

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**ANDREI GUERRA KORQUEVICZ**

**ESTUDO DE CASO PARA MELHORIAS NO DIMENSIONAMENTO DE  
UM SISTEMA FOTOVOLTAICO VISANDO MAIOR PRODUÇÃO DE  
ENERGIA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**ANDREI GUERRA KORQUEVICZ**

**ESTUDO DE CASO PARA MELHORIAS NO DIMENSIONAMENTO DE  
UM SISTEMA FOTOVOLTAICO VISANDO MAIOR PRODUÇÃO DE  
ENERGIA**

Monografia de Especialização 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  
Co-orientadora: Me. Juliana D'Angela Mariano

**CURITIBA**

**2017**

## TERMO DE APROVAÇÃO

ANDREI GUERRA KORQUEVICZ

### ESTUDO DE CASO PARA MELHORIAS NO DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO VISANDO MAIOR PRODUÇÃO DE ENERGIA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 05 de setembro de 2017, 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. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

#### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior  
Orientador - UTFPR

---

Me. Juliana D'Angela Mariano  
Co-orientadora - Externo

---

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata  
UTFPR

---

Prof. Dr. Jorge Assade Leludak  
UTFPR

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

Dedico este trabalho à minha família,  
principalmente à minha esposa Mariana e  
meus filhos, Manuela e Miguel.

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração deste trabalho de conclusão só foi possível graças ao apoio da minha família durante todo o curso. Agradeço a minha esposa e filhos.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. Jair Urbanetz Jr., a minha co-orientadora Juliana Mariano e aos meus colegas que contribuíram para minha evolução durante o curso de Especialização de Energias Renováveis.

## RESUMO

KORQUEVICZ, Andrei Guerra. **Estudo de Caso para Melhorias no Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Visando Maior Produção de Energia**. 2017. 54 pg. Monografia de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A utilização de fontes alternativas para geração de energia elétrica tem crescido vertiginosamente nos últimos anos devido a diversos fatores, como o custo da energia, questões ambientais e a escassez de matéria prima de diversas fontes de energia. A tendência é a disseminação da tecnologia em residências e edifícios comerciais. Este trabalho demonstra melhorias no dimensionamento de um sistema fotovoltaico instalado em uma empresa ante ao sistema instalado. Como resultados finais são apresentados os dados na produção de energia elétrica resultante das melhorias no sistema.

**Palavras-chave:** Sistema Solar Fotovoltaico. Energia Solar. Energia Renovável. Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico.

## ABSTRACT

KORQUEVICZ, Andrei Guerra. **Case Study For Improvements In The Dimensioning Of A Photovoltaic System For Enhancing Energy Production.** 2017. 54 pg. Renewable Energy Degree Specialization - Federal Technology University – Curitiba, Paraná, 2017.

The use of alternative sources for electric power generation has grown dramatically in recent years due to several factors, such as energy costs, environmental issues and scarcity of raw material from various energy sources.

The trend is the spread of technology in residences and commercial buildings. This work demonstrates improvements in the design of a photovoltaic system installed in a company before the installed system.

As final results the data are presented in the production of electric energy resulting from the improvements in the system.

**Keywords:** Photovoltaic Solar System, Solar Energy, Renewable Energy, Sizing Photovoltaic System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Capacidade global e adição anual de potência instalada.....	18
Figura 02 - Componentes da radiação solar.....	21
Figura 03 - Perfil da irradiância solar ao longo de um dia.....	23
Figura 04 - Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico na captação de energia .	26
Figura 05 - Trajetória do movimento solar ao longo do ano .....	28
Figura 06 - Banco de baterias para um SFVI .....	30
Figura 07 - Usina Panda Green Energy, China .....	31
Figura 08 - Exemplo SFVCR em indústrias.....	32
Figura 09 - Exemplo SFVCR residencial .....	33
Figura 10 - Processo de hierarquia fotovoltaica .....	34
Figura 11 - Módulos fotovoltaicos de silício policristalino .....	34
Figura 12 - Inversores de frequência.....	36
Figura 13 - Área de instalação do SFVCR em Curitiba/PR .....	40
Gráfico 1 - Consumo e produção de energia da empresa analisada.....	14
Gráfico 2 - Energia solar captada ao longo do ano com diferentes inclinações...	27
Gráfico 3 - Comparação de energia produzida em kW/h/mês entre sistema instalado e sistema.....	47



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Empreendimentos em operação no Brasil .....	19
Tabela 02 - Empreendimentos em construção no Brasil.....	19
Tabela 03 - Empreendimentos com construção não iniciada no Brasil .....	20
Tabela 04 - Empreendimentos atuais e futuros no Brasil .....	20
Tabela 05 - Irradiação no plano horizontal e inclinado em Curitiba/PR.....	25
Tabela 06 - Irradiação no plano inclinado em SJP/PR.....	39
Tabela 07 - Irradiação no ângulo de 10° e desvio azimutal de -50° em SJP/PR...	40
Tabela 08 - Irradiação no ângulo de 10° e desvio azimutal de +130° em SJP/PR	41
Tabela 09 - Produção de energia em kW/h estimada para configuração atual .....	42
Tabela 10 - Irradiação no plano horizontal em Curitiba/PR.....	43
Tabela 11 - Irradiação no ângulo de 25° e desvio azimutal de -50° em Curitiba/PR.....	44
Tabela 12 - Produção de energia em kW/h estimada para configuração proposta .....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
FV	Fotovoltaico
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
SJP	São José dos Pinhais

## **LISTA DE SIGLAS**

STC	Standard Test Conditions (Condições Padrão de Teste)
CGH	Central Geradora Hidroelétrica
EOL	Usina Eólicoelétricas
PCH	Pequena Central Hidroelétrica
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidroelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

## **LISTA DE ACRÔNIMOS**

SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	TEMA .....	12
1.1.1	Delimitação do Tema.....	12
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	12
1.3	OBJETIVOS .....	13
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos .....	13
1.4	JUSTIFICATIVA .....	13
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	16
2.1.1	Legislação Vigente no Brasil .....	16
2.2	RECURSO SOLAR .....	17
2.2.1	Capacidade Instalada Global .....	17
2.2.2	Capacidade Instalada no Brasil.....	18
2.3	RADIAÇÃO SOLAR.....	21
2.4	IRRADIANCIA SOLAR .....	22
2.5	IRRADIAÇÃO SOLAR.....	23
2.6	ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR .....	24
2.7	IRRADIAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL E INCLINADO .....	24
2.8	ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	25
2.9	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS.....	26
2.10	DESVIO AZIMUTAL .....	28
2.11	PERFORMANCE RATIO.....	29
2.12	SISTEMA FOTOVOLTÁICO.....	29
2.12.1	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede .....	30
2.12.2	Módulo Fotovoltaico .....	33
2.12.3	Inversor de Frequência.....	35
2.12.4	Medidor Bidirecional .....	37
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>38</b>

3.1	PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	38
3.2	DADOS DE INSTALAÇÃO .....	38
3.3	PROJETO ORIGINAL .....	38
3.3.1	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PROJETO INSTALADO	41
3.4	REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	43
3.4.1	ESTIMATIVