução também pois adiciona confiabilidade ao sistema, garantindo a não interrupção do fornecimento de energia, algo necessário quando se utiliza eletrodomésticos com tamanha demanda de potência.

### 3.11 Construção Eco-Eficiente

Uma casa eco-eficiente deve cumprir os parâmetros mínimos de conforto ambiental e eficiência energética, logo, todo processo de concepção do projeto e seleção de materiais de construção deve ser sustentável.

Por isso, deve-se considerar aspectos de arquitetura solar passiva, como insolação direta de ambientes com o Sol da manhã nos cômodos, a circulação de ventos para refrescar os ambientes e aspectos de conforto físico.

Tem-se que o conforto ambiental de uma casa é medido a partir de aspectos como temperatura agradável, ventilação natural predominante, radiação solar e iluminância adequada para cada ambiente. Logo, procura-se sempre utilizar luz natural.

Por isso, os materiais a serem utilizados na construção devem ser escolhidos considerando não só o custo, mas também as características como desempenho térmico, acústico, de resistência, bem como funcionalidade, qualidade e disponibilidade no comércio.

Figura 3.14 – Perspectiva do Modelo Proposto para Unidade Habitacional Rural.



Fonte: Mota et al.

A seleção dos materiais para as esquadrias, vedações e cobertura foi realizada fundamentalmente com base nas características de desempenho térmico. As esquadrias, por exemplo, devem ser selecionadas considerando a menor condutividade térmica do material adotado. Por isso, o material selecionado foi madeira, por possuir condutividade termica de

0,15W/m.K (quase dez vezes menor que a condutividade do vidro, material normalmente utilizado para esta função).

Quanto a vedação das paredes se adotou o tijolo cerâmico de seis furos circulares, com medidas de 10x15x20cm, assentados na menor dimensão, revestidas com argamassa de cimento e areia. A espessura total da parede será de 15 cm e serão pintadas de branco tanto na parte interna quanto externa da casa, para aumentar o desempenho térmico e de iluminância.

Para a cobertura escolheu-se telha cerâmica colonial por sua capacidade de refletância da radiação solar, o que garante melhor condicionamento térmico no interior da residência. Esta cobertura também é ideal para a fixação dos módulos fotovoltaicos, pois não transmite calor para estes. A perspectiva do modelo a ser instalado pode ser visto na Figura 3.26 e as vistas laterais, vista superior e planta da casa podem ser vistas no Anexo B, C, D E, respectivamente.

## 4 Conclusão

Ao final deste trabalho concluiu-se que é possível prover a alimentação de uma residência típica utilizando os módulos fotovoltaicos atuais de forma eficiente. Mesmo ainda sendo uma tecnologia muito cara, infelizmente, esta é a única opção para algumas unidades rurais mais afastadas. Também foi possível refletir e estudar a teoria sobre energia solar fotovoltaica, sistemas conectados à rede e microgeração distribuída.

Observou-se que o custo total da implantação do projeto dos módulos fotovoltaicos é bem elevado, como pode ser visto no Anexo A. Isto ocorre principalmente devido ao custo das placas fotovoltaicas que utilizam células de silício policristalino que, por mais que possuam custo inferior em relação as placas de silício monocristalinos, ainda possuem custos elevados devido às taxas e custos de importação.

É importante salientar ainda que as placas selecionadas para este projeto utilizam silício policristalino, mesmo esta tecnologia possuindo uma eficiência um pouco reduzida em altas temperaturas se comparado ao silício monocristalino. Contudo, nas placas comercializadas atualmente, esta diferença é bem pequena e pode ser desconsiderada. Vale salientar ainda que placas com silício policristalino possuem custo reduzido devido ao método de tratamento do silício para obter esta estrutura, o que torna a aplicação desta tecnologia interessante para este projeto (já que se faz necessárias muitas placas para a energia demandada).

Outro custo elevado encontrado no desenvolvimento seria o armazenamento da energia gerada durante o dia em baterias, mas este custo pode ser sanado posteriormente ao tornar o sistema fotovoltaico desenvolvido em um sistema conectado à rede.

