



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

PALLOMA GRAZIELY SANTOS ARAÚJO



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
VIABILIDADE DA GERAÇÃO SOLAR DE UMA RESIDÊNCIA TÍPICA



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
Outubro de 2016

PALLOMA GRAZIELY SANTOS ARAÚJO

VIABILIDADE DA GERAÇÃO SOLAR DE UMA RESIDÊNCIA TÍPICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação 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 de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M.Sc.

Campina Grande

Outubro de 2016

PALLOMA GRAZIELY SANTOS ARAUJO

VIABILIDADE DA GERAÇÃO SOLAR DE UMA RESIDÊNCIA TÍPICA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Graduação 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 de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Ubirajara Rocha Meira, M.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, Eliane e Reginaldo, por todo o apoio e amor que me deram até hoje.

# AGRADECIMENTOS

Minha eterna gratidão a Deus, minha fortaleza, por ter me dado paciência e força para chegar até aqui.

Aos meus pais, Eliane e Reginaldo, por toda dedicação e esforços infinitos para me tornarem espelho de seus princípios e valores, por todo amor e apoio que me deram até hoje.

À minha segunda mãe Ana Cláudia e a minha irmã de coração Ellen, pelo carinho e pela força que sempre pude contar

Aos meus familiares, pelo incentivo e carinho que sempre me dedicaram.

As minhas amigas, Larissa, Hannah e Raísa, que tive o prazer de conhecer durante o curso, por sempre estarem ao meu lado, nos momentos mais importantes, mais felizes e mais difíceis.

Agradeço a todos os meus amigos que sempre estiveram torcendo pelas minhas vitórias, em especial, Junior, Neto e Juliana.

Ao professor Leimar, pelos ensinamentos não só acadêmicos como também humanos, pela orientação, apoio e empenho dedicados a este trabalho.

Ao professor Ubirajara pela disponibilidade em avaliar este trabalho e por todos os ensinamentos durante o curso.

Aos técnicos Adalberto e Antônio pela paciência e pela ajuda para a realização deste trabalho.

A todos os mestres, principalmente à minha professora Justina, que me alfabetizou, me dando toda a base necessária para chegar até aqui.

Por fim, agradeço aos funcionários, em especial, Adail e Tchaikovsky pela alegria e boa vontade, sempre dispostos a ajudar sobre os mais diversos assuntos.

*“A vida é a arte do encontro, embora haja tanto desencontro pela vida. É preciso encontrar as coisas certas da vida, para que ela tenha o sentido que se deseja. Assim, a escolha de uma profissão também é a arte de um encontro. Porque uma vida só adquire vida quando a gente empresta nossa vida para o resto da vida.”*

Vinícius de Moraes.

## RESUMO

Devido à necessidade de diversificação da matriz energética brasileira e a rápida expansão do setor elétrico, as fontes renováveis apresentam-se como soluções analisáveis. O sistema fotovoltaico, por exemplo, é capaz de gerar energia elétrica através de células fotovoltaicas, que são produzidas com materiais semicondutores capazes de transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica (efeito fotovoltaico) e são classificados em três categorias: sistemas isolados, sistemas híbridos ou sistemas conectados à rede. No Brasil essas tecnologias estão sendo exploradas, ainda de forma lenta em relação a outros países, como por exemplo, a Alemanha, mas já existem resoluções da ANEEL que normatizam a utilização da microgeração distribuída. O presente trabalho faz um estudo das formas de utilização do sistema fotovoltaico, dando ênfase ao sistema fotovoltaico conectado à rede com a elaboração de um projeto desse tipo de sistema para uma residência típica, e também faz uma análise de viabilidade econômica deste projeto, utilizando métodos de engenharia econômica.

**Palavras-chave:** Geração Solar, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Microgeração distribuída, Análise Econômica.



# ABSTRACT

Due to the need of diversification of the Brazilian energy matrix and the quick expansion of the electrical sector, the renewable resources are an option of solution. For instance, photovoltaic systems are capable of generating electrical energy using photovoltaic cells, which are produced with semiconductor materials that creates electrical energy upon exposure to the sun radiation (photovoltaic effect) and it's classified in three categories: grid-off systems, hybrid systems and grid-tied. In Brazil, these technologies are being slowly exploited compared to other countries like Germany, but there are ANEEL resolutions that standardize the use of distributed microgeneration. This paper studies the ways of use of a photovoltaic system, emphasizing the grid-tied system with an elaboration of a project for a typical residence and an economic viability analysis, using engineering economics techniques.

**Keywords:** Solar Power, Grid-tied Photovoltaic Systems, Distributed Microgeneration, Economic Analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura Básica de uma Célula Fotovoltaica. ....	18
Figura 2 – Modelo de célula fotovoltaica de silício monocristalino. ....	18
Figura 3 – Modelo de módulo fotovoltaico monocristalino. ....	19
Figura 4 – Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V.....	22
Figura 5 – Efeito causado pela variação de temperatura das células sobre a curva característica I-V.....	23
Figura 6 – Painéis conectados em Série. ....	24
Figura 7 – Painéis conectados em Paralelo. ....	25
Figura 8 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico. ....	25
Figura 9 – Diagrama de sistema fotovoltaico isolado em função da carga. ....	26
Figura 10 – Esquema básico de um SFCR. ....	27
Figura 11 – Trajetória do Sol.....	29
Figura 12 – Modelo simplificado para conexão de geradores por meio de inversores. .	32
Figura 13 – Modelo de placa de advertência. ....	33
Figura 14 – Símbolo Elétrico de um inversor.....	35
Figura 15 – Consumo Médio Mensal residencial por unidade consumidora. ....	43
Figura 16 – Esquema de ligação entre o Gerador e o Inversor.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos de proteção exigidos pela Energisa.....	33
Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal da cidade de Campina Grande.....	44
Tabela 3 – Especificações do painel solar Canadian CS6P 265P.....	45
Tabela 4 – Especificações do Micro Inversor SUNSHINE SUN-1000G. ....	46
Tabela 5 – Ajuste anual da tarifa em 5% e valores economizados.....	50
Tabela 6 – Cálculo do VPL. ....	51
Tabela 7 – Fluxo de Caixa Descontado. ....	52
Tabela 8 – Cálculo do VPL. ....	53
Tabela 9 – Fluxo de Caixa Descontado. ....	54
Tabela 10– Orçamento do projeto de geração solar .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	<i>Current Alternating</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
C.A.	Corrente Alternada
C.C.	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência de Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
DC	<i>Direct Current</i>
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
HSP	Horas de Sol Pleno
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LabSim	Laboratório de Simulação
LSP	Laboratório de Sistemas de Potência
MPPT	<i>Maximum Power Point Traking</i>
NBR	Norma Brasileira
NDU	Norma de Distribuição Unificada
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistema Fotovoltaico
SPPM	Seguidor de Ponto de Potência Máxima
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
VPL	Valor Presente Líquido

# LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampère
E	Consumo Diário Médio Anual
$E_g$	Energia produzida pelo sistema fotovoltaico
$FC_t$	Fluxo de Caixa no t-ésimo período
HSP	Horas de Sol Pleno
I	Investimento inicial
$I_{imax}$	Corrente máxima c.c. admitida na entrada no inversor
$I_{sc}$	Corrente de curto circuito nas condições padrão de ensaio
K	Custo de capital
M	Metro
N	Último período do investimento
$P_{fv}$	Potência de pico do painel fotovoltaico
$P_{Nca}$	Potência nominal em corrente alternada
T	Tarifa de energia cobrada pela concessionária
T	Período no tempo
TD	Taxa de Desempenho
V	Volt
$V_{economizado}$	Valor em reais economizado durante um ano
$V_{iSPPMmax}$	Máxima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor
$V_{iSPPMmin}$	Mínima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor
$V_{mpTmax}$	Tensão de potência máxima na maior temperatura de operação
$V_{mpTmin}$	Tensão de potência máxima na menor temperatura de operação
W	Watt
Wh	Watt-Hora

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	14
2	Revisão Bibliográfica .....	16
2.1	Arquitetura Solar.....	16
2.1.1	Arquitetura Solar Passiva .....	16
2.1.2	Arquitetura Solar Ativa .....	17
2.2	Energia Solar Fotovoltaica.....	17
2.2.1	Módulos Fotovoltaicos .....	20
2.2.1.1	Fatores que Afetam as Características Elétricas dos Módulos .....	21
2.2.2	Associação de Módulos Fotovoltaicos .....	23
2.2.2.1	Associação em Série .....	23
2.2.2.2	Associação em Paralelo .....	24
2.2.3	Sistemas Fotovoltaicos .....	25
2.2.3.1	Sistemas Isolados .....	25
2.2.3.2	Sistemas Híbridos .....	27
2.2.3.3	Sistemas Conectados à rede .....	27
2.2.4	Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede .....	28
2.2.4.1	Recurso Solar .....	28
2.2.4.2	Localização e Configuração do Sistema .....	29
2.2.4.3	Levantamento da Demanda e do Consumo de Energia Elétrica.....	30
2.2.4.4	Resolução Normativa Nº 482/2012 e 687/2015.....	30
2.2.4.5	Norma de Distribuição Unificada – NDU 013 .....	31
2.2.4.6	Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico .....	34
2.2.4.7	Dimensionamento do Inversor.....	35
2.2.4.8	Dimensionamento dos Cabos e Proteções .....	39
2.3	Análise de Viabilidade Econômica.....	39
2.3.1	Valor Presente Líquido (VPL) .....	40
2.3.2	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	41
2.3.3	<i>Payback</i> .....	41
3	Projeto de Geração Solar de uma Residência Típica .....	43
3.1	Avaliação do Recurso Solar.....	43
3.2	Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico .....	44
3.3	Dimensionamento do Inversor .....	46
3.4	Dimensionamento das Proteções .....	47

3.5	Configuração do sistema.....	47
4	Análise de Viabilidade Econômica.....	49
4.1	Análise com TMA igual ao Rendimento da Poupança.....	49
4.2	Análise com TMA igual à Taxa Selic.....	53
5	Conclusões.....	55
	Referências.....	56
	Anexo A – Certificado de Conformidade do Micro Inversor.....	58
	Anexo B – Planta de uma Residência Típica.....	59
	Apêndice A – Orçamento do Projeto de Geração Solar.....	62

# 1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis já é uma tendência verificável em diversos países, inclusive com a concessão de incentivos à geração distribuída, que é a geração elétrica realizada por consumidores independentes que utilizam fontes renováveis de energia ou com elevada eficiência energética, como a energia hidráulica, solar, eólica ou biomassa.

Os estímulos à geração distribuída se dão pelo fato da modalidade proporcionar potenciais benéficos ao sistema elétrico, como: postergação de investimentos em expansão nos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução do carregamento das redes, redução de perdas e diversificação da matriz energética, entre outros.

No Brasil esse tema ainda é um conceito novo, mas ao passar dos anos já está tendo um crescimento significativo, inclusive pelo fato do país precisar acompanhar as novas tecnologias já existentes no mundo.

Para este trabalho foi escolhida a energia solar como base de estudo, tendo como foco principal a geração solar fotovoltaica conectada à rede, realizando a elaboração de um projeto desse tipo para uma residência típica e fazendo uma análise de viabilidade econômica para este projeto.

Com o objetivo de sistematizar o tema a ser abordado, o trabalho foi organizado em cinco Capítulos.

O Capítulo 1 é introdutório, fazendo uma contextualização do trabalho, sua motivação, os objetivos e a estrutura do mesmo.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre arquitetura solar passiva e ativa, como formas de aproveitamento do sol no dia-a-dia, também destaca-se a energia fotovoltaica e suas categorias, em especial, o sistema fotovoltaico conectado à rede, incluindo a forma de elaboração de um projeto desse tipo e os métodos utilizados para a análise de viabilidade econômica de projetos.

No Capítulo 3 apresenta-se a elaboração de um projeto fotovoltaico conectado à rede, de uma residência típica, descrevendo todas as etapas necessárias como: a avaliação do recurso solar do local que será aplicado o sistema, o dimensionamento do



gerador fotovoltaico, o dimensionamento do inversor e das proteções, como também o esquema de ligação entre o gerador e o inversor.

No Capítulo 4 é apresentada a análise da viabilidade econômica do projeto elaborado no Capítulo 3, utilizando os métodos do valor presente líquido, da taxa interna de retorno e do *payback* descontado.

Por fim, encontram-se no Capítulo 5 algumas conclusões obtidas a partir da realização deste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ARQUITETURA SOLAR

O Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra e em busca da diversificação da matriz energética, as fontes renováveis apresentam-se como soluções analisáveis, sendo a energia solar uma das áreas de grande interesse.

