

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

PAULO HENRIQUE MARSON

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAÍCO CONECTADO A REDE ELÉTRICA EM UMA
INDÚSTRIA MOVELEIRA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

PAULO HENRIQUE MARSON

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAÍCO CONECTADO A REDE ELÉTRICA EM UMA
INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Monografia apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

PAULO HENRIQUE MARSON

ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAÍCO CONECTADO A REDE ELÉTRICA EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 07 de novembro de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Orientador - UTFPR

Prof. Me. Ubirajara Zoccoli
UTFPR

Prof. Dr. Gerson M. Tiepolo
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

RESUMO

MARSON, Paulo Henrique; **Estudo para implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica em uma indústria moveleira**. 2016. 53 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Energias Renováveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Tratando-se de geração de energia, o sol é uma das fontes mais promissoras do mundo, porque produz energia limpa, renovável, porém essa tecnologia é ainda pouco aproveitada no Brasil. Esta pesquisa apresenta premissas que devem ser consideradas para implantação de um projeto base de energia solar fotovoltaica, conectado à rede elétrica, considerando a região geográfica o uso de espaço físico existente, e detalhamento e especificação técnica. O presente caso de estudo foi executado em uma indústria moveleira localizada na região metropolitana da cidade de Curitiba, Paraná, Brasil.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Energia Renovável. Geração Distribuída.

ABSTRACT

MARSON, Paulo Henrique; **Study for the implementation of a photovoltaic solar system connected to the power grid in a furniture industry.** 2016. 53 f. Course conclusion work (Specialization in Renewable Energy), Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2016.

In the case of power generation, the sun is one of the most promising sources of the world because it produces clean and renewable energy, but this technology is still little utilized in Brazil. This research presents assumptions that should be considered for implementation of a basic design of solar photovoltaic connected to the power grid, considering the geographic region and the use of existing physical space, details and technical specifications, this case study was executed in a furniture industry located in the metropolitan region of Curitiba, Paraná, Brazil.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Renewable energy. Distributed generation

LISTA DE ACRÔNIMOS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a-Si	Silício amorfo hidrogenado
A	Ampère
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
c-Si	Silício cristalino
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
COCEL	Companhia Campolarguense de Energia
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
EPE	Empresa de pesquisa energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kWh/m ²	kilowatt-hora por metro quadrado
kWp	kilowatt pico
LABSOLAR	Laboratório de energia solar
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> – Busca o ponto de Máxima potência
m-Si	Silício monocristalino
NBR-5410	Norma Brasileira para instalações elétricas em baixa tensão
NBR-5419	Norma Brasileira para proteção de estruturas contra descargas atmosféricas
PRODIST	Procedimento de distribuição de energia elétrica do sistema nacional
p-Si	Silício policristalino
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i> – Avaliação dos Recursos de Energia Solar e Eólica
SFVCR	Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V	Volt
W	Watt
Wp	Watt pico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Média anual do nível pluviométrico do reservatório do sistema.....	11
Figura 2– Participação das principais fontes de energia na matriz elétrica brasileira.	15
Figura 3- Elementos básicos do sistema de módulos fotovoltaicos.	24
Figura 4 - Modelos e área necessária para instalação de diversas tecnologias.	25
Figura 5 – Configuração básica de um SFVCR.....	28
Figura 6– Componentes da radiação solar	30
Figura 7 – Conceitos de radiação solar, irradiância, irradiação e aparelhos de medição.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Características elétricas de potência em inversores de SFVCR.	20
Tabela 2– Características elétricas de tensão em inversores de SFVCR.	20
Tabela 3 – Características elétricas de corrente em inversores de SFVCR.....	21
Tabela 4– Nível de tensão de conexão sistemas fotovoltaicos conectados a rede...	34
Tabela 5– Critérios mínimos do sistema conforme a potência instalada.....	34
Tabela 6– Irradiação Wh/m ²	40
Tabela 7– Irradiação médios da região, caso de estudo.....	41
Tabela 8– Unidade consumidora kWh – horário fora de ponta anual.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA	10
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3 PROBLEMA	13
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 OBJETIVO GERAL	14
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.5 JUSTIFICATIVA	14
1.6 METODOLOGIA DA PESQUISA	15
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA PARA PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE ELÉTRICA.....	17
2.1 SISTEMA DE TARIFAÇÃO <i>NET METERING</i>	17
2.2 SISTEMA DE TARIFAÇÃO <i>FEED IN</i>	18
2.3 EQUIPAMENTOS E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	19
2.3.1 INVERSORES DE FREQUÊNCIA	19
2.3.1.1 INVERSOR - FAIXA UTIL DE TENSÃO CONTÍNUA NA ENTRADA.....	21
2.3.1.2 INVERSOR - TENSÃO CONTÍNUA MÁXIMA DE ENTRADA.....	21
2.3.1.3 INVERSOR - NÚMERO MÁXIMO DE <i>STRINGS</i> NA ENTRADA.....	22
2.3.1.4 INVERSOR - TENSÃO E FREQUÊNCIA DE CONEXÃO COM A REDE ELÉTRICA.....	22
2.3.1.5 INVERSOR - POTÊNCIA DE CORRENTE CONTÍNUA E ALTERNADA ...	22
2.3.2 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	23
2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	23
2.4.1 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO	24
2.5 OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA.....	25
2.5.1 STRING BOX.....	25
2.5.2 DISPOSITIVOS DE MANOBRA E PROTEÇÃO	25
2.5.3 ATERRAMENTO DO SISTEMA	26
2.5.4 FIAÇÃO ELÉTRICA.....	26
2.5.5 QUADRO DE PROTEÇÃO DE CC	27
2.5.6 QUADRO DE PROTEÇÃO DE CA	27
2.6 CONFIGURAÇÃO BÁSICA DO SISTEMA.....	28
2.7 FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE ENERGIA SOLAR.....	28
2.7.1 TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR.....	29
2.7.2 RADIAÇÃO SOLAR	29
2.7.3 CONCEITO DE IRRADIÂNCIA.....	30
2.7.4 CONCEITO DE IRRADIAÇÃO.....	31

2.8 BANCO DE DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR	32
2.8.1 ATLAS SOLARIMÉTRICO E FOTOVOLTAICO DO BRASIL	32
2.9 SOFTWARE PARA CÁLCULO DE IRRADIAÇÃO	32
2.9.1 SOFTWARES PARA AUXÍLIO EM PROJETOS FOTOVOLTAICOS	32
2.10 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA.....	33
2.11 CONCEITOS PARA APRESENTAÇÃO DE UM PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA.....	35
2.11.1 PRINCIPAIS ETAPAS PARA UM PROJETO FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA.....	35
2.12 APRESENTAÇÃO DO PROJETO	36
2.12.1 PROJETO BÁSICO	36
2.12.2 PROJETO EXECUTIVO	36
3 PROJETO FOTOVOLTAICO BASE E LEVANTAMENTO DE CUSTOS – CASO DE ESTUDO	38
3.1 LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE.....	38
3.2 LEVANTAMENTO DE NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO ANUAL.....	39
3.3 ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL.....	41
3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	42
3.5 ESCOLHA DA TECNOLOGIA – MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	43
3.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: ESPAÇAMENTO	44
3.5.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: POSICIONAMENTO EM RELAÇÃO AO TELHADO	45
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50

1 INTRODUÇÃO

O capítulo em questão apresenta o tema e a sua delimitação, bem como demais elementos necessários para a apresentação do assunto pesquisado. São estes os elementos: o problema, os objetivos do trabalho (geral e específico), a justificativa, e a metodologia da pesquisa.

De acordo com Pereira (2006), O Brasil possui grande potencial para o uso da energia fotovoltaica, pois, o território brasileiro possui valores de irradiação global (anual) superiores a alguns países da União Europeia, como a Alemanha (900 - 1600kWh/m²) e Espanha (1200-1850kWh/m²). O Brasil possui irradiação média de 1500-2500kWh/m².

Com este aspecto em vista, o presente trabalho apresentara o desenvolvimento e uma metodologia de um projeto solar fotovoltaico conectado à rede elétrica, executando um projeto por meio de um caso de estudo em uma indústria moveleira, e por fim apresentar um levantamento de custos e uma análise final do tema discutindo a implantação do referido projeto.

1.1 TEMA

O uso da energia elétrica tornou-se vital para o homem moderno. Não se pode imaginar o mundo hoje sem as facilidades que os aparelhos e dispositivos elétricos proporcionam. Em virtude disso, o consumo desta energia tende a crescer de forma proporcional à população. É preciso desenvolver novas formas para produzir energia elétrica, entre elas está o uso de energia solar fotovoltaica, modalidade escolhida para o presente estudo, que visa impactar menos o meio ambiente.

Embora o custo inicial não seja convidativo, o mesmo está diminuindo com a evolução tecnológica e a massificação do uso. A geração solar fotovoltaica pode ser considerada como a forma não convencional de geração de eletricidade mais atraente para o Brasil e para o mundo a médio e longo prazo(REIS E SILVEIRA, 2000, p.61)

Em virtude desse potencial, o presente trabalho executará uma metodologia para projetos fotovoltaicos conectados à rede elétrica, apresentando suas características, sistemas de tarifação, dimensionamento, requisitos para conexão à rede elétrica, e seus principais equipamentos como inversores e módulos.

A grande motivação para este projeto pauta-se nos seguintes fatores:

- **Falta de água, ocasionada por escassez de chuvas:** “O índice pluviométrico refere-se à quantidade de chuva por metro quadrado em determinado local e em determinado período” (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2016). A
- Figura 1 indica uma queda superior a 40% nos reservatórios entre os anos de 2012 a 2014, como o ocorrido no sistema Cantareira em São Paulo, em razão das médias históricas dos índices pluviométricos, a escassez fica cada vez maior com um crescente aumento da demanda de energia (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A, 2015).

