

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

MARIANE SAMPAIO SILVA

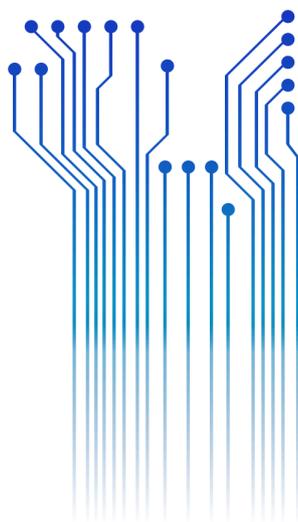


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ENERGIA SOLAR: PROJETO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA CAMPUS VII DA  
UEPB



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

MARIANE SAMPAIO SILVA

ENERGIA SOLAR: PROJETO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA CAMPUS VII DA UEPB

*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: Processamento de Energia

Orientador:  
Professor Ubirajara Rocha Meira

Campina Grande  
2017

MARIANE SAMPAIO SILVA

ENERGIA SOLAR: PROJETO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA CAMPUS VII DA UEPB

*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: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Ubirajara Rocha Meira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a meus pais, que durante toda a minha graduação depositaram imensa confiança, além do apoio que sempre fizeram questão de evidenciar principalmente nos momentos de dúvida e apreensão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, principalmente, a Deus, pela minha vida e por cada intervenção feita sempre para o meu melhor.

Agradeço a minha família; meus pais, Armando e Valéria e minha irmã: Lília; que sempre me deram todo o carinho, além de me proporcionarem a melhor educação. Pelo apoio nas minhas decisões e por acreditarem em mim nessa jornada.

Agradeço aos professores que passaram pela minha vida estudantil, em especial, ao professor Ubirajara Meira que aceitou me orientar neste trabalho.

Agradeço a minha "família", que participaram do dia-a-dia de toda minha trajetória na faculdade, sendo amigos, vizinhos e família. Foram fundamentais para dar leveza e alegria em todo o período de faculdade.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

## RESUMO

O uso da energia do sol para obter energia elétrica é uma aplicação que a cada dia está sendo mais usada. A conversão de energia solar em energia elétrica através das placas fotovoltaicas também é uma ótima opção para que diminua o uso de combustíveis fósseis na produção de eletricidade. O presente trabalho aborda os conceitos básicos para um sistema fotovoltaico conectado à rede e dimensiona dois projetos de energia solar conectado à rede para o Campus VII da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Os dois projetos são para fornecer apenas uma parte da energia consumida pelo Campus, em um caso 30% e em outro 15%. A viabilidade econômica e o *payback* dos projetos também será apresentada para verificar a influência da potência gerada pelo projeto no custo e no retorno do investimento inicial.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico, Placas Fotovoltaicas, *Payback*.

# ABSTRACT

The use of the sun's energy to obtain electric energy is an application that is being used more and more every day. The conversion of solar energy into electricity through photovoltaic panels is also a great option to reduce the use of fossil fuels in electricity production. The present work addresses the basic concepts for photovoltaic connects to grid for the VII Campus of the State University of Paraíba (UEPB). The two projects are to provide only a portion of the energy consumed by the Campus, in one case 30% and another 15%. The economic viability and payback of the projects will also be presented to verify the influence of the power generated by the project on the cost and the return on the initial investment.

**Keywords:** Photovoltaic System, Photovoltaic, Payback.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Diagrama simplificado de um sistema híbrido.....	18
Figura 2 - Diagrama simplificado de um sistema isolado.....	19
Figura 3- Diagrama simplificado de um sistema conectado á rede .....	19
Figura 4 – Esquema de uma celular elementar. ....	20
Figura 5 – Gráfico corrente x tensão. ....	23
Figura 6 – Gráfico potência x tensão. ....	23
Figura 7 – Gráfico indicando ponto de potência máxima. ....	23
Figura 8 – Influência da radiação na corrente. ....	24
Figura 9 – Influência da temperatura na tensão. ....	25
Figura 10 – Definição de painel fotovoltaico. ....	25
Figura 11 – Esquema de módulo fotovoltaico em série.....	26
Figura 12 – Esquema de módulo fotovoltaico em paralelo. ....	26
Figura 13 – Local escolhido no Campus de Patos. ....	32

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Irradiação solar diária média mensal .....	33
Tabela 2 – Descrição da TD. ....	35
Tabela 3 - Especificações do modulo Yingli YL275D-30b.....	36
Tabela 4 - Características Elétricas do inversor interativo Symo 17.5-3-M. ....	38
Tabela 5 - Quedas de tensão admissíveis para trechos de ligação entre componentes de sistemas fotovoltaicos. ....	46
Tabela 6 – Orçamento caso A. ....	50
Tabela 7 – Orçamento caso B.....	51
Tabela 8 – Payback caso A.....	52
Tabela 9 – Payback caso B.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampére
Am	Área Útil do Módulo
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar Eólica Sérgio Brito
CENSOLAR	<i>Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal do Centro de Estudio de la Energia Solar</i>
DPS	Dispositivos de Proteção contra Surtos
DSV	Dispositivos de Seccionamento Visível
Ed ou E	Consumo Médio Diário
Em	Consumo Médio Mensal
FF	Fator de Forma
FCt	Fluxo de Caixa no Período t
GW	Giga Watt
HSP	Hora Solar Plena
Ic	Potência Luminosa Incidente
Idc,max	Corrente Máxima de Entrada do Inversor
Imp	Corrente de Máxima Potência
Inv	Investimento Inicial
Isc	Corrente de Curto Circuito
k	Custo de Capital
kA	Quilo Ampére
kWh	Quilo Watt Hora
L	Distância
m	Metros
mm <sup>2</sup>	Milímetros Quadramos
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
MW	Mega Watt
MWp	Mega Watt-pico

NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
Npv	Número de Placas Fotovoltaicas
Nsmáx	Número Máximo de Módulos em Série
Nsmin	Número Mínimo de Módulos em Série
Nstring	Quantidade de strings em paralelo
PB	Paraíba
Pfv ou Ppv	Potência de Pico de Pannel Fotovoltaico
Pinv	Potência do Inversor Escolhido
Pmáx	Máxima Potência
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QV	Queda de Tensão
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
Smm <sup>2</sup>	Seção do Condutor
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
TD	Taxa de Desempenho
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
und	Unidade
V	Volts
Vmax,inv	Tensão Máxima de Entrada do Inversor
Vmin,inv	Tensão Mínima de Entrada do Inversor
Vmp	Tensão de Máxima Potência
Voc	Tensão de Circuito Aberto
W	Watt
Wh	Watt-Hora
Wp	Watt-Pico

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
2	Evolução da Energia Solar Fotovoltaica.....	16
3	Sistemas Fotovoltaicos .....	18
4	Componentes do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) .....	20
4.1	Placas Fotovoltaicas.....	20
o	Princípio de Funcionamento .....	20
o	Material.....	21
o	Curvas Características Fotovoltaicas .....	22
o	Arranjo Fotovoltaico .....	25
4.2	Inversor .....	26
o	Seguidor do Ponto de Máxima Potência (MPPT) .....	28
4.3	Diodo de Bloqueio .....	28
4.4	Dissipador de Calor.....	29
4.5	Fusíveis de Fileira .....	29
4.6	Caixa de Junção .....	29
4.7	Dispositivos de Proteção de Surtos (DPS) .....	29
4.8	Dispositivos de Seccionamento Visível (DSV) .....	30
4.9	Disjuntores .....	30
5	Projeto de um Sistema Fotovoltaico para o Campus VII da UEPB .....	31
5.1	Escolha do Local de Implementação.....	31
5.2	Avaliação do Recurso Solar .....	33
5.3	Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos .....	34
o	Taxa de desempenho.....	34
o	Potência do painel fotovoltaico.....	35
o	Escolha do Módulo Solar .....	36
o	Quantidade de Módulos Solares .....	36
5.4	Dimensionamento do Inversor .....	37
5.5	Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico .....	39
5.6	Dimensionamento dos Componentes de Proteção .....	43
5.7	Dimensionamento de Cabos.....	46
5.8	Elaboração do Orçamento .....	50
5.9	<i>Payback</i> .....	51
6	CONCLUSÕES.....	54
7	REFERÊNCIAS .....	55
	APÊNDICES .....	58

# 1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, os problemas ambientais começaram a ser assunto de debates e novas normas começaram a serem impostas para o controle da emissão de poluentes. Desde então, as fontes de energia renováveis estão ganhando forças. Além disso, no Brasil, a indústria tem interesse no desenvolvimento de novas formas de geração de energia, tendo em vista que, com a escassez da água recorrente nos últimos anos, a tarifa de energia sofre um acréscimo.

A energia solar se mostra uma boa forma de geração de energia renovável, tendo um crescimento elevado a cada ano em diversos países.

Com o crescimento da energia solar, seu custo, que era de US\$ 30/Wp em 1975, passou a ser de US\$ 3,75/Wp em 2006. Essa diminuição do preço foi devido as políticas públicas implementadas em vários países. A Alemanha, Japão, EUA e Espanha são os países que se destacam no mercado mundial de energia fotovoltaica responsáveis por aproximadamente 90% do total instalado em 2007, onde desses 90%, 50% instalado é somente da Alemanha (VARELLA e GOMES, 2009).

No Brasil, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede até 2009 ainda eram poucos e de caráter experimental. As principais aplicações são relativas à telecomunicação, eletrificação rural, serviços públicos e bombeamento de água. Porém, o potencial brasileiro é maior que o país líder em fotovoltaica, Alemanha (VARELLA e GOMES, 2009).

Os sistemas conectados à rede no Brasil ainda possuem um custo elevado variando de 800 a 900 R\$/MWh em 2008, sendo de três a quatro vezes maior que as tarifas médias de eletricidade (VARELLA e GOMES, 2009).

O plano deste trabalho visa realizar um estudo sobre a energia fotovoltaica, conhecendo os principais componentes do sistema conectado à rede e entendendo a funcionalidade de cada um dentro do sistema, além de projetar um sistema de placas fotovoltaicas para o Campus VII da UEPB, localizado em Patos. Com consumo médio mensal de 18.138 kWh, será realizado o dimensionamento para que o projeto atenda cerca de 30% e 15% do consumo médio, comparando a viabilidade econômica.

O trabalho segue dividido da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta noções da importância da energia solar; o Capítulo 2 mostra um pouco da história inicial da

geração fotovoltaica; o Capítulo 3 introduz o sistema fotovoltaico classificando em três tipos: sistema híbrido, isolado e conectado à rede; o Capítulo 4 detalha os componentes presentes em um sistema fotovoltaico conectado à rede, dando ênfase nas placas solares; o Capítulo 5 dimensiona um projeto para o Campus VII da UEPB estudando sua viabilidade econômica; e, no Capítulo 6, o trabalho é finalizado expondo as conclusões obtidas.

## 2 EVOLUÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em 1839, o físico francês Edmond Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico. Ele constatou que placas metálicas mergulhadas num eletrolítico produziam uma diferença de potencial elétrico quando expostas a luz. O primeiro dispositivo sólido a produzir eletricidade ao ser exposto à luz foi produzido somente 38 anos depois pelos inventores W. G. Adams e R. E. Day. Com eficiência de cerca de 0,5%, essa célula de selênio ainda pôde ser comercializada como fotômetros para máquinas fotográficas. Porém, a explicação em relação ao efeito fotoelétrico foi dada apenas em 1905 por Albert Einstein, o que lhe rendeu o prêmio Nobel daquele ano.

A primeira célula solar a ser anunciada tinha eficiência de 6% e foi recebida com bastante entusiasmo. No New York Times, podia-se ler que a primeira célula solar “marca o princípio de uma nova era, levando, eventualmente, à realização de um dos mais belos sonhos da humanidade: a colheita de energia solar sem limites, para o bem-estar da civilização. A primeira aplicação das células solares de Chaplin, Fuller e Pearson foi realizada para alimentar uma rede telefônica montada em Outubro de 1955 e removida cerca de seis meses depois por questões de limpeza.

A NASA passou a incorporar o uso de placas fotovoltaicas em satélites. O primeiro uso foi como back-up de uma pilha convencional em Março de 1958. A pilha química falhou e o painel fotovoltaico manteve o satélite operacional por oito anos, superando as expectativas. Após esse uso, o programa espacial norte-americano passou a adotar células solares como fonte de energia dos satélites. O programa espacial soviético também passou a utilizar painéis solares nos satélites. Com a corrida espacial, aumentou o interesse de pesquisas, levando a significativos avanços tecnológicos na década de 60. Atualmente, todos os veículos espaciais possuem células solares.

Na mesma década da corrida espacial, surgiram as primeiras instalações terrestres apenas para aplicações específicas, como em sistemas de telecomunicações remotos e bóias de navegação.

Em 1973, quando o preço do petróleo quadruplicou, o interesse de melhorar a viabilidade econômica das células solares aumentou subitamente. Uma das tecnologias que surgiu com o investimento em programas para reduzir o custo da produção da placa solar foi a aplicação de novos materiais mais baratos, como o silício multicristalino. Os

investimentos mostraram bons resultados com a redução do custo da eletricidade solar de 80\$/Wp para cerca de 12\$/Wp e, em relação a eficiência, pela primeira vez, foi produzido células com eficiência de 25%.

Nas décadas de 80 e 90, a motivação para os investimentos na energia solar foi a maior conscientização das mudanças climáticas. Surgindo a primeira central solar de porte (1 MWp) na Califórnia, em 1982, o lançamento dos “telhados solares” na Alemanha, em 1990 e no Japão, em 1993.

Percebeu-se que, além de melhorar a eficiência das células e reduzir o custo dela, era preciso que as células solares fossem fabricadas em larga escala, pois assim o custo unitário diminuiria. Em 1999, o total acumulado de painéis solares alcançou um giga watt. Três anos depois, o total acumulado dobrou.

A Alemanha foi o país pioneiro aplicando subsídios ao consumidores de energia elétrica que instalassem sistemas em suas casas, empresas, propriedades rurais e indústrias com a lei das tarifas, estimulando o crescimento do mercado da eletricidade solar de forma exponencial. Outros modelos de políticas e apoio a energia solar foram surgindo. Países como Espanha, Itália, França criaram suas próprias políticas. No entanto, com a crise econômica iniciada em 2008, as políticas de incentivo à energia solar foram cortadas e os crescimentos acelerados do mercado solar tiveram uma diminuída. O pico do mercado de energia fotovoltaica europeu foi quando atingiu a capacidade instalada anual de 22.5 GW em 2011.

A partir de 2012, outros países passaram a se destacar de forma notável, como Estados Unidos, Japão e China. No ano de 2016, a China instalou cerca de 26,4 GW. Os Estados Unidos finalizaram a construção de uma das maiores usinas fotovoltaica do mundo na Califórnia com cerca de 1,7 milhão de módulos solares com capacidade de 550 MW, perdendo apenas para a usina recém construída da Índia com capacidade de 648 GW.

O potencial brasileiro é enorme, tendo altos valores de irradiação solar e baixa variabilidade em algumas regiões. Ainda distante dos líderes mundiais, a perspectiva de crescimento nesse mercado é alta. Entretanto, o custo de energia solar no Brasil ainda é elevado e faltam políticas que incentivem a inovação tecnológica.

### 3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo a resolução normativa N° 482/2012, os sistemas fotovoltaicos são divididos em três tipos: isolados, conectados à rede e híbridos. A escolha de qual tipo usar depende da disponibilidade de recursos energéticos e da aplicação do sistema.

O sistema híbrido é quando, além da fonte luminosa, utiliza-se outras fontes para converter em energia elétrica e não é ligado à rede elétrica, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1- Diagrama simplificado de um sistema híbrido.



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

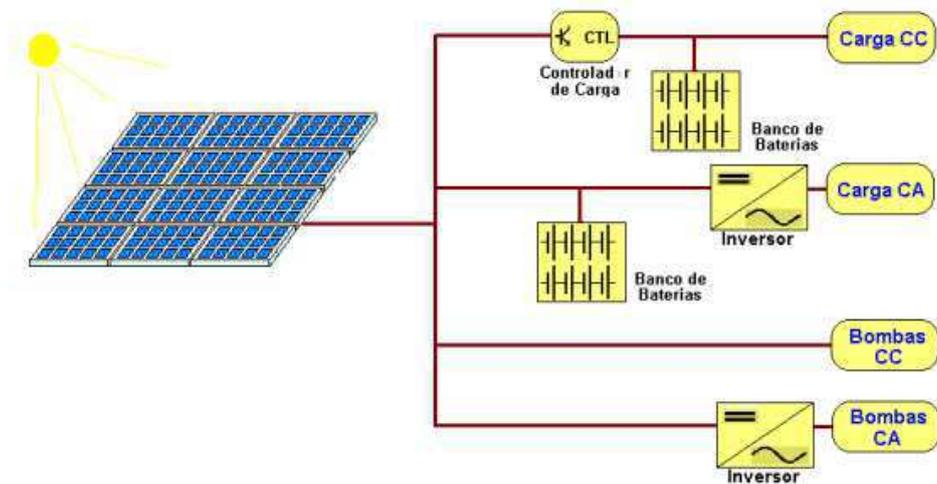
Normalmente, os sistemas híbridos são de médio a grande porte, atendendo um considerável número de usuários.

O sistema isolado tem como característica principal o fato de não ser ligado à rede e de precisar de uma forma de armazenamento, em geral, um banco de baterias (SEGUEL, 2009).

Normalmente, um sistema fotovoltaico isolado é composto por: módulo fotovoltaico, regulador de carga, bateria e inversor. Esses componentes podem ser arrançados de acordo com Figura 2.

Os sistemas isolados são principalmente aplicados em locais remotos, de difícil acesso ou onde o custo de se conectar à rede elétrica é demasiadamente alto (FIGUEIRA, 2014).

Figura 2 - Diagrama simplificado de um sistema isolado.

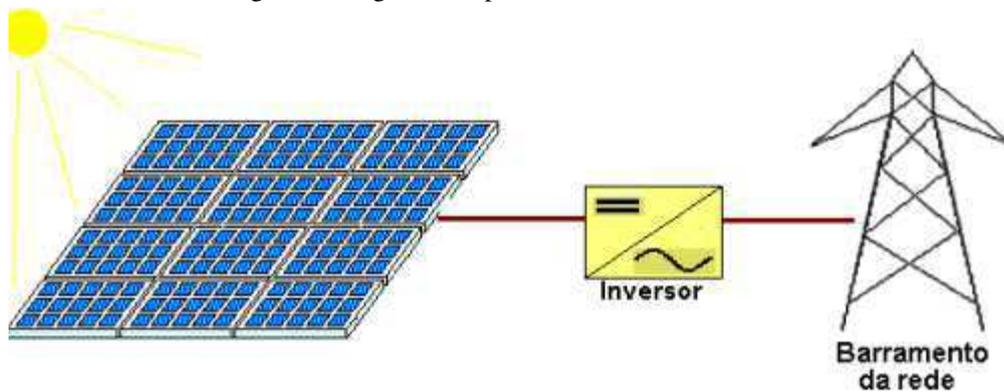


Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

O sistema conectado à rede elétrica (sistema *grid-tie*) não necessita de armazenamento de energia, visto que a rede poderá receber o excedente da energia produzida e suprir a demanda quando a geração de energia pelos módulos fotovoltaicos não for suficiente.

O sistema *grid-tie*, exemplificado na Figura 3, é o de interesse para o presente trabalho, e cada componente será abordado com maior detalhamento no capítulo 4.

Figura 3- Diagrama simplificado de um sistema conectado á rede



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

## 4 COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

### CONECTADO À REDE (SFCR)

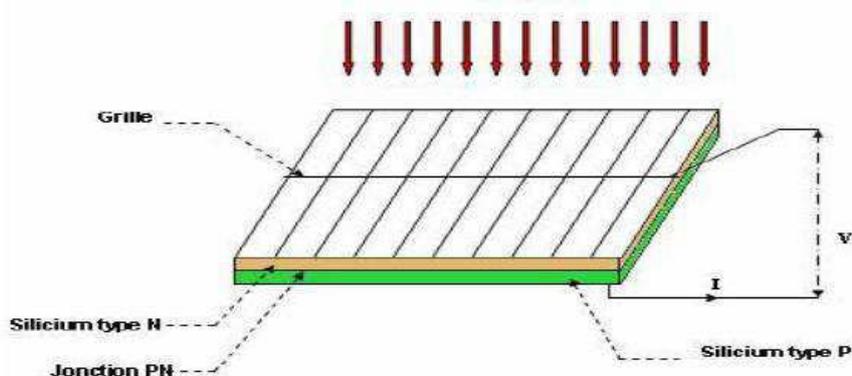
#### 4.1 PLACAS FOTOVOLTAICAS

##### ○ PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O módulo fotovoltaico é formado por células solares responsáveis pela conversão da energia luminosa em energia elétrica. A célula fotovoltaica é fabricada com materiais semicondutores, na maior parte dos casos, o silício, tendo um comportamento semelhante ao de um diodo fotossensível.

Para a fabricação da célula, é preciso que o silício passe por processos de dopagem, já que na sua forma pura não possui elétrons livres sendo um mau condutor elétrico. Dois dopamentos são necessários para que se crie as duas camadas da célula, uma com excesso de elétrons livres (camada N, mostrado a Figura 4) e outra com a falta deles (camada P, conforme a Figura 4), criando assim uma diferença de potencial. Se incidência de luminosa (fóton) tiver energia suficiente para excitar um elétron, surgirá corrente elétrica na forma contínua, ocorrendo o efeito fotoelétrico.

Figura 4 – Esquema de uma celular elementar.



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

- MATERIAL

- Silício Monocristalino

Historicamente, a célula de silício monocristalino é a mais usada e comercializada, tendo um processo básico de fabricação muito bem constituído.

Para obter uma alto grau de pureza, o material passa por grandes fornos especiais atingindo altas temperaturas. Após esse processo, o grau de pureza do silício chega a ser 98 e 99%, porém, para que o silício seja satisfatório na fabricação das células solares, ele deve chegar a um grau de pureza maior (na faixa de 99,9999%).

O processo mais utilizado para chegar nas qualificações desejadas é denominado "método de Czochralski". Após esse processo, o produto final é o lingote de silício monocristalino. Em seguida, o material passa por um processo de dopagem, normalmente, adicionando boro na camada P e fósforo na camada N.

A vantagem da célula de silício monocristalino é sua eficiência, sendo a maior comercialmente podendo chegar a 18%. No entanto, possuem um maior custo na produção encarecendo seu valor comercial.

- Silício Policristalino

A produção deste tipo de célula é feita a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Utilizando a técnica Bridgman, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Nesse processo, os átomos não se organizam em um único cristal, contendo mais imperfeições.

A célula de silício policristalino tem menor custo de produção se comparado a de silício monocristalino por possuir um processo de fabricação menos rigoroso, porém possui uma eficiência ligeiramente inferior.

- Silício de amorfo

A fabricação deste tipo de célula se dá por meio da disposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Ela possui um alto teor de desordem na estrutura dos átomos, diferente das estruturas cristalinas.

As vantagens da célula de silício de amorfo são: a produção relativamente barata e simples, a possibilidade da fabricação de células com grandes áreas e baixo consumo de energia produção. As desvantagens são a baixa eficiência se comparado às células mono e policristalinas e a degradação logo nos primeiros meses que afeta a eficiência da célula.

- Filmes Finos

As células de filmes finos são fabricadas por meio de depositando camadas extremamente finas de material semicondutor revestidas de proteção mecânica, sendo uma alternativa de produção menos custosa. Os materiais utilizados comercialmente são silício amorfo, telureto de cadmio ou disseleneto de cobre índio gálio.

Foram desenvolvidas módulos solares de filmes finos flexíveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas e aparência esteticamente mais atraente, obtendo uma grande versatilidade e ampliando as aplicações arquitetônicas dos painéis fotovoltaicos, substituindo material de cobertura de telhados e fachadas na construção civil.

A baixa eficiência da célula é uma das principais desvantagens. Além disso, a eficiência na conversão de energia solar em elétrica diminui significativamente nos primeiros meses depois da instalação.

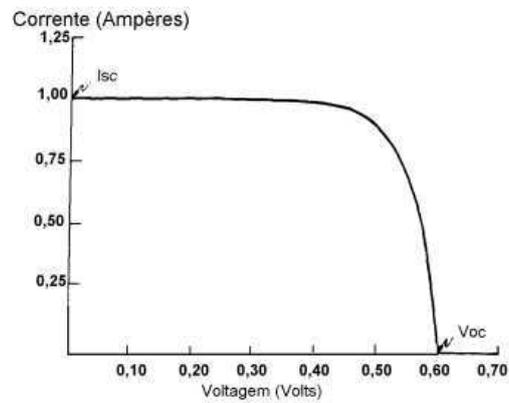
- CURVAS CARACTERÍSTICAS FOTOVOLTAICAS

A curva característica corrente versus tensão de um módulo fotovoltaico mostra a real potência produzida dependendo das condições de operação e é fornecida pelo fabricante (Figura 5). O ponto no qual a corrente é zero indica o voltagem de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), já o ponto onde a tensão é zero especifica a corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ). Para obter a voltagem de potência máxima ( $V_{mp}$ ) e a corrente de potência máxima ( $I_{mp}$ ), é preciso analisar o gráfico de potência versus tensão (Figura 6). O ideal é que o sistema funcione o mais próximo possível dos pontos de máxima potência, o que depende da carga (Figura 7).

Com essas característica elétricas do módulo, pode-se encontrar o fator de forma (FF), que é a grandeza que expressa o quanto a curva corrente versus tensão se aproxima de um retângulo, pois quanto mais se a curva se aproximar desse formato,

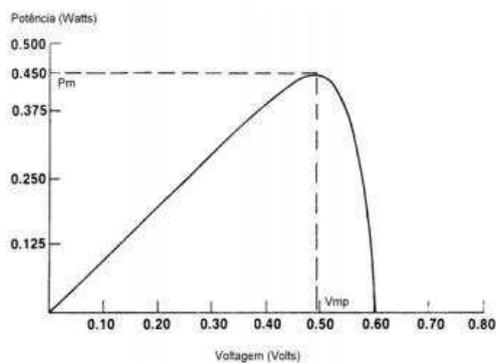
melhor a qualidade da placa solar. Seu cálculo é utilizando a Equação 1. A eficiência do módulo também pode ser encontrada através da Equação 2.

Figura 5 – Gráfico corrente x tensão.



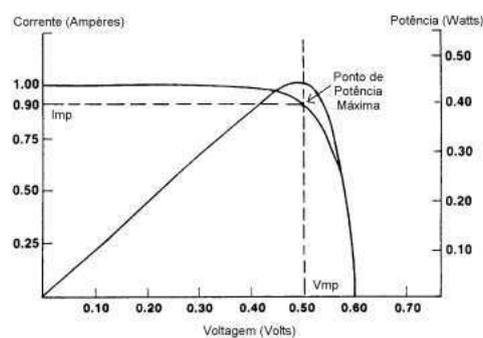
Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

Figura 6 – Gráfico potência x tensão.



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

Figura 7 – Gráfico indicando ponto de potência



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{A \times I_c} \quad (2)$$

Onde:

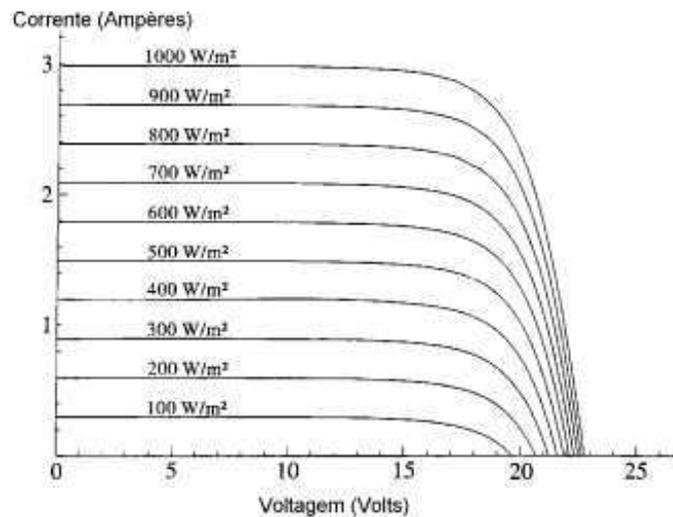
$A_m$  = a área útil do módulo fotovoltaico ( $m^2$ );

$I_c$  = a potência luminosa incidente ( $W/m^2$ ).

Os fatores de maior influência nas curvas características, logo, nas características elétricas do módulo fotovoltaico são o nível de irradiação solar e a temperatura na célula.

Como mostrado na Figura 8, a irradiação solar influencia na corrente elétrica, com o aumento da radiação, a corrente de curto circuito também cresce linearmente. Já a tensão de circuito aberto sofre apenas uma variação bem pequena.

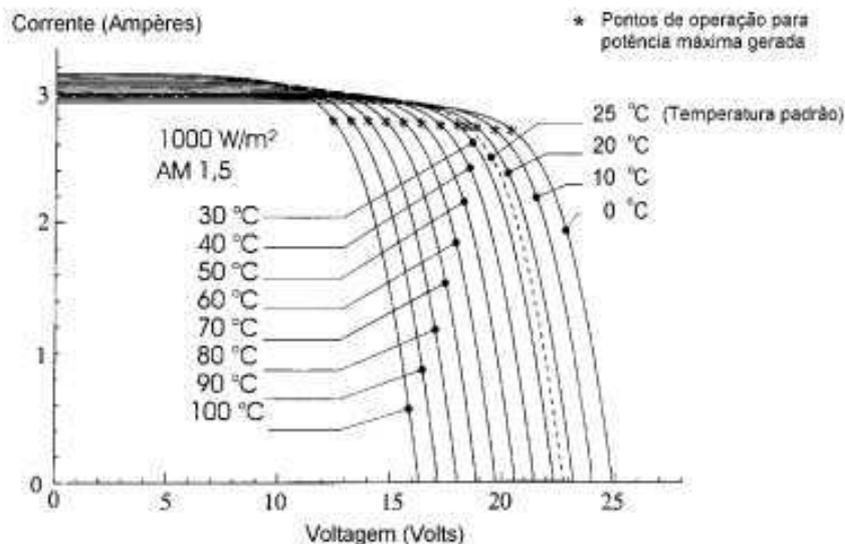
Figura 8 – Influência da radiação na corrente.



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

A temperatura na célula solar influencia de forma inversamente proporcional a potência de saída da módulo, visto que, com o aumento da temperatura, ocorre um decréscimo da tensão de circuito aberto, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Influência da temperatura na tensão.



Fonte [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

#### ○ ARRANJO FOTOVOLTAICO

O arranjo ou painel fotovoltaico é o conjunto de módulos solares, como apresentado na Figura 10. Como a produção de um único módulo, normalmente, não gera a potência desejada é preciso agrupar um conjunto de placas dependendo da tensão e da corrente que se pretende atingir.

Figura 10 – Definição de painel fotovoltaico.

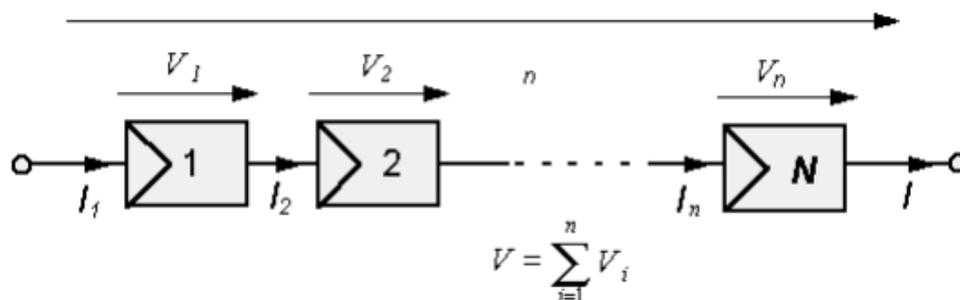


Fonte: SANTANA, 2014

As placas podem ser conectadas em série, em paralelo ou numa combinação de série e paralelo.

A ligação série, ilustrada na Figura 11, é feita quando é permitido uma tensão maior, pois ao conectar módulos dessa forma, a corrente permanecerá a mesma de uma única placa, porém a tensão irá aumentar de acordo com a quantidade de módulos em série.

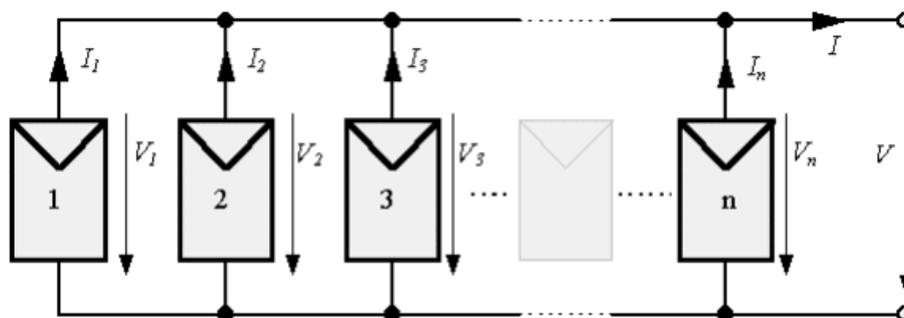
Figura 11 – Esquema de módulo fotovoltaico em série.



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

É permitido conectar os módulos em paralelo, de acordo com a Figura 12, quando pode-se aumentar a corrente do sistema. Nessa modo de conexão a tensão não aumenta, sendo a mesma de um único módulo.

Figura 12 – Esquema de módulo fotovoltaico em paralelo.



Fonte: [http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutoriais](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutoriais).

## 4.2 INVERSOR

O inversor é um equipamento que converte corrente contínua em corrente alternada. Como os módulos produzem corrente na forma contínua, é preciso inserir um inversor no sistema fotovoltaico, já que a rede elétrica e a maioria de equipamentos elétrico funcionam apenas com corrente alternada. formado por células solares responsáveis pela conversão da energia luminosa em energia elétrica.

Além de estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede ou a carga, o inversor também ajusta a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado.

Os inversores aplicados para sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois grupos: os inversores de rede (também chamado de *Grid-Tie* ou *Grid-Connected*) e os inversores autônomos (também chamados de *Stand-Alone*).

Os Inversores Autônomos são utilizados em sistemas isolados. Geralmente, esses sistemas dispõem de banco de baterias que acumulam a energia gerada pelas placas fotovoltaicas. Diante disso, esses inversores, além da conversão CA/CC, precisam admitir flutuações de tensão das baterias e proteger as baterias contra descarga profunda (FIGUEIRA, 2014).

O inversor *grid-tie* entrega 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.

O inversor *grid-connected* possui um custo relativamente alto se comparado ao inversor *stand-alone*. Como a energia produzida pelos painéis poderá ser injetada na rede, o sinal que sai do inversor de rede tem maior compromisso com a qualidade, tendo de apresentar um alto sincronismo com a onda da tensão da rede.

Nas aplicações com potência inferior a 5 kW, pode-se usar inversores monofásicos. Para potências superiores, indica-se o uso de inversores trifásicos.

Pode-se listar como principais funções do inversor *grid-tie*:

- Conversão CC/CA;
- Desconexão automática e manual da rede;
- MPPT;
- Registro de dados operacionais;
- Dispositivos de proteção CA e CC (anti-ilhamento, proteção de sobrecarga e sobretensão, etc).

- SEGUIDOR DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT)

Como já visto, a curva corrente versus tensão mostra que o ponto de maior potência é no "joelho" da curva. Logo, essa é a região de interesse.

Como por fatores externos (temperatura e radiação solar), a curva pode mudar, o uso de um dispositivo que otimize o ponto de operação, aumentaria o rendimento do sistema de geração.

Os inversores mais atuais possuem um dispositivo chamado MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) que tem como função regular a tensão e a corrente de operação do painel fotovoltaico para obter a maior potência de acordo com a curva  $I \times V$  no instante de funcionamento.

O sistema que possuir um inversor sem MPPT, pode adquirir o dispositivo separadamente.

### 4.3 DIODO DE BLOQUEIO

O diodo de bloqueio serve para o desacoplamento da fileira de módulos ou de um módulo individual caso necessário. Uma vez que, o sombreamento ou o curto-circuito de uma fileira de módulos ou apenas um módulo pode prejudicar o funcionamento dos outros módulos sem a existência do diodo de bloqueio.

Sem os diodos de bloqueio nas fileiras, uma corrente inversa fluiria no sentido inverso da fileira afetada a ponto de danificar o sistema fotovoltaico.

A tensão do diodo de bloqueio da fileira deve ser, obrigatoriamente, igual ao dobro da tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) da fileira sob condições STC (BARROS, 2011).

Os diodos de bloqueio ocasionam uma queda de tensão de aproximadamente 1 V (valor este que depende do tipo de diodo utilizado), o que pode ser importante em sistemas de menor porte.

A aplicação do diodo é questionada, pois a queda de tensão que ele provoca durante o dia proporciona uma perda de energia que pode ser, em determinados casos, maior que a perda de energia durante a noite, sem a sua presença.

#### 4.4 DISSIPADOR DE CALOR

O dissipador de calor serve como proteção para o diodo de bloqueio para que ele não seja danificado com a elevação da temperatura ocasionado pela corrente do SF.

#### 4.5 FUSÍVEIS DE FILEIRA

Para proteger os módulos e os cabos contra sobrecargas e curtos-circuitos podem ser adicionados ao sistema fusíveis ou disjuntores. A maioria dos disjuntores disponíveis no mercado são produzidos para funcionar em corrente alternada, logo opta-se por fusíveis nesta aplicação que devem operar em corrente contínua.

#### 4.6 CAIXA DE JUNÇÃO

A caixa de junção (ou *string-box*) ligam fileiras individuais antes da entrada do inversor. Nem sempre esse equipamento é necessário, porém, é adequado o uso quando liga-se duas fileiras em uma única entrada do inversor.

Normalmente, a caixa de junção possui um fusível de proteção, sendo dispensável o fusível de fileira nas fileiras ligadas a caixa de junção.

#### 4.7 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DE SURTOS (DPS)

Como os sistemas fotovoltaicos dependem da luz solar, normalmente, eles se localizam em áreas externas correndo o risco de serem atingidos por descargas atmosféricas.

Uma forma de reduzir os efeitos indiretos de descargas atmosféricas de forma adequada é a utilização dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Estes efeitos indiretos ocorrem quando uma descarga atmosférica acontece próximo de uma estrutura em que a indução eletromagnética gera uma sobretensão nos condutores, sendo um grande perigo para pessoas e equipamentos (FIGUEIRA, 2014).

Logo, são aplicados varistores no sistema para a proteção tanto no lado onde circula corrente contínua quanto na parte do sistema que circula corrente alternada.

## 4.8 DISPOSITIVOS DE SECCIONAMENTO VISÍVEL (DSV)

Para maior segurança em manutenções e reparos do sistema, é necessário a aplicação de um dispositivo de seccionamento visível. Como o nome sugere, o DSV precisa estar em um lugar aparente e de fácil acesso para garantir a proteção do técnico que irá mexer na rede elétrica (FIGUEIRA, 2014).

## 4.9 DISJUNTORES

Os disjuntores atuam na proteção contra curtos-circuitos, sobrecarga ou falha no aterramento. A maior diferença entre disjuntores e fusíveis é que o fusível precisa ser trocado após ser acionado, o disjuntor precisa apenas ser rearmado. Os disjuntores se localizam na parte onde circula corrente alternada no sistema.

## 5 PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O CAMPUS VII DA UEPB

O presente Capítulo explana um projeto de implementação de energia fotovoltaica conectado à rede para o Campus VII localizado na rua Alfredo Lustosa, no bairro Salgadinho, em Patos - PB. O projeto de SFCR foi baseado nas informações da conta de energia elétrica de agosto de 2016 que apresentou consumo mensal de 25.471 kWh.

O projeto de SFCR será dividido nas seguintes etapas, como na realização do mesmo:

- Escolha do local de implementação do projeto;
- Avaliação do recurso solar;
- Dimensionamento dos módulos fotovoltaico;
- Dimensionamento do inversor;
- Determinação do arranjo fotovoltaico;
- Dimensionamento dos componentes de proteção;
- Dimensionamento dos cabos;
- Elaboração do orçamento;
- *Payback*.

### 5.1 ESCOLHA DO LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO

O consumo médio de energia do Campus VII da UEPB foi calculado fazendo a média aritmética do consumo com os dados de setembro de 2015 até agosto de 2016. Com consumo médio de 18.138 kWh.

Como o custo de um projeto para 100% do consumo teria que dispor de um investimento inicial muito grande, decidiu-se fazer uma comparação de um projeto para cerca de 30% (caso A), que representa 5.441,5 kWh, e para aproximadamente 15% (caso B), que equivale a 2.720,75 kWh, do consumo mensal. O consumo médio diário é

dados pela Equação 3, onde  $E_D$  é o consumo médio diário e  $E_M$  é o consumo médio mensal.

$$E_D = \frac{E_M}{30} \quad (3)$$

Para o caso A:

$$E_D = \frac{5441,50}{30} = 181,383 \text{ Wh/dia}$$

Para o caso B:

$$E_D = \frac{2720,75}{30} = 90,69 \text{ Wh/dia}$$

Foi realizada uma visita para analisar o melhor lugar para instalação das placas no Campus. A escolha do local foi determinada pela localização do quadro geral de baixa tensão (QGBT) que está localizado no bloco 1 da Figura 13, como o telhado não possui espaço suficiente para a instalação das placas, o bloco dois também será utilizado, instalando os painéis o mais próximo possível dele para que o custo com cabeamento seja minimizado.

Figura 13 – Local escolhido no Campus de Patos.



Fonte: Google Maps modificado pela autora.

## 5.2 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

A determinação da potência necessária a ser instalada depende diretamente da irradiação solar. Para a obtenção dos valores de irradiação foi utilizado o recurso online *SunData*, que pode ser encontrado no site da CRESESB, no qual informa a irradiação solar média mensal de acordo com as coordenadas geográficas, como observado na Tabela 1 para o município de Patos. O software é baseado no banco de dados *Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal do Centro de Estudio de la Energia Solar* (CENSOLAR) que contem valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e países limítrofes.

Adotou-se no projeto a irradiação solar média de 5,86, visto que o telhado escolhido possui duas águas com inclinação uma para o norte e outra para o sul. Para maior irradiação, é indicado que, se o local está no hemisfério sul (como o escolhido), a área de instalação deve ser orientada para o hemisfério norte. Logo, será usado a água voltada para o norte indicada na Figura 13.

Tabela 1 – Irradiação solar diária média mensal

### Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Patos  
Município: Patos, PB - BRA  
Latitude: 7° S  
Longitude: 37,28° O  
Distância do ponto de ref. (7,021582° S; 37,265332° O): 2,9 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	5,78	5,72	6,03	5,58	5,42	4,81	5,19	6,06	6,19	6,64	6,50	6,03	5,83	1,83
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,54	5,58	6,02	5,73	5,71	5,12	5,50	6,31	6,25	6,52	6,24	5,74	5,86	1,40
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	7° N	5,54	5,58	6,02	5,73	5,71	5,12	5,50	6,31	6,25	6,52	6,24	5,74	5,86	1,40
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	12° N	5,33	5,45	5,98	5,80	5,88	5,30	5,69	6,44	6,26	6,39	6,02	5,50	5,84	1,14

Fonte: CRESESB.

Depois de calculado a irradiância média, foi determinado a hora solar plena (HSP), que está associado ao 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, indicado na Equação 4. (PINHO e GALDINO, 2014).

$$HSP = \frac{\text{Irradiância (kWh/m}^2 \cdot \text{dia)}}{1 \left(\frac{kW}{m^2}\right)} \quad (4)$$

$$HSP = \frac{5,86}{1 \left(\frac{kW}{m^2}\right)} = 5,86 \text{ h/dia}$$

### 5.3 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O cálculo do painel fotovoltaico é dado pela Equação 5.

$$P_{PV}(W_P) = \frac{E_d/TD}{HSP} \quad (5)$$

Onde:

$P_{PV}$  = Potência de pico do painel fotovoltaico.

$E_d$  = Consumo média diário;

TD = Taxa de desempenho;

HSP = Horas solar pleno.

#### ○ TAXA DE DESEMPENHO

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 (PINHO E GALDINO, 2014).

Tabela 2 – Descrição da TD.

<b>Coefficiente por perdas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valores Típicos</b>
Temperatura	Perdas devido a diferença de temperatura de operação ser diferente da ensaiada em laboratório.	0,95 – 0,85
Desvio de potência nominal	Tolerância do módulo fotovoltaico	1,05 – 0,95
Sujeira	Acúmulo de sujeiras sobre os módulos fotovoltaicos	0,99 – 0,80
Mismatching	Provocada pela diferença dos módulos fotovoltaicos	0,99 – 0,95
Perdas ôhmicas	Perdas ôhmicas devido ao efeito Joule	0,99 – 0,95
Sombreamento	Causados por objetos ao redor, ou sobre os módulos	1,0 – 0,0
Inversor	Perdas devido á eficiência do inversor ser menor que 100%	0,98 – 0,95

Fonte: Blue Sol.

Como pode se observar na Tabela 2, o TD depende de alguns fatores que dependem de equipamentos e a disposição do projeto, variando de 0,70 à 0,90. Considerou-se o TD típico de 0,80.

○ POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Logo, substituindo os valores na Equação 5, a potência do painel fotovoltaico será:

Para caso A:

$$P_{FV}(W_p) = \frac{181,383/0,8}{5,86} = 38,69 kW_p$$

Para caso B:

$$P_{FV}(W_p) = \frac{90,69/0,8}{5,86} = 19,34 kW_p$$

○ ESCOLHA DO MÓDULO SOLAR

As placas fotovoltaicas escolhidas para o projeto foram do fabricante Yingli modelo YL275D-30b monocristalino de 275W, já que quanto maior a potência de um único módulo menor será a quantidade de módulos que será instalado. Na Tabela 3, encontram-se as especificações deste modelo.

Tabela 3 - Especificações do modulo Yingli YL275D-30b.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Potência de Pico (P <sub>máx</sub> )	275 Wp
Tensão de Potência Máxima (V <sub>mp</sub> )	31,2 V
Corrente de Potência Máxima (I <sub>mp</sub> )	8,82 A
Tensão de Circuito Aberto (V <sub>oc</sub> )	38,9 V
Corrente de Curto Circuito (I <sub>sc</sub> )	9,34 A
Eficiência (η)	16,9%
Tensão Máxima do Sistema	1000 Vdc
Coefficiente de Temperatura em P <sub>máx</sub>	- 0,42% / °C
Coefficiente de Temperatura em V <sub>oc</sub>	- 0,32% / °C
Coefficiente de Temperatura em I <sub>sc</sub>	0,05% / °C
Material da Célula	Silício Monocristalino
Dimensões	1640 x 990 x 40 mm
Peso	18,5 Kg

Fonte: Datasheet do Yingli.

○ QUANTIDADE DE MÓDULOS SOLARES

O cálculo da quantidade de módulos fotovoltaicos necessária para gerar a potência desejada é dado pela Equação 6.

$$N_{PV} = \frac{P_{PV}(kW_p)}{Potênciamódulo} \quad (6)$$

Onde:

$N_{PV}$  = Número de placas fotovoltaicas ideal;

$P_{PV}$  = Potência do painel fotovoltaico;

$Potênciadomódulo$  = Potência do módulo escolhido.

Para o caso A:

$$N_{PV} = \frac{38,69}{275} = 140,69 \text{ módulos}$$

Para o caso B:

$$N_{PV} = \frac{19,34}{275} = 70,32 \text{ módulos}$$

Portanto, inicialmente serão utilizados 140 placas para atender aproximadamente 30% do consumo e 70 placas para atender cerca 15%.

## 5.4 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

A potência do inversor é escolhida tanto pela potência de saída, que é referente à potência-pico ideal para o SFCR, quanto pela potência de entrada, que é relativa à potência do arranjo fotovoltaico (que é a soma das potências individuais dos módulos fotovoltaicos).

Para o dimensionamento do inversor, é preciso calcular o fator de dimensionamento do inversor (FDI), indicado na Equação 7, que precisa estar na entre 0,75 e 1,05.

$$FDI = \frac{P_{inv}(kW_P)}{P_{pv}} \quad (7)$$

Onde:

$P_{inv}$  = Potência do inversor escolhido;

$P_{pv}$  = Potência do painel fotovoltaico.

Para o projeto que atende cerca de 30% do consumo foi escolhido testar dois inversores de 17,5 kW somando uma potência total de 35 kW. Enquanto, para o projeto que supre aproximadamente 15%, optou-se por testar apenas um inversor de 17,5 kW.

Caso A:

$$FDI = \frac{35}{38,69} = 0,9046$$

Caso B:

$$FDI = \frac{17,50}{19,34} = 0,9048$$

Como os valores do FDI ficaram dentro dos critérios estimados nos dois casos, o inversor Symo 17.5-3-M (17.500 W), do fabricante Fronius foi escolhido. As especificações do inversor escolhido encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Características Elétricas do inversor interativo Symo 17.5-3-M.

<b>Características de Entrada - CC</b>	
Máxima corrente de entrada ( $I_{dc,max1}, I_{dc,max2}$ )	33 A/ 27 A
Mínima Tensão de Entrada	200 V
Máxima Tensão de Entrada	1000 V
Variação de Tensão do MPPT	380 - 800 V
Numero de MPPT	2
<b>Características de Saída - CA</b>	
Potencia Nominal de Saída	17500 W
Máxima Potência Aparente	17500 VA
Máxima Corrente de Saída	27,9 A
Tipo de Conexão	Trifásico
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Distorção harmônica total	< 2 %

Fonte: Datasheet da Fronius.

## 5.5 DIMENSIONAMENTO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO

Para determinar a forma que as placas solares serão dispostas no projeto, é necessário considerar a corrente máxima de entrada do inversor e a faixa de operação do Seguidor de Máximo Ponto de Potência (SPPM) do inversor.

- Quantidade Máxima de Fileiras em Paralelo

A corrente máxima da entrada do inversor restringe o número de fileiras que podem ser colocadas em paralelo no arranjo, visto que a corrente da entrada do inversor é a soma das correntes de cada fileira. A Equação 8 determina o máximo de fileiras em paralelo.

$$N_{string} = \frac{I_{dc,max}}{I_{sc}} \quad (8)$$

Onde:

$N_{string}$  = Quantidade máxima de fileiras em paralelo no painel fotovoltaico do inversor;

$I_{dc,max}$  = Máxima corrente de entrada do inversor;

$I_{sc}$  = máxima corrente em curto-circuito do módulo fotovoltaico.

Para o caso A e B, o inversor e o módulo fotovoltaico escolhidos são iguais, logo, a máxima corrente de entrada do inversor e a máxima corrente em curto-circuito do módulo fotovoltaico são as mesmas.

$$N_{string} = \frac{33}{9,23} = 3,57 \text{ strings}$$

De acordo com o valor encontrado, o máximo de fileiras em que podem ser colocadas em paralelo é 3, porém, para o projeto que deseja atender 30% do consumo, os módulos podem ser arranjados em 6 fileiras em paralelo, 3 na entrada de cada inversor.

○ Número de Módulos Fotovoltaicos por Fileira

O número de módulos que uma fileira pode possuir é determinado pela tensão máxima e mínima que inversor permite na entrada CC, pois o valor de tensão que a fileira atinge precisa estar entre esses limites. Logo, temos que calcular a maior e menor tensão que o um módulo pode atingir para determinar quantos podem ser colocados em série. Como as placas solares escolhida para o projeto do caso A e do caso B são as mesmas, o cálculo é o mesmo nos dois casos.

Para calcular a maior e menor tensão possível do módulo, é preciso considerar as temperaturas extremas que o ambiente onde será instalado pode alcançar. Para o cálculo do projeto, foi considerado valores extremos de temperatura mínima de 5 °C e máxima de 70°C.