Um dos principais estudos da energia proveniente do sol é a arquitetura solar, tendo como base o aproveitamento de técnicas solares passivas e ativas.

#### 2.1.1 ARQUITETURA SOLAR PASSIVA

A arquitetura solar passiva trata da captação, armazenamento e utilização da energia solar, através de ganhos solares diretos e indiretos. Lida ainda com o controle do ganho solar através da ventilação natural e sistemas de sombreamento tendo em conta a localização e o clima local. (SANTOS, 2014, p.19).

As aplicações das estratégias solares passivas em projetos arquitetônicos podem trazer diversos benefícios associados à minimização de todos os aspectos de consumo de energia (o edifício é concebido de tal maneira a reduzir ao mínimo a necessidade de controles mecânicos de luz e calor).

Projetos solares passivos não envolvem despesas acrescidas, pois não precisam de complicados dispositivos tecnológicos.

Os fatores a serem considerados em projetos solares passivos para proporcionar o conforto térmico e visual são: Iluminação natural, Umidade, Vento, Água, Vegetação, Temperatura, Massa Térmica, Inércia Térmica, Isolamento, Efeito Estufa, Proteção Solar, Localização, Forma e Orientação.

### 2.1.2 ARQUITETURA SOLAR ATIVA

A arquitetura solar ativa trata da produção de energia térmica e elétrica, através de painéis solares e outros dispositivos de recolha e transformação de energia solar. (SANTOS, 2014, p.20).

A energia solar térmica está relacionada ao aquecimento de líquidos ou gases pela absorção dos raios solares para aquecer estes materiais. Como aplicação desta tecnologia tem-se o aquecimento da água para uso em chuveiros, aquecimento de gases para secagem de grãos ou uso em turbinas.

A energia solar elétrica ou fotovoltaica é uma tecnologia que gera corrente elétrica (nível DC) a partir de semicondutores quando estes são iluminados por fótons. Enquanto há brilho de luz nas células solares (nome dado para o elemento individual do painel fotovoltaico), é gerado eletricidade. Quando a luz acaba, a produção é interrompida. As células solares não precisam ser recarregadas como uma bateria. (JÚNIOR, 2016, p. 33).

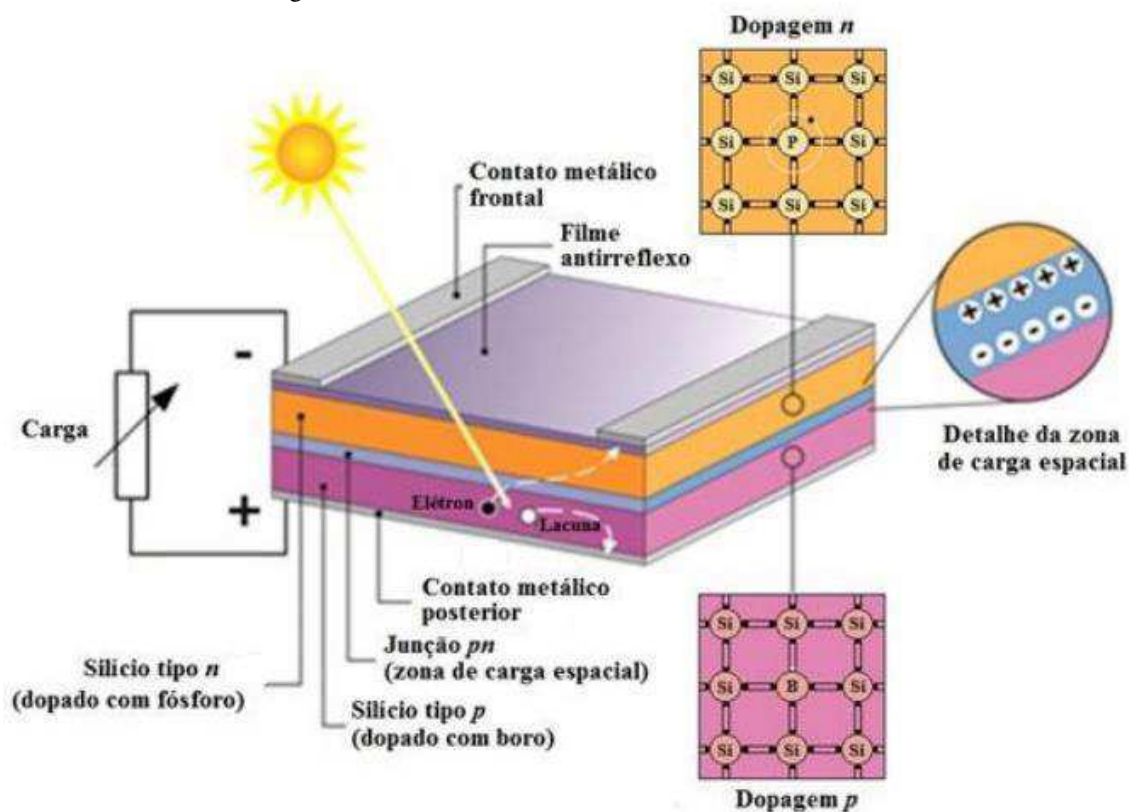
Os projetos solares ativos têm um custo inicial alto, e um período de retorno longo, o que dificulta a sua implementação. Mas espera-se que ao longo do tempo essa questão econômica seja amenizada através de incentivos governamentais e investimento em pesquisa.

## 2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os sistemas fotovoltaicos são capazes de realizar a conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico) através das chamadas células fotovoltaicas, que são produzidas com material semicondutor, sendo o silício o material mais difundido para este uso.

A Figura 1 apresenta a estrutura básica de uma célula fotovoltaica.

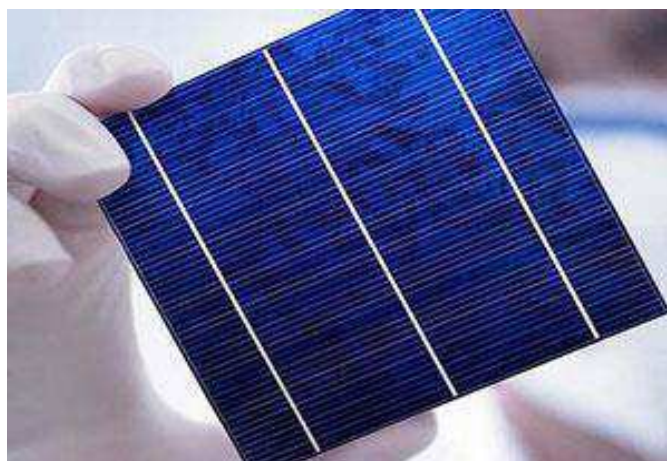
Figura 1 – Estrutura Básica de uma Célula Fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de (PINHO E GALDINO, 2014).

A Figura 2 apresenta uma célula fotovoltaica de silício monocristalino.

Figura 2 – Modelo de célula fotovoltaica de silício monocristalino.



Fonte: (PORTAL SOLAR).

O módulo fotovoltaico é constituído por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.

A Figura 3 apresenta o modelo de um módulo fotovoltaico.

Figura 3 – Modelo de módulo fotovoltaico monocristalino.



Fonte: (Portal Solar).

Um sistema fotovoltaico é formado por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento. O bloco gerador contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte dos módulos. O bloco de condicionamento de potência pode ter conversores c.c – c.c, seguidor de ponto de potência máxima (SPPM), do inglês *maximum power point tracking* (MPPT), inversores, controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Finalmente, o bloco de armazenamento é constituído por acumuladores elétricos (baterias) e/ou outras formas de armazenamento. (PINHO e GALDINO, 2014, p.144)

### 2.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). A segunda geração, comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). A terceira geração, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*). (PINHO e GALDINO, 2014, p.51)

A respeito dos tipos de painéis fotovoltaicos, tem-se as seguintes características:

- Silício Monocristalino (m-Si)

Historicamente é a tecnologia mais utilizada e também uma das mais caras, no entanto, possuem alta eficiência. Comercialmente, o desempenho dos módulos varia de 14 a 21%, têm a forma arredondada, o tamanho padrão das células podem ser de 10x10cm, 12,5x12,5cm ou 15x15cm e a cor é azul escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul acinzentado (sem antirreflexo), uniforme, indicando silício de alta pureza. (Portal Solar)

- Silício Policristalino (p-Si)

Os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais que é posteriormente seccionado para formar as células. Pelo fato deste processo ser mais simples, seu custo de produção é menor do que o de células monocristalinas, ocupando, contudo, uma área maior, elevando custos estruturais. Os módulos tem eficiência que varia de 13 a 16,5% , possuem forma quadrada, o tamanho padrão das células fotovoltaicas podem ser de 10x10cm, 12,5x12,5cm ou 15x15cm e a cor é azul (com antirreflexo) ou cinza prateado (sem antirreflexo). (Portal Solar)

- Silício Amoro (a-Si)

Não possui estrutura cristalina. É adicionado hidrogênio à composição combinando-se quimicamente de modo a reduzir os efeitos estruturais negativos. O processo é mais barato do que o do silício policristalino.

Com uma técnica de fabricação chamada “empilhamento”, resulta em taxas mais elevadas de eficiência (tipicamente cerca de 6 – 9%). (Portal Solar)

- Telureto de Cádmio (CdTe)

Esta tecnologia possui uma relação custo/benefício melhor do que as células de silício, podendo ser produzidas de forma rápida e barata.

Comercialmente, a eficiência dos módulos opera na faixa de 9 – 11%. (Portal Solar)

- Disseleneto de Cobre, Índio e Galio (CIS/CIGS)

Dentre as tecnologias de filme-fino, as células solares CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Possui um coeficiente de absorção elevado e absorve bastante luz solar, de modo que é necessária uma camada mais fina do que outros semicondutores.

Comercialmente, a eficiência dos módulos opera na faixa de 10 – 12%. (Portal Solar)

- Híbrido (HTJ)

É uma nova tecnologia conhecida por Heterojunção, o processo de fabricação é similar ao dos painéis solares monocristalinos, porém possuem uma passivação com camada de silício amorfo (a-Si). Ainda não está disponível no mercado. A eficiência dos painéis que utilizam esta tecnologia é de 20%, a cor é quase preto (com antirreflexo). (Portal Solar)

#### 2.2.1.1 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

A eficiência dos painéis solares é medida em condições normais de ensaio em laboratório, do inglês, STC (*Standard Testing Conditions*). (Portal Solar)

As condições padrão de teste são:

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

Utiliza-se uma curva característica I-V que fornece um conjunto de parâmetros como: corrente de curto-circuito,  $I_{sc}$ , tensão em circuito aberto,  $V_{oc}$ , potência máxima ou potência de pico,  $P_{MP}$ , os coeficientes de variação da corrente e tensão com a temperatura e a tensão e corrente no ponto de potência máxima,  $V_{MP}$  e  $I_{MP}$ .

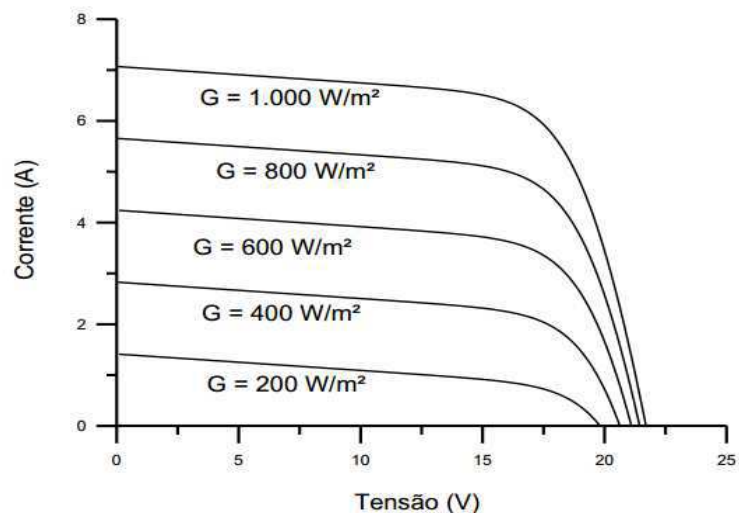
Estes parâmetros são influenciados pela irradiância solar e temperatura das células.

- Efeito da Irradiância Solar

O aumento da irradiância solar influencia diretamente no aumento da corrente elétrica gerada pelo módulo.

A Figura 4 apresenta o efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V para um módulo fotovoltaico de silício cristalino a 25°C e observa-se que a corrente de curto circuito apresenta um aumento linear em relação a diferentes níveis de irradiância.

Figura 4 – Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014).

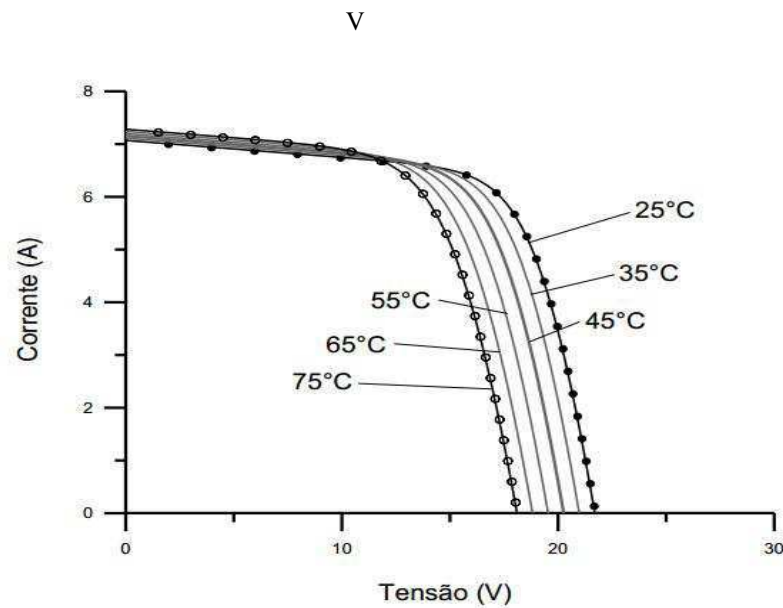


- Efeito da Temperatura

A temperatura também influencia na forma da curva característica de um dispositivo fotovoltaico. Com o aumento da temperatura há uma diminuição no valor da banda de energia do material e a tensão de saída dos módulos sofre variação.

O gráfico da Figura 5 apresenta o efeito causado pela variação de temperatura das células sobre a curva característica I-V para um módulo fotovoltaico de silício cristalino sob irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Figura 5 – Efeito causado pela variação de temperatura das células sobre a curva característica I-



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014).

## 2.2.2 ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos podem ser conectados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da tensão ou corrente desejadas. Após definir como serão feitas as associações dos módulos, é necessário saber como será a instalação e quais os componentes necessários, pois as tensões e correntes devem ser compatíveis com esses componentes. (PINHO e GALDINO, 2014, p.157)

### 2.2.2.1 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

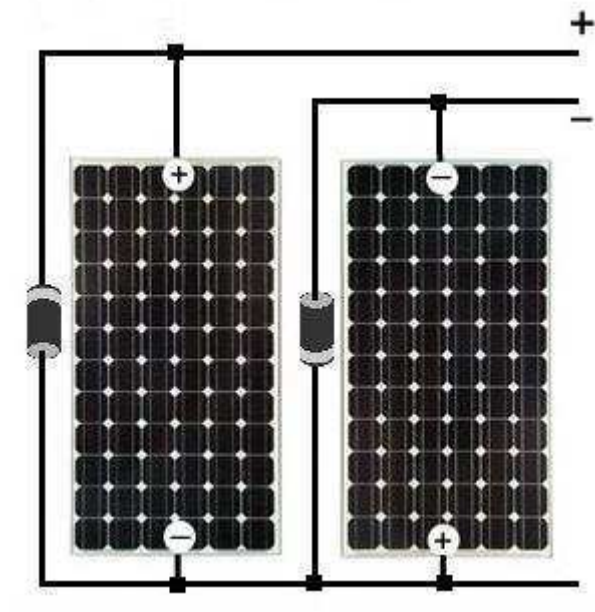
Nesta associação, o terminal positivo de um módulo é conectado ao terminal negativo de outro, e assim sucessivamente.

Para módulos idênticos e submetidos às mesmas condições de radiação e temperatura, quando conectados em série, como mostra a Figura 6, as tensões são somadas e a corrente não é afetada, isto é:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2)$$

Figura 6 – Painéis conectados em Série.



Fonte: (Mppt Solar).

#### 2.2.2.2 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

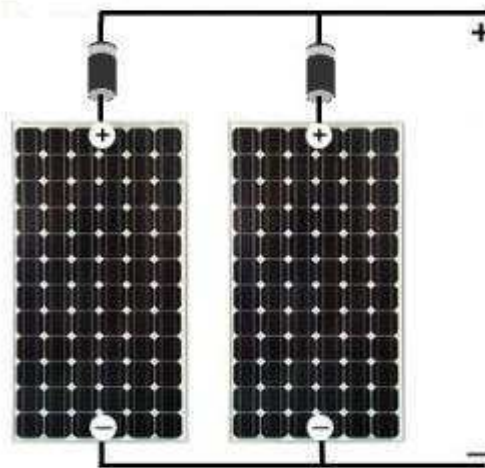
Nesta associação, os terminais positivos de todos os módulos são interligados entre si, e o mesmo acontece com os terminais negativos. Esta associação tem como resultado a soma das correntes e a tensão inalterada. Ou seja:

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3)$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4)$$

A Figura 7 apresenta esse tipo de associação em paralelo.

Figura 7 – Painéis conectados em Paralelo.



Fonte: (Mppt Solar).

### 2.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Os sistemas possuem uma configuração básica, como mostra o diagrama da Figura 8. (CRESESB, 2006)

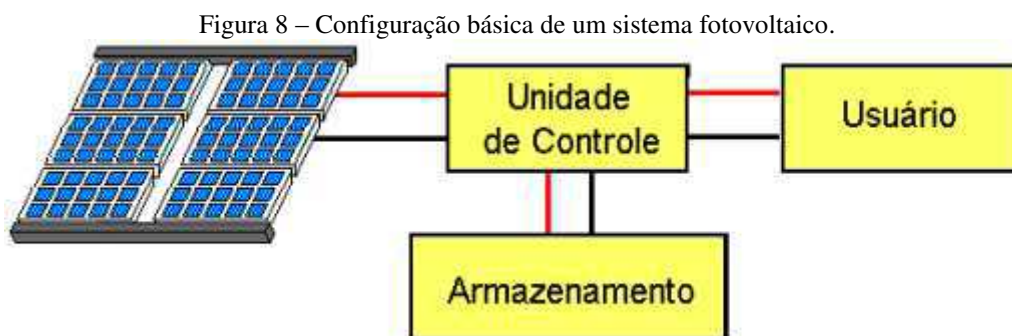


Figura 8 – Configuração básica de um sistema fotovoltaico.

Fonte: (CRESESB, 2006).

#### 2.2.3.1 SISTEMAS ISOLADOS

A principal característica dos sistemas isolados é não serem conectados à rede elétrica. Em geral, utiliza-se alguma forma de armazenamento.

Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou armazena-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques de abastecimento. Também existem sistemas isolados que não precisam de armazenamento, como por exemplo no caso da irrigação em que toda a

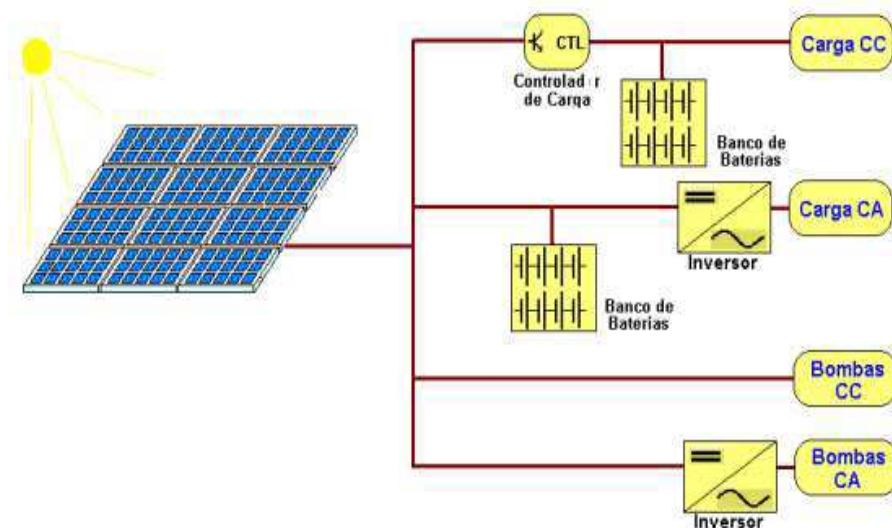
água bombeada é consumida diretamente ou estocadas em reservatórios. (CRESESB, 2006)

Sistemas isolados que utilizam o armazenamento de energia em baterias também utilizam um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria, conhecido como controlador de carga, que tem como principal função proteger a bateria (ou banco de baterias) contra cargas ou descargas excessivas. O controlador de carga deverá desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um limite mínimo de segurança. Os controladores são aplicados em sistemas de pequeno porte, onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC).

Para alimentar equipamentos de corrente alternada (CA) utiliza-se um inversor. Este equipamento geralmente inclui um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. É usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais. (CRESESB, 2006)

Na Figura 9 encontra-se um diagrama de sistemas fotovoltaicos isolados em função da carga utilizada.

Figura 9 – Diagrama de sistema fotovoltaico isolado em função da carga.



Fonte: (CRESESB, 2006).

### 2.2.3.2 SISTEMAS HÍBRIDOS

Os sistemas híbridos são aqueles em que existe mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, grupo gerador a diesel, aerogeradores e geradores fotovoltaicos. Por serem complexos, estes sistemas necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar os geradores e assim, otimizar a operação para o usuário. (PINHO e GALDINO, 2014, p.256)

Geralmente, os sistemas híbridos são aplicados em sistemas de médio a grande porte. Trabalham com cargas de corrente alternada, fazendo com que seja necessário a utilização de um inversor.

### 2.2.3.3 SISTEMAS CONECTADOS À REDE

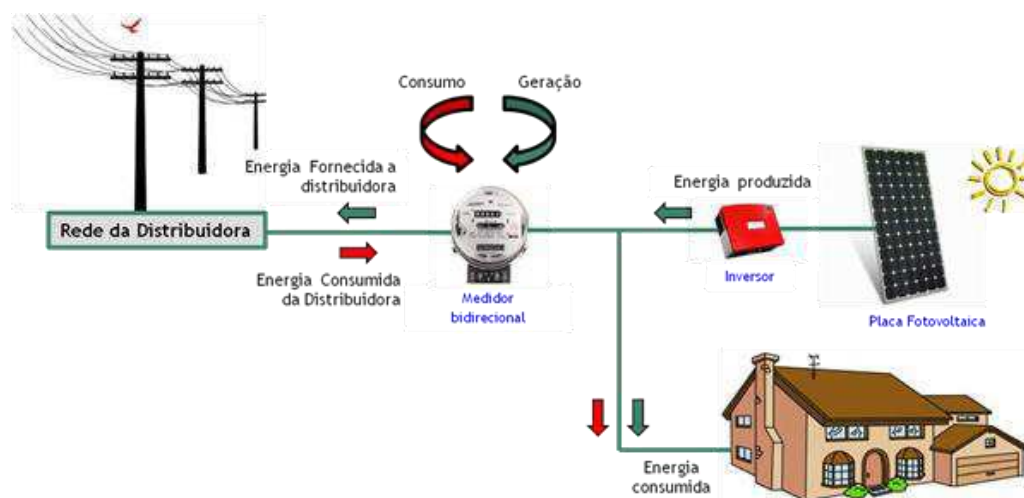
Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) dispensam o uso de baterias, pois a energia produzida por eles pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição. (PINHO e GALDINO, 2014, p.289)

Além da forma de conexão à rede, estes sistemas também se diferenciam pelo fato de dependerem da legislação local vigente.

Países como o Japão, Estados Unidos, países Europeus e recentemente, o Brasil vêm utilizando cada vez mais este tipo de geração distribuída.

O esquema básico de um SFCR é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Esquema básico de um SFCR.



Fonte – (Energia TecSolar).

## 2.2.4 PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

As principais etapas de um projeto de SFCR são:

- Levantamento adequado do recurso solar;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento da demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- Dimensionamento do inversor;
- Dimensionamento dos cabos e proteções;

### 2.2.4.1 RECURSO SOLAR

A primeira etapa do projeto de SFCR é conhecer a radiação global incidente sobre os painéis, que podem ser especificados em termos de valores instantâneos do fluxo de potência, conhecidos como irradiância ou valores de energia por unidade de área chamados de irradiação. (PINHO e GALDINO, 2014, p.300)

A irradiância tem uma influência significativa em sistemas fotovoltaicos, pelo fato do gerador fotovoltaico ter suas características dependentes desse fator.

Ignorando a variação da irradiância a cada instante e considerando a totalidade de energia elétrica convertida em intervalos horários pode-se estimar a produção de energia elétrica. Como há uma forte linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, este conceito pode ser estendido, gerando uma forma bastante conveniente de expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia utilizando-se o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup>, em que a energia resultante seja proporcional à energia disponibilizada pelo sol no local da aplicação do sistema em um dia. (PINHO e GALDINO, 2014, p.300)

Então, HSP é dado por:

$$HSP = \frac{\text{irradiância}(\text{kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{dia})}{1(\text{kW} / \text{m}^2)} \quad (5)$$

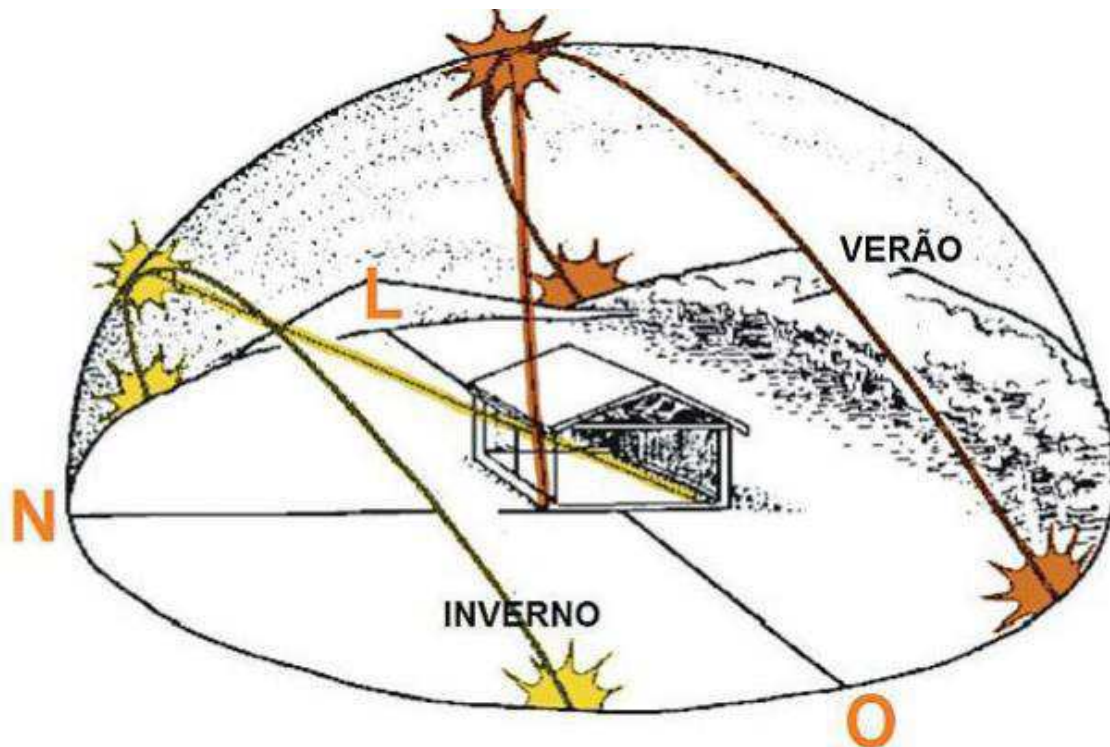
Vale observar que nada pode substituir a medição *in situ*, no local de implantação do projeto, utilizando instrumentos adequados, pois podem ocorrer incorreções advindas das diferenças entre os valores estimados e os valores reais.

#### 2.2.4.2 LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

A escolha da localização em que os painéis fotovoltaicos serão instalados é um fator determinante para seu desempenho. A integração com elementos arquitetônicos, a presença de elementos de sombreamento, superfícies reflexivas próximas, fontes de sujeira, a capacidade de trocar calor com o meio, o ângulo e a orientação dos painéis podem afetar a eficiência do sistema fotovoltaico. Nas instalações urbanas tipo *rooftop* (de telhado), por exemplo, o projetista tem menos liberdade no posicionamento dos painéis. (PINHO E GALDINO, 2014, p.302).

A Figura 11 mostra que o sol nasce no leste, sobe se inclinando ao Norte e se põe no Oeste.

Figura 11 – Trajetória do Sol.



Fonte: Portal Solar

Então, pode-se dizer que a posição ideal dos painéis fotovoltaicos, no Brasil, é voltado para o Norte, pois o gerador de energia solar produzirá mais energia.

Para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, o ângulo de inclinação igual ao da latitude do local é o mais indicado. (Portal Solar)

Caso não se tenha uma face do telhado voltada para o Norte, o sistema pode ser instalado nas faces voltadas ao Leste ou Oeste, pois a perda de geração não é tão grande.

A configuração do sistema baseia-se nas características da carga e na disponibilidade de recursos energéticos.

#### 2.2.4.3 LEVANTAMENTO DA DEMANDA E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A demanda de energia elétrica é feita a partir do projeto de instalações elétricas do local a ser implantado o SFCR e o consumo pode ser encontrado a partir do histórico de faturas do local. Caso não se tenha esse histórico, pode-se estimar o consumo de acordo com a previsão dos equipamentos a serem utilizados.

Como em SFCR não se tem a preocupação com a redução da geração ou com a falta da mesma, pois a concessionária funciona como uma espécie de *back-up*, o dimensionamento é feito pela quantidade de energia que se deseja gerar.

#### 2.2.4.4 RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482/2012 E 687/2015

É importante ter o conhecimento da Resolução Normativa N° 482/2012 da ANEEL, que foi revisada e corrigida pela Resolução Normativa 687/2015, que regulamenta no Brasil, os sistemas fotovoltaicos classificados como micro ou minigeração.

Tem-se no Artigo 2° desta resolução as seguintes definições:

- Microgeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes híbridas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;



- Sistema de Compensação de Energia Elétrica: Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;
- Geração Compartilhada: Caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo Remoto: Caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada;

#### 2.2.4.5 NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA – NDU 013

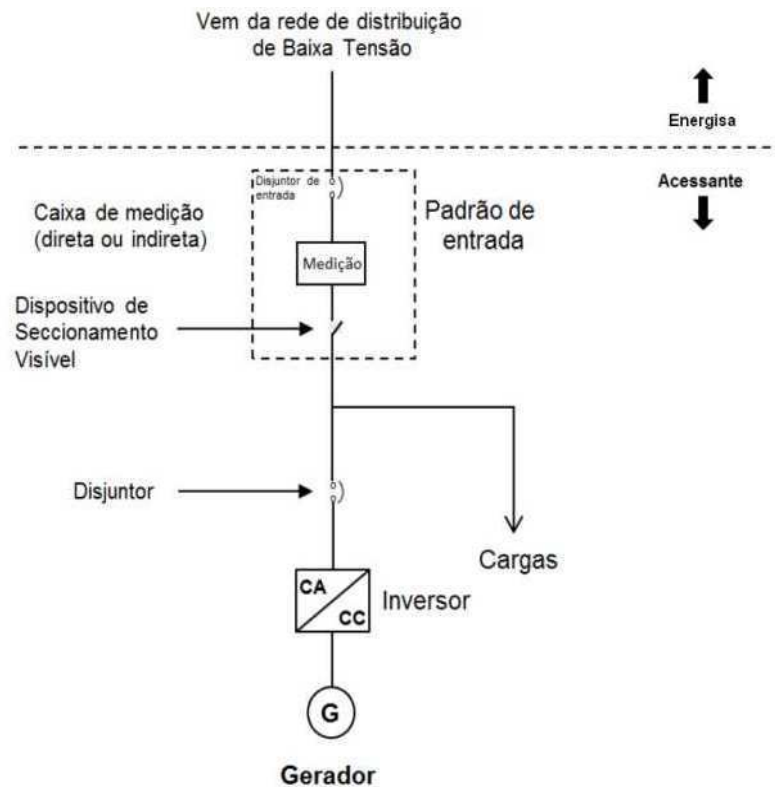
A instalação de um SFCR deve seguir a norma específica da concessionária local de distribuição de energia elétrica, que de acordo com o PRODIST deve estar acessível na página da empresa na internet.

Para este trabalho, foi revisada a norma de distribuição unificada NDU 013 da Energisa, pois é a concessionária do local escolhido para o projeto de geração solar fotovoltaica.

Esta norma estabelece os critérios e procedimentos técnicos exigidos pela Energisa, para conexão de consumidores atendidos em baixa tensão que façam a adesão ao sistema de compensação de energia, conforme as recomendações regulatórias existentes para o assunto no setor elétrico nacional.

Na Figura 12 é apresentado o modelo simplificado de conexão de geradores por meio de inversores recomendado pela Energisa.

Figura 12 – Modelo simplificado para conexão de geradores por meio de inversores.



Fonte: (NDU 013).

Para a empresa Energisa Borborema, a conexão elétrica do disjuntor de entrada deverá ser após o medidor.

Os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116:2012. Só serão aceitos inversores que tenham o certificado do INMETRO. Poderão ser aceitos inversores que apresentem certificados dos laboratórios nacionais e internacionais acreditados pelo INMETRO, após o corpo técnico da Energisa.

Em relação ao sistema de medição de energia utilizado nas unidades consumidoras que façam adesão ao sistema de compensação de energia deverá ser utilizado um medidor bidirecional, que fará a contabilização da energia ativa consumida pela unidade consumidora no fluxo direto e fará a contabilização da energia ativa injetada na rede de distribuição, no fluxo reverso.

A Energisa promoverá a instalação do medidor bidirecional e o custo do equipamento é de responsabilidade do cliente, que poderá ser descontado na fatura de energia.

A norma também recomenda que os requisitos de proteção exigidos para as unidades consumidoras que façam a adesão ao sistema de compensação em baixa

tensão, sigam as determinações contidas na seção 3.7 do PRODIST, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Requisitos de proteção exigidos pela Energisa.

<b>Requisito de Proteção</b>	<b>Potência Instalada até 75 kW</b>
Elemento de desconexão	Sim
Elemento de Interrupção	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim
Proteção de sobrecorrente	Sim
Relé de sincronismo	Sim
Anti-ilhamento	Sim

Fonte: Adaptado de (NDU 013).

Nos sistemas que utilizam inversores, as proteções relacionadas na Tabela 1 podem estar inseridas nesses equipamentos, sendo a redundância de proteções desnecessária. É recomendado que junto ao padrão de entrada de energia, próximo a caixa de medição/proteção deverá ser instalada uma placa de advertência como é mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Modelo de placa de advertência.



Fonte: (NDU 013).

#### 2.2.4.6 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Após ter o entendimento do sistema de compensação regulamentado na região, pode-se elaborar o dimensionamento da potência do sistema.

Inicialmente, deve-se fazer um levantamento do consumo médio diário anual da edificação e em seguida utilizar a equação 6 para calcular a potência do microgerador que irá compor o SFCR.

$$P_{FV}(W_p) = \frac{\frac{E}{TD}}{HSP_{MA}} \quad (6)$$

Sendo:

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

$E$  : Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste (Wh/dia);

$HSP_{MA}$  : Média diária anual das HSP incidente no plano do painel fotovoltaico;

$TD$  : Taxa de desempenho (adimensional).

O desempenho de um sistema fotovoltaico é tipicamente medido pela taxa de desempenho (TD), definida como a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Esta taxa leva em consideração a potência real do sistema sob condições de operação e todas as perdas envolvidas. Diante de alguns estudos, chegou-se a conclusão que, para sistemas fotovoltaicos conectados à rede residenciais bem ventilados e não sombreados, sob condições de radiação solar encontradas no Brasil pode-se obter uma taxa de desempenho entre 70 e 80%. (PINHO E GALDINO, 2014, p.329)

Normalmente o dimensionamento de um SFCR é condicionado pelos recursos financeiros disponíveis para o investimento e pela área disponível para a instalação, muito mais do que diretamente pelas questões técnica ou de desempenho. (PINHO E GALDINO, 2014, p.330)

Feito o dimensionamento do gerador fotovoltaico é feita a escolha da tecnologia que melhor atende as especificações do projeto e para isso deve-se levar em consideração alguns fatores como: o custo da energia gerada pelo sistema, as vantagens arquitetônicas e elétricas de cada tecnologia presente no mercado, a credibilidade do

fabricante dos módulos (no que diz respeito à garantia dos módulos) e a eficiência do produto.

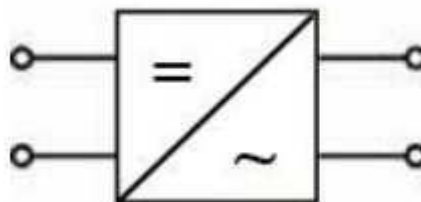
#### 2.2.4.7 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

A tensão produzida pelos módulos fotovoltaicos, durante todo o processo de conversão de energia solar em elétrica, é do tipo contínua. O mercado de equipamentos alimentados com corrente contínua é limitado, então utiliza-se um equipamento que faça a conversão de corrente contínua para corrente alternada.

O inversor é o equipamento responsável, basicamente, por estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede ou a carga. Seu papel mais importante consiste em converter o sinal elétrico CC do arranjo fotovoltaico em um sinal elétrico CA, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado. (FIGUEIRA, 2014, p.15)

O símbolo mostrado na Figura 14 é usado para indicar um inversor ou conversor CC-CA.

Figura 14 – Símbolo Elétrico de um inversor.



Fonte: (FIGUEIRA, 2014).

O inversor utilizado em SFCR é conhecido como inversor *grid-tie* e transfere a energia produzida diretamente ao quadro de distribuição de força do local para ser utilizada pela carga. Na presença de luz solar a energia produzida será injetada e utilizada, caso essa energia não seja suficiente para alimentar toda a carga será retirada energia da rede. Caso a energia consumida seja menor do que a energia produzida pelos painéis, essa energia excedente será injetada na rede. Durante a noite, o sistema necessitará da rede para se alimentar, pois os painéis não produzirão energia. Todo esse processo é realizado pelo inversor automaticamente, sem a necessidade de intervenção do usuário. (FIGUEIRA, 2014, p.15)

O dimensionamento do inversor depende de alguns fatores como:

- A potência do gerador fotovoltaico;
- As características elétricas dos módulos;
- As características ambientais;
- A topologia da instalação;

Deve-se ter cuidado no dimensionamento do inversor, pois deve ser feito de tal modo que não seja nem pouco utilizado nem sobrecarregado. Utilizando-se um inversor de menor capacidade (menor custo) para um mesmo gerador fotovoltaico sem impactar na quantidade de energia e na confiabilidade do sistema, a energia tende a ter menor custo.

Um gerador fotovoltaico, raramente, irá entregar a sua potência nominal máxima, pois em alguns dias o céu pode se apresentar nebuloso, fazendo com que a irradiância seja inferior a 1000 W/m<sup>2</sup>. Além disso, a temperatura das células pode se encontrar mais alta do que os 25°C. Dessa forma, como as condições de operação dificilmente assemelham-se às condições normais de ensaio ou STC, a potência fornecida pelo gerador é geralmente inferior à sua capacidade nominal. (PEREIRA E GONÇALVES, 2008, p. 32)

### **Avaliação do FDI**

O FDI (Fator de Dimensionamento do Inversor) representa a relação entre a potência nominal do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, como é mostrado na equação 7.

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}} \quad (7)$$

Sendo:

$FDI$  : Fator de Dimensionamento do inversor (adimensional);

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

$P_{FV}$  : Potência de pico do painel fotovoltaico (W<sub>p</sub>);

O FDI depende do inversor escolhido, da tecnologia do módulo, da orientação e inclinação do painel, das condições ambientais e deve ser ajustado de modo a se obter a

melhor relação custo/benefício. Os fabricantes e instaladores recomendam a seguinte faixa:  $0,75 < FDI < 1,05$ .

## Tensão de Entrada

A tensão de entrada do inversor é a soma das tensões dos módulos conectados em série. As condições extremas de inverno e verão deverão ser utilizadas no dimensionamento devido a uma forte dependência da tensão em relação à temperatura.

O cálculo da máxima tensão de entrada deve ser realizado com cuidado e atenção, pois ela nunca deve ser ultrapassada, sendo este um dos maiores riscos de ser danificar o equipamento.

A máxima tensão do sistema ocorre quando o painel fotovoltaico está em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) em baixas temperaturas. Isto pode acontecer durante o período de inverno, ainda no nascer do sol, quando a tensão do sistema se eleva em função da baixa temperatura do gerador fotovoltaico, e o inversor ainda não se conectou à rede, em virtude da baixa irradiância, ou em função de uma falha na rede, que automaticamente desconecta o sistema deixando os módulos em circuito aberto. O máximo número de módulos em série que pode ser conectado ao inversor é calculado pela equação 8. (PINHO E GALDINO, 2014, p.333)

$$n^{\circ} \text{ de módulos em série} \times V_{ocT \min} < V_{imáx} \quad (8)$$

Sendo:

$V_{imáx}$  (V) : Máxima tensão C.C. admitida pela entrada do inversor;

$V_{ocT \min}$  (V) : Tensão em circuito aberto de um módulo fotovoltaico na menor temperatura de operação prevista;

## Faixa de Tensão de Operação do SPPM do Inversor

O número de módulos ligados em série deve resultar em tensões com amplitudes dentro da faixa de tensão do SPPM do inversor. No Brasil, durante o verão, a temperatura dos módulos pode atingir valores superiores a  $70^{\circ}\text{C}$ , e com isso tem-se a redução da tensão C.C. do sistema. Então, deve-se avaliar se o SFCR possui número suficiente de módulos conectados em série, de modo que a tensão do painel seja superior à mínima tensão de SPPM do inversor. Da mesma forma, para períodos frios, a

tensão de potência máxima da série fotovoltaica na mínima temperatura de operação prevista deve ser inferior a tensão máxima de operação do SPPM do inversor. (PINHO E GALDINO, 2014, p.334)

$$\frac{V_{iSPPM \min}}{V_{mpT \max}} < n^{\circ} \text{ de módulos em série} < \frac{V_{iSPPM \max}}{V_{mpT \min}} \quad (9)$$

Sendo:

$V_{iSPPM \min}$  : Mínima Tensão C.C. de operação do SPPM do inversor (V);

$V_{mpT \max}$  : Tensão de potência máxima (Vmp) de um módulo FV na maior temperatura de operação prevista (V);

$V_{iSPPM \max}$  : Máxima tensão C.C. de operação do SPPM do inversor (V);

$V_{mpT \min}$  : Tensão de potência máxima (Vmp) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista (V);

### Corrente Máxima C.C. do Inversor

O inversor possui uma corrente máxima de entrada C.C. e deve-se garantir que este valor não seja ultrapassado, então calcula-se o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas ligadas em paralelo através da equação 10.

$$n^{\circ} \text{ de séries FV em paralelo} = \frac{I_{i \max}}{I_{sc}} \quad (10)$$

Sendo:

$I_{i \max}$  : Corrente máxima C.C. admitida na entrada do inversor (A);

$I_{sc}$  : Corrente de curto circuito do módulo FV nas condições padrão de ensaio (A).



#### 2.2.4.8 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS E PROTEÇÕES

A NBR 5410 pode ser utilizada para a escolha da bitola do cabeamento adequada para os condutores em função do comprimento do ramal, da tensão nominal e do nível de perdas pretendido. É importante que os cabos utilizados nessas instalações estejam preparados para suportar as diversas condições climáticas.

De forma alternativa, pode-se utilizar a equação 11 para determinar a seção mínima do condutor (S), necessária para uma determinada instalação em corrente contínua.

$$S(\text{mm}^2) = \rho \left( \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \times \frac{d(\text{m}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})} \quad (11)$$

Sendo:

- $\rho$  : Resistividade do material do condutor;
- $d$  : distância total do condutor, considerando o trecho de retorno;
- $I$  : corrente que passa pelo condutor;
- $\Delta V$  : Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado;

As proteções são dimensionadas de forma similar aos relacionados com sistemas elétricos em geral, apenas com um cuidado especial para o que vem antes do inversor, que opera em corrente contínua, logo, deve-se escolher os dispositivos que trabalhem em corrente contínua.

### 2.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Antes de investir em determinado projeto é de extrema importância realizar uma análise de viabilidade do mesmo para que se tenha segurança na tomada de decisão de investir ou não no projeto.

A Engenharia Econômica é uma área que oferece diversos métodos de análise quantitativa do investimento e assim, possibilita o conhecimento das margens de lucro ou prejuízo e tempo de retorno para toda a vida útil do projeto de investimento. Entre os principais métodos para análise econômica e que serão utilizados neste trabalho, tem-se: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *payback*.

### 2.3.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) caracteriza-se, essencialmente, pela transferência de todas as variações de caixa esperadas para o instante presente, descontadas à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), ou seja, consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento e somá-los ao investimento inicial, usando uma taxa de desconto que é a TMA do projeto.

A TMA é o retorno mínimo que deve ser esperado para que o projeto seja aceito. É usado como referência no momento de analisar a viabilidade do projeto, caso o projeto não dê esse retorno não faz sentido realizá-lo.

O VPL analisa o impacto de rendimentos futuros com base no valor presente do capital e considera o valor do dinheiro ao longo do tempo, que é de extrema importância, pois devido a fatores como incidência de juros, variações na taxa de juros, instabilidades no mercado financeiro, inflação, entre outros, faz com que o valor dinheiro no futuro não seja o mesmo que no presente.

O VPL pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (12)$$

Sendo:

$FC_t$  : Fluxo de caixa no t-ésimo período;

$I$  : Investimento inicial;

$k$  : Custo de capital (taxa de desconto);

$t$  : São os períodos no tempo em que o dinheiro será investido;

$n$  : Último período do investimento;

A análise do VPL é feita da seguinte forma:

Se  $VPL \geq 0$  : O investimento é viável.

Se  $VPL < 0$  : O investimento é inviável.

### 2.3.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) consiste na taxa de desconto que faz com que o VPL seja zero, ou seja, essa taxa faz com que as entradas futuras de caixa se igualem ao investimento inicial do projeto.

Matematicamente, é a taxa hipotética que anula o VPL, ou seja:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (13)$$

Para a análise da TIR tem-se as seguintes condições:

- Se  $TIR \geq k$ , o projeto é dito economicamente viável.
- Se  $TIR < k$ , o projeto é dito economicamente inviável.

Devido a complexidade do cálculo da TIR, aconselha-se utilizar *softwares* como Excel ou Matlab, por exemplo.

### 2.3.3 PAYBACK

O *Payback* é o tempo necessário para se obter o investimento inicial, ou seja, quando um investidor deseja saber quando vai ter o capital investido de volta o melhor método a ser utilizado é o *payback*.

Existem dois tipos de *payback*, o simples e o descontado, em que a principal diferença entre eles é que o primeiro não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo.

O *payback* simples é o método mais simples para se analisar a viabilidade de um investimento e é definido como o somatório dos fluxos de caixa obtidos, período a período, até que essa soma se igual ao valor do investimento inicial.

O *payback* descontado é semelhante ao *payback* simples, mas possui uma diferença importante, pois utiliza uma taxa de desconto antes de se proceder a soma dos fluxos de caixa. Neste método, todos os fluxos de caixa futuros deverão ser descontados por essa taxa em relação ao período o qual o fluxo está relacionado. Portanto, é o método mais seguro em relação ao *payback* simples.

O *payback* descontado consiste, basicamente, em determinar o valor de T na seguinte equação: (SAMANEZ, 2009)

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (14)$$

Sendo:

$I$  : Investimento inicial;

$FC_t$  : Fluxo de caixa no período t;

$k$  : Custo de capital ou taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade.

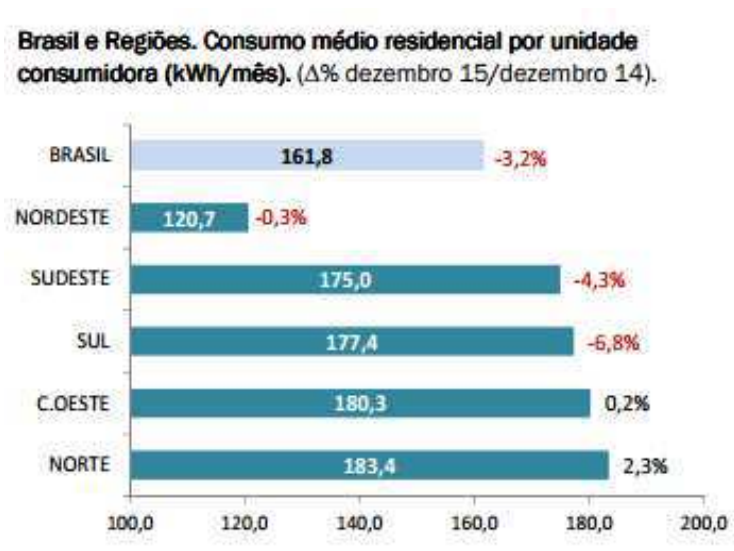
Este indicador é utilizado em conjunto com os métodos do VPL e da TIR, para que se tenha uma análise de viabilidade consistente.

### 3 PROJETO DE GERAÇÃO SOLAR DE UMA RESIDÊNCIA TÍPICA

Considerando uma residência típica localizada na cidade de Campina Grande , pertencente ao grupo B1 da tabela de modalidade tarifária convencional em baixa tensão da Energisa foi elaborado um projeto de geração solar fotovoltaica conectado à rede, de acordo com as resoluções normativas nº 482/2012 e 687/2015 juntamente com a NDU 013 apresentadas nas seções 2.2.4.4 e 2.2.4.5 deste trabalho.

De acordo com a Empresa de pesquisa energética (EPE) o consumo médio mensal de residências do Nordeste é de 120,7 kWh, como mostra a Figura 15, e será tomado como base para os dimensionamentos do sistema.

Figura 15 – Consumo Médio Mensal residencial por unidade consumidora.



Fonte: (EPE).

#### 3.1 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

Existem diversas ferramentas para se obter a irradiação solar de qualquer ponto do território nacional, uma dessas ferramentas chama-se SunData, que pode ser encontrada no site da CRESESB, onde basta inserir as coordenadas geográficas do local e a ferramenta fornece os dados de irradiação solar diária mensal.

Utilizando as coordenadas geográficas de Campina Grande (7° 13' 50'' S; 35° 52' 52'' O) foi obtida a Tabela 2 que apresenta os dados sobre a irradiação solar da cidade.

Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal da cidade de Campina Grande.

#### Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Campina Grande  
 Município: Campina Grande, PB - BRA  
 Latitude: 7,2° S  
 Longitude: 35,895555° O  
 Distância do ponto de ref. (7,230556° S; 35,881111° O): 3,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,47	5,39	5,31	4,83	4,42	3,86	3,83	5,08	5,22	5,89	6,08	5,69	5,09	2,25
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,25	5,27	5,31	4,95	4,63	4,07	4,02	5,27	5,27	5,79	5,85	5,43	5,09	1,83
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	4° N	5,35	5,33	5,31	4,90	4,55	3,99	3,94	5,19	5,25	5,84	5,95	5,55	5,10	2,01
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	27° N	4,37	4,64	4,99	5,00	4,94	4,44	4,32	5,47	5,10	5,18	4,89	4,43	4,81	1,15

Fonte: (CRESESB).

Vale lembrar, como foi dito na seção 2.2.4.1, que nada substitui a medição da irradiação no local da instalação do sistema.

Utilizando a equação 5 tem-se as Horas de Sol Pleno:

$$HSP = \frac{5,1(\text{kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{dia})}{1(\text{kW} / \text{m}^2)} = 5,1 \text{ h/dia}$$

## 3.2 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Para calcular a potência do gerador fotovoltaico, tem-se os seguintes dados:

- HSP = 5,1h/dia
- Consumo médio mensal: 120,7 kWh
- Consumo médio diário: 120.700/30 = 4.023.4 Wh/dia
- TD = 0,8

Então, utilizando a equação 6 tem-se a potência do gerador:

$$P_{FV}(W_P) = \frac{E}{HSP_{MA}} = \frac{4.023,4 / 0,8}{5,1} = 986,2W$$

Foram escolhidas placas fotovoltaicas do fabricante Canadian modelo CS6P 265P, que possui potência de pico de 265 Wp, cujas especificações técnicas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações do painel solar Canadian CS6P 265P.

<b>Dados Elétricos</b>	
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>
<b>Características Térmicas</b>	
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
<b>Dados Técnicos</b>	
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/seção)	1000mm/4 mm <sup>2</sup>

Fonte: (Datasheet do painel).

Portanto, serão utilizadas quatro placas fotovoltaicas, que irão produzir no total 1060 Wp , atendendo as necessidades do consumo estimado.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Foi escolhido um micro inversor modelo SUN 1000G, *on-grid* do fabricante SUNSHINE, que possui certificado de conformidade que encontra-se no Anexo A, e atende as exigências da Energisa.

Então, utilizando a equação 7 para calcular o FDI, tem-se:

$$FDI = \frac{1000}{1060} = 0,94$$

Observa-se que o valor do FDI calculado está dentro da faixa ( $0,75 < FDI < 1,05$ ) recomendada.

As principais especificações do micro inversor encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações do Micro Inversor SUNSHINE SUN-1000G.

<b>Dados Técnicos</b>	
Parâmetros	Valores
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).

Utilizando a equação 10 é possível calcular o número de painéis que podem ser conectados em paralelo.

Sabendo que a corrente máxima C.C. admitida na entrada do inversor é de 45,45A e a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico nas condições padrão de ensaio é de 9,23 tem-se que:

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



Então, as quatro placas serão conectadas em paralelo e o sistema de geração terá a potência total do gerador igual a 1060 Wp, tensão de pico de 30,6V, corrente de pico de 34,64 A, tensão de circuito aberto de 37,7 V e corrente de curto circuito igual a 36,92 A.

A energia gerada diária pelo sistema é calculada pela equação 6, como se segue:

$$E_g = P_{PV} \times TD \times HSP = 1060 \times 0,8 \times 5,1 = 4324,80 \text{ Wh}$$

Então, a produção mensal será de 129,8 kWh.

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES

Para garantir a segurança do sistema e a proteção dos equipamentos, que são caros, foram dimensionadas as proteções para o lado DC e AC.

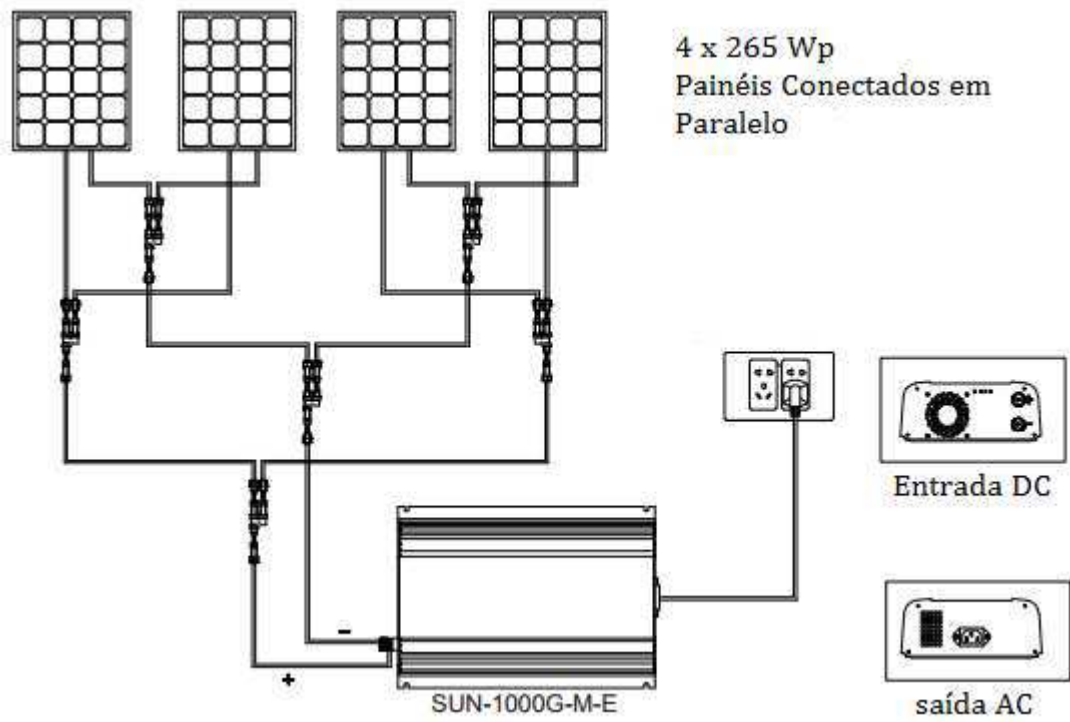
Para o lado DC, que se encontra entre os painéis e o inversor, foi dimensionado um disjuntor de 40 A, para garantir que a corrente que irá entrar no inversor não ultrapasse a corrente máxima de entrada do equipamento e também foi dimensionado o dispositivo de proteção contra surtos, especialmente para a proteção dos equipamentos e da instalação contra surtos, sobretensões ou transientes diretos ou indiretos.

Para o lado AC, que se encontra após o inversor, foi dimensionado um disjuntor de 6 A.

### 3.5 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Encontra-se na Figura 16 um esquema de como será interligado os painéis ao inversor.

Figura 16 – Esquema de ligação entre o Gerador e o Inversor.



Fonte: Adaptado de (Manual do Micro Inversor).

## 4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para analisar a viabilidade econômica de um projeto é necessário saber o orçamento do mesmo. Então, foi feita uma pesquisa de mercado para saber em média quanto se gastaria para executar um projeto como o que foi dimensionado no capítulo 3. Foi utilizada uma planta de uma residência típica, que se encontra no Anexo B, para fazer um levantamento da quantidade de cabos.

No Apêndice A encontra-se o orçamento detalhado realizado para a instalação do sistema fotovoltaico, que ficou em torno de R\$ 7.340,00

Com esse valor pode-se realizar uma análise de viabilidade do projeto, utilizando os métodos do valor presente líquido, da taxa interna de retorno e do *payback* descontado, vistos no Capítulo 2.

Considerando um investimento inicial de R\$ 7.340,00, uma produção mensal de aproximadamente 129 kWh e anual de 1.548 kWh, uma vida útil do projeto de 25 anos e sabendo-se que a tarifa de energia cobrada pela Energisa para consumidores sem benefícios (grupo B1) é de 0,2898 R\$/kWh foram realizadas duas análises de viabilidade econômica, uma considerando a taxa de desconto ou TMA como sendo o rendimento dos últimos 12 meses da poupança e outra considerando a TMA como sendo igual à taxa Selic anual.

### 4.1 ANÁLISE COM TMA IGUAL AO RENDIMENTO DA POUPANÇA

O rendimento dos últimos 12 meses da poupança foi de 8,07% e por ser um fundo de investimento de fácil acesso foi realizada uma análise de viabilidade econômica do projeto utilizando-a como sendo a taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade. Também será considerado um aumento anual de 5% na tarifa de energia elétrica.

Com o auxílio do *software* Excel foram realizados os cálculos e aplicações dos métodos de análise VPL, TIR e *payback*.

A Tabela 5 apresenta o ajuste anual da tarifa de 5% e conseqüentemente os valores economizados mensais e anuais.

Tabela 5 – Ajuste anual da tarifa em 5% e valores economizados.

<b>T</b>	<b>Ano</b>	<b>Tarifa (R\$/kWh)</b>	<b>Valor Economizado Mensal (R\$)</b>	<b>Valor Economizado Anualmente (R\$)</b>
0				-7.340,0000
1	2017	0,2898	37,3842	448,6104
2	2018	0,3043	39,2534	471,0409
3	2019	0,3195	41,2161	494,5930
4	2020	0,3355	43,2769	519,3226
5	2021	0,3523	45,4407	545,2887
6	2022	0,3699	47,7128	572,5532
7	2023	0,3884	50,0984	601,1808
8	2024	0,4078	52,6033	631,2399
9	2025	0,4282	55,2335	662,8019
10	2026	0,4496	57,9952	695,9420
11	2027	0,4721	60,8949	730,7391
12	2028	0,4957	63,9397	767,2760
13	2029	0,5204	67,1367	805,6398
14	2030	0,5465	70,4935	845,9218
15	2031	0,5738	74,0182	888,2179
16	2032	0,6025	77,7191	932,6288
17	2033	0,6326	81,6050	979,2602
18	2034	0,6642	85,6853	1.028,2233
19	2035	0,6974	89,9695	1.079,6344
20	2036	0,7323	94,4680	1.133,6161
21	2037	0,7689	99,1914	1.190,2969
22	2038	0,8074	104,1510	1.249,8118
23	2039	0,8477	109,3585	1.312,3024
24	2040	0,8901	114,8265	1.377,9175
25	2041	0,9346	120,5678	1.446,8134
<b>Total</b>				<b>21.410,8729</b>

Fonte: Própria Autora

O cálculo do VPL encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 –Cálculo do VPL.

<b>T</b>	<b>Ano</b>	<b>Valor do dinheiro no presente</b>
0		-7.340,0000
1	2017	415,1109
2	2018	403,3187
3	2019	391,8614
4	2020	380,7296
5	2021	369,9140
6	2022	359,4057
7	2023	349,1958
8	2024	339,2761
9	2025	329,6381
10	2026	320,2739
11	2027	311,1757
12	2028	302,3360
13	2029	293,7473
14	2030	285,4027
15	2031	277,2951
16	2032	269,4179
17	2033	261,7644
18	2034	254,3283
19	2035	247,1035
20	2036	240,0839
21	2037	233,2637
22	2038	226,6372
23	2039	220,1990
24	2040	213,9437
25	2041	207,8661
<b>VPL:</b>		163,29

Fonte: Própria Autora

Como o VPL é igual a 163,29, ou seja, positivo, pode-se concluir que por esse método o projeto é viável.

O cálculo da TIR foi obtido utilizando uma função do Excel própria para este método e foi obtido o valor de 8%, que pode ser considerado igual à taxa de desconto utilizada, então também torna o projeto viável.

O *payback* descontado pode ser obtido analisando a Tabela 7.

Tabela 7 – Fluxo de Caixa Descontado.

<b>T</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Saldo</b>
	-7.340,0000	-7.340,0000
1	415,1109	-6.924,8891
2	403,3187	-6.521,5704
3	391,8614	-6.129,7090
4	380,7296	-5.748,9794
5	369,9140	-5.379,0654
6	359,4057	-5.019,6597
7	349,1958	-4.670,4639
8	339,2761	-4.331,1878
9	329,6381	-4.001,5497
10	320,2739	-3.681,2759
11	311,1757	-3.370,1002
12	302,3360	-3.067,7642
13	293,7473	-2.774,0169
14	285,4027	-2.488,6141
15	277,2951	-2.211,3190
16	269,4179	-1.941,9011
17	261,7644	-1.680,1367
18	254,3283	-1.425,8084
19	247,1035	-1.178,7050
20	240,0839	-938,6211
21	233,2637	-705,3574
22	226,6372	-478,7202
23	220,1990	-258,5211
24	213,9437	-44,5774
25	207,8661	163,2887

Fonte: Própria Autora

Pela Tabela 7 nota-se que o Investimento inicial é igual ao fluxo de caixa descontado em aproximadamente 24 anos e 3 meses, ou seja, o *payback* descontado é de 24 anos e 3 meses.

## 4.2 ANÁLISE COM TMA IGUAL À TAXA SELIC

O Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic) é um sistema computadorizado utilizado pelo governo, a cargo do Banco Central do Brasil, para que haja controle na emissão, compra e venda de títulos. Influencia diversos tipos de investimentos se tornando uma das taxas mais importantes na área financeira, portanto foi realizada a análise de viabilidade do projeto considerando a taxa de desconto igual a taxa selic, que atualmente vale 14,15%.

Com auxílio do Excel foi calculado o VPL que pode ser encontrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Cálculo do VPL.

<b>T</b>	<b>Ano</b>	<b>Valor do dinheiro no presente</b>
0		-7.340,0000
1	2017	393,0008
2	2018	361,4988
3	2019	332,5219
4	2020	305,8677
5	2021	281,3500
6	2022	258,7977
7	2023	238,0530
8	2024	218,9713
9	2025	201,4190
10	2026	185,2737
11	2027	170,4226
12	2028	156,7619
13	2029	144,1963
14	2030	132,6378
15	2031	122,0059
16	2032	112,2262
17	2033	103,2304
18	2034	94,9557
19	2035	87,3443
20	2036	80,3429
21	2037	73,9028
22	2038	67,9790
23	2039	62,5299
24	2040	57,5177
25	2041	52,9072
<b>VPL :</b>		<b>-3.044,29</b>

Fonte: Própria Autora

Pela análise do método do VPL , como seu valor é negativo, conclui-se que o projeto é inviável.

A TIR foi 8%, sendo menor do que a taxa de desconto considerada, portanto também indica que o projeto é inviável.

A Tabela 9 apresenta o fluxo de caixa descontado e nota-se que durante a vida útil do projeto, não se tem o fluxo de caixa se igualando ao investimento inicial.

Tabela 9 – Fluxo de Caixa Descontado.

<b>T</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Saldo</b>
	-7.340,0000	-7.340,0000
1	393,0008	-6.946,9992
2	361,4988	-6.585,5005
3	332,5219	-6.252,9786
4	305,8677	-5.947,1109
5	281,3500	-5.665,7609
6	258,7977	-5.406,9633
7	238,0530	-5.168,9102
8	218,9713	-4.949,9390
9	201,4190	-4.748,5199
10	185,2737	-4.563,2462
11	170,4226	-4.392,8236
12	156,7619	-4.236,0616
13	144,1963	-4.091,8654
14	132,6378	-3.959,2275
15	122,0059	-3.837,2217
16	112,2262	-3.724,9955
17	103,2304	-3.621,7651
18	94,9557	-3.526,8094
19	87,3443	-3.439,4652
20	80,3429	-3.359,1222
21	73,9028	-3.285,2194
22	67,9790	-3.217,2404
23	62,5299	-3.154,7105
24	57,5177	-3.097,1929
25	52,9072	-3.044,2857

Fonte: Própria Autora



## 5 CONCLUSÕES

Neste Trabalho de Conclusão de Curso foi possível estudar a teoria sobre energia solar fotovoltaica, em especial o sistema fotovoltaico conectado à rede, que é uma aplicação da microgeração distribuída, elaborar um projeto de um SFCR para uma residência típica, sendo assim, possível realizar a análise de viabilidade econômica deste projeto.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que o custo inicial do projeto de R\$ 7.7340,00 ainda é alto, devido ao fato de ter que importar os painéis e o inversor, tendo seus valores afetados pela variação do dólar e a incidência dos impostos brasileiros sobre produtos importados, portanto este valor é um fator importante para a viabilidade do projeto.

A escolha da taxa de desconto ou TMA também é um critério importante, pois analisando primeiramente a TMA igual ao rendimento da poupança de 8,07% obteve-se um VPL de 163,69 (positivo), uma TIR igual à TMA e um *payback* menor do que a vida útil do projeto, então pela análise do conjunto de métodos pode-se concluir que para esta taxa o projeto é viável. Por sua vez, escolhendo a TMA como sendo igual à taxa Selic anual de 14,15%, obteve-se um VPL de -3.044,29 (negativo), uma TIR igual à TMA e não houve *payback*, ou seja, em nenhum período foi verificado a igualdade entre o fluxo de caixa descontado e o investimento inicial, indicando a inviabilidade do projeto.

Mesmo ainda sendo uma tecnologia muito cara, existem muitas expectativas para que, num futuro próximo os custos diminuam e haja a expansão deste tipo de sistema de geração de energia.

O Brasil é um país que tem um perfil para utilizar os sistemas fotovoltaicos, por possuir sol em abundância, e produzir silício, principal matéria-prima para a produção dos painéis fotovoltaicos, mas ainda precisa de incentivos em pesquisa para produzir as placas e os inversores, extinguindo a dependência tecnológica.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482**. 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: Setembro de 2016.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: Setembro de 2016.

**Banco Central do Brasil**. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp>. Acesso em: Outubro de 2016

**Empresa de Pesquisa Energética – EPE**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>, Acesso em: Outubro de 2016

**Energia TecSolar**. Disponível em: <http://energiatecsolar.com.br/tag/fotovoltaica/#sthash.yOzRPb8y.dpbs>. Acesso em: Setembro de 2016

Energisa. **Norma de Distribuição Unificada 001 – NDU 001**. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/>. Acesso em: Agosto de 2016

Energisa. **Norma de Distribuição Unificada 013 – NDU 013**. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/>. Acesso em: Setembro de 2016

Energisa. **Tarifa de energia**. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>. Acesso em: Setembro de 2016

FIGUEIRA, F.F. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para Alimentar a Sala de Computação da Escola Municipal Tenente Antônio João**. – Projeto de Graduação (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - 2014

JUNIOR, E.A.C. **Fotovoltaica ligada a rede versus térmica: Um estudo de caso em conjunto habitacional**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, 2016. Disponível em: <https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/cgee/projeto-de-engenharia/relatorios>. Acesso em: Setembro de 2016

LEAL, S.D.B. **Relatório de Estágio Supervisionado – Prefeitura Universitária** – Universidade Federal de Campina Grande. 2016. Disponível em: <https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/cgee/estagios/relatorios>. Acesso em: Setembro de 2016

MEIRA, R.N. **Relatório de Estágio Supervisionado – Laboratório de Sistema de Potência** – Universidade Federal de Campina Grande. 2016. Disponível em: <https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/cgee/estagios/relatorios>. Acesso em: Setembro de 2016

**Micro Inversor Sushine SUN-600G. Manual Técnico**. Disponível em: <http://www.chinesegrid.com/uploadfile/pdf/User%20Manual%20for%20Solar%20Grid%20Tie%20Inverter.pdf>. Acesso em: Setembro de 2016

**Painel Solar Fotovoltaico Canadian CS6P 265P – Ficha Técnica.** Disponível em <http://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-de-265w-canadian-solar-cs6p-265p-78863>. Acesso em: Setembro de 2016

PINHO, J.T., GALDINO, M.A,et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CRESESB, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: Setembro de 2016

**Portal Solar.** Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br>. Acesso em: Agosto de 2016

**Potencial Solar – SunData.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?>. Acesso em: Setembro de 2016

Viana, R. (2015). **Memorial Técnico Descritivo.** CEHAP.

**Mppt Solar.** Disponível em: <http://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-serie.html>. Acesso em: Setembro de 2016.

PEREIRA,O.L.S.,GOLÇALVES,F.F. **Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica:Estudo de Caso do Sistema de Tubarão – SC.** Revista Brasileira de Energia – Vol. 14, Nº 1, 1º Sem. 2008, PP. 25-45.

**Resultados Procel 2016.** Disponível em: [http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2016/docs/rel\\_procel2016\\_web.pdf](http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2016/docs/rel_procel2016_web.pdf). Acesso em: Outubro de 2016.

SAMANEZ,C.P. **Engenharia Econômica – 2009**

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


# ANEXO A – CERTIFICADO DE CONFORMIDADE DO MICRO INVERSOR



## Test Verification of Conformity

On the basis of the referenced test report(s), the sample(s) of the below product has been found to comply with the relevant harmonized standard(s) to the directive(s) listed on this verification at the time the tests were carried out.

The manufacturer may indicate compliance to only the said directives by signing a DoC himself and may affix the CE marking to products identical to the tested sample(s) if the product complies with all CE marking directives that has the product in their scope. In addition, the manufacturer shall file and keep the documentation according to the rules of the applicable directive(s) and shall consider changes of the standards as they may occur. Additional requirements, additional directives and local laws may be applicable.

<b>Applicant Name &amp; Address</b>	: Ningbo National Hi-Tech Park Sunshine Technology Co., Ltd. Block 5, Lingyun Industrial Park, No. 1177, Lingyun Road, Ningbo National Hi-Tech Zone, Ningbo, Zhejiang, China
<b>Manufacturing Site &amp; Address</b>	: See Annex to Test Verification of Conformity See Annex to Test Verification of Conformity
<b>Product(s) Tested</b>	: Micro Grid-connected PV inverter
<b>Ratings and principal characteristics</b>	: See Annex to Test Verification of Conformity
<b>Model(s)</b>	: See Annex to Test Verification of Conformity
<b>Brand name</b>	:  Ningbo National Hi-Tech Park Sunshine Technology Co., Ltd.
<b>Relevant Standard(s) / Specification(s) / Directive(s)</b>	: EN 62109-1:2010, Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 1: General requirements EN 62109-2:2011, Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters DIN V VDE V 0126-1-1:2006, Automatic disconnecting device Low Voltage Directive 2006/95/EC
<b>Verification Issuing Office Name &amp; Address</b>	: Same as Intertek Legal Entity
<b>Date of Test(s)</b>	: 24 Sep 2013 – 04 Nov 2013
<b>Verification/Report Number(s)</b>	: 130426008GZU-006 / 130426008GZU-006, 130426008GZU-007, 130426008GZU-008

NOTE 1: This verification is part of the full test report(s) and should be read in conjunction with it.