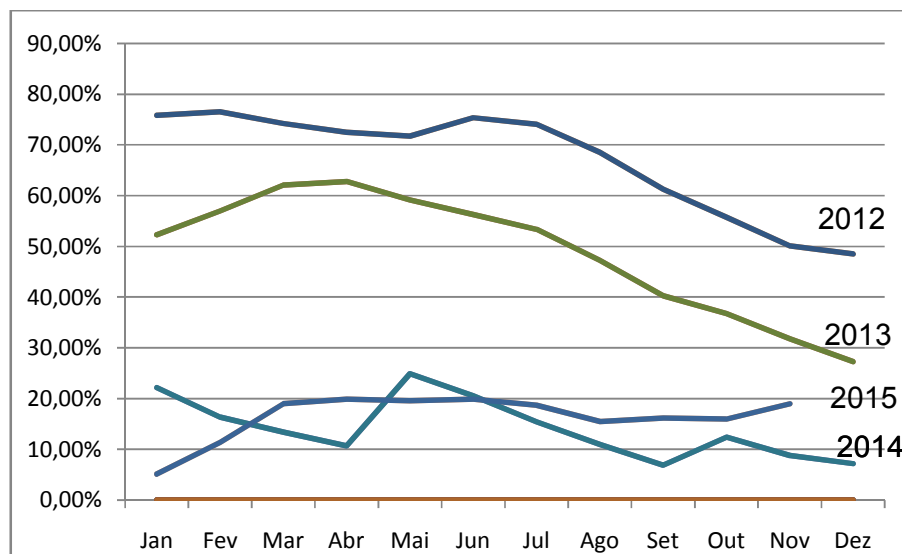


Figura 1 -Média anual do nível pluviométrico do reservatório do sistema Cantareira-SP
Fonte: Adaptado de SABESP (2015)

- **Custo atual da energia elétrica:** O custo da energia elétrica é relevante no cenário nacional e principalmente em âmbito industrial. Sobre o impacto da escassez de chuva no custo da energia tem-se o seguinte:

“A partir de janeiro de 2015, as contas de energia terão uma novidade: o Sistema de Bandeiras Tarifárias, criado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), um órgão do governo federal. As bandeiras verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade. A medida vale para todos os consumidores de energia do país, com exceção do Amazonas, Amapá e Roraima (que ainda não estão interligados com o sistema nacional de energia elétrica). Com a seca, as hidrelétricas passaram a gerar menos energia e as térmicas, cujo custo de geração é mais caro, foram acionadas. Com isto, a energia ficou mais cara no país” (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2015, p.1).

Diante deste cenário, para evitar o acionamento de usinas térmicas, que são poluentes, deve-se adotar o uso de fontes de energia renovável:

“Com o colapso na captação de água e riscos no abastecimento e geração de energia elétrica, associado à crescente pressão contra as emissões de gases poluentes provocados pelo uso de combustíveis como petróleo e gás, a necessidade de o país voltar os olhos para as energias alternativas, como a solar e a eólica, é cada vez mais premente” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2015, p.1).

Sem dúvida para estudar uma política de âmbito nacional em energias renováveis, deve-se explorar o potencial energético de cada região e no Brasil incluindo nas regiões mais frias deve-se considerar um aspecto muito importante.

- **Potencial solar no território Brasileiro:** Não se pode desconsiderar o potencial solar de nosso país.

“O potencial solar fotovoltaico no Brasil é muitas vezes superior ao consumo total da energia elétrica no país. Para exemplificar esse potencial, a comparação com a usina hidroelétrica de Itaipu, que contribui com aproximadamente 25% da energia elétrica gerada no país, é bastante ilustrativa. Cobrindo-se o lago de Itaipu com módulos solares fotovoltaicos de filmes finos comercialmente disponíveis, seria possível gerar o dobro da energia gerada por Itaipu, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil” (RÜTHER, 2004, p.76).

Países com um potencial solar fotovoltaico menores que o Brasil, como Alemanha, Estados Unidos, China e Japão veem investindo fortemente nessa tecnologia.

O caso de estudo desta pesquisa está localizado no município de Campo Largo, na região metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Por limitações temporais, o presente trabalho será executado a partir de um único caso de estudo. A empresa escolhida é uma indústria do setor moveleiro, localizada na cidade de Campo Largo, com (Coordenadas: Latitude -25,43°; Longitude -49,49°).

A pesquisa de campo será feita por uma estimativa de energia gerada, pois em um primeiro momento não haverá a instalação dos sistemas para verificar seus respectivos resultados finais. O projeto será voltado ao sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Deve-se apresentar critérios para um projeto solar fotovoltaico para unidades industriais, e por fim se estabelecer uma estimativa de custos para o presente projeto.

1.3 PROBLEMA

O Brasil atualmente enfrenta uma crise no setor energético, devido à carência na diversificação das matrizes geradoras de energia, tendo que recorrer à energia gerada por usinas térmicas, que é cara para se produzir (AMBIENTE ENERGIA, 2015).

Pouco se incentiva hoje projetos fotovoltaicos em unidades industriais, e não se tem uma literatura com uma metodologia específica para este tipo de projeto. Tornando este tipo de informação mais acessível por meio de um trabalho de pesquisa, pretende-se incentivar este tipo de projeto, o levantamento de custos visa verificar maneiras de tornar este tipo de projeto mais atrativo, não somente do ponto de vista ambiental, mas também do ponto de vista econômico e financeiro.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar aspectos técnicos e de dimensionamento com levantamento de custos, de um projeto para um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica em uma indústria do setor moveleiro.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar o potencial solar existente no Brasil;
- Executar uma análise de consumo da planta a ser estudada;
- Apresentar uma metodologia para projeto base de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica;
- Apresentar a especificação e dimensionamento dos principais equipamentos envolvidos no sistema, como painéis e inversores;
- Verificar o levantamento de custos do projeto.

1.5 JUSTIFICATIVA

Com o aumento do custo da energia elétrica no Brasil, as despesas com manufatura ou de serviços de uma empresa, aumentam proporcionalmente, principalmente as atividades que exigem muito uso energético. É necessário elaborar meios para conter as despesas, evitando assim, o repasse para o consumidor final (AMBIENTE ENERGIA, 2015).

Apenas uma política de energias renováveis não seria suficiente para suprir a crescente necessidade atual de energia, com várias tecnologias novas disponíveis precisa-se de um esforço em conjunto para a utilização mais ampla destas fontes.

A vantagem não está relacionada apenas em ser uma empresa sustentável após a implantação do projeto, mas aos custos, para que projetos como este se tornem viáveis a curto ou médio prazo.

Para mitigar o alto custo da energia elétrica, em virtude da alta demanda e baixa oferta de energia, bem como a necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis – que em geral, poluem (VILLALVA, 2015 p.14) visa-se propor um projeto de fonte de energia solar fotovoltaica, objeto deste estudo. A participação da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira é muito pequena, uma fonte de energia renovável pouco explorada ainda, conforme a Figura 2, do boletim de monitoramento de energia elétrica do mês de março de 2016:

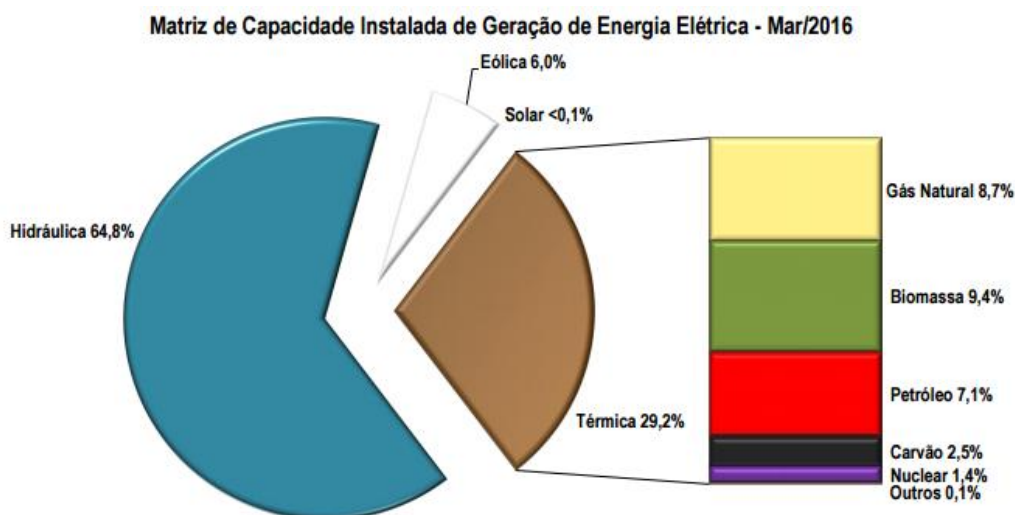


Figura 2– Participação das principais fontes de energia na matriz elétrica brasileira.

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2016)

1.6 METODOLOGIA DA PESQUISA

O propósito da pesquisa é explicativa por registrar e analisar fatos, e por meio de um caso de estudo, com o objetivo de propor uma metodologia de um projeto fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Serão coletados dados do consumo atual de energia elétrica da edificação, no período de um ano (2015), e realizar uma comparação com a geração estimada

de energia elétrica, levando em conta o quanto se pretende investir, e qual a porcentagem do consumo atual que será suprida por energia solar fotovoltaica.

Sabendo da quantidade de energia que se pretende gerar, é dimensionado o painel fotovoltaico e os inversores. Após a coleta dos dados de radiação solar do local, será feito o cálculo da potência do painel fotovoltaico e dos seus respectivos inversores, para dimensionar adequadamente o projeto, com isso realizado passa-se a fazer a estimativa de custos do projeto.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os capítulos serão estruturados da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução, tema, delimitação do tema, problema, objetivos geral e específico, justificativa, metodologia de pesquisa, estrutura do trabalho;
- Capítulo 2 – Revisão de literatura para projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica;
- Capítulo 3 – Projeto fotovoltaico base e levantamento de custos- caso de estudo;
- Capítulo 4 – Considerações finais.

A estruturação apresentada tem por objetivo expor as informações de forma organizada e concisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA PARA PROJETOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE ELÉTRICA

Este capítulo é uma revisão bibliográfica sobre os conceitos envolvidos para projetos e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica.

O objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é gerar eletricidade para o consumo local. Em alguns países consumidores são incentivados a produzir excedente de energia e são remunerados pela eletricidade que exportam a rede elétrica. Nestes casos residências e empresas deixam de ser apenas consumidores, mas tornam-se produtores de eletricidade (VILLALVA, 2015 p.147).

No modelo tarifário brasileiro atual, não compensa tornar-se produtor de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos, devido a forma de faturamento e tributação sobre o mesmo, assim esse caso de estudo, será dimensionado apenas para atender a demanda local de energia elétrica.

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser classificados em três categorias:

- Microgeração: Potência máxima instalada de 75kW;
- Minigeração Potência instalada entre 75kW a 5 MW;
- Usina de eletricidade: Potencia acima de 5 MW.

Assim sendo pode-se afirmar que o presente caso de estudo se trata de uma minigeração de aproximadamente 188kW.

2.1 SISTEMA DE TARIFAÇÃO *NET METERING*

Nesse tipo de tarifação, utilizam-se medidores eletrônicos de quatro quadrantes, ou seja, com capacidade de medir o fluxo de energia nos dois sentidos, energia gerada e energia consumida (VILLALVA, 2015 p.147).