Uma possibilidade para aprimorar o sistema é a implantação de painéis fotovoltaicos otimizado com um sistema de guia automático que direciona as placas para o ponto ótimo de geração, permitindo um aumento de 10% na energia elétrica gerada. Contudo, os módulos dimensionados neste projeto serão instalados no telhado da residência em questão, o que torna mais difícil a aplicação desta tecnologia.

Sabe-se que o custo da energia solar no Brasil é em média 40% mais elevada que as demais fontes de energia em uso no país. Isso ocorre principalmente devido à falta de pesquisa e desenvolvimento na área de energia solar no país, além das altas taxas de imposto tanto para importação de uma tecnologia estrangeira quanto para a produção nacional (a CELIC, por exemplo). Faz-se necessário, então, um maior incentivo do governo na utilização destes módulos, pois o país tem apenas a ganhar com uma maior diversificação da matriz energética.

## Referências Bibliográficas

ARAÚJO, P. G. S. (2016). **Viabilidade da Geração Solar de uma Residência Típica**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

CÂMARA, C. F. (2011). **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica**. Disponível em <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2017 as 11:15.

CARVALHO, P. S. *et. al.* (2014). **A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira?** São Paulo: BNDS

CEMIG. **Tabelas ND-51: Potência Médias de Aparelhos Eletrodomésticos**. Disponível em <[http://www.ufjf.br/ivo\\_junior/files/2010/12/1%C2%AA-Tabelas-ND51.pdf](http://www.ufjf.br/ivo_junior/files/2010/12/1%C2%AA-Tabelas-ND51.pdf)>. Acessado em 28 de março de 2017 as 12:59.

CIVISOLAR. **SMA Sunny Tripower**. Disponível em: <<https://www.civicsolar.com/product/sma-sunny-tripower-15kw-tl-1000-vdc-480-277-vac-wye-transformerless-inverter-w-sw-dm-us-10-st>>. Acessado em 20 de março de 2017 as 23:50.

CRESESB-CEPEL. (s.d.). **Energia solar - princípios e aplicações**. CRESESB. Disponível em <[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)>

ENERGISA (2017). **Taxas, prazos e normas: tipos de tarifa**. Nota técnica, Energisa, Paraíba. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso 2 de março de 2017.

EPE. (2016). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Nota técnica, EPE, Rio de Janeiro. Disponível em <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>

FIGUEIREDO, C, *et. al.* (2016). **Energia Solar: Ativa e Passiva**. Disponível em: <[http://www.academia.edu/28572847/ENERGIA\\_SOLAR\\_ATIVA\\_E\\_PASSIVA](http://www.academia.edu/28572847/ENERGIA_SOLAR_ATIVA_E_PASSIVA)>. Acessado em 31 de março de 2017 as 14:25.

GHENSEV, A. (2006). **Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas**. Dissertação, Universidade Federal de Lavras.

LUQUE, A., & HEGEDUS, S. (2011). **Handbook of photovoltaic Science and engineering**. (2º edição). Wiley.

MENDONÇA, Y. M. (2016). **Eficiência Fotovoltaica: um Estudo da Evolução**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

MONTEIRO, M. C. (2016). **Células Fotovoltaicas de Silício Cristalino: Tecnologias e Processos de Fabricação**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

OLIVEIRA, T.S. (2008). **Refino de silício por solidificação direcional**. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, L. M. N. (2008). **Produção e Caracterização de Silício Policristalino e Sua Aplicação a TFTs**. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

PINHO, J. T., & GALDINHO, M. A. (2014). **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. (CEPELCRESESB, Ed.) Rio de Janeiro.

**Potencial Solar – SunData**. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 02 de março de 2017.

RESNICK, R; EISBERG, R. **Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979. ISBN 85-7001-309-4

RUTHER, R. (2004). **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis – SC. 1º edição. Editora UFSC.

SANTOS, P. D. F. L. **Arquitetura Solar em Cabo Verde**. Monografia (Licenciatura em Arquitetura) – Universidade Jean Piaget de Cabo Verde – 2014.

SERODIO, L.M. (2009). **Estado da arte da obtenção de silício grau solar**. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

STA ELETRÔNICA. **Vantagens e Limitações das Baterias Chumbo Ácido**. Disponível em <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-chumbo-acido>>. Acessado 8 de março de 2017 as 12:40.

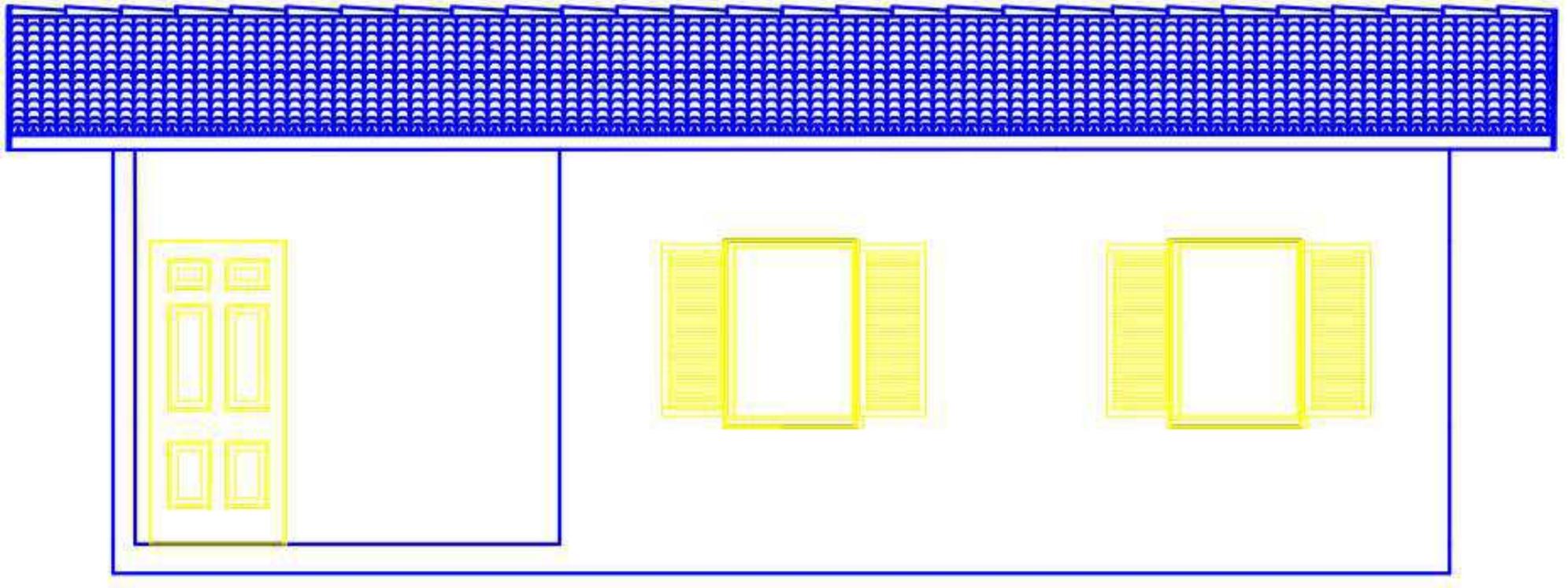
TIRADENTES, A. A. R. (2007). **Uso da Energia Solar para Geração de Eletricidade e para Aquecimento de Água**. Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG.

TUDOR (2015). **Catalogo Técnico 2015 – 2016. Baterias Tudor**. Catalogo técnico. Disponível em <[http://tudor.com.br/assets/upload/layout\\_catalogo\\_tudor\\_tracionarias.pdf](http://tudor.com.br/assets/upload/layout_catalogo_tudor_tracionarias.pdf)>. Acessado em 12 de março de 2017 as 23:25.

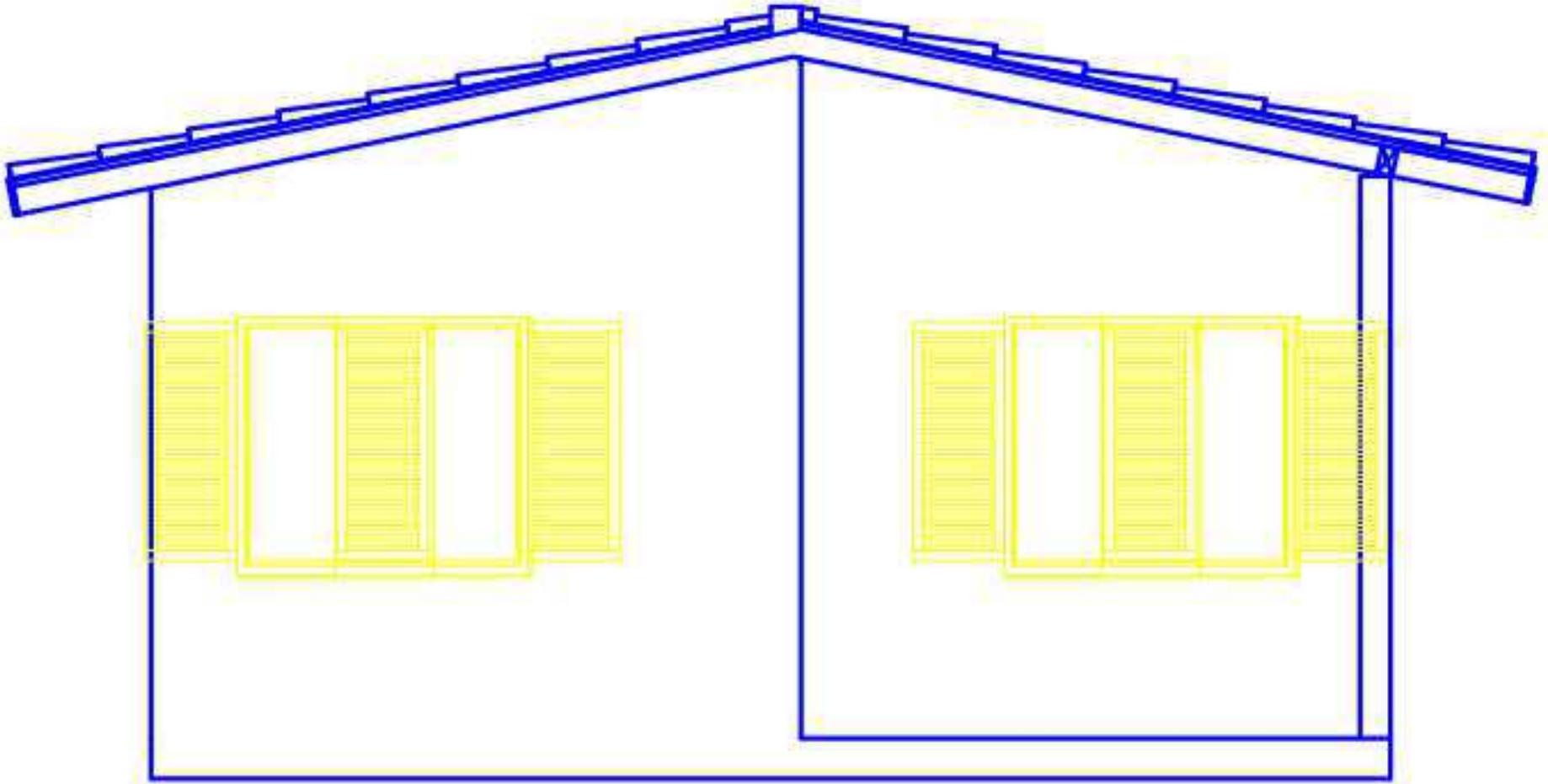
## Anexo A – Orçamento do Projeto de Geração Solar

Item	Descrição	Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
1	Painel Solar Fotovoltaico Policristalino, 265 Wp. Modelo: CS6P-265P. Fabricante: Canadian	5	PC	749,00	3.745,00
2	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750 V – 70°C. Cor: Vermelho. Fabricante: Atox Afumex	4	M	2,55	10,20
3	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750 V – 70°C. Cor: Preto. Fabricante: Atox Afumex	4	M	2,55	10,20
4	Cabo de Cobre 2,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750 V – 70°C. Cor: Preto. Fabricante: Atox Afumex	6	M	1,33	7,98
5	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750 V – 70°C. Cor: Azul. Fabricante: Atox Afumex	6	M	2,55	15,30
6	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750 V – 70°C. Cor: Verde. Fabricante: Atox Afumex	6	M	2,55	15,30
7	Caixa de passagem em PVC. Dimensões 20x20 cm. Fabricante: Tigre.	1	PC	31,50	31,50
8	Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS) fotovoltaico – Modelo: PRD-DC40rb 600PV. Fabricante: Schneider	1	PC	549,00	549,00
9	Disjuntor CC – 40A – Série: C60PV-DC. Fabricante: Schneider	1	PC	350,00	350,00
10	Disjuntor Termomagnético Monopolar DIN 6 A, 250 V. Fabricante: Schneider.	1	PC	24,70	24,70
11	Tomada Universal 2P+T – 10 A/250 V	1	PC	5,00	5,00
12	Micro Inversor Sunshine – Modelo: SUN – 1000G	1	PC	1000,00	1.000,00
13	Micro Inversor Sunshine – Modelo: SUN – 250G	1	PC	900,00	900,00
13	Conector Tipo Olhal – 4mm <sup>2</sup>	3	PC	0,75	2,25
14	Placa de Advertência – Dimensões: 25x18 cm – Padrão Especificado pela Energisa	1	PC	50,00	50,00
<b>Total do material (R\$)</b>					6.716,43
<b>Mão de Obra Estimada (R\$)</b>					1.000
<b>Total (R\$)</b>					7.716,43