No cálculo da tensão máxima que o módulo pode atingir, foi usado a Equação 9.

$$V_{OC(5)} = \left(1 - \frac{(25^{\circ}\text{C} - (5^{\circ}\text{C})) \cdot \Delta V(\%)}{100}\right) \cdot V_{ca(CTS)} \quad (9)$$

Onde:

$V_{oc(5)}$  = Tensão de circuito aberto do módulo em 5°C;

$\Delta V$  = Coeficiente de temperatura do módulo em Voc;

$V_{ca}$  = Tensão de circuito aberto dado pelo fabricante.

$$V_{OC(5)} = \left(1 - \frac{20^{\circ}\text{C} \cdot (-0.32)}{100}\right) \cdot 38,9$$

$$V_{OC(5)} = 41,39 \text{ V}$$

Para determinar a tensão mínima que o módulo pode atingir, foi usado a Equação 10.

$$V_{OC(70)} = \left(1 - \frac{((25^{\circ}\text{C}) - 70^{\circ}\text{C}) \cdot \Delta V(\%)}{100}\right) \cdot V_{MP(CTS)} \quad (10)$$

Onde:

$V_{oc(70)}$  = Tensão de circuito aberto do módulo em 70°C;

$\Delta V$  = Coeficiente de temperatura do módulo em Voc;

$V_{mp}$  = Tensão de potência máxima dado pelo fabricante.

$$V_{OC(70)} = \left(1 + \frac{45^{\circ}\text{C} \cdot (-0.32)}{100}\right) \cdot 31,2$$

$$V_{OC(70)} = 26.71 \text{ V}$$

Com os valores de máxima e mínima tensão que o módulo escolhido é capaz de atingir, pode-se calcular o valor máximo e mínimo de placas em série. Para determinar o limite máximo de módulos em série foi utilizando a Equação 11.

$$N_{Smax} = \frac{V_{MAX,INV}}{V_{OC(5)}} = \frac{1.000}{41,39} \cong 24 \text{ painéis} \quad (11)$$

Onde:

$N_{Smax}$  = Número máximo de módulos em série;

$V_{MAX,INV}$  = Tensão máxima de entrada do inversor.

Aplicando os valores na Equação 12, o número mínimo de módulos encontrado foi:

$$N_{Smin} = \frac{V_{MIN,INV}}{V_{OC(70)}} = \frac{200}{26.71} \cong 8 \text{ painéis} \quad (12)$$

Onde:

$N_{Smin}$  = Número mínimo de módulos em série;

$V_{MIN,INV}$  = Tensão mínima de entrada do inversor.

- Disposição do Arranjo Fotovoltaico

Com os valores limites calculados, foi obtido que o maior número de fileiras em paralelo que o arranjo pode ter é 3 para cada inversor e que o número de módulos em série deverá estar entre 24 e 8 unidades. O projeto que pretende atender cerca de 30% do consumo, inicialmente teria 140 módulos, porém, por questão de arranjo, optou-se por possuir 144 módulos, dispostos em 6 fileiras em paralelo (3 para cada inversor) e cada fileira terá 24 painéis. Desse forma, o painel fotovoltaico atingirá uma potência de

pico de 39,6 kWp. Para o projeto que supre 15% do consumo, inicialmente foi decidido a instalação de 70 placas solares, no entanto, para se obter a melhor disposição, esse valor foi trocado por 69 módulos arranjados em 3 fileiras de 23 módulos em série. Tendo assim uma potência de pico 18,97 kWp.

Com os arranjos determinados, uma última verificação foi feita para que nenhum parâmetro ultrapasse os valores limites do inversor. Para que as configurações escolhidas sejam realizáveis, devem satisfazer as seguintes condições, sendo  $N_S$  o número de placas em série escolhido e  $N_P$  o número de fileiras em paralelo escolhido:

$$N_S \times V_{MP(70^\circ\text{C})} > V_{MIN,INV}$$

$$N_S \times V_{CA(5^\circ\text{C})} < V_{MAX,INV}$$

$$N_P \times I_{MP} < I_{CC,MAX,INV}$$

Substituindo os valores, obteve-se o seguinte resultado:

Para o caso A:

$$641,04 > 200$$

$$993,36 < 1.000$$

$$26,46 < 33$$

Para o caso B:

$$614,33 > 200$$

$$951,97 < 1.000$$

$$26,46 < 33$$

Foi verificado que todos os critérios acima foram satisfeitos. Logo, as configurações escolhidas são executáveis de forma segura para os equipamentos.

## 5.6 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE PROTEÇÃO

### ○ Fusível-CC

A corrente nominal de operação, tanto dos fusíveis, quanto dos disjuntores é dada pela seguinte condição para os dois casos do projeto:

$$I_{sc,string} \leq I_{fusível}$$

$$9,34 \cdot 1,25 \leq I_{fusível}$$

$$I_{sc,string} \geq 11,675 \text{ A}$$

Foi escolhido o modelo do fabricante DEKFUSE de ação ultra rápida de 15 A, modelo C-10x38KFF.

É necessário, para o emprego do fusível, um “porta-fusível”, que deve ser compatível com o elemento que vai “enclausurar”. Portanto, utilizaremos porta-fusível do tipo 10 mm x 38 mm, com capacidade de tensão e corrente adequada (ou superior) às do fusível. Foi selecionado o modelo CHM1DI do fabricante Bussmann, para tensão máxima de 1000 V, e corrente máxima de 32 A.

### ○ Caixa de Junção - CC

A caixa de junção foi escolhida de acordo com o tipo de proteção que possui, além da corrente de tensão máximas. Faz-se necessário a *string-box* no caso A e no caso B.

A caixa de junção escolhida foi a do fabricante PHB solar, com 4 entradas e 2 saídas CC. Como a caixa já possui a proteção CC, é desnecessário o fusível de fileira. A caixa escolhida possui o fusível de 15 A, além da proteção contra surtos. A máxima corrente da *string-box* é de 32 A e a máxima tensão é de 1000 Vcc.

### ○ Chave Protetora CC

Para dimensionamento da chave seccionadora CC deve-se considerar a corrente total do painel fotovoltaico, que neste caso é a corrente total de uma única fileira ou

duas fileiras nos dois casos do projeto. A capacidade nominal mínima da chave seccionadora geral CC será calculada conforme a condição abaixo:

$$I_{chave\ geral\ cc} \geq I_{sc,painel} \cdot 1,5$$

$$I_{chave\ geral\ cc} \geq 2 \cdot 9,34 \cdot 1,5$$

$$I_{chave\ geral\ cc} \geq 28,02\ A$$

Baseado no critério acima e na disponibilidade do mercado, foi decidido escolher a chave seccionadora do fabricante Schneider, modelo C60NA, com corrente de operação de 32 A, para uma tensão de 800 V<sub>cc</sub>.

- Dispositivo de Proteção Contra Surtos - CC

Os varistores serão selecionados considerando sua tensão nominal superior à tensão máxima de entrada do inversor.

O varistor adequado para a proteção do inversor interativo, na sua entrada de corrente contínua, deve possuir tensão nominal superior à tensão em circuito aberto do painel fotovoltaico em que será interligado. Deve-se observar, então, no datasheet do inversor, qual é a tensão máxima da sua entrada, pois isso determina a tensão nominal do varistor que deve ser utilizado.

Logo se observa que a máxima tensão do lado CC do inversor é 1000 V. Assim por isso o varistor selecionado foi o modelo PRD-DC40r 1000PV, do fabricante Schneider, que tem tensão de referência de 1000 V, permitindo o teste de isolamento do inversor.

- Disjuntor Específico - CA

Os disjuntores são utilizados para proteção e manutenção da parte de corrente alternada do projeto, dependendo da quantidade de inversores. Como no caso B só foi utilizado um inversor, então, será utilizado apenas 1 disjuntor tripolar. Para o caso A, serão utilizados 3 disjuntores, 2 bipolares e 1 tripolar.

Os disjuntores CA do caso B e bipolar do caso A são dimensionados considerando-se a corrente máxima que circulará na fase do inversor. A capacidade mínima do disjuntor geral CA é dada pela condição:

$$I_{disjuntor\ ca} > I_{ca,max}$$

$$I_{disjuntor\ ca} > 23,9\ A$$

Então para o caso B, foi selecionado o disjuntor DIN tripolar do fabricante Siemens, com capacidade máxima de 32 A. Para o caso A, são escolhidos os disjuntores DIN bipolar com capacidade máxima de 32 e o DIN tripolar com capacidade de 63 A, ambos do fabricante Siemens. O disjuntor tripolar foi escolhido tendo como condição:

$$I_{disjuntor\ ca} > 2 * 23,9$$

$$I_{disjuntor\ ca} > 47,8\ A$$

- Dispositivo de Proteção Contra Surtos - CA

Para o Dispositivo de Proteção Contra Surtos do quadro de controle, deve-se utilizar varistores com tensão nominal adequada à tensão de fase da rede, e geralmente se utiliza varistores de Classe II.

Utiliza-se um varistor por fase, e em locais onde o neutro não é aterrado no ramal de entrada, deve-se instalar um varistor também no neutro. As “saídas” dos varistores são, então, ligadas ao “barramento de equipotencialização”, ou seja, o “terra” da rede interna, conforme o item 6.3.5.2.2 da ABNT NBR-5410:2004.

Os varistores para o quadro de gerenciamento do SFCR serão do fabricante Embrastec, modelo 831220, com tensão nominal de 275 V e corrente máxima de 20 kA para os dois casos de projeto.

## 5.7 DIMENSIONAMENTO DE CABOS

Para o dimensionamento dos cabos, é necessário verificar algumas normas internacionais, visto que, as normas vigentes da ABNT não especificam algumas características dos cabos.

O critério de seção mínima por queda de tensão é baseado na norma internacional IEC 60364-7-712 que apresenta valores específicos para os trechos de cabos que interligam os componentes principais dos SFCR, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Quedas de tensão admissíveis para trechos de ligação entre componentes de sistemas fotovoltaicos.

<b>Quedas de Tensão para Sistemas Fotovoltaicos Conectado à Rede</b>	
Trecho de ligação	(QV)
Painel Fotovoltaico - Inversor	1%
Inversor – Rede	3%

Fonte: IEC 60364-7-712.

Os valores das distâncias de cabeamento empregados nos cálculos de queda de tensão, foram extrapolados para maior segurança do sistema.

### ○ Cabos de Fileira

O cabo de fileira de módulos é o condutor que interliga a série de módulos fotovoltaicos a caixa de junção de fileiras (ou *string-box*). Esse cabo deve ser dimensionado para suportar a corrente e o nível de tensão produzido pelos módulos fotovoltaicos em série. (SOUSA, 2015).

A norma internacional IEC 60364-7-712 recomenda que o cabo de fileira aguente a corrente de curto-circuito da fileira com tolerância de 25% ( $I_{cabo} = I_{sc} * 1,25$ ). Esta norma também recomenda que os cabos utilizados em sistemas fotovoltaicos suportem tensões entre 300 V e 1.000 V à temperatura de -10°C (de acordo às tensões do SFCR); que sejam capazes de trabalhar em temperaturas superiores a 75°C, e sejam resistentes à radiação ultravioleta. Esse tipo de cabo é utilizado nas caixas de conexão dos módulos fotovoltaicos.

Para se determinar a seção mínima de cabo, pode-se utilizar a Equação 13.

$$S_{mm^2} = \frac{2 * L * I_{cabo}}{\sigma * QV * V_{string}} \quad (13)$$

Onde:

$S_{mm^2}$  = Seção do condutor em milímetros quadrados;

L = distância entre o conector e o caixa de junção, em metros;

$I_{cabo}$  = valor de corrente considerada para o cabo, em amperes;

$\sigma$  = condutibilidade do material condutor (Cobre = 56; Alumínio = 32);

QV = queda de tensão permitida, no trecho calculado, em decimal;

$V_{string}$  = tensão em máxima potência da fileira, em volts.

A distância considerada entre o ponto de maior distância do conector e a caixa de junção foi de 50 m para o caso A e B. O valor de  $I_{cabo} = 1,25 * 9,34 = 11,675$  A, o material do condutor utilizado foi o cobre e a  $V_{string} = 24 * 31,2 = 748,8$  V. Logo:

$$S_{mm^2} = \frac{2 * 50 * 11,675}{56 * 0,01 * 748,68} = 2,78 \text{ mm}^2$$

Para o caso B, o valor de  $I_{cabo}$  e o material do condutor foram os mesmos do caso A, mudando apenas  $V_{string} = 23 * 31,2 = 717,6$  V. Logo:

$$S_{mm^2} = \frac{2 * 50 * 11,675}{56 * 0,01 * 717,6} = 2,90 \text{ mm}^2$$

O cabo escolhido foi de bitola 4 mm<sup>2</sup> do fabricante Prysmian, da marca Prysmian Afumex para os dois casos.

Cada terminal da fileira deverá possuir um conector adequado para a interligação ao pólo correspondente no primeiro ou último módulo fotovoltaico da série. Poderão ser utilizados os conectores Tipo-4 do fabricante Prysmian e, devido às características do cabo Prysmian Afumex, foram selecionados os modelos 32.0017P0001-UR e 32.0016P0001-UR, respectivamente para macho e fêmea.

- Cabo Geral - CC

O condutor que interliga a caixa de junção ao inversor interativo, possuindo a chave seccionadora CC no caminho, deve ser capaz de conduzir a corrente do painel

que é dado pela soma das correntes de corrente de curto-circuito das fileiras associadas em paralelo. A Equação 14 abaixo deve ser utilizada para calcular a seção mínima desse cabo, que deve ter queda de tensão máxima de 1%, segundo a norma internacional IEC-60364-7-712.

$$S_{mm^2} = \frac{2 * L * I_{painel}}{\sigma * QV * V_{string}} \quad (14)$$

Onde:

$S_{mm^2}$  = Seção do condutor em milímetros quadrados;

L = distância entre o conector e o caixa de junção, em metros;

$I_{painel}$  = valor de corrente considerada para o cabo, em amperes;

$\sigma$  = condutibilidade do material condutor (Cobre = 56; Alumínio = 32);

QV = queda de tensão permitida, no trecho calculado, em decimal;

$V_{string}$  = tensão em máxima potência da fileira, em volts.

Para o caso A:

$$S_{mm^2} = \frac{2 * 40 * 2 * 1,25 * 9,34}{56 * 0,01 * 748,8} = 4,45 \text{ mm}^2$$

Para o caso B:

$$S_{mm^2} = \frac{2 * 40 * 2 * 1,25 * 9,34}{56 * 0,01 * 717,6} = 4,65 \text{ mm}^2$$

De acordo com a disponibilidade do mercado, o cabo utilizado foi do fabricante Prysmian, da marca Prysmian Afumex, com seção de 6 mm<sup>2</sup>

- Cabo geral - CA

O conjunto de condutores que interliga a saída do inversor interativo ao seu ponto de conexão á rede ou ao quadro geral de baixa tensão do Campus é calculado para suportar a corrente máxima do inversor interativo, no nível de tensão da rede em que este será conectado. A seção mínima do cabo, pelo o método de queda de tensão pode ser determinada pela Equação 15.

$$S_{mm^2} = \frac{\sqrt{3} * L * I_{disjuntor}}{\sigma * QV * V_{linha}} \quad (15)$$

Onde:

$S_{mm^2}$  = Seção do condutor em milímetros quadrados;

L = distância entre o conector e o caixa de junção, em metros;

$I_{disjuntor}$  = valor de corrente que o disjuntor dispara, em amperes;

$\sigma$  = condutibilidade do material condutor (Cobre = 56; Alumínio = 32);

QV = queda de tensão permitida, no trecho calculado, em decimal;

$V_{string}$  = tensão em máxima potência da fileira, em volts.

Para o caso A, a corrente máxima do disjuntor tripolar é dada por 60 A. E a queda de tensão admissível para este trecho é de 3%. Logo, substituindo os valores na Equação 15, tem-se:

$$S_{mm^2} = \frac{\sqrt{3} * 20 * 60}{56 * 0,03 * 380} = 4,07 \text{ mm}^2$$

Percebe-se que, com um cabo de 6 mm<sup>2</sup> a queda de tensão será admissível, porém, o cabo não suportaria a corrente que passaria por ele e não estaria protegido pelos disjuntores. Portanto, a secção do condutor escolhida é de 10 mm<sup>2</sup>.

Para o caso B, a corrente máxima do disjuntor tripolar é dada por 32 A. Logo, substituindo estes valores na Equação 15, tem-se:

$$S_{mm^2} = \frac{\sqrt{3} * 20 * 32}{56 * 0,03 * 380} = 1,08 \text{ mm}^2$$

De acordo com a ABNT NBR-5410:2004, a secção de condutor mínima para circuitos de potência é 2,5mm<sup>2</sup>, porém ,foi escolhido um cabo de 6 mm<sup>2</sup> por questão de suportabilidade do condutor.

Os cabos dos casos A e B são do fabricante Prysmian, modelo *Superastic*.

Com o dimensionamento de todos os componentes, foi construído os diagramas multifilar dos sistemas no caso A e B, que são apresentados nos apêndices.

## 5.8 ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO

A formação do orçamento é essencial para realizar o estudo de viabilidade econômica. A estimativa de custos foi obtida através de uma pesquisa em sites de venda.

As Tabelas 6 e 7 foram montadas usando a ferramenta Excel e apresentam o orçamento inicial para a realização do projeto no caso A e B, respectivamente.

Percebe-se que o preço da placa solar é responsável por mais de 50% do custo total do sistema, seguido pelo inversor que é responsável por cerca de 25%.

Tabela 6 – Orçamento caso A.

MATERIAL	UND	PREÇO (R\$)	QUANTIDADE	SUBTOTAL
Placa Solar	und	759,00	144,00	109.296,00
Inversor	und	25.190,00	2,00	50.380,00
Fusível	und	10,10	4,00	40,40
Porta Fusível	und	22,00	4,00	88,00
Caixa de Junção	und	3.000,00	4,00	12.000,00
Chave Seccionadora	und	289,00	4,00	1.156,00
Varistores - CC	und	105,00	8,00	840,00
Varistores - CA	und	569,00	4,00	2.276,00
Disjuntor Bipolar	und	43,90	2,00	87,80
Disjuntor Tripolar	und	103,59	1,00	103,59
Conector	und	23,80	10,00	238,00
Estrutura de 3 painéis	und	940,00	8,00	7.520,00
Conexão de trilhos	und	7,00	53,90	377,30
Cabo - 4mm <sup>2</sup>	m	1,76	50,00	88,00
Cabo - 6mm <sup>2</sup>	m	2,59	40,00	103,64
Cabo - 10mm <sup>2</sup>	m	4,43	20,00	88,68
TOTAL				184.683,41

Fonte: Diversas.

Tabela 7 – Orçamento caso B.

MATERIAL	UND	PREÇO (R\$)	QUANTIDADE	SUBTOTAL
Placa Solar	und	759,00	69,00	52.371,00
Inversor	und	25.190,00	1,00	25.190,00
Fusível	und	10,10	2,00	20,20
Porta Fusível	und	22,00	2,00	44,00
Caixa de Junção	und	3.000,00	2,00	6.000,00
Chave Seccionadora	und	289,00	2,00	578,00
Varistores - CC	und	105,00	4,00	420,00
Varistores - CA	und	569,00	4,00	2.276,00
Conector	und	23,80	5,00	119,00
Disjuntor Tripolar	und	78,90	1,00	78,90
Estrutura de 4 painéis	und	1.250,00	2,00	2.500,00
Estrutura de 3 painéis	und	940,00	5,00	4.700,00
Conexão de trilhos	und	7,00	6,00	42,00
Cabo - 4mm <sup>2</sup>	m	1,76	50,00	88,00
Cabo - 6mm <sup>2</sup>	m	2,59	60,00	155,46
TOTAL				94.582,56

Fonte: Diversas.

## 5.9 PAYBACK

O *payback* é um dos critérios mais utilizados para se avaliar um investimento. O período de *payback* é o tempo necessário para se obter o dinheiro investido de volta, ou seja, o tempo em que o investimento feito inicialmente, vai ser recuperado.

No presente projeto, foi aplicado o método de *payback* descontado visto que é um método financeiro bastante confiável.

O *payback* descontado consiste, basicamente, em determinar o valor de T na Equação 16 (SAMANEZ, 2009).

$$Inv = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (16)$$

Sendo:

Inv = Investimento inicial;

FC<sub>t</sub> = Fluxo de caixa no período t;

k = Custo de capital ou taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade.

Para análise realizada, foi utilizada uma planilha desenvolvida no Excel pelo aluno da UFCG, Frank Wesley, onde foi considerado um aumento anual de 5% na tarifa de energia elétrica, um fator de perda de rendimento de 5% a cada ano em relação às células fotovoltaicas e uma vida útil de 25 anos.

As Tabelas 8 e 9 mostram os *paybacks* dos casos A e B, respectivamente. Percebe-se que, a partir do quinto ano, investimento inicial já é descontado no caso A e, a partir do sexto ano, no caso B, tendo uma diferença apenas de meses.

O retorno dos dois projetos foram considerados satisfatórios.

Tabela 8 – Payback caso A.

	ANO	Tarifa(R\$/kWh)	Geração(kW)	Valor Economizado Mensalmente(R\$)	Valor Economizado Anualmente (R\$)	PAYBACK (R\$)
1	2017	0,43668	5540,832	3.456,53	41478,35173	184683,41
2	2018	0,458514	5513,12784	3.611,21	43334,50797	141348,902
3	2019	0,4814397	5485,562201	3.772,81	45273,7272	96075,17482
4	2020	0,505511685	5458,13439	3.941,64	47299,7265	48775,44832
5	2021	0,530787269	5430,843718	4.118,03	49416,38926	-640,9409333
6	2022	0,557326633	5403,689499	4.302,31	51627,77268	-52268,71361
7	2023	0,585192964	5376,671052	4.494,84	53938,1155	-106206,8291
8	2024	0,614452613	5349,787697	4.695,99	56351,84617	-162558,6753
9	2025	0,645175243	5349,787697	4.930,79	59169,43848	-221728,1138
10	2026	0,677434005	5323,038758	5.151,44	61817,27085	-283545,3846
11	2027	0,711305706	5296,423564	5.381,97	64583,59372	-348128,9784
12	2028	0,746870991	5269,941446	5.622,81	67473,70954	-415602,6879
13	2029	0,78421454	5243,591739	5.874,43	70493,15805	-486095,8459
14	2030	0,823425267	5217,37378	6.137,31	73647,72687	-559743,5728
15	2031	0,864596531	5191,286912	6.411,96	76943,46265	-636687,0355
16	2032	0,907826357	5165,330477	6.698,89	80386,6826	-717073,7181
17	2033	0,953217675	5139,503825	6.998,67	83983,98665	-801057,7047
18	2034	1,000878559	5113,806306	7.311,86	87742,27005	-888799,9747
19	2035	1,050922487	5088,237274	7.639,06	91668,73663	-980468,7114
20	2036	1,103468611	5062,796088	7.980,91	95770,9126	-1076239,624
21	2037	1,158642042	5037,482107	8.338,06	100056,6609	-1176296,285
22	2038	1,216574144	5243,591739	9.113,17	109358,0251	-1285654,31
23	2039	1,277402851	5217,37378	9.520,98	114251,7967	-1399906,107
24	2040	1,341272994	5191,286912	9.947,05	119364,5646	-1519270,671
25	2041	1,408336643	5165,330477	10.392,18	124706,1289	-1643976,8
				<b>Total</b>	<b>1.870.138,56</b>	

Fonte: Diversaa.

Tabela 9 – Payback caso B.

	ANO	Tarifa(R\$/kWh)	Geração(kW)	Valor Economizado Mensalmente(R\$)	Valor Economizado Anualmente (R\$)	PAYBACK (R\$)
1	2017	0,43668	2654,982	1.656,25	19875,04354	94582
2	2018	0,458514	2641,70709	1.730,37	20764,45174	73817,54826
3	2019	0,4814397	2628,498555	1.807,81	21693,66095	52123,88731
4	2020	0,505511685	2615,356062	1.888,70	22664,45228	29459,43503
5	2021	0,530787269	2602,279281	1.973,22	23678,68652	5780,748511
6	2022	0,557326633	2589,267885	2.061,53	24738,30774	-18957,55923
7	2023	0,585192964	2576,321546	2.153,78	25845,34701	-44802,90624
8	2024	0,614452613	2563,439938	2.250,16	27001,92629	-71804,83253
9	2025	0,645175243	2563,439938	2.362,67	28352,02261	-100156,8551
10	2026	0,677434005	2550,622738	2.468,40	29620,77562	-129777,6308
11	2027	0,711305706	2537,869625	2.578,86	30946,30533	-160723,9361
12	2028	0,746870991	2525,180276	2.694,26	32331,15249	-193055,0886
13	2029	0,78421454	2512,554375	2.814,83	33777,97156	-226833,0601
14	2030	0,823425267	2499,991603	2.940,79	35289,53579	-262122,5959
15	2031	0,864596531	2487,491645	3.072,40	36868,74252	-298991,3384
16	2032	0,907826357	2475,054187	3.209,88	38518,61875	-337509,9572
17	2033	0,953217675	2462,678916	3.353,53	40242,32693	-377752,2841
18	2034	1,000878559	2450,365521	3.503,60	42043,17106	-419795,4552
19	2035	1,050922487	2438,113694	3.660,38	43924,60297	-463720,0582
20	2036	1,103468611	2425,923125	3.824,19	45890,22895	-509610,2871
21	2037	1,158642042	2413,79351	3.995,32	47943,8167	-557554,1038
22	2038	1,216574144	2512,554375	4.366,73	52400,72037	-609954,8242
23	2039	1,277402851	2499,991603	4.562,14	54745,6526	-664700,4768
24	2040	1,341272994	2487,491645	4.766,29	57195,52056	-721895,9973
25	2041	1,408336643	2475,054187	4.979,59	59755,0201	-781651,0174
				<b>Total</b>	<b>896.108,06</b>	

Fonte: Diversas.

## 6 CONCLUSÕES

Com a busca por energias alternativas e o perfil do Brasil considerado um país rico em recursos naturais, nota-se a necessidade do estudo da realização de projetos em energias renováveis.

O desenvolvimento de um projeto para o Campus VII da UEPB proporcionou a familiarização com o tema abordado e a forma de dimensionamento dos componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

A comparação entre o projeto que atende cerca de 30% do consumo médio e o que supre aproximadamente 15% mostrou que o investimento inicial foi proporcional à energia gerada, tendo um *payback* bastante parecido. Isso se deve ao preço do inversor, visto que foi preciso usar dois inversores no caso A.

Como o alto custo de um projeto fotovoltaico é gerado principalmente pelas placas fotovoltaicas, sendo responsáveis por mais de 50% do custo total nos dois casos, nota-se que o desenvolvimento de tecnologias mais baratas, a produção em larga escala das placas fotovoltaicas e a produção brasileira afetariam diretamente no custo de um sistema fotovoltaico podendo popularizar essa fonte de energia.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-5410-Instalações Elétricas em Baixa Tensão**. Rio de Janeiro ABNT, 2001.

BARROS, Hugo Albuquerque. **Anteprojeto de um sistema fotovoltaico de 12 KWp conectado à rede/Hugo Albuquerque Ramos**. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2011.

BRASIL, ANEEL. **Resolução normativa n° 482 de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

BRASIL, ANEEL. **Resolução normativa n° 687 de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

**Potencial Solar - Sun Data**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2016.

**Chave Seccionadora Fotovoltaica Schneider C60NA**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/chave-seccionadora-fotovoltaica-schneider-c60na.html>>. Acesso em: 02 de março de 2017.

**Conector MC4**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/conector-mc4-par.html>>. Acesso em: 10 de fevereiro 2017.

**Disjuntor DIN Siemens 32 A**. Disponível em: <[http://www.leroymerlin.com.br/disjuntor-din-tripolar-250-440v-32a-siemens\\_85727404?origin=86b411cd049899bac0d2110a&region=rio\\_grande\\_do\\_norte](http://www.leroymerlin.com.br/disjuntor-din-tripolar-250-440v-32a-siemens_85727404?origin=86b411cd049899bac0d2110a&region=rio_grande_do_norte)>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2017.

**Disjuntor DIN Siemens 63 A**. Disponível em: <<http://www.cec.com.br/material-eletrico/disjuntores-e-armacoes/tripolar/disjuntor-din-curva-c-63a-tripolar-ref-5sx1-363-7?produto=1047526>>. Acesso em: 10 de fevereiro 2017

**DPS Clamper VCL 275V**. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/protetor-dps-275v-40ka-vcl-clamper,product,2410603610151,dept,7006.aspx>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2017.

**DPS Schneider PRD-DC40r**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/dps-schneider-prd-dc40r-1000pv-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2017.

Energisa. **Norma de Distribuição Unificada 013 – NDU 013**. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/>. Acesso em: Março de 2017.

FIGUEIRA, FABIO. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da escola municipal Tenente Antônio João**. 2014. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

**Fusível C-10x38KFF**. Disponível em: < <http://www.dekfuse.com.br/html/C-10x38KFF.php>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2017.

**Inversor Fronius Symo 17.5-3-M (17.500W)**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-symo-17-5-3-m-17500w.html>>. Acesso em: 6 fevereiro de 2017.

**Kit de Fixação Thesan para Montagem de painéis fotovoltaicos**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/kit-montagem-fixacao-thesan-telhado-inclinadoceramica-ganchos-3-paineis-fotovoltaicos.html>>. Acesso em: 8 fevereiro de 2017.

SAMANEZ, Carlos Patrício. **Engenharia Econômica**. Ed. Prentice Hall. São Paulo, 2009.

SEGUEL, Julio. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. 206 f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOUSA, Ronilson. **Unidade 2: Inversor Interativos - Análise de Características Técnicas**. Bluesol, 2015.

SOUSA, Ronilson. **Unidade 4: Projeto de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede - Dimensionamento de Condutores e Dispositivos de Seccionamento e Proteção**. Bluesol, 2015.

**String Box PHB**. Disponível em: <[http://www.phb.com.br/produtos/solar/StringBox/StringBox\\_tri\\_br.aspx](http://www.phb.com.br/produtos/solar/StringBox/StringBox_tri_br.aspx)>. Acesso em: 10 de fevereiro 2017

**Painel Solar Fotovoltaico Yingli 275W**. Disponível em <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-275wp-yingli-yl275d-30.html>>. Acesso em: 6 fevereiro de 2017.

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: março de 2017.

QUEIROZ, Ewerton. **Viabilidade da geração de energia das placas fotovoltaicas no laboratório de sistemas de potência**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

**Tabela de Preços Cabos Prysman.** Disponível em <[http://br.prysmiangroup.com/br/files/TABELA-PRECOs-PRYSMIAN\\_MAR17.pdf](http://br.prysmiangroup.com/br/files/TABELA-PRECOs-PRYSMIAN_MAR17.pdf)>. Acesso em: 6 fevereiro de 2017.

VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação.** 2009. Relatório Final Realização: Pro COBRE, Campinas, SP.

# APÊNDICES