Nesse caso, o consumidor pagará a diferença entre o que consumiu e o que gerou, em alguns países o sistema *net metering* permite ao proprietário do sistema gerar mais energia do que consumiu, pois receberá após determinado período um pagamento sobre o excedente de energia, (VILLALVA, 2015 p.154), no entanto, no

Brasil existe apenas uma determinada troca de créditos, onde o produtor tem no máximo sessenta meses para resgatar, isso aliado a questões tributárias, faz com que seja necessário gerar apenas a energia consumida, para consumidores do grupo B deve-se descontar o custo de disponibilidade.

Na prática, pelo modelo de negócio atual, o consumidor paga somente a diferença entre energia gerada e a consumida, havendo créditos excedentes deve resgatá-los no período determinado.

Para o dimensionamento da potência do sistema, é importante ter o entendimento do sistema de compensação regulamentado na região (PINHO E GALDINO, 2014 p.327).

2.2 SISTEMA DE TARIFAÇÃO *FEED IN*

Criado na Europa este sistema de tarifação tem por objetivo incentivar o uso de energias renováveis, o sistema de medição é semelhante ao *net metering*, mas no *feed in* o pagamento da energia exportada é maior que o preço da energia consumida, tornando o sistema muito mais vantajoso do ponto de vista econômico (VILLALVA, 2015 p.155).

Mesmo não sendo o caso desse estudo, em virtude da demanda atual de energia, da crise no setor hídrico, vale a pena ressaltar o atraso que se vive atualmente em políticas sobre energias renováveis.

Segundo Rüter (2004 p.77), um equilíbrio entre as diversas fontes de geração disponíveis no país deve ser o objetivo do setor elétrico nacional, buscando utilizar sempre a fonte mais apropriada para cada região e situação.

Sem dúvida pelo potencial solar existente do Brasil, políticas de incentivo como o sistema *feed in*, seriam fundamentais para o desenvolvimento do ramo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica na economia brasileira.

2.3 EQUIPAMENTOS E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Sem dúvida para concepção de um bom projeto de instalações, devem-se conhecer as características e o funcionamento dos principais equipamentos, no caso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica os principais equipamentos são os inversores e os seus respectivos módulos fotovoltaicos. Com relação a dimensionamento devem-se entender as normas estabelecidas para o mesmo.

2.3.1 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Os inversores para conexão dos sistemas fotovoltaicos a rede elétrica, assim como seus semelhantes usados nos sistemas autônomos convertem em corrente alternada a eletricidade de corrente contínua coletada dos módulos fotovoltaicos (VILLALVA, 2015 p.156).

Para Urbanetz (2010), as principais características dos inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são as seguintes.

- Construídos para operar em paralelo com a rede elétrica, assim sendo toda energia fotogerada é injetada na rede elétrica;
- Apresentam alta eficiência acima de noventa e quatro por cento;
- Possuem função de busca do ponto máximo de potência (MPPT);
- Desligam-se automaticamente na ausência de tensão na rede elétrica.

Esse desligamento automático ocorre principalmente para garantir a integridade de equipamentos e a segurança dos profissionais que atuam na manutenção dos sistemas elétricos.

Conforme Urbanetz (2010), as características elétricas dos inversores para SFVCR (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica) são as seguintes:

Tabela 1– Características elétricas de potência em inversores de SFVCR.

Potências			
Parâmetro	Símbolo	Unidade	Descrição
Potência nominal	P_{nDC}	W	Potência do painel fotovoltaico para a qual é dimensionado o inversor
Potência máxima do painel Fotovoltaico	P_{DCmax}	W	Máxima potência do painel fotovoltaico que é admissível pelo inversor
Potência nominal AC	P_{nAC}	W	Potência AC que o inversor pode fornecer permanentemente
Máxima potência AC	P_{ACmax}	W	Máxima potência AC do inversor
Potência em stand-by	$P_{standby}$	W	Especifica a potência do inversor em modo “stand-by” (modo de vigília), quando não está em operação e fora do período noturno

Fonte: Urbanetz (2010)

Tabela 2– Características elétricas de tensão em inversores de SFVCR.

Tensões			
Parâmetro	Símbolo	Unidade	Descrição
Tensão nominal DC	V_{nDC}	V	Tensão do painel fotovoltaico para a qual é dimensionado o inversor
Intervalo de tensão MPP	V_{MPP}	V	Especifica o intervalo de tensão de entrada no qual o inversor procura o ponto MPP
Tensão máxima DC	V_{DCmax}	V	Tensão do painel fotovoltaico máxima na entrada do inversor
Tensão de desligamento	V_{DCoff}	V	Tensão do painel fotovoltaico mínima para a qual o inversor ainda opera
Tensão nominal AC	V_{nAC}	V	Tensão de saída AC do inversor (normalmente 230 V)

Fonte: Urbanetz (2010)

Tabela 3 – Características elétricas de corrente em inversores de SFVCR.

Correntes			
Parâmetro	Símbolo	Unidade	Descrição
Corrente nominal DC	I_{nDC}	I	Corrente do painel fotovoltaico para a qual é dimensionado o inversor
Corrente máxima DC	I_{DCmax}	I	Corrente máxima do painel fotovoltaico na entrada do inversor
Corrente nominal AC	I_{nAC}	I	Corrente AC que é injetada pelo inversor na rede à potência nominal.
Corrente máxima AC	I_{ACmax}	I	Corrente máxima AC na saída do inversor

Fonte: Urbanetz (2010)

2.3.1.1 INVERSOR - FAIXA UTIL DE TENSÃO CONTÍNUA NA ENTRADA

A faixa útil de tensão é o intervalo de valores de tensão na entrada na qual o inversor consegue operar. É também a faixa de tensão na qual o sistema de MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência) do inversor consegue maximizar a produção de energia dos módulos (VILLALVA, 2015 p.158), ou seja, o ponto de máxima potência do conjunto de módulos deverá estar dentro dessa faixa de tensão.

2.3.1.2 INVERSOR - TENSÃO CONTÍNUA MÁXIMA DE ENTRADA

Este é o valor máximo absoluto de tensão admissível na entrada do inversor, limita o número de módulos que podem ser colocados em série. O projetista nesse caso deve consultar a folha de dados dos módulos empregados e determinar o número máximo de módulos com base na informação de tensão de circuito aberto (VILLALVA, 2015 p.159).

2.3.1.3 INVERSOR - NÚMERO MÁXIMO DE *STRINGS* NA ENTRADA

Strings são conjuntos de módulos fotovoltaicos ligados em série. Os inversores comerciais possuem um número limitado de entrada para *strings*, geralmente em quatro entradas. Sistemas fotovoltaicos que apresentam um número maior de *strings* devem fazer uso de conectores auxiliares para o paralelismo ou por meio de uma caixa de conexões denominadas *string box* (VILLALVA, 2015 p.160).

2.3.1.4 INVERSOR - TENSÃO E FREQUÊNCIA DE CONEXÃO COM A REDE ELÉTRICA

O projetista do sistema devesse certificar que o aparelho é adequado para operação na rede elétrica desejada, tensão do equipamento deverá ser compatível com a tensão da rede, ou se devesse utilizá-lo com o auxílio de um transformador de tensão, no Brasil a frequência compatível com a rede elétrica é somente de 60 hertz.

2.3.1.5 INVERSOR - POTÊNCIA DE CORRENTE CONTÍNUA E ALTERNADA

O fabricante sempre expressa dois valores de potência, um para a entrada do inversor em corrente contínua, essa potência é expressa em Wp (Watts pico), esse valor é a referenciada potência de pico que o conjunto fotovoltaico pode ser ligado a esse inversor. Na saída do inversor representa o lado de corrente alternada, é a máxima potência que o inversor pode injetar na rede elétrica.

Em geral é possível conectar ao inversor conjuntos fotovoltaicos com potência ligeiramente menores ou maiores (VILLALVA, 2015 p.163).

2.3.2 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Alguns critérios importantes devem ser utilizados na escolha do fornecedor, credibilidade do fornecedor, pois a garantia do equipamento deverá ser de cinco a dez anos, e assistência técnica em território brasileiro (PINHO E GALDINO, 2014 p.331).

Com relação a critérios do número e potência dos equipamentos:

Por se tratar ainda de um equipamento de alto custo, existe uma tendência de otimizar ao máximo o inversor utilizado, o dimensionamento do sistema deve ser feito de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potência demasiadamente abaixo da nominal nem seja sobrecarregado, utilizando-se um inversor de menor capacidade (e, portanto, menor custo), para um mesmo gerador FV sem impactar na quantidade de energia e na confiabilidade do sistema, a energia gerada tende a ser mais barata. Contudo de uma forma conservadora a potência do gerador pode ser igual a potência nominal da geração (PINHO E GALDINO, 2014 p.332).

2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, devem ter características elétricas conforme a necessidade do sistema e certificação pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia) (URBANETZ, 2010).

O projetista deverá compatibilizar módulos e inversores.

Os módulos devem ser associados em série e/ou paralelo para obter-se os valores de tensão/corrente compatíveis com os inversores, buscando otimizar o desempenho do sistema (URBANETZ, 2010).

Tipicamente um módulo de silício cristalino para conexão com a rede elétrica possui 60 células em série, a tensão de saída em circuito aberto e a potência do equipamento varia de um fabricante para o outro ou entre diferentes modelos de um mesmo fabricante (VILLALVA, 2015 p.189).

Na Figura 3 são apresentados os elementos que compõem arranjo fotovoltaico.

• Elementos Fotovoltaicos

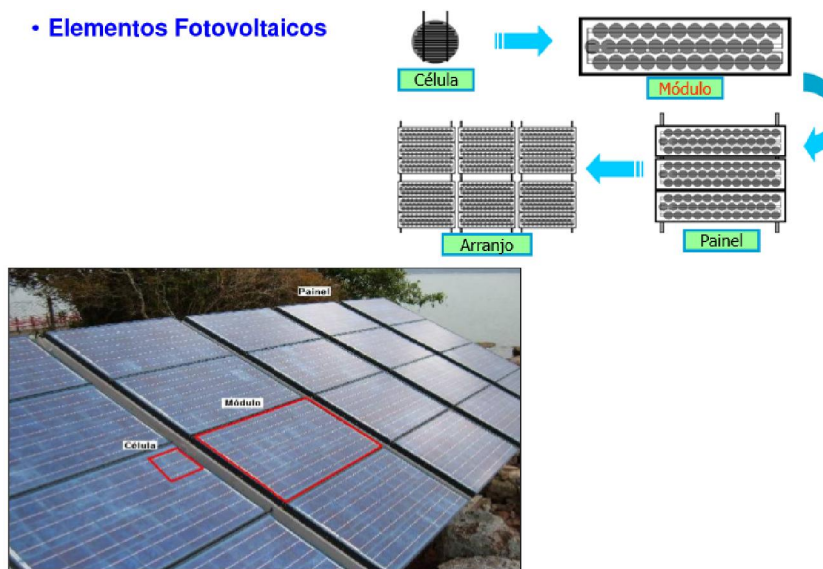


Figura 3- Elementos básicos do sistema de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Urbanetz (2010)

2.4.1 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Em virtude do sistema de compensação de energia existente no Brasil, já citado anteriormente, não é interessante que o sistema fotovoltaico gere mais energia do que a consumida ao longo do ano.

Logo, para se dimensionar o gerador FV de forma otimizada, deve-se levantar o consumo médio anual da edificação (Wh/dia) descontando o valor da disponibilidade mínima da energia. Este dado pode ser calculado pelo histórico de faturas mensais de consumo de energia elétrica emitidas pela distribuidora local (PINHO E GALDINO, 2014 p.328).

Existem também outros aspectos importantes a serem considerados. Conforme Pinho e Galdino (2014 p.329), normalmente o dimensionamento de um SFVCR é condicionado pelos recursos financeiros disponíveis para investimento, e pela área disponível para instalação.

Com relação à área de instalação, conforme maior a eficiência da tecnologia aplicada (Figura 4), menor será o módulo e, portanto, haverá o maior aproveitamento do espaço útil, em alguns locais devem-se verificar também as vantagens arquitetônicas e estéticas de determinadas tecnologias.

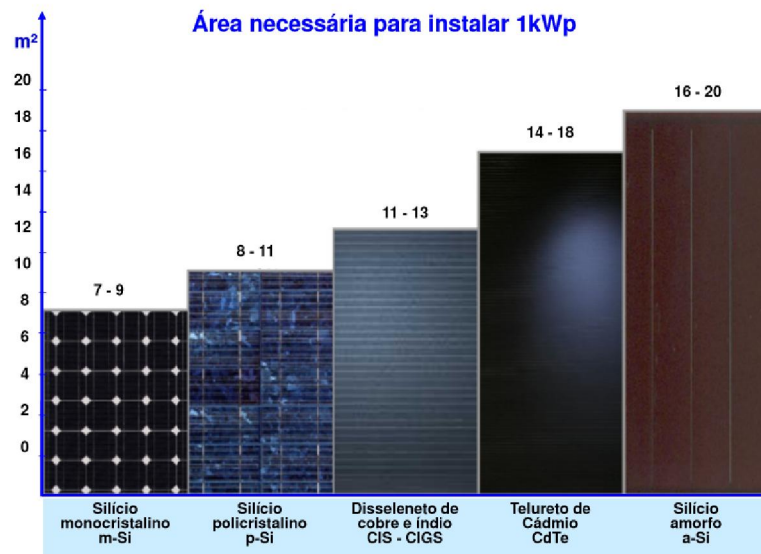


Figura 4 - Modelos e área necessária para instalação de diversas tecnologias.

Fonte: Urbanetz (2010)

2.5 OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA

2.5.1 STRING BOX

Essa caixa para conexões pode ser construída com componentes avulsos ou adquiridas por meio de modelos pré-fabricados, deverá ser protegida contra intempéries, possuindo grau mínimo de proteção IP-54 (VILLALVA, 2015 p.189).

IP-54 (grau de proteção limitada contra poeira e proteção contra pulverização de água)

2.5.2 DISPOSITIVOS DE MANOBRA E PROTEÇÃO

Conforme Urbanetz (2010), o projetista deverá verificar a proteção do sistema utilizando os seguintes critérios.

- Os dispositivos de manobra e proteção devem estar de acordo com as recomendações dos fabricantes dos equipamentos;

- Alguns modelos de inversores possuem proteção contra curto-circuito e sobrecarga;
- Os dois condutores de corrente contínua devem ser interrompidos, incluindo o ligado no polo negativo.
- Para tensões de corrente contínua elevada o seccionamento da mesma deverá ser feito com chave especial que seja manobrada em carga para evitar arco-elétrico.

2.5.3 ATERRAMENTO DO SISTEMA

Conforme Urbanetz (2010), o projetista deverá verificar os seguintes critérios mínimos para aterramento do sistema.

- Os componentes elétricos com partes metálicas necessitam de aterramento individual para oferecer segurança tendo em vista que estão sujeitos a falha de isolamento e a descargas atmosféricas;
- A estrutura de montagem de painéis também deverá ser aterrada.

Para demais critérios como a resistência de aterramento, tipo de malha, dispositivos de proteção contra surtos, o projetista deverá observar as normas NBR-5410 (norma brasileira para instalações elétricas de baixa tensão) e NBR-5419 (norma brasileira para proteção de estruturas contra descargas atmosféricas).

2.5.4 FIAÇÃO ELÉTRICA

Conforme Urbanetz (2010), o projetista deverá verificar os seguintes critérios para o devido dimensionamento da fiação elétrica.

- Os módulos fotovoltaicos tem garantia mínima de 25 anos, assim os condutores elétricos devem ser dimensionados e instalados de modo a terem vida útil para atender esse mesmo período;
- Os condutores devem ser fixados a estrutura a fim de prevenir a ação do vento e de animais rasteiros;

- Os condutores expostos a radiação ultravioleta devem possuir especificação adequada ou serem protegidos em eletrodutos com proteção UV (proteção ultravioleta);

- Respeitar critérios de queda de tensão de no máximo 4% nos condutores.

- Seguir o devido padrão de cores, lado CC positivo vermelho e negativo preto, lado CA qualquer cor diferente de preto, vermelho azul e verde, utilizando-se cores convencionais de mercado pode-se definir amarelo (fase A), branco (fase B), e cinza (fase C).

Para os devidos critérios de dimensionamento para cálculos de bitola de fiação e queda de tensão o projetista deverá observar a norma NBR-5410 (norma brasileira para instalações elétricas de baixa tensão).

2.5.5 QUADRO DE PROTEÇÃO DE CC

O quadro de proteção de corrente contínua deverá se compor pelos fusíveis, ou disjuntores para CC para conexão das *strings*, deverá compor também a chave de desconexão de corrente alternada, e o dispositivo de proteção contra surto, deverá também conter barramento de aterramento (VILLALVA, 2015 p.192).

2.5.6 QUADRO DE PROTEÇÃO DE CA

O quadro de proteção de corrente alternada faz conexão entre os inversores do sistema fotovoltaico e a rede elétrica, os dispositivos e o modo de dimensionamento devem seguir as normas convencionais de instalações elétricas em baixa tensão (VILLALVA, 2015 p.193).

2.6 CONFIGURAÇÃO BÁSICA DO SISTEMA

A configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pode ser representada da seguinte maneira conforme

Figura 5:

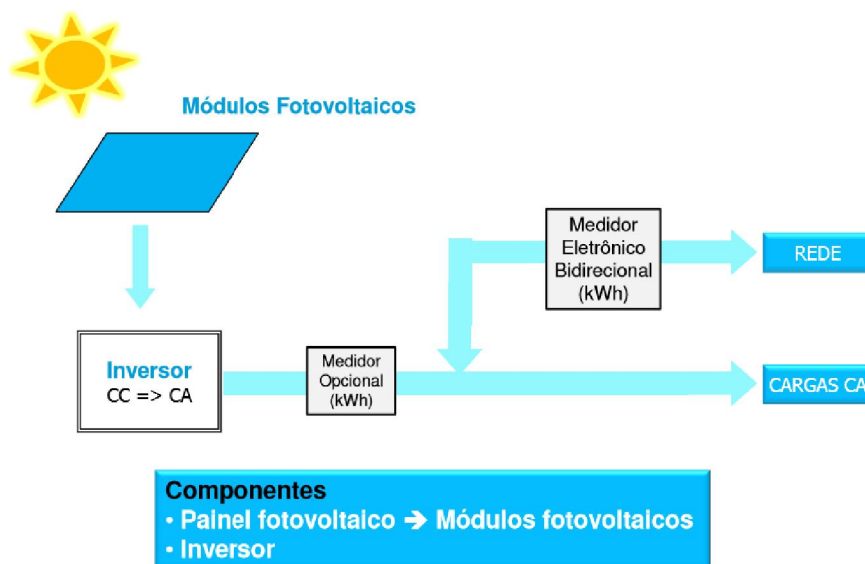


Figura 5 – Configuração básica de um SFVCR

Fonte: Urbanetz (2010)

2.7 FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE ENERGIA SOLAR

Para um bom projeto, é necessário que seu executor entenda plenamente os fundamentos básicos da tecnologia que será aplicada, com relação a energia solar deve-se entender alguns conceitos fundamentais.

2.7.1 TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

Sistemas fotovoltaicos são aqueles que tem a capacidade de gerar energia elétrica, diretamente a partir da energia do sol. Existem duas configurações básicas, sistemas isolados (com banco de baterias) e os conectados à rede elétrica, este último se aplica ao presente caso de estudo.

Nos sistemas isolados onde a energia é armazenada, servem principalmente em locais sem atendimento a rede elétrica, uma utilização bastante comum hoje em dia é no atendimento em radares de controle de velocidade em rodovias.

Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, nesse caso a geração de energia é injetada na rede elétrica da concessionária local.

2.7.2 RADIAÇÃO SOLAR

É a forma de transferência de energia advinda do sol, através da propagação de onda eletromagnéticas, a intensidade média é conhecida como constante solar (G_{AMO}) = 1.366 W/m^2 , na superfície terrestre a intensidade de irradiação máxima é representada por (G_{HOR})= 1.000 W/m^2 máximo (URBANETZ, 2010).

Existem três componentes da radiação solar a direta, a difusa e a de albedo, podem ser exemplificadas da seguinte maneira, conforme Figura 6:

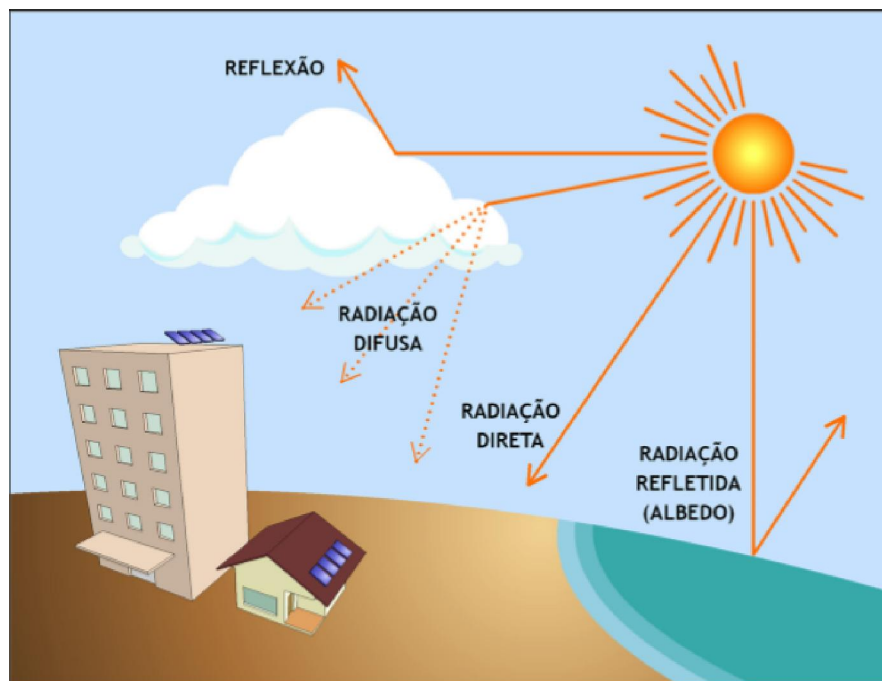


Figura 6– Componentes da radiação solar

Fonte: Urbanetz (2010)

2.7.3 CONCEITO DE IRRADIÂNCIA

Conforme NBR-10899, os conceitos básicos de irradiância devem ser representados pelos seguintes aspectos:

- Irradiância solar (G) – Taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em watt por metro quadrado (W/m^2);
- Irradiância direta (G_{DIR}) – Irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser horizontal ou normal;
- Irradiância difusa (G_{DIF}) – Potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída a irradiância direta;
- Irradiância global (G_{HOR}) – Potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, que é igual à irradiância direta mais a irradiância difusa;
- Albedo – Índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devida à refletância dos arredores e do solo onde está instalado um dispositivo. A irradiância devida ao albedo é simbolizada por G_{ALB} ;
- Irradiância total (G_{TOT}) – Potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebida em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer.

2.7.4 CONCEITO DE IRRADIAÇÃO

Conforme NBR-10899, os conceitos básicos de irradiação devem ser representados pelos seguintes aspectos descritos a seguir apresentados na

Figura 7:

- Irradiação solar (I ou H) – Irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia. Medida em watt hora por metro quadrado ou Joule por metro quadrado (Wh/m^2 ou J/m^2). É simbolizada por "I", quando integrada em uma hora, ou "H", quando integrada em um dia;
- Irradiação difusa – Irradiância difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado I_{DIF} ou H_{DIF} ;
- Irradiação direta – Irradiância direta integrada durante um intervalo de tempo especificado I_{DIR} ou H_{DIR} ;
- Irradiação global – Irradiância global integrada durante um intervalo de tempo especificado I_{HOR} ou H_{HOR} ;
- Irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado I_{TOT} ou H_{TOT} .

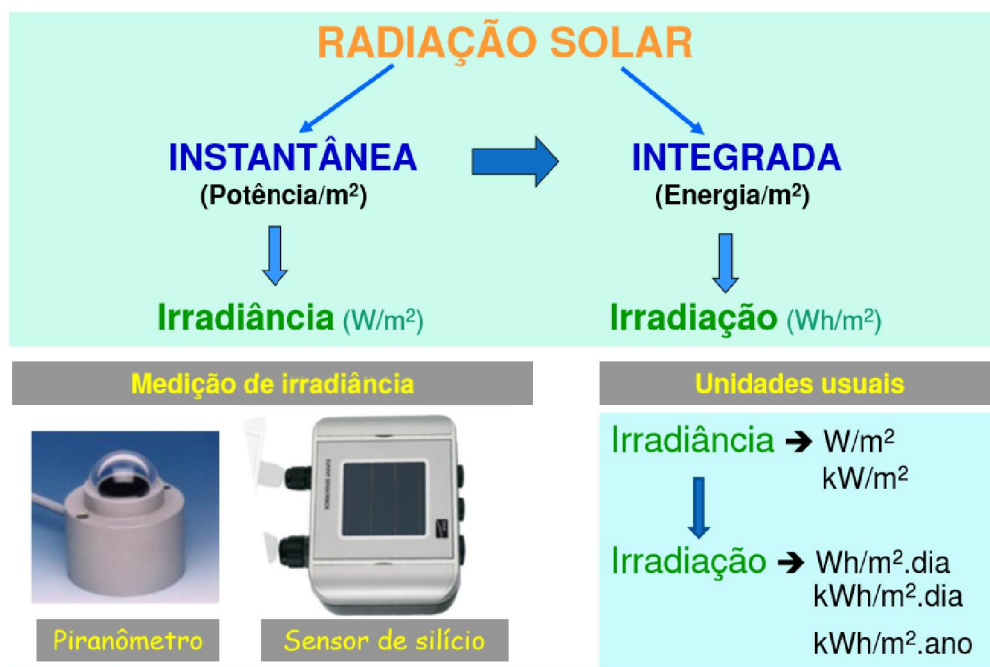


Figura 7 – Conceitos de radiação solar, irradiação, irradiação e aparelhos de medição.

Fonte: Urbanetz (2010)

2.8 BANCO DE DADOS DE IRRADIAÇÃO SOLAR

2.8.1 ATLAS SOLARIMÉTRICO E FOTOVOLTAICO DO BRASIL

O Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina se dedica a mais de uma década ao levantamento do potencial de radiação solar incidente sobre o território nacional (RÜTHER, 2004 p.67).

Por meio de medições realizadas em estações de superfície, medições realizadas a partir de imagens de satélite pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e dados medidos em sistemas fotovoltaicos instalados no território nacional, com essa ampla base de dados, foi derivado o Atlas fotovoltaico do Brasil.

Aspectos sazonais são importantes para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados que devem atender a demanda de energia pela menor média de irradiação anual da localidade.

2.9 SOFTWARE PARA CÁLCULO DE IRRADIAÇÃO

Para o presente projeto utilizou-se o *software* Radiasol para cálculo de irradiação, para diferentes ângulos de inclinação do sistema e de desvio azimutal (desvio em relação ao norte) pelo o qual o sistema será instalado. Esse cálculo é feito a partir dos valores de irradiação no plano global horizontal.

2.9.1 SOFTWARES PARA AUXÍLIO EM PROJETOS FOTOVOLTAICOS

As ferramentas disponíveis podem ser divididas em diversas classes, e de um modo geral podem ser aplicados para: análise de viabilidade, dimensionamento, simulação de operação, localização, monitoramento, controle, curva de carga, cabeamento, dados meteorológicos, e sistemas híbridos.

Algumas ferramentas para auxílio computacional são: Homer, Insel, PV-sol, PVSyst, SolarPro entre outros (PINHO E GALDINO, 2014 p.342).

2.10 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE ELÉTRICA

Conforme (PINHO E GALDINO, 2014 p.325), as principais características de um projeto fotovoltaico conectado à rede elétrica são as seguintes:

- Em sistemas conectados não a necessidade de armazenamento de energia elétrica (ou seja, diferente de sistemas isolados elimina-se a necessidade de controladores de carga e banco de baterias);
- O sistema opera obrigatoriamente em corrente alternada, na mesma tensão e frequência da rede elétrica;
- Quando não a tensão na rede o sistema fica inoperante (isso se dá por meio do desligamento automático dos inversores);
- Os inversores incorporam dispositivos seguidores de máxima potência;
- A rede local deve ser capaz de receber a energia elétrica gerada;
- A qualidade de energia da rede pode comprometer a transferência de energia do sistema;
- O gerador foto fotovoltaico pode ser interliga a estrutura da edificação (obviamente por meio de estudos de resistência mecânica e carga máxima admissível, em solo o mesmo deverá ter as devidas licenças ambientais);
- Em sistemas fotovoltaicos urbanos verificar a existência de perdas por sombreamento;
- Questões estéticas podem ser determinantes no projeto, contribuindo inclusive pela escolha dos módulos.

Para elaboração de um projeto de sistema fotovoltaicos conectados à rede elétrica o projetista deverá seguir cuidadosamente os critérios do PRODIST (procedimento de distribuição de energia elétrica do sistema nacional), o mesmo deverá seguir a norma específica da concessionária local, na Tabela 4 estão as recomendações com relação ao nível de tensão de conexão (PINHO E GALDINO, 2014 p.326).

Tabela 4– Nível de tensão de conexão sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 100 kW	Baixa Tensão (trifásico)
101 a 500 kW	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
501 kW a 1 MW	Média Tensão

Observação: o nível de tensão de conexão da central geradora será definido pela distribuidora em função das limitações técnicas da rede.

Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Pelos critérios do PRODIST (procedimento de distribuição de energia elétrica do sistema nacional), também deverá ser analisado os seguintes requisitos mínimos em função da potência instalada, mostrados na Tabela 5 (PINHO E GALDINO, 2014 p.327).

Tabela 5– Critérios mínimos do sistema conforme a potência instalada.

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	A até100 kW	101 kW a 500 kW	501 kW a 1 MW
Elemento de desconexão (1)	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção (2)	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Estudo de curto-circuito	Não	Sim (4)	Sim (4)
Medição	Medidor Bidirecional (6)	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes
Ensaio	Sim (5)	Sim (5)	Sim (5)

Fonte: Pinho e Galdino (2014)

2.11 CONCEITOS PARA APRESENTAÇÃO DE UM PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAÍCO CONECTADO A REDE ELÉTRICA

O projeto de um sistema fotovoltaico envolve a orientação dos módulos, disponibilidade de área, do recurso solar, da demanda a ser atendida, entre outros fatores. Através do projeto pretende-se adequar o gerador fotovoltaico as necessidades definidas pela demanda (PINHO E GALDINO, 2014 p.298).

2.11.1 PRINCIPAIS ETAPAS PARA UM PROJETO FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Conforme Pinho e Galdino (2014 p.298), as principais etapas de um projeto fotovoltaico conectado à rede elétrica são as seguintes:

- Levantamento adequado do recurso solar disponível;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos e dos inversores.

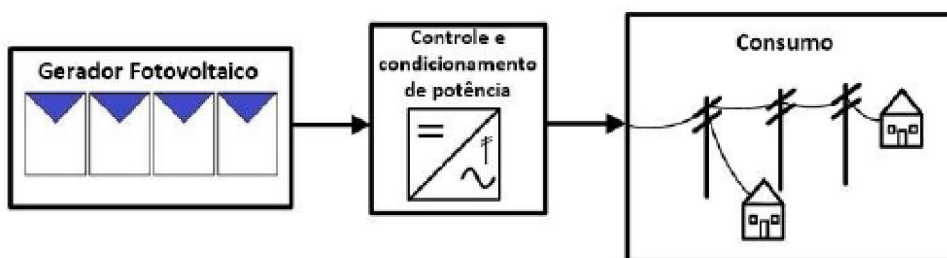


Figura 08 – Diagrama de blocos sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Conforme Pinho e Galdino (2014 p.338), outros desafios para um projeto fotovoltaico conectado à rede elétrica são as seguintes:

- Planejamento de interconexões dos diversos componentes do sistema de forma eficiente;

- Adequação do projeto aos requisitos de segurança, visando torná-lo seguro do ponto de vista elétrico, contemplando-se a segurança do próprio sistema e do usuário, bem como da rede elétrica;
- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Verificar a obediência a normas e regulamentos técnicos.

2.12 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

A apresentação de um projeto técnico não se atém apenas ao dimensionamento do sistema. Deve-se apresentar uma lista de itens, que podem ser mais ou menos complexos em função da potência do projeto e da sua forma de execução, mais usualmente em sistemas de engenharia podemos dividir em projeto base e projeto executivo (PINHO E GALDINO, 2014 p.348).

2.12.1 PROJETO BÁSICO

Conforme Pinho e Galdino (2014 p.348-349), projeto básico é o conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para caracterização da obra ou serviço a ser executado. Deve estabelecer as características, dimensões, especificação e a quantidade de serviços e materiais, custos e tempo necessário para execução da obra.

O mesmo deverá contemplar os seguintes aspectos técnicos: Desenhos, memorial descritivo e de cálculo, especificação técnica, orçamento e cronograma físico e financeiro.

2.12.2 PROJETO EXECUTIVO

O projeto executivo deve contemplar o conjunto dos elementos necessários e suficientes a execução completa da obra, deve ser muito mais detalhado que o

projeto básico por isso deve por isso deve apresentar plantas e diagramas detalhados de todas as estruturas e circuitos, bem como cálculos detalhados de todo o sistema de geração, proteção e aterramento, deve conter a listagem completa de todos os materiais e equipamentos (fabricante, modelo, norma, certificação), catálogos e manuais. É recomendável a apresentação do cronograma detalhado.

Após execução da obra deve-se apresentar a versão *As-built* (projeto executivo revisado, em versão conforme construído) (PINHO E GALDINO, 2014 p.349).

3 PROJETO FOTOVOLTAICO BASE E LEVANTAMENTO DE CUSTOS – CASO DE ESTUDO

O capítulo em questão apresentará os critérios de dimensionamento para um projeto base e uma análise de custos referente a uma previsão de instalação fotovoltaica conectada à rede elétrica em uma indústria do setor moveleiro.

Por se focar principalmente em questões acadêmicas, não apresentara alguns itens fundamentais de um projeto base como cronograma, lista de materiais, dimensionamento de cabos alimentadores, visto estes itens tratarem principalmente questões referente a execução da obra em si.

O objetivo desse capítulo é apresentar ao leitor a explanação chave de um projeto fotovoltaico conectado à rede elétrica.

3.1 LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE

Utilizando o programa Google Earth, localiza-se as coordenadas geográficas da unidade fabril, situada no município de Campo Largo-PR, latitude de 25,43 graus e longitude de 49,49 graus.

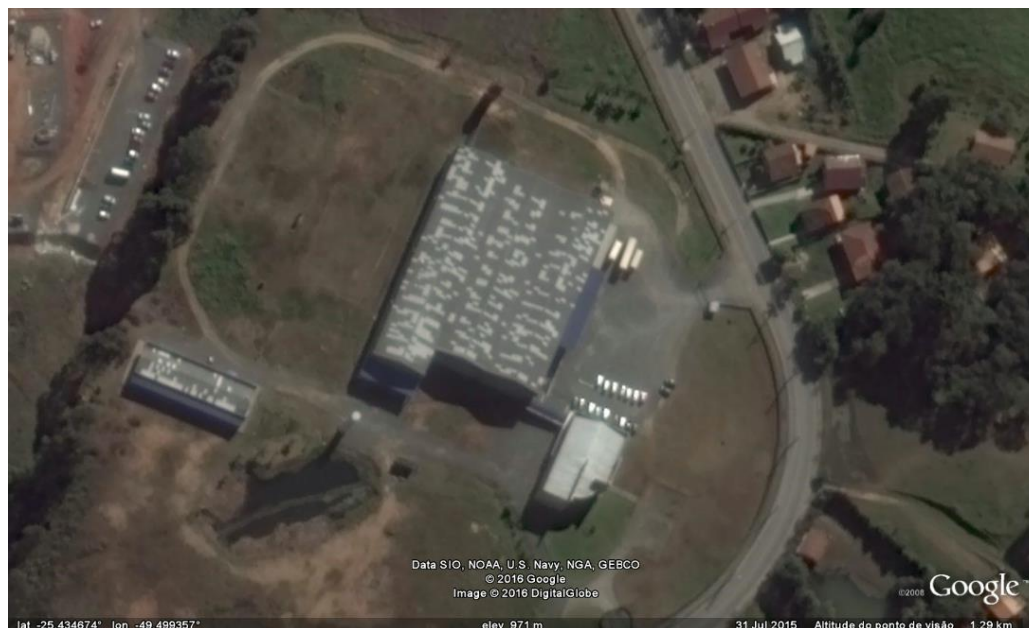


Figura 09– Mapa de satélite da edificação escolhida para o projeto.

Fonte: Google Earth (2016)

3.2 LEVANTAMENTO DE NÍVEIS DE IRRADIAÇÃO ANUAL

Primeiramente, utilizando desenho auxiliado por computador, constatou-se que o desvio azimutal da unidade moveleira é de 25 graus para leste em relação ao norte, conforme Figura .

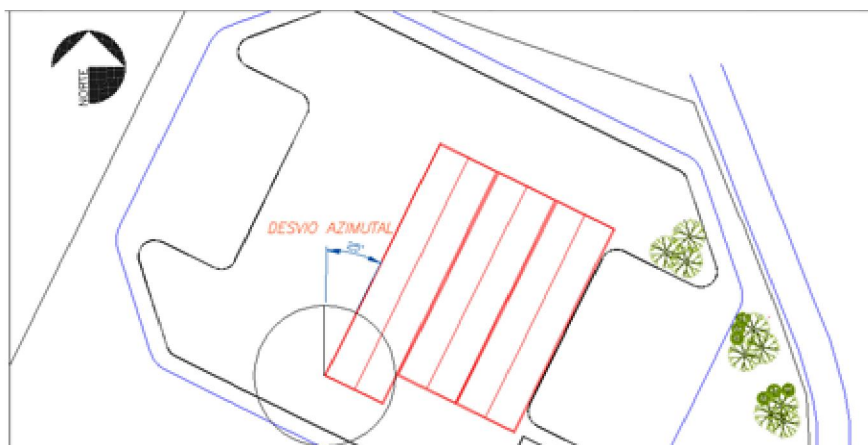


Figura 10– Planta da edificação referenciando o desvio azimutal a nordeste.

Fonte: Autoria própria (2016)

Com base nas coordenadas geográficas, e na base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), utilizou-se o programa Radiasol, sendo que o mesmo simula o potencial solar para um projeto fotovoltaico local. Na figura 11 são mostrados os dados de irradiação no plano horizontal, do ponto mais próximo das coordenadas da edificação.



Figura 11– Radiação em kWh/m²

Fonte: Aplicativo Radiasol (2016)

Referenciando a unidade fabril, o programa calcula a irradiação ($\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$) para diferentes ângulos de inclinação, considerando também o desvio azimutal.

Por meio do Radiasol verificou-se a irradiação diária média anual para diferentes ângulos de inclinação, onde se obteve os resultados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6– Irradiação Wh/m^2 .

Ângulo de inclinação	Irradiação Wh/m^2
25 graus	4873 – dia médio ano
24 graus	4875 – dia médio ano
23 graus	4876 – dia médio ano
22 graus	4876 – dia médio ano
21 graus	4876 – dia médio ano
20 graus	4874 – dia médio ano

Fonte: Aplicativo Radiasol (2016)

A partir do momento que se constatou o desvio azimutal de 25 graus para o leste em relação ao norte, e o ângulo de inclinação ideal para o módulo fotovoltaico em 22 graus, estes dados foram inseridos na base de dados do programa Radiasol.

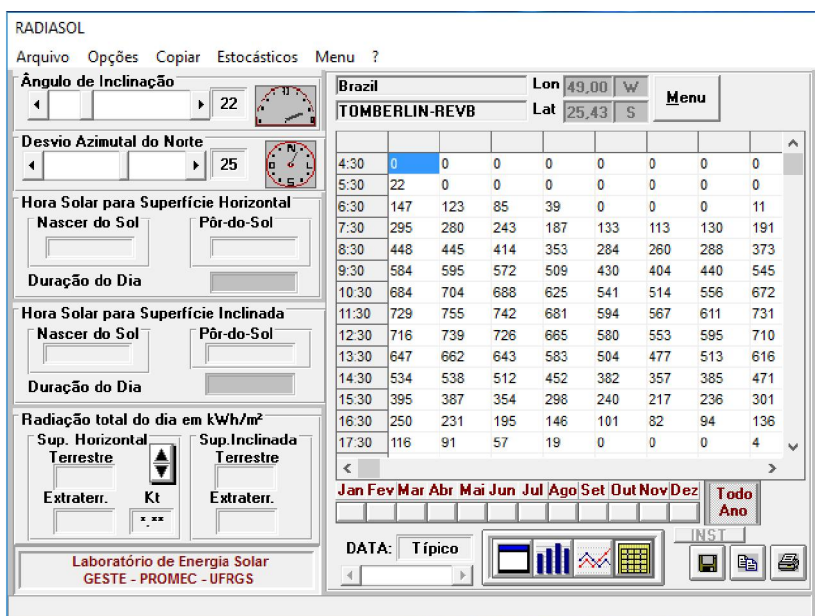


Figura 12– Base de dados Radiasol (2016)

Fonte: Aplicativo Radiasol

Com estes dados inseridos no programa o mesmo calcula a irradiação média anual para a localização do sistema mostrado na última linha da Tabela 7.

Radiação Solar Horária Estação: - TOMBERLIN-REVB Unidade: Wh/m²

Ângulo de Inclinação: 22 graus - Latitude: 25,43 S Longitude: 49,00 W

Desvio Azimutal Leste: 25 graus - modelo: Perez / Albedo: 0,2

Tabela 7– Irradiação médios da região, caso de estudo.

Tabela de Radiação Inclinada												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	29
6:30	147	123	85	39	0	0	0	11	58	102	152	158
7:30	295	280	243	187	133	113	130	191	203	253	317	308
8:30	448	445	414	353	284	260	288	373	363	414	489	464
9:30	584	595	572	509	430	404	440	545	512	581	642	602
10:30	684	704	688	625	541	514	556	672	623	689	753	702
11:30	729	755	742	681	594	567	611	731	675	719	802	747
12:30	716	739	726	665	580	553	595	710	661	705	784	733
13:30	647	662	643	583	504	477	513	616	584	630	703	662
14:30	534	538	512	452	382	357	385	471	461	508	574	547
15:30	395	387	354	298	240	217	236	301	313	361	417	407
16:30	250	231	195	146	101	82	94	136	165	210	256	259
17:30	116	91	57	19	0	0	0	4	38	75	109	122
18:30	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	25
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5585	5550	5231	4557	3789	3544	3848	4761	4656	5207	6021	5765

Fonte: Aplicativo Radiasol (2016)

3.3 ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL

A presente unidade consumidora de energia elétrica encontra-se conectada à rede de distribuição da COCEL (Companhia Campolarguense de Energia Elétrica), categoria A4 com tarifa horo-sazonal verde. Nesse caso o consumo mensal da unidade é dividido em consumo no horário de ponta e consumo no horário fora de ponta. Para um estudo de projeto fotovoltaico o mesmo deverá ser dimensionado com base no consumo fora de ponta. Nesse caso verifica-se a média mensal do mesmo analisando-se o histórico de consumo pelo período de um ano, conforme Tabela 8.

Tabela 8– Unidade consumidora kWh – horário fora de ponta anual.

Mês	Consumo de energia (Fora de Ponta)
Janeiro	16.472 kWh
Fevereiro	27.915 kWh
Março	23.840 kWh
Abril	25.947 kWh
Maio	19.633 kWh
Junho	22.839 kWh
Julho	21.917 kWh
Agosto	21.486 kWh
Setembro	20.482 kWh
Outubro	20.745 kWh
Novembro	22.819 kWh
Dezembro	21.689 kWh
Total em 12 meses	265.784 kWh
Média mensal	22.148,66 kWh

Fonte: Autoria própria (2016)

Com essa análise do consumo de energia elétrica no horário fora de ponta, delimitou-se que o dimensionamento do presente projeto será para 22.000kWh/mês.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Conforme Urbanetz (2010), deverá ser dimensionado a potência do sistema fotovoltaico pela Equação 1:

$$P_{FV} = \frac{E \times G}{H_{TOT} \times PR} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

E – Energia demandada pelas cargas diariamente (kWh/dia);

$E = 22.000 \text{ kWh} / 30 \text{ dias} = 733,33 \text{ kWh/dia};$

$G = 1$ - Irradiância solar- Taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em watt por metro quadrado(W/m^2).

H_{TOT} -irradiação solar incidente no plano dos módulos FV ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{dia}$);

H_{TOT} -irradiação dia médio ano utilizando-se cálculos do programa Radasol = 4,876 ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{dia}$);

PR - *Performance Ratio* do conjunto de aparelhos e componentes do sistema, para este tipo de projeto utilizou-se o PR = 0,8.

Com base nos resultados acima a potência do sistema fotovoltaico para esse caso de estudo, foi calculado como sendo igual a 187,99 kWp.

3.5 ESCOLHA DA TECNOLOGIA – MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para dimensionamento do presente projeto utilizara o modulo de 280 Watts de silício policristalino, modelo Suntech STP280-14/VD.

O módulo fotovoltaico em questão conta com as seguintes dimensões e características elétricas em catálogo:

- Dimensões = 1,96x0,99m;
- *Optimum Operating Voltage* (V_{mp}) = 35,2V;
- *Optimum Operating Current* (I_{mp}) =7,95A;
- *Open - Circuit Voltage* (V_{oc}) = 44,8V;
- *Short - Circuit Current* (I_{sc}) = 8,33A;
- *Maximum Power at STC* (P_{max}) = 280W;
- *Module Efficiency* = 14,4%;
- *Maximum System Voltage* = 600Vdc (UL) / 1000Vdc (IEC);
- *Maximum Series Fuse Rating* = 20A.

STC: Irradiance 1000 W/m^2 , module temperature 25 °C, AM=1.5; Power measurement tolerance: $\pm 3\%$

Assim sendo para atingir a demanda necessária chega-se à conclusão que se precisará de 672 módulos fotovoltaicos nessa potência, onde com a soma dos mesmos chega-se a um dimensionamento final do sistema em 188,16kWp. Os 672 módulos deverão ser divididos em 12 inversores, onde cada inversor é conectado a 56 módulos, sendo este grupo dividido em 4 *strings* de 14 módulos ligados em série. Na figura 13 é apresentado o diagrama de um dos 12 subsistemas.

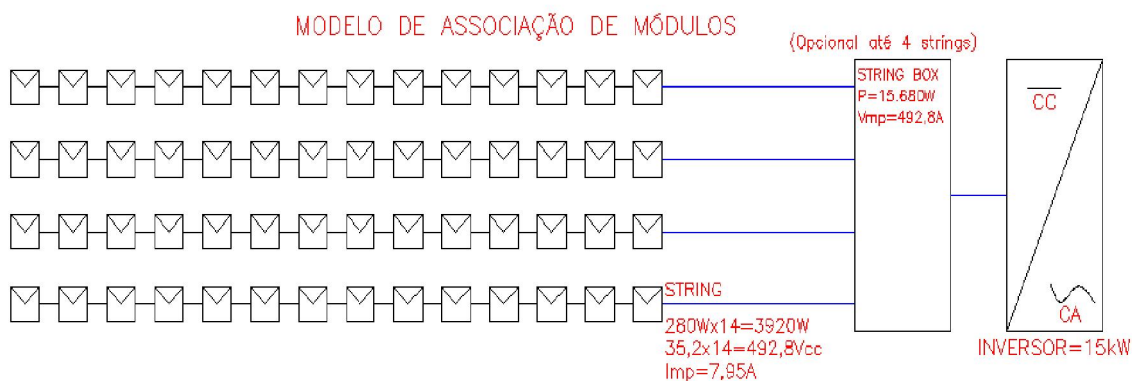


Figura 13– Associação de módulos fotovoltaicos definido pelo projeto.

Fonte: Autoria própria 2016

3.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: ESPAÇAMENTO

Conforme Pinho e Galdino (2014 p.364-365), com o objetivo de se aproveitar melhor a área do telhado e para se evitar o sombreamento entre módulos calcula-se o espaçamento ideal, utilizando-se a Equação 2:

$$d = Fe \times (h_{ob} - h_i) \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

- d – distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico e o obstáculos (m);

- Fe - Fator de espaçamento;

Considerando-se a latitude de 25,43 graus o fator de espaçamento para o presente projeto = 2, de acordo com o gráfico apresentado na Figura .

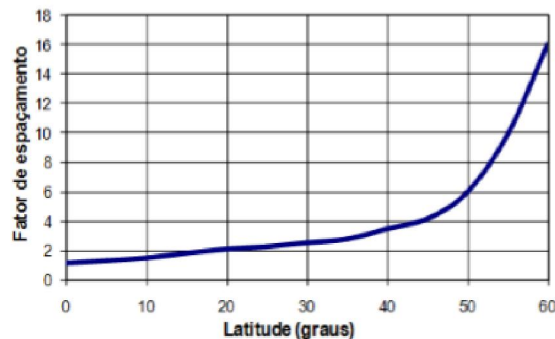


Figura 14– Fator de espaçamento dos módulos fotovoltaicos.

Fonte: Fonte: Pinho e Galdino (2014)

- h_{ob} – Altura do obstáculo (m);

h_{ob} – Altura do obstáculo refere-se à altura do módulo fotovoltaico instalado em paisagem onde no presente projeto = 1 metro x Sen. 22°.

- h_i – Altura de instalação do gerador fotovoltaico (m);

h_i – Altura de instalação módulo fotovoltaico em relação ao telhado, nesse caso opta-se por ser rente ao telhado, ou seja = 0 metros.

Com estes parâmetros chega-se à conclusão que a distância mínima entre as fileiras de módulos é de 0,74m, em virtude da ampla área disponível, para o presente projeto definiu-se utilizar um metro como distância segura para se evitar sombreamento entre fileiras de módulos.

3.5.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: POSICIONAMENTO EM RELAÇÃO AO TELHADO

Com base nos fatores acima citados por meio de desenho auxiliado por computador simulou-se a área necessária para a instalação do sistema fotovoltaico no telhado da indústria moveleira, onde verificou-se que em termos de área existe mais do que o suficiente para a instalação dos 188,16kWp, em virtude de a inclinação do telhado ser desprezível em apenas 2%, a estrutura metálica de fixação

dos módulos será sobreposta ao telhado, impondo a inclinação de 22 graus desejada, com desvio azimutal a leste de 25 graus. A constituição física do telhado da unidade moveleira é em telha de fibrocimento.

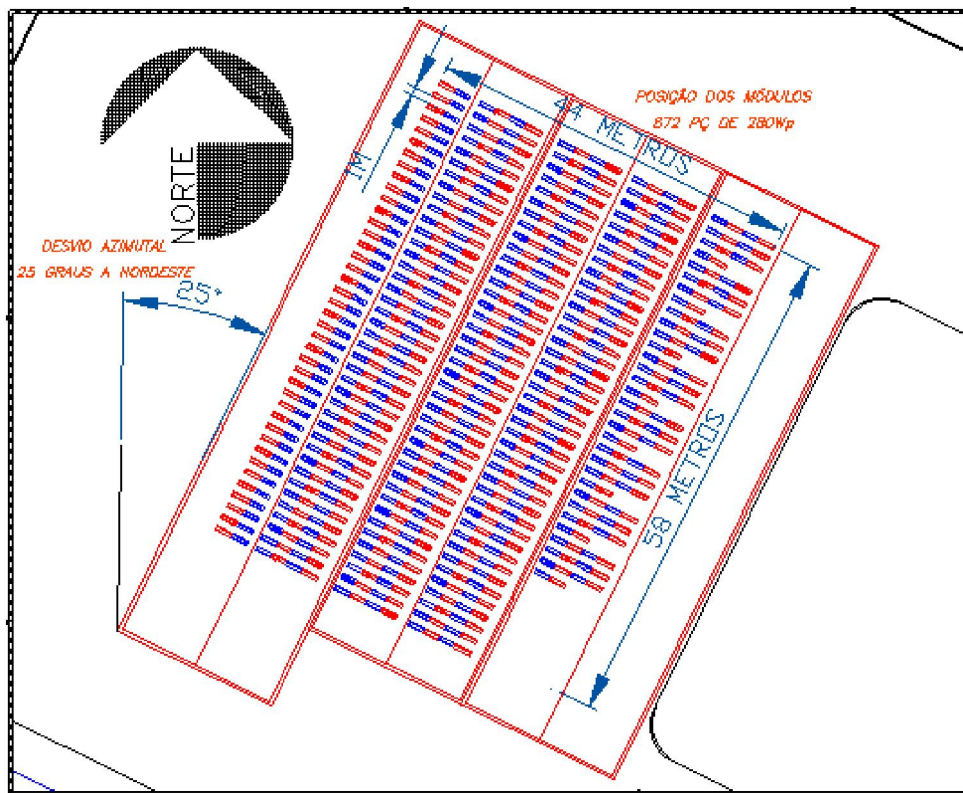


Figura 15– Planta da edificação com a posição dos módulos.

Fonte: Autoria própria 2016

Outros cálculos de resistência mecânica são necessários para a aprovação da referida instalação em telhados, caso o cliente decida-se pela instalação do sistema em solo, para isso precisar-se-á das devidas licenças ambientais.

3.6 ESCOLHA DA TECNOLOGIA – INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Para o presente projeto define-se aplicar inversores com potência de 15-20kWp, com uma totalidade de doze unidades para atender a demanda de

188,16kWp. Para especificação técnica será utilizado o modelo mostrado na figura 16.



Figura 16– Inversor Ingecon SunSmart.

Fonte: Ingecon

O inversor Ingecon Sun Smart, modelo 15, apresenta potência de 16-20kW em sua entrada de corrente contínua e potência de 15kW em saída para corrente alternada, com relação a tensão elétrica no ponto de máxima potência pelo lado de corrente contínua, situa-se entre 405-750/V, de acordo com especificações apresentadas no *datasheet* (figura 17), o que atende a tensão do arranjo pré-estabelecida de 492,8Vcc.

	10	12.5	15	20
Input (DC)				
Recommended PV array power range ⁽¹⁾	11 - 13 kWp	13 - 16 kWp	16 - 20 kWp	21 - 26 kWp
Voltage range MPP	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V	405 - 750 V
Maximum voltage DC ⁽²⁾	900 V	900 V	900 V	900 V
Maximum current DC	26 A	32 A	39 A	52 A
DC inputs	8	8	8	1
MPPT	1	1	1	1
Output (AC)				
Rated power AC HT ⁽³⁾	10 kW	12.5 kW	15 kW	20 kW
Rated power AC HP ⁽⁴⁾	11 kW	13 kW	16 kW	22 kW
Maximum current AC	19 A	22 A	23 A	37 A
Rated voltage AC	400 V	400 V	400 V	400 V
Frequency AC	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Phi Cosine ⁽⁵⁾	1	1	1	1
Phi Cosine adjustable	±0.9 to Pnom	±0.9 to Pnom	±0.9 to Pnom	±0.9 to Pnom
THD ⁽⁶⁾	<3%	<3%	<3%	<3%

Figura 17– Datasheet inversor de frequência.

Fonte: Ingecon

3.7 DIAGRAMA ELÉTRICO BASE

Um projeto base de instalações, deve apresentar um diagrama unifilar geral de instalações, o diagrama é mostrado na Figura e apresenta a ligação ao sistema das doze unidades dos seus respectivos inversores.

Em virtude do inversor utilizado possuir tensão de saída trifásica em 400V, o que permite que o mesmo seja conectado a um rede trifásica em 380V, deverá ser instalado na saída de cada inversor um transformador de 15 kVA trifásico abaixador de tensão, de 380V para 220V também trifásico, que é a tensão da rede elétrica no local analisado.

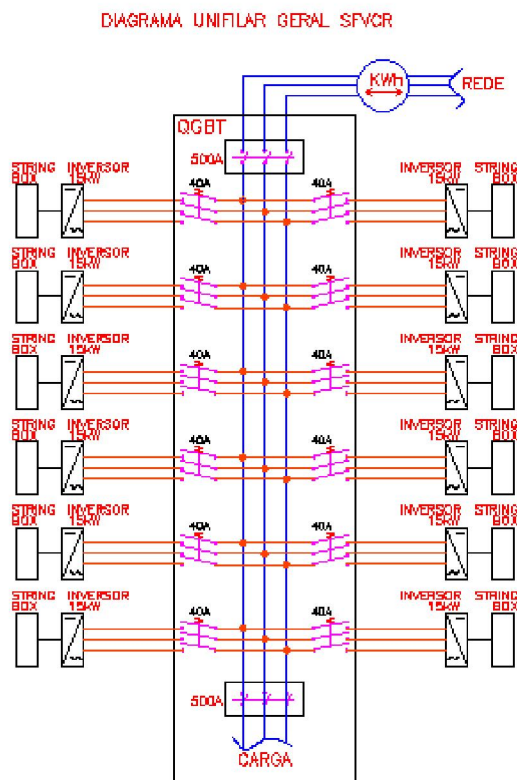


Figura 18– Diagrama Unifilar QGBT.

Fonte: Autoria própria

3.8 PREVISÃO DE CUSTOS PARA O PROJETO

Seguindo a plataforma de custos da EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2014), que estimou em R\$ 5,40 por Wp como o custo de um sistema fotovoltaico desse porte no Brasil, assim sendo para essa planta de 188,16kWp estima-se um custo aproximado de $188,16 \times 1000 \times \text{R\$ } 5,40 = \text{R\$ } 1.016.064,00$ ou seja, a previsão de custos para este projeto será de um milhão, dezesseis mil e sessenta e quatro reais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi desenvolvido visando atender a demanda total de energia de uma indústria moveleira na região metropolitana de Curitiba. Verificou-se que se utilizando apenas as áreas de cobertura da referida indústria, foi possível atender a demanda requerida de energia elétrica, sem a necessidade de área adicional. A utilização da área de cobertura tornou-se viável, por tratar-se de uma superfície elevada e isenta de sombras por obstáculos do entorno. Os Sistemas Fotovoltaicos quando instalados sobre a edificação já existente, dispensam a necessidade de licenças ambientais específicas para o gerador.

O Brasil possui um potencial para geração de energia elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica bastante elevado, porém este potencial ainda é pouco explorado, sendo que o país é extremamente dependente da geração hidroelétrica, o que poderia ser minimizado se houvesse um maior equilíbrio entre as diversas fontes de geração disponíveis no país, o que deveria ser uma busca para setor elétrico nacional, através de soluções regionalizadas.

Os custos dos Sistemas Fotovoltaicos têm sofrido redução ao longo dos últimos anos, e se projeta uma continuidade desse cenário, além da perspectiva da elevação nas tarifas de energia elétrica, fatores que de forma conjunta tendem a favorecer a aplicação em larga escala da tecnologia solar fotovoltaica.

O presente projeto apresentou estimativa de investimento para um sistema com potência de 188,16 kWp, com desembolso necessário no valor de R\$ 1.016.064,00 o que para o empresário, isso é visto como um investimento inicial elevado, porém esforços realizados no presente levam a perspectivas de benefícios futuros pelo custo evitado com energia elétrica. A vida útil de um Sistema Fotovoltaico é bastante superior ao tempo que seria necessário para recuperar o investimento inicial, logo, após o tempo de retorno do investimento, o sistema passa a produzir ganhos financeiros.

Devem-se considerar também os benefícios ambientais desta forma de geração, pois ao produzir energia elétrica através de uma fonte não poluente, contribui-se para disponibilizar mais energia no sistema interligado nacional possibilitando com que se reduza a dependência de usinas caras e poluentes (termoelétricas a combustíveis fósseis).

A energia solar fotovoltaica, fonte inesgotável na escala de vida terrestre, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para uso no ambiente urbano junto ao ponto de consumo e utilizando a cobertura das edificações, sem a necessidade de área adicional, o que leva a benefícios ambientais, econômicos e apresenta-se como uma forma de geração eficiente de energia.

Diversos países europeus, como por exemplo, a Alemanha que possui um potencial de irradiação solar bastante inferior ao do Brasil, realizam investimentos vultosos neste tipo de geração, enquanto que no cenário energético brasileiro a geração fotovoltaica ainda é pouca representativa.

Sendo assim, nas considerações finais deste trabalho verifica-se que para que se possa desenvolver a tecnologia solar fotovoltaica no Brasil, precisa-se de incentivos públicos com respeito a modelo de tarifação, difusão da tecnologia, políticas governamentais para diversificação da matriz energética nacional, conscientização dos investidores com relação aos malefícios do uso de combustíveis fósseis para futuras gerações.

As sugestões para trabalhos futuros nessa área são trabalhos de análise de investimentos e custos para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Mesmo com todos estes desafios, pelo potencial existente, o futuro das energias renováveis no Brasil certamente é promissor.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10899 - Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2006.

AMBIENTE ENERGIA. **Crise energética e as diferentes visões sobre o problema.** Disponível em:

<<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/02/crise-energetica-e-diferentes-visoes-sobre-o-problema/25550>>. Acesso em 26/11/2015.

AMBIENTE ENERGIA. **Benefícios da energia solar para o Brasil ainda precisam ser divulgados.** Disponível em:

<<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/06/beneficios-da-energia-solar-para-o-brasil-ainda-precisam-ser-divulgados/26473>>. Acesso em 01/02/2016

CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA E CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Situação dos Mananciais.** Disponível em: <www2.sabesp.com.br/mananciais>. Acesso em 26/11/2015.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. **Portal Copel.** Disponível em:

<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FC2F891926071E8F203257DC50046A10B?OpenDocument&secao=Imprensa%3AArquivo%2520de%2520Noticias>>. Acesso em 29/07/2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos.** 2014. Disponível

em:<[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada).pdf)>. Acesso em 20/10/2016

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Portal de Acesso à Informação.** Disponível em:<<http://www.inpe.br/acessoainformacao/node/402>>. Acesso em: 20/10/2016

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim de monitoramento do Sistema Elétrico – Março/2016.** Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+Elétrico+-+Março+-2016.pdf>> Acesso em 25/05/2016

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; DE ABREU, S.L; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 1 ed. São José dos Campos, 2006

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos - O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR / UFSC, 2004.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. **Previsão Climática Verão 2014-2015**. Disponível em: <<http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/simeparemtempo/index.shtml?id=12>>. Acesso em 17/02/2016.

TIEPOLO, Gerson Máximo. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2010.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica – conceitos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2015