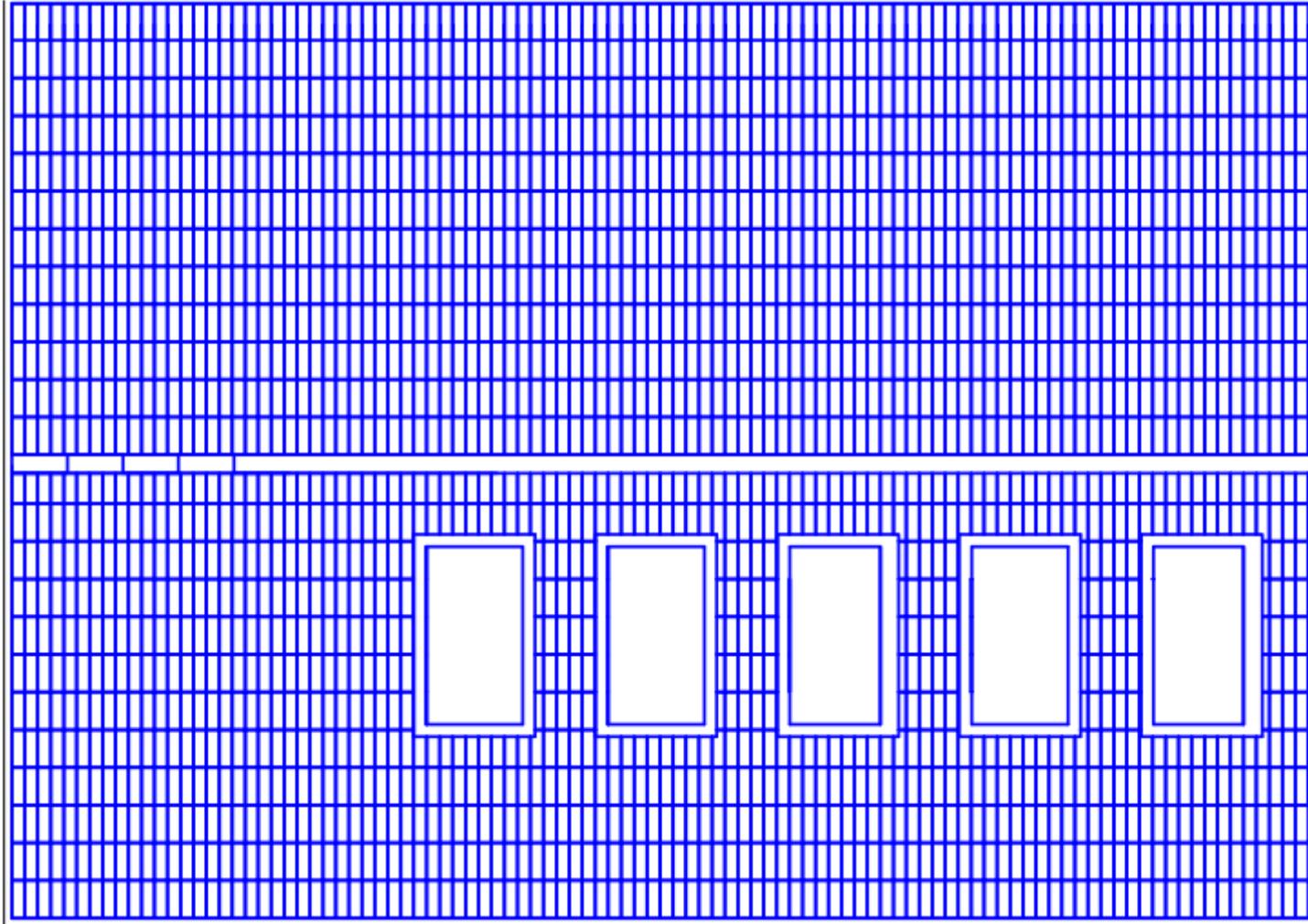
# Anexo B – Vista Lateral 1



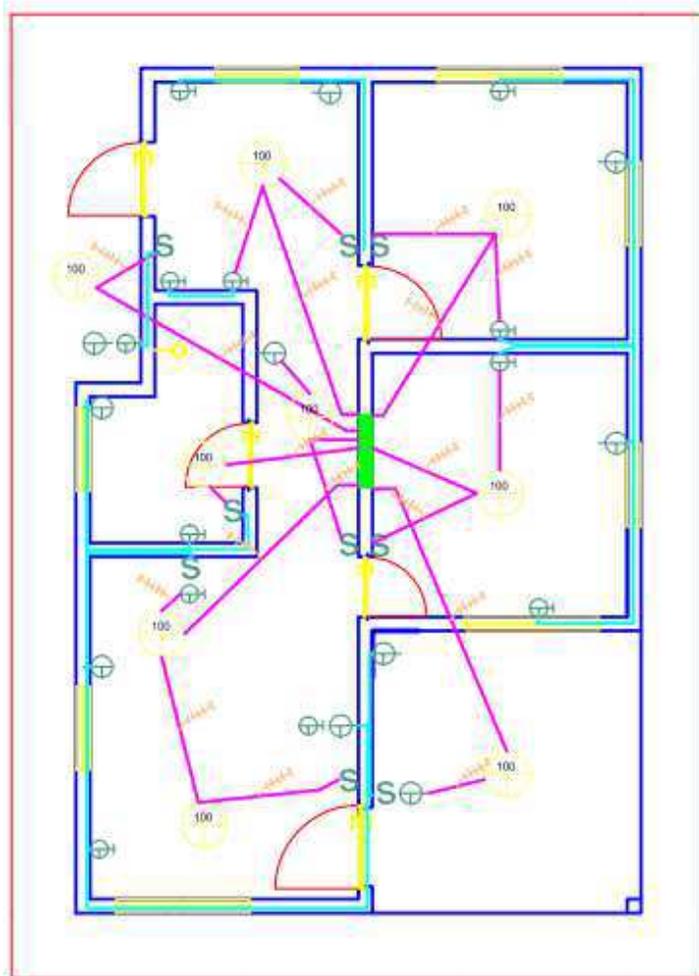
# Anexo C – Vista Lateral 2



# Anexo D – Vista Superior



## Anexo E – Planta da Casa



### SIMBOLOGIA

-  - Ponto de luz no teto
-  - Interruptor simples
-  - Tomada baixa monofásica com terra
-  - Tomada média monofásica com terra
-  - Eletroduto embutido na laje
-  - Eletroduto embutido na parede
-  - Quadro de Distribuição