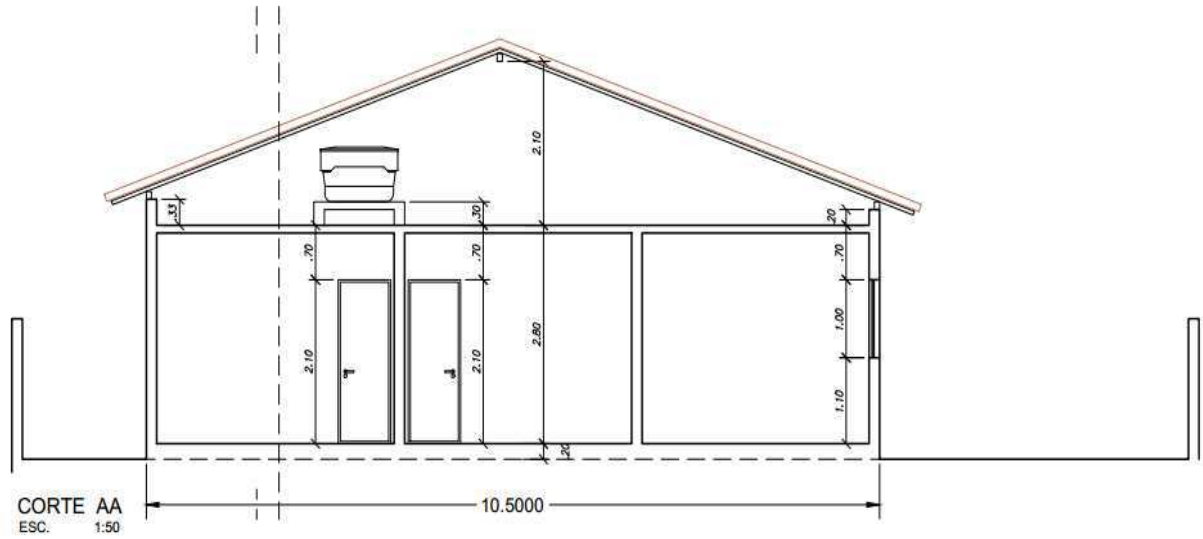
This Verification is for the exclusive use of Intertek's client and is provided pursuant to the agreement between Intertek and its Client. Intertek's responsibility and liability are limited to the terms and conditions of the agreement. Intertek assumes no liability to any party, other than to the Client in accordance with the agreement, for any loss, expense or damage occasioned by the use of this Verification. Only the Client is authorized to permit copying or distribution of this Verification. Any use of the Intertek name or one of its marks for the sale or advertisement of the tested material, product or service must first be approved in writing by Intertek. The observations and test/inspection results referenced in this Verification are relevant only to the sample tested/inspected. This Verification by itself does not imply that the material, product, or service is or has ever been under an Intertek certification programme.



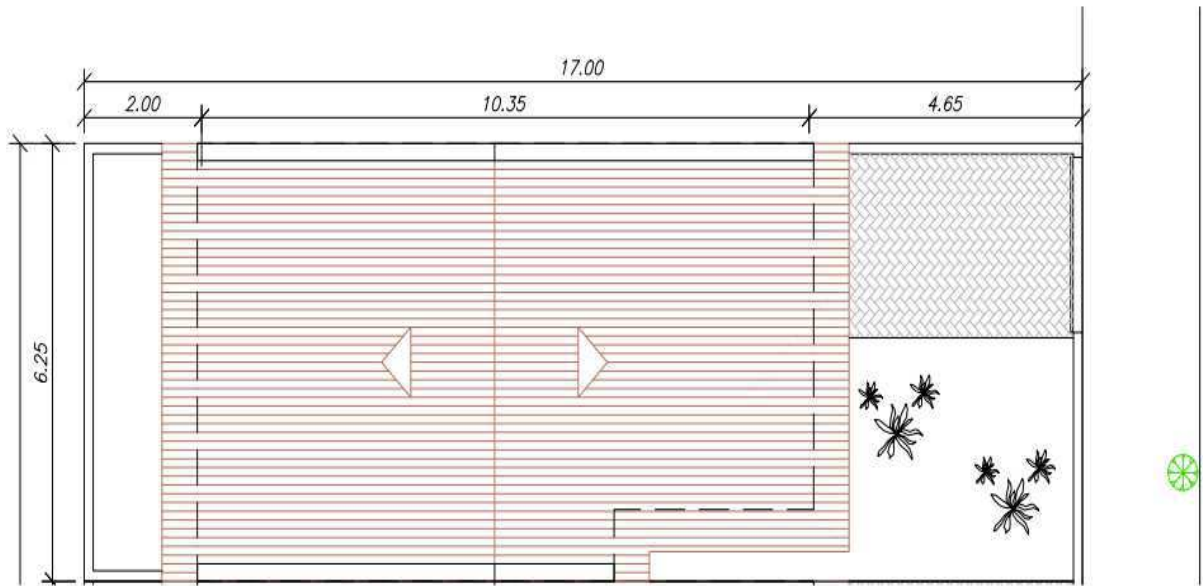
Signature

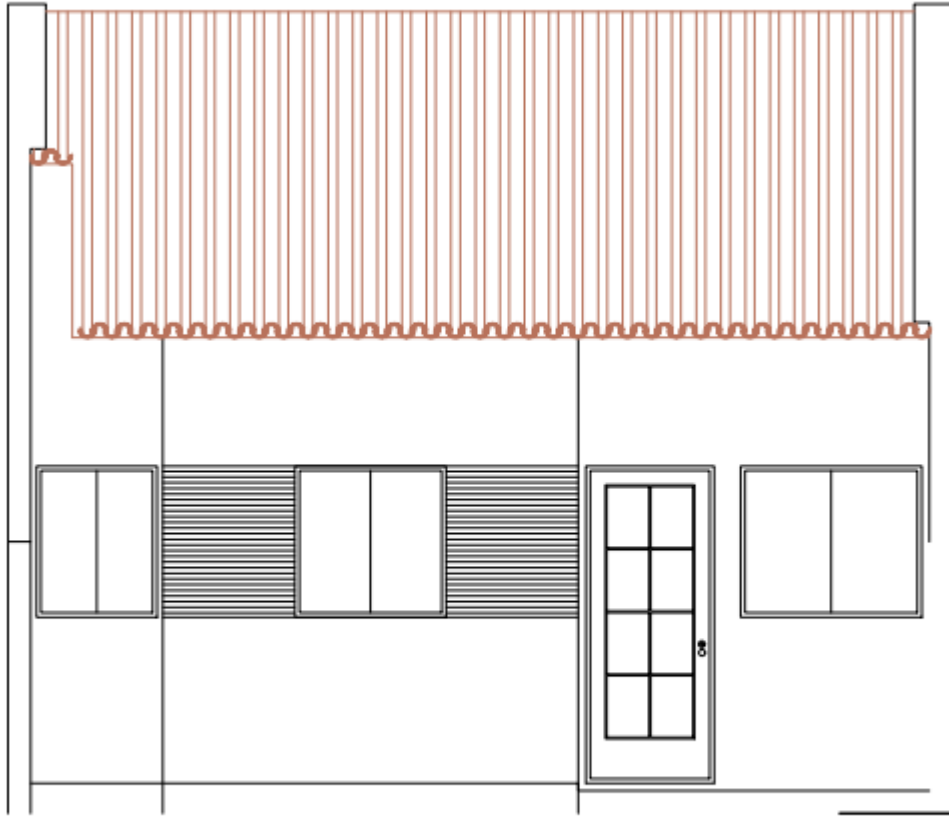
Name: Grady Ye  
Position: Senior Supervisor  
Date: 11 Nov 2013

# ANEXO B – PLANTA DE UMA RESIDÊNCIA TÍPICA

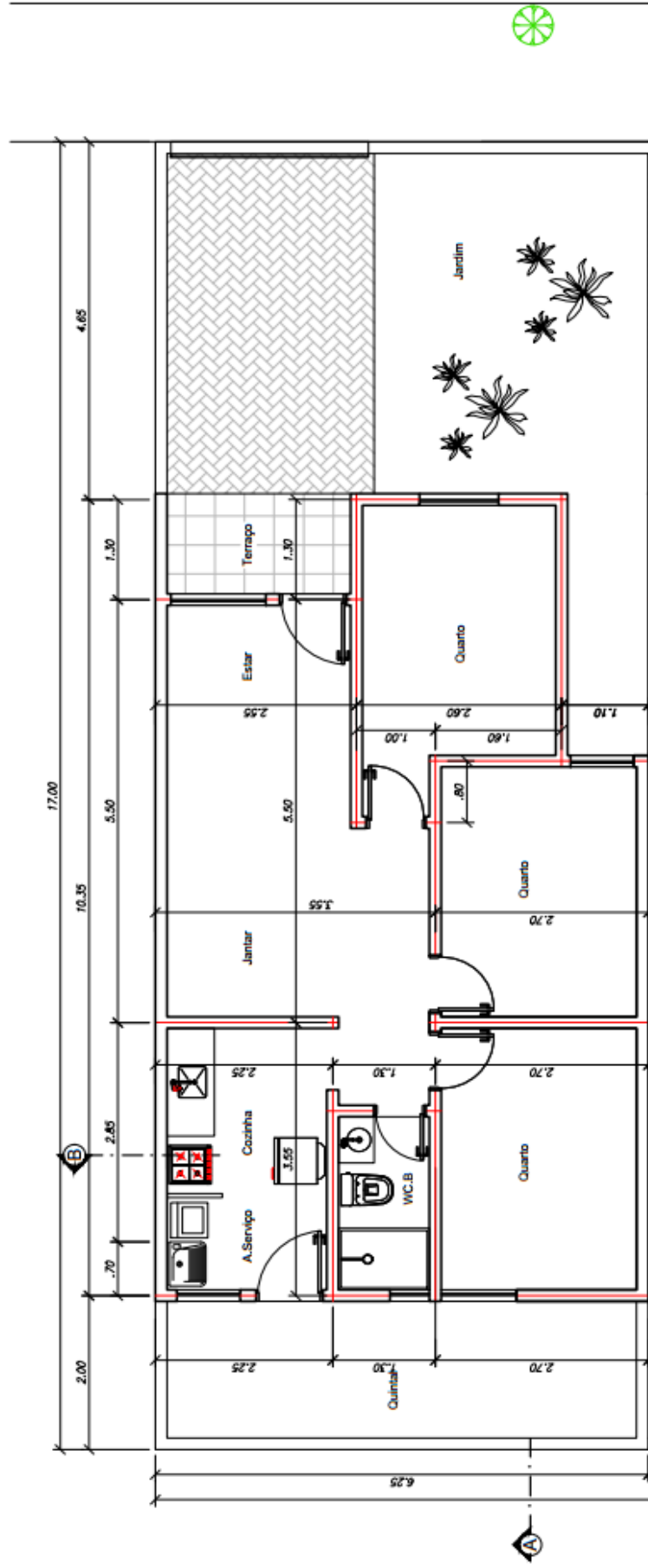


Vista Lateral





FACHADA  
ESC. 1:50



Planta Baixa

# APÊNDICE A – ORÇAMENTO DO PROJETO DE GERAÇÃO SOLAR

Tabela 10– Orçamento do projeto de geração solar

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Valor Unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
1	Painel Solar Fotovoltaico Policristalino, 265Wp, Modelo: CS6P-265P. Fabricante: Canadian	4	PC	776,55	3.106,20
2	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Vermelho. Fabricante: Prysmian	4	M	3,26	13,04
3	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Preto. Fabricante: Prysmian	4	M	3,26	13,04
4	Cabo de Cobre 2,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Preto. Fabricante: Prysmian	6	M	2,12	12,70
5	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Azul. Fabricante: Prysmian	6	M	2,12	12,70
6	Cabo de Cobre 4,0 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Verde. Fabricante: Prysmian	6	M	2,12	12,70
7	Caixa de Passagem em PVC . Dimensões: 20x20 cm - Fabricante: Tigre	1	PC	40,00	40,00
8	Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS) Fotovoltaico - Modelo: PRD-DC40r 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 On Gride Sunshine - Modelo: SUN - 1000G	1	PC	1000,0	1000,00
13	Conector Tipo olhal - 4mm <sup>2</sup>	2	PC	0,75	1,50
14	Placa de Advertência - Dimensões: 25x18 cm- Padrão Especificado pela Energisa	1	PC	50,00	50,00
15	Medidor Bidirecional - Padrão Energisa	1	PC	150,00	150,00
<b>TOTAL DO MATERIAL (R\$)</b>					<b>5.340,59</b>
<b>PROJETO (R\$)</b>					<b>1000,00</b>
<b>MÃO - DE - OBRA (R\$)</b>					<b>1000,00</b>
<b>TOTAL (R\$)</b>					<b>7.340,59</b>

Fonte : Própria Autora