



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

EWERTON BRASIL DA SILVA QUEIROZ

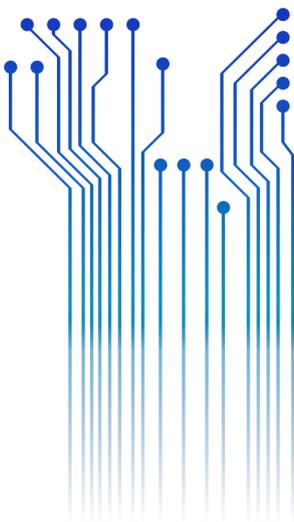


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS NO
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2016

EWERTON BRASIL DA SILVA QUEIROZ

VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS NO LABORATÓRIO DE
SISTEMAS DE POTÊNCIA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso 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 Célio Anésio da Silva, D.Sc.

EWERTON BRASIL DA SILVA QUEIROZ

VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS NO LABORATÓRIO DE
SISTEMAS DE POTÊNCIA

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

Área de Concentração: Geração de Energia

Aprovado em 31/10/2016

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha mãe, Lucia Cleide, guerreira e dedicada, sempre esteve com um sorriso nos lábios me encorajando a seguir em frente, sendo o maior combustível para essa vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Instituição UFCG por todo o investimento, a todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica por contribuírem com seus conhecimentos para a minha formação acadêmica, a Coordenação de Engenharia Elétrica por sempre estarem prontos para solucionar todos os problemas.

Agradeço ao professor orientador, Célio Anésio, por toda contribuição para este trabalho e por toda paciência durante o período letivo.

Agradeço ao professor convidado, Leimar de Oliveira por todo o apoio necessário para a avaliação do meu trabalho.

Agradeço também a minha mãe, Lucia Cleide, por todo o esforço e por sempre fornecer o melhor combustível do mundo, o seu amor, sem ela com certeza não chegaria até aqui.

Agradeço a toda a minha família, que sempre me apoiaram, seja com um riso ou com uma mensagem positiva, acreditando em mim.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial, Welch Maria, Helton Tavares, Hélivio Rubens, Bianca Cartaxo, Ana Reis, Geovan Ricardo, sem vocês seria ainda mais árdua a caminhada, gratidão sempre.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Que as Palavras Que Eu Falo,
Não Sejam Ouvidas Como Prece
E Nem Repetidas Com Fervor,
Apenas Respeitadas Como a Única Coisa
Que Resta a Um Homem Inundado de Sentimentos.”*

Oswaldo Montenegro.

RESUMO

Energia solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol. É utilizada por meio de diferentes tecnologias em constante evolução, como o aquecimento solar, a energia solar fotovoltaica, a energia heliotérmica, a arquitetura solar e a fotossíntese artificial. Tecnologias solares são amplamente caracterizadas como ativas ou passivas, dependendo da forma como capturam, convertem e distribuem a energia solar. Entre as técnicas solares ativas estão o uso de painéis fotovoltaicos, entre outros.

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 o laboratório de sistemas de potência, e também faz uma análise de viabilidade econômica deste projeto, utilizando métodos de engenharia econômica, indicando que a aplicação desse projeto no Laboratório é economicamente inviável.

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

ABSTRACT

Solar energy is a term that refers to the energy from the light and heat of the sun. It is used by different evolving technologies, such as solar heating, photovoltaic solar energy, solar thermal energy, solar architecture and photosynthesis artificial. Solar technologies are broadly characterized as either active or passive depending on the way they capture, convert and distribute solar energy. Among active solar techniques include the use of photovoltaic panels, among others.

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, indicating that the implementation of this project in the laboratory is uneconomical.

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

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cientistas em 1954.	15
Figura 2 – Esquema de uma célula elementar.....	16
Figura 3 - Célula de silício monocristalino	17
Figura 4 - Célula de silício policristalino	17
Figura 5– Célula de silício amorfo.	17
Figura 6– Eficiência de diversos tipos de células fotovoltaicas.....	18
Figura 7 – Curva Característica I x V de um módulo fotovoltaico.....	18
Figura 8 – Influência no nível de radiação solar instantâneo no desempenho do módulo.	19
Figura 9 – Influência da temperatura nas características elétricas do módulo.	19
Figura 10 - Trajetória do Sol.	22
Figura 11 – Modelo simplificado para conexão de geradores por meio de inversores ..	24
Figura 12 – Modelo de Placa de Advertência.....	26
Figura 13 – Símbolo elétrico de um Inversor.	27
Figura 14 – Laboratório de Sistemas de Potência.	31
Figura 15 – Irradiação solar diária média mensal de Campina Grande	33
Figura 16 - Esquema de ligação entre o Gerador e o Inversor.	37
Figura 17 – Quadro de Cargas Térreo	46
Figura 18 – Quadro de Cargas do Primeiro Pavimento	46
Figura 19 – Quadro de Cargas do Segundo Pavimento	46

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1– Requisitos de proteção exigidos pela empresa.	25
Quadro 2 - Demanda para cargas do LSP.....	32
Quadro 3 – Consumo diário de energia do LSP.	32
Quadro 4 – Consumo mensal de energia do LSP.	32
Quadro 5 - Dados Técnicos que constam na etiqueta do módulo.....	45
Tabela 1 - Especificações do Painel Solar Canadian CS6P 265P.....	34
Tabela 2 – Especificações do Micro Inversor SUNSHINE SUN-1000G.	35
Tabela 3 – Ajuste anual da tarifa em 5% e valores economizados.....	40
Tabela 4– Cálculo do VPL	41
Tabela 5– Fluxo de Caixa Descontado	42
Tabela 6– Orçamento do projeto de Geração Solar.....	48

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
P_{max}	Potência máxima na curva $I \times V$

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	6
Resumo.....	8
Abstract	9
Lista de Ilustrações.....	10
Lista de Tabelas e Quadros.....	11
Lista de Símbolos	13
Sumário	14
Capítulo 1 - Introdução.....	14
Capítulo 2 – As Placas Fotovoltaicas	15
2.1 Histórico	15
2.2 Funcionamento	16
2.3 Material	16
2.4 Curva característica do módulo fotovoltaico.....	18
2.5 Vantagens e Desvantagens da Energia Solar.....	20
Capítulo 3 – Projeto de Implantação do Sistema Fotovoltaico Conectado á Rede.....	21
3.1 Levantamento Adequado do Recurso Solar	21
3.2 Definição da Localização e Configuração do Sistema.....	22
3.3 Levantamento da Demanda e Consumo de Energia Elétrica.....	23
3.4 Resolução Normativa N° 482/2012 e 687/2015	23
3.5 Norma de Distribuição Unificada – NDU 013	24
3.6 Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico.....	26
3.7 Dimensionamento do Inversor.....	27
3.8 Dimensionamento dos Cabos e Proteções	30
Capítulo 4 – Projeto de Geração Solar do Laboratório de Sistemas de Potência	31
4.1 Avaliação do Recurso Solar	33
4.2 Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico.....	34
4.3 Dimensionamento do Inversor.....	35
4.4 Dimensionamento das Proteções	36
4.5 Configuração do Sistema.....	37
4.6 Análise da Viabilidade Econômica.....	37
Capítulo 5 – Conclusão	43
Referências	44
Anexo A – Quadro de Dados Técnicos	45
Anexo B – Quadro de Cargas do LSP	46
Anexo C – Certificado de Conformidade do Micro Inversor	47
Apêndice A – Orçamento do Projeto de Geração Solar	48

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Os constantes problemas ambientais causados pela utilização de energias não renováveis, aliados ao esgotamento dessas fontes, têm despertado o interesse pela utilização de fontes alternativas de energia. A energia solar é uma boa opção na busca por alternativas menos agressivas ao meio ambiente, pois consiste numa fonte energética renovável e “limpa”.

Normalmente, a energia solar é utilizada em locais mais isolados, secos e ensolarados. Em Israel, aproximadamente 70% das residências possuem coletores solares, outros países com destaque na utilização da energia solar são os Estados Unidos, Alemanha, Japão e Indonésia. No Brasil, a utilização de energia solar está aumentando de forma significativa, principalmente o coletor solar destinado para aquecimento de água.

Pretende-se expor ao longo do trabalho um estudo de viabilidade da geração da energia solar através de placas fotovoltaicas para o Laboratório de Sistemas de Potência.

O Capítulo 1 apresenta uma introdução do que vai ser relatados nos próximos capítulos.

O Capítulo 2 apresenta informações básicas desde o histórico das placas fotovoltaicas até as vantagens e desvantagens deste material.

O Capítulo 3 discute o projeto de implantação do sistema fotovoltaico conectado a rede de energia.

O capítulo 4 aplica os conceitos do capítulo 3 para o laboratório de Sistemas de Potência, é discutido se o projeto é viável ou não, de acordo com ferramentas de análises financeiras.

As conclusões acerca do estudo realizado são expostas no capítulo 5.

CAPÍTULO 2 – AS PLACAS FOTOVOLTAICAS

2.1 HISTÓRICO

Em 1839, Edmond Becquerel observou que placas metálicas, de platina ou prata, quando mergulhadas em um eletrólito e expostas à luz produziam uma pequena diferença de potencial, este fenômeno foi denominado de efeito fotovoltaico. Em 1884, Charles Fritts produziu a primeira célula fotovoltaica usando selênio, a característica de fotocondutividade deste material foi descoberta por Smith em 1873.

A eficiência da célula de selênio não chegava a 1%, mas com a evolução científica do início do século XX, principalmente a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905, a mecânica quântica com a teoria das bandas de energia, física dos semicondutores com os processos de purificação e dopagem aplicadas aos transmissores, em 1954 foi anunciada a primeira célula fotovoltaica usando silício (com eficiência de 6%), desenvolvida pelos pesquisadores Calvin Fuller (químico), Gerald Pearson (físico) e Daryl Chapin (engenheiro), todos do laboratório da Bell em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, mostrado na figura 01.

Figura 01. Cientistas em 1954.



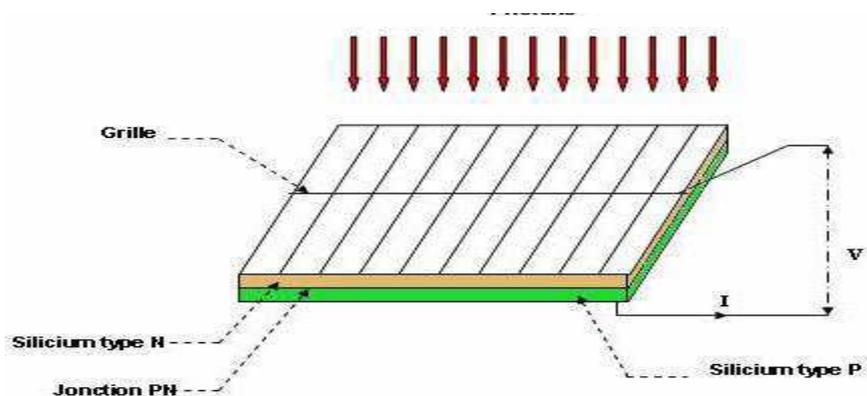
Fonte: Google Imagens

2.2 FUNCIONAMENTO

A célula fotovoltaica permite a conversão direta de energia luminosa em energia elétrica e o seu funcionamento é semelhante ao de um díodo foto-sensível; baseia-se nas propriedades dos materiais semicondutores. A célula é composta por duas camadas de material semicondutor dopadas de forma diferente: na camada N, existe um excesso de elétrons periféricos; na camada P, existe um déficit de elétrons.

Desta forma, existe uma diferença de potencial entre estas duas camadas. Os elétrons periféricos (camada N) ao captarem a energia dos fótons, saltam a barreira de potencial, criando assim uma corrente contínua. Para a condução desta corrente, existem dois elétrodos nas camadas de semicondutor (Figura 2). O elétrodo superior é em forma de grelha deixando passar os raios luminosos. Sobre este elétrodo é depositada uma camada anti-reflexo de forma a aumentar a quantidade de luz absorvida.

Figura 2. Esquema de uma célula elementar.



Fonte: <http://e-lee.ist.utl.pt/>

2.3 MATERIAL

As células fotovoltaicas constituintes dos painéis solares são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Existem três tipos principais de células solares: Células mono-cristalinas (Figura 3); Células poli-cristalinas (Figura 4); Células de silício monocristalino, que são historicamente as mais usadas e

comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído.

Figura 3. Célula de silício monocristalino.



Fonte: portal-energia

Figura 4. Célula de silício policristalino.



Fonte: portal-energia

A célula de silício amorfo (Figura 5) difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Algumas desvantagens são: a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas; as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil.

Figura 5. Célula de silício amorfo.



Fonte: portal-energia

As vantagens que compensam as deficiências citadas: Processo de fabricação relativamente simples e barato; e a possibilidade de fabricação de células com grandes áreas; e o baixo consumo de energia na produção. A Figura 6 mostra um comparativo das eficiências das células fotovoltaicas fabricadas em laboratório.

Figura 6. Eficiência de diversos tipos de células fotovoltaicas.

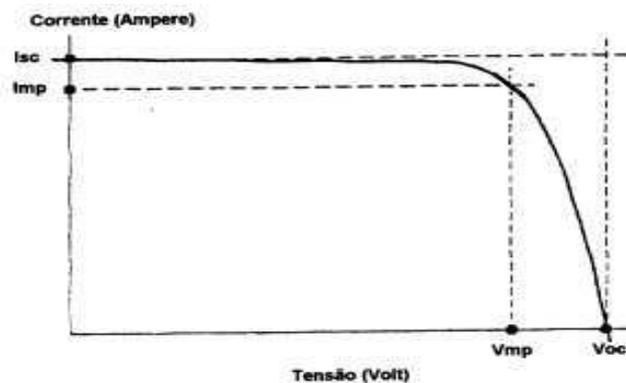
Tecnologia		Eficiência (%)
Silício	Monocristalino	25,0 ± 0,5
	Policristalino	20,4 ± 0,5
	Filmes finos transferidos ⁴	20,1 ± 0,4
Compostos III A-VA (ou 13-15)	GaAs (filme fino)	28,8 ± 0,9
	GaAs (policristalino)	18,4 ± 0,5
	InP (monocristalino)	22,1 ± 0,7
Calcogênios Compostos II B-VI A (ou 12-16)	CIGS (CuIn _x Ga _(1-x) Se ₂) (filme fino)	19,6 ± 0,6
	CdTe (filme fino)	18,3 ± 0,5
Silício amorfo / nanocristalino	Amorfo (a-Si) (filme fino)	10,1 ± 0,3
	Nanocristalino (nc-Si)	10,1 ± 0,2
Células Sensibilizadas por Corantes (DSSC)		11,9 ± 0,4
Células Orgânicas (filme fino)		10,7 ± 0,3
Multijunção	InGaP/GaAs/InGaAs	37,7 ± 1,2
	a-Si/nc-Si/nc-Si (filme fino)	13,4 ± 0,4

Fonte:GREEN et al., 2013

2.4 CURVA CARACTERÍSTICA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Uma curva característica típica é mostrada na Figura 7.

Figura 7. Curva Característica I x V de um módulo fotovoltaico



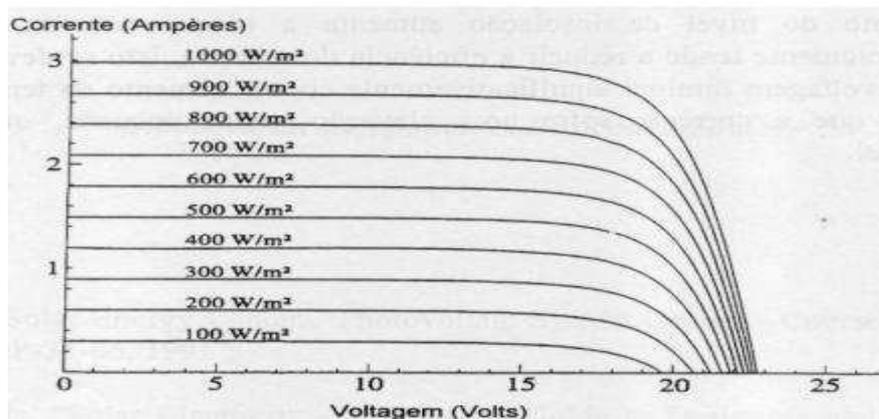
Fonte: solenerg.com.br

Essa curva é característica de cada tipo de módulo e é fornecida pelo fabricante. Cada condição de insolação e temperatura gera uma curva específica.

O ponto da curva em que o sistema funciona depende da carga. O ideal é que o sistema funcione o mais próximo possível do ponto de potência máxima para que haja um maior aproveitamento da energia solar.

A curva característica mostrada na Figura 7 varia quando estas condições são alteradas. Quando o nível de radiação solar que incide sobre o módulo decresce, o desempenho do módulo também decresce, conforme mostrado na Figura 8, que apresenta curvas características de um módulo típico.

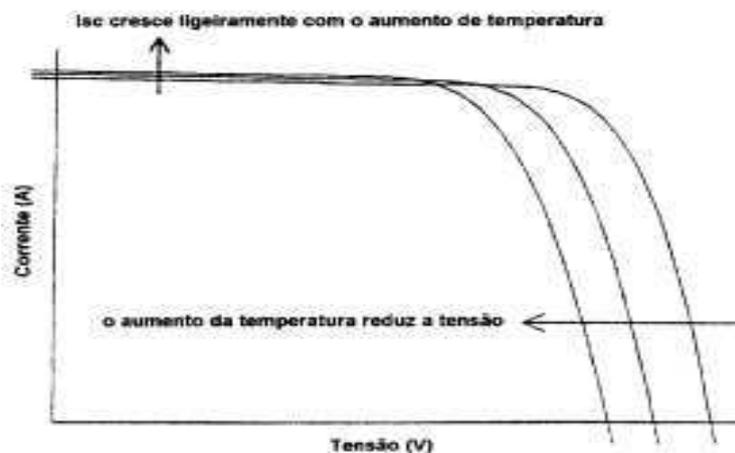
Figura 8. Influência no nível de radiação solar instantâneo no desempenho do módulo.



Fonte: <https://disciplinas.stoa.usp.br>

Quando a temperatura das células aumenta, a potência máxima que os módulos podem fornecer decresce. O principal efeito do aumento de temperatura é o decréscimo da tensão produzida, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9. Influência da temperatura nas características elétricas do módulo.



Fonte: solenerg.com.br

A eficiência (Equação 1) é uma das maneiras de se avaliar a qualidade de um módulo fotovoltaico. Mas, é preciso analisá-la dentro de um contexto global, considerando as outras variáveis envolvidas.

$$Eficiência = P_{max}/(Radiação \times área) \quad (1)$$

Algumas informações essenciais normalmente constam da etiqueta afixada em cada módulo, conforme mostrado no Quadro 5 que está no Anexo A – Dados Técnicos que constam na etiqueta do módulo.

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR

As principais vantagens para que a energia solar fotovoltaica seja utilizada:

- Incentivos governamentais – O governo tem incentivado muito o uso dessas fontes de energia, seja por meio da regulamentação de seu uso, etc;
- Sustentabilidade ambiental – Primeiramente, ela reduz a utilização de outras fontes de energia, como a elétrica e o gás. Seu impacto sobre o meio ambiente é baixíssimo. Nem apresenta riscos à saúde da família;
- Economia de recursos – Diminuição dos custos com despesa elétrica. Além de que os custos de manutenção são bastante baixos;
- Facilidade de instalação – Sua instalação interfere pouco no sistema elétrico já existente;

Algumas desvantagens da energia solar são:

- Existe variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática. Durante a noite não existe produção alguma, o que obriga a existência de meios de armazenamento da energia produzida durante o dia em locais onde os painéis solares não estejam ligados à rede de transmissão de energia;
- Locais em latitudes médias e altas sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de Inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar;
- As placas solares demandam uma grande extração de minérios. Então, a demanda por matérias-primas pode tornar-se ainda mais intensa, o que pode contribuir para políticas não sustentáveis na extração dos minerais, causando prejuízos ambientais;

CAPÍTULO 3 – PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO Á REDE

As principais etapas para a implantação de um sistema fotovoltaico conectado á rede são definidas nos tópicos desse capítulo.

3.1 LEVANTAMENTO ADEQUADO DO RECURSO SOLAR

A primeira etapa do projeto de sistemas conectados á rede (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)

Uma grandeza importante, é o número de Horas de Sol Pleno (HSP) que expressa o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia. Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², 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, Adaptado)

Então, HSP é dado por meio da equação (2):

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

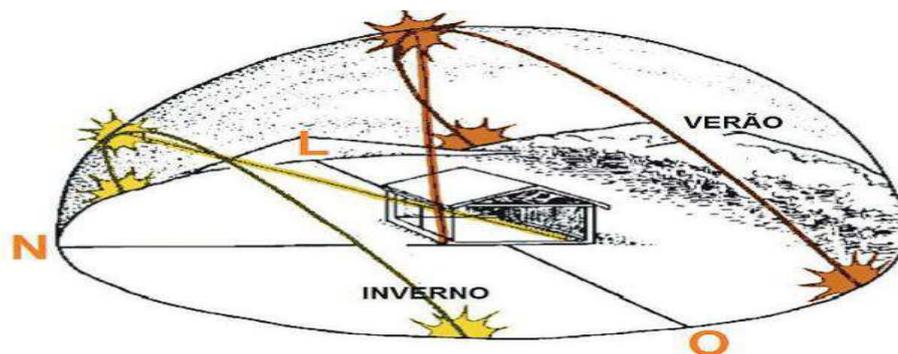
Vale observar que nada pode substituir a medição *in situ*, no local de implantação do projeto, utilizando instrumentos adequados, pois podem ocorrer incorreções advindas das diferenças entre os valores estimados e os valores reais.

3.2 DEFINIÇÃO DA 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 10 mostra que o sol nasce no leste, sobe se inclinando ao Norte e se põe no Oeste.

Figura 10. 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.

3.3 LEVANTAMENTO DA DEMANDA E 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.

3.4 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:

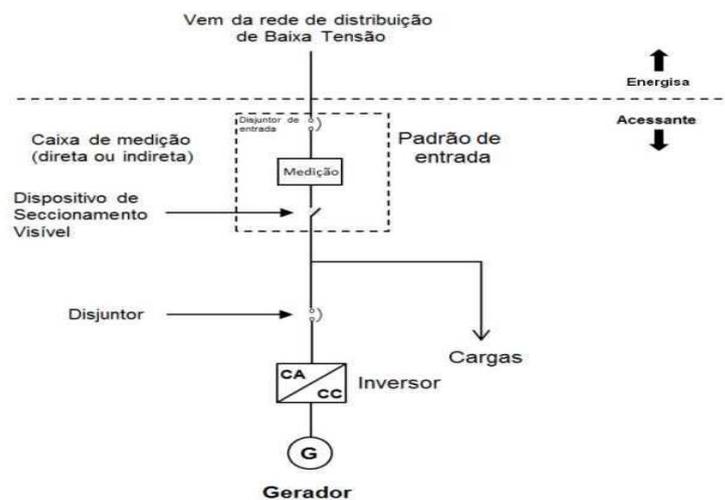
- Microgeração Distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;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

3.5 NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA – NDU 013

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 11 é apresentado o modelo simplificado de conexão de geradores por meio de inversores recomendado pela Energisa.

Figura 11. 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 no Quadro 1.

Quadro 1. Requisitos de proteção exigidos pela empresa.

Requisito de Proteção	Potência Instalada até 75 kW
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: NDU 013

Nos sistemas que utilizam inversores, as proteções relacionada no Quadro 3 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 12.

Figura 12. Modelo de Placa de Advertência.



Fonte: NDU 013

3.6 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 (3) para calcular a potência do microgerador que irá compor o SFCR.

$$P_{FV}(W_p) = \frac{E}{HSP_{MA} \cdot TD} \quad (3)$$

Sendo:

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

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).

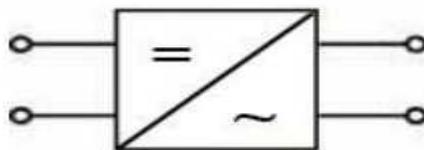
O desempenho de um sistema fotovoltaico é tipicamente medido pela taxa de desempenho (TD), definida como a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Diante de alguns estudos, chegou-se a conclusão que, para sistemas fotovoltaicos conectados à rede residenciais 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)

3.7 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 símbolo mostrado na Figura 13 é usado para indicar um inversor ou conversor CC-CA.

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)

Figura 13. 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.

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 (4).

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}} \quad (4)$$

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_p);

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.

O máximo número de módulos em série que pode ser conectado ao inversor é calculado pela equação (5). (PINHO E GALDINO, 2014, p.333, Adaptado)

$$n^{\circ} \text{ de módulos em série} \times V_{ocTmin} < V_{imáx} \quad (5)$$

Sendo:

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

V_{ocTmin} : 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°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)

$$\frac{V_{iSPPMmin}}{V_{mpTmax}} < n^{\circ} \text{ de módulos em série} < \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (6)$$

Sendo:

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

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

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

V_{mpTmin} : 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 (7).

$$n^{\circ} \text{ de séries FV em paralelo} = \frac{I_{imax}}{I_{sc}} \quad (7)$$

Sendo:

I_{imax} : Corrente máxima C.C. admitida na entrada do inversor (A);

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

3.8 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.

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.

CAPÍTULO 4 – PROJETO DE GERAÇÃO SOLAR DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

Considerando o Laboratório de Sistemas de Potência (Figura 14) localizado na cidade de Campina Grande na Universidade Federal de Campina Grande, pertencente ao grupo B3 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 3.4 e 3.5 deste trabalho.

Figura 14. Laboratório de Sistemas de Potência.



Fonte: Próprio Autor

O consumo médio mensal do Laboratório de Sistemas de Potência irá ser estimado de acordo com o quadro de cargas do projeto inicial do Laboratório de Sistemas Elétricos, como mostra as Figuras 17, 18 e 19 que estão no ANEXO B – Quadro de cargas do LSP.

Sabe-se que a Iluminação geral do prédio LSP tem potência no valor de 4680 W, as TUGS representam uma potência de 41000 W, e por fim Ar-condicionado representando 34200 W de potência.

Para o cálculo da demanda foi utilizada a norma NDU 001 da Energisa, para a obtenção dos fatores de demanda para os tipos de cargas presentes no bloco. Para a iluminação, tomadas de uso geral, foi utilizada a Tabela 2, para o ar condicionado, foi utilizado a tabela 8 da referida norma. O Quadro 2 apresenta os valores de demanda para todas as cargas do bloco.

Quadro 2. Demanda para cargas do LSP.

Tipo de Carga	Potência × FD	Demanda [kW]
Iluminação Geral	4680×0,86	4,025
TUGS	41000×0,86	35,260
Ar-Condicionado	34200×0,80	27,360

Fonte: Próprio Autor

Faz-se necessário uma estimativa do consumo diário de energia elétrica para o prédio da universidade em questão, então o Quadro 3 apresenta os valores do consumo diário de todas as cargas.

Quadro 3. Consumo diário de energia do LSP.

Tipo de Carga	Demanda × Horas	Consumo diário [kWh/dia]
Iluminação Geral	4,025×4	16,0992
TUGS	35,26×2	70,52
Ar-Condicionado	27,36×2	54,72

Fonte: Próprio Autor

É possível observar que o consumo do Quadro 3 foi calculado com um pequeno número de horas, visto que o prédio em estudo, ainda não é utilizado em sua capacidade máxima. Então, adentra ao projeto o fator sensibilidade.

Por Fim, o Quadro 4 representa o consumo mensal de energia elétrica.

Quadro 4. Consumo mensal de energia do LSP.

Tipo de Carga	Consumo diário×Dias	Consumo mensal [kWh]
Iluminação Geral	16,0992×20	321,984
TUGS	70,52×20	1410,4
Ar-Condicionado	54,72×20	1094,4

Fonte: Próprio Autor

Nota-se no Quadro 4, que foi considerado apenas os dias úteis de um mês, e que o consumo mensal estimado do Laboratório de Sistemas Elétricos é a soma dos consumos mensais para cada tipo de carga, totalizando 2826,78 kWh.

Para o projeto de geração solar do LSP, o objetivo é instalar placas que sejam responsáveis pelo consumo mensal no valor de 130 kWh. Então esse valor será tomado como base para os dimensionamentos do sistema.

4.1 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 representada pela Figura 15 que apresenta os dados sobre a irradiação solar da cidade.

Figura 15. Irradiação solar diária média mensal 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 ² .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

Como foi dito na seção 3.1, que nada substitui a medição da irradiação no local da instalação do sistema.

Utilizando a equação 2 tem-se as Horas de Sol Pleno:

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

4.2 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR

FOTOVOLTAICO

Para calcular a potência do gerador fotovoltaico, tem-se os seguintes dados: HSP sendo 5,1h/dia; Consumo médio mensal de 130 kWh; Consumo médio diário sendo 4333,33 Wh/dia; TD igual a 0,8. Substituindo esses valores na equação (3) tem-se a potência do gerador no valor de 1062,09 W.

Foram escolhidas placas fotovoltaicas do fabricante Canadian modelo CS6P 265P, cujas especificações técnicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. 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_{0c})	37,7 V
Corrente de pico (I_{mp})	8,66 A
Corrente de curto circuito (I_{sc})	9,23 A
Eficiência (η)	16,47 %
Tensão máxima do sistema	1000 V _{dc}
Características Térmicas	
Temperatura Nominal da Célula	45 ± 2 °C
Coefficiente de Temperatura ($P_{máx.}$)	-0,41 % / °C
Coefficiente de Temperatura (V_{0c})	-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/seção)	1000mm/4 mm ²

Fonte: Minha Casa Solar

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

4.3 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 C, e atende as exigências da Energisa.

Então, utilizando a equação 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 2.

Tabela 2 - Especificações do Micro Inversor SUNSHINE SUN-1000G.

Dados Técnicos	
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 (7) 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 de 36,92 A.

A energia gerada diária pelo sistema é calculada pela equação (3), como se segue:

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

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

4.4 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.

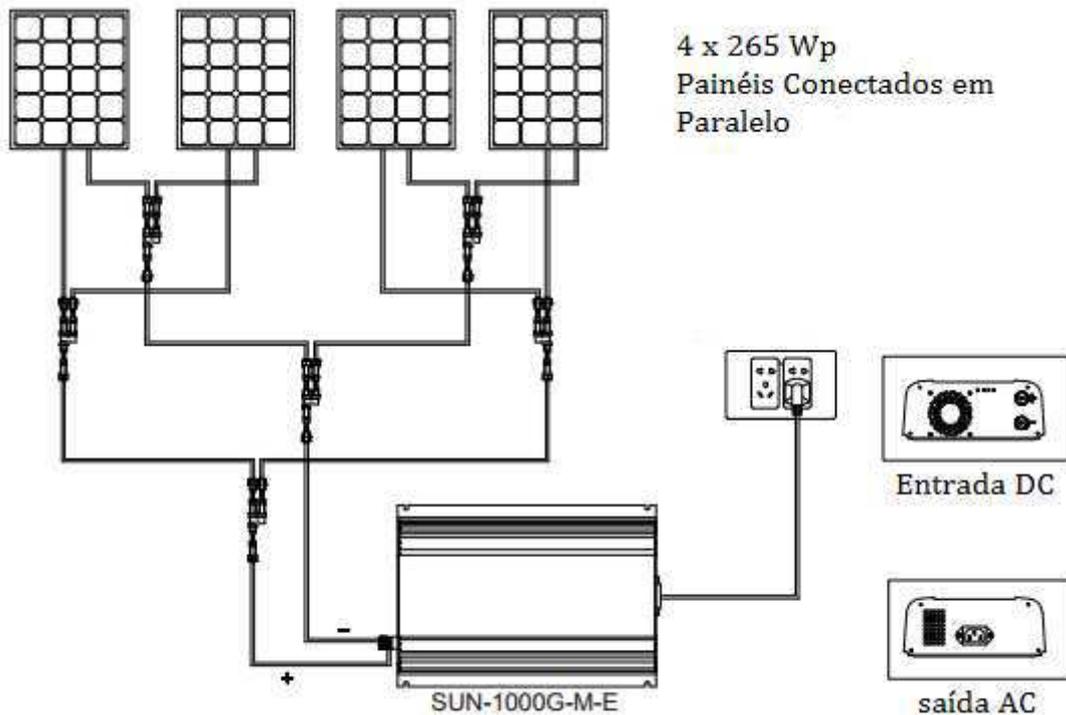
Para o lado DC, que se encontra entre os painéis e o inversor, foi dimensionado um disjuntor de 40 A, para garantir que a corrente que irá entrar no inversor não ultrapasse a corrente máxima de entrada do equipamento e também foi dimensionado o dispositivo de proteção contra surtos, especialmente para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

4.5 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: Manual do Micro Inversor (Adaptado)

4.6 ANÁLISE DA 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*.

VALOR PRESENTE LÍQUIDO

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.

O VPL pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (8)$$

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. Caso contrário, o investimento não é viável.

TAXA INTERNA DE RETORNO

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:

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

Para a análise da TIR tem-se as seguintes condições: se $TIR \geq k$, o projeto é economicamente viável. Caso contrário, o projeto é economicamente inviável.

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

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. Neste caso, o *payback* descontado é um método de análise financeira mais seguro e confiável.

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

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (10)$$

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.

Para analisar a viabilidade econômica de um projeto é necessário saber o orçamento do investimento inicial. Então, foi feita uma pesquisa de mercado para saber em média quanto se gastaria para executar um projeto como o que foi dimensionado nas seções 4.1 a 4.5.

No Apêndice A encontra-se o orçamento detalhado realizado para a instalação do sistema fotovoltaico, que ficou em torno de R\$ 6.598,40. O valor do projeto não foi incluso no orçamento, pois a UFCG pode se responsabilizar pelo próprio, diminuindo os custos.

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, apresentados nesta mesma seção.

Considerando um investimento inicial de R\$ 6.598,40, uma produção mensal de aproximadamente 129 kWh e anual de 1548 kWh, uma vida útil do projeto de 25 anos e sabendo-se que a tarifa de energia cobrada pela Energisa para modalidade pública

(grupo B3) é de 0,24633 R\$/kWh foi realizado a análise de viabilidade econômica considerando a taxa de desconto ou TMA como sendo o rendimento dos últimos 12 meses 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 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 3 – Ajuste anual da tarifa em 5% e valores economizados.

T	Ano	Tarifa (R\$/kWh)	Valor Economizado Mensal (R\$)	Valor Economizado Anualmente (R\$)
0				-6.598,4000
1	2017	0,24633	31,7766	381,3192
2	2018	0,25860	33,3594	400,3128
3	2019	0,27153	35,0274	420,3288
4	2020	0,28511	36,7792	441,3504
5	2021	0,29936	38,6174	463,4088
6	2022	0,31433	40,5486	486,5832
7	2023	0,33005	42,5764	510,9168
8	2024	0,34655	44,7049	536,4588
9	2025	0,36388	46,9405	563,2860
10	2026	0,38207	49,2870	591,4440
11	2027	0,40118	51,7522	621,0264
12	2028	0,42123	54,3387	652,0644
13	2029	0,44229	57,0554	684,6648
14	2030	0,46441	59,9089	718,9068
15	2031	0,48763	62,9043	754,8516
16	2032	0,51202	66,0506	792,6072
17	2033	0,53762	69,3530	832,2360
18	2034	0,56449	72,8192	873,8304
19	2035	0,59272	76,4609	917,5308
20	2036	0,62236	80,2844	963,4128
21	2037	0,65348	84,2989	1.011,5868
22	2038	0,68615	88,5133	1.062,1596
23	2039	0,72046	92,9393	1.115,2716
24	2040	0,75648	97,5859	1.171,0308
25	2041	0,79431	102,4660	1.229,5920
			Total	18.196,1808

Fonte: Próprio Autor

O cálculo do VPL encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 –Cálculo do VPL.

T	Ano	Valor do dinheiro no presente (R\$)
0		-6.598,4000
1	2017	352,8446
2	2018	342,7592
3	2019	333,0226
4	2020	323,5660
5	2021	314,3681
6	2022	305,4402
7	2023	296,7660
8	2024	288,3335
9	2025	280,1448
10	2026	272,1837
11	2027	264,4560
12	2028	256,9382
13	2029	249,6382
14	2030	242,5495
15	2031	235,6591
16	2032	228,9684
17	2033	222,4636
18	2034	216,1396
19	2035	210,0017
20	2036	204,0372
21	2037	198,2417
22	2038	192,6089
23	2039	187,1381
24	2040	181,8213
25	2041	176,6576
	VPL:	-221,6522

Fonte: Próprio Autor

Como o VPL é igual a -221,6523, ou seja, negativo, pode-se concluir que por esse método o projeto é inviável.

O cálculo da TIR foi obtido utilizando uma função do Excel própria para este método e foi obtido um valor menor que 8%, afirmando que o projeto é inviável.

O *payback* descontado pode ser obtido analisando a Tabela 5.

Tabela 5 – Fluxo de Caixa Descontado.

T	Fluxo de Caixa	Saldo(R\$)
	-6.598,4000	-6.598,4000
1	352,8446	-6.245,5554
2	342,7592	-5.902,7962
3	333,0226	-5.569,7736
4	323,5660	-5.246,2076
5	314,3681	-4.931,8395
6	305,4402	-4.626,3993
7	296,7660	-4.329,6333
8	288,3335	-4.041,2998
9	280,1448	-3.761,1550
10	272,1837	-3.488,9713
11	264,4560	-3.224,4560
12	256,9382	-2.967,5771
13	249,6382	-2.717,9389
14	242,5495	-2.475,3894
15	235,6591	-2.239,7303
16	228,9684	-2.010,7619
17	222,4636	-1.788,2983
18	216,1396	-1.572,1587
19	210,0017	-1.362,1570
20	204,0372	-1.158,1198
21	198,2417	-959,8781
22	192,6089	-767,2692
23	187,1381	-580,1311
24	181,8213	-398,3098
25	176,6576	-221,6522

Fonte: Próprio Autor

Pela Tabela 5 nota-se que o Investimento inicial não é descontado durante os 25 anos.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

O Brasil é um país que tem um perfil para utilizar os sistemas fotovoltaicos, por apresentar um grande potencial solar, e possuir grandes reservas de 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.

Utilizar a energia solar é contribuir positivamente para a economia de energia e para o uso racional da energia elétrica, visto que atualmente vivemos uma crise hídrica no país, economizar a energia obtida de hidroelétricas é ajudar o meio ambiente. Percebe-se então, mais uma vez, a grande importância da utilização de energia obtida através do Sol.

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, foi possível realizar um projeto de um SFCR para o Laboratório de Sistemas de Potência, 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\$ 6.598,40 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 a TMA igual ao rendimento da poupança de 8,07% obteve-se um VPL de 221,6522 (negativo), uma TIR menor que a TMA e um *payback* maior do que a vida útil do projeto, então pela análise do conjunto de métodos pode-se concluir que para esta taxa o projeto é inviável.

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.

REFERÊNCIAS

A Importância do uso da energia solar. Disponível em: <https://colegiometajf.wordpress.com/2013/12/03/conheca-a-importancia-do-uso-da-energia-solar/> . Acesso em: Setembro de 2016.

Portal Energia. **Tipos de células fotovoltaicas.** Disponível em: <http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>. Acesso em : Setembro de 2016.

Portal Energia. **Vantagens e Desvantagens da energia solar.** Disponível em: <http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>. Acesso em: Setembro de 2016.

Cresesb. **Manual de Engenharia FV 2014.** Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: Setembro de 2016.

Solenerg. **Módulo fotovoltaico.** Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/Modulo-Fotovoltaico-Solenerg.pdf>. Acesso em: Setembro de 2016.

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.

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

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

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

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

ANEXO A – QUADRO DE DADOS TÉCNICOS

Quadro 5. Dados Técnicos que constam na etiqueta do módulo.

Informação	Significado ou importância da informação
Nome do fabricante	Identificação do responsável pela qualidade do módulo
Identificação do modelo	Pelo modelo pode-se identificar a folha de dados técnicos com informações sobre tecnologia, potência e tolerância
Número de série	O número de série é obrigatório para registro, qualificação, rastreabilidade e garantia do produto
Tensão máxima do sistema	Indica o maior valor de tensão de circuito aberto de um arranjo onde o módulo pode ser instalado
Tensão de circuito aberto (Voc)	Multiplicando-se Voc de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se Voc do arranjo
Corrente de curto-circuito (Isc)	Multiplicando-se Isc de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se Isc do arranjo
Tensão de máxima potência (Vmp)	Multiplicando-se Vmp de cada módulo pelo número de módulos em série em um arranjo, obtém-se Vmp nominal do arranjo
Corrente de máxima potência (Imp)	Multiplicando-se Imp de cada módulo pelo número de módulos em paralelo em um arranjo, obtém-se Imp nominal do arranjo
Potência nas condições-padrão de ensaio (STC)	Potência máxima nominal do módulo nas condições de irradiância de 1.000 W/m ² , espectro AM 1,5 e temperatura de célula de 25° C
Temperatura nominal da célula nas condições de operação NOCT	Temperatura das células do módulo nas condições de irradiância de 800 W/m ² , temperatura ambiente de 20°C e velocidade de vento de 1 m/s

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/>

ANEXO B – QUADRO DE CARGAS DO LSP

Figura 17. Quadro de cargas Térreo.

QUADRO TERMINAL		
Quadro Terminal – QD1		
CIRCUITO	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA (W)
1	TOMADAS USO GERAL 220V	1000
2	TOMADAS USO GERAL 220V	2200
3	AR CONDICIONADO	1900
4	TOMADAS USO GERAL 220V	9000
5	TOMADAS USO GERAL 220V	9000
6	AR CONDICIONADO	1900
7	AR CONDICIONADO	1900
8	TOMADAS USO GERAL 220V	2100
9	TOMADAS USO GERAL 220V	2400
10	AR CONDICIONADO	1900
11	AR CONDICIONADO	1900
12	TOMADAS USO GERAL 220V	1800
13	TOMADAS USO GERAL 220V	1800
36	ILUMINAÇÃO GERAL	720
37	ILUMINAÇÃO GERAL	1040
	TOTAL=	36660

Fonte: UFCG

Figura 18. Quadro de cargas Térreo.

QUADRO TERMINAL		
Quadro Terminal – QD2		
CIRCUITO	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA (W)
14	TOMADAS USO GERAL 220V	1100
15	AR CONDICIONADO	1900
16	AR CONDICIONADO	1900
17	AR CONDICIONADO	1900
18	TOMADAS USO GERAL 220V	1800
19	AR CONDICIONADO	1900
20	AR CONDICIONADO	1900
21	TOMADAS USO GERAL 220V	1800
22	AR CONDICIONADO	1900
23	AR CONDICIONADO	1900
24	TOMADAS USO GERAL 220V	1800
38	ILUMINAÇÃO GERAL	640
39	ILUMINAÇÃO GERAL	640
	TOTAL=	21080

Fonte: UFCG

Figura 19. Quadro de cargas Térreo.

QUADRO TERMINAL		
Quadro Terminal – QD3		
CIRCUITO	DESCRIÇÃO	POTÊNCIA (W)
25	TOMADAS USO GERAL 220V	500
26	TOMADAS USO GERAL 220V	1200
27	AR CONDICIONADO	1900
28	AR CONDICIONADO	1900
29	AR CONDICIONADO	1900
30	TOMADAS USO GERAL 220V	1300
31	AR CONDICIONADO	1900
32	AR CONDICIONADO	1900
33	AR CONDICIONADO	1900
34	TOMADAS USO GERAL 220V	1300
35	TOMADAS USO GERAL 220V	900
40	ILUMINAÇÃO GERAL	1280
41	ILUMINAÇÃO GERAL	360
42	ELEVADOR	8000
	TOTAL=	26240

Fonte: UFCG

ANEXO C – 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.

Applicant Name & Address	: 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
Manufacturing Site & Address	: See Annex to Test Verification of Conformity See Annex to Test Verification of Conformity
Product(s) Tested	: Micro Grid-connected PV inverter
Ratings and principal characteristics	: See Annex to Test Verification of Conformity
Model(s)	: See Annex to Test Verification of Conformity
Brand name	:  Ningbo National Hi-Tech Park Sunshine Technology Co., Ltd.
Relevant Standard(s) / Specification(s) / Directive(s)	: 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
Verification Issuing Office Name & Address	: Same as Intertek Legal Entity
Date of Test(s)	: 24 Sep 2013 – 04 Nov 2013
Verification/Report Number(s)	: 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

APÊNDICE A – ORÇAMENTO DO PROJETO DE GERAÇÃO SOLAR

Tabela 6. 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 ² com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Vermelho. Fabricante: Prysmian	25	M	3,26	81,5
3	Cabo de Cobre 4,0 mm ² com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Preto. Fabricante: Prysmian	25	M	3,26	81,5
4	Cabo de Cobre 2,5 mm ² com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Preto. Fabricante: Prysmian	25	M	2,12	53,0
5	Cabo de Cobre 4,0 mm ² com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Azul. Fabricante: Prysmian	25	M	2,12	53,0
6	Cabo de Cobre 4,0 mm ² com isolamento em PVC 750V - 70°C Cor: Verde. Fabricante: Prysmian	25	M	2,12	53,0
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 Grid Sunshine - Modelo: SUN - 1000G	1	PC	1000,0	1000,00
13	Conector Tipo olhal - 4mm ²	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
TOTAL DO MATERIAL (R\$)					5.598,4
MÃO - DE - OBRA (R\$)					1000,00
TOTAL (R\$)					6.598,4

Fonte : Próprio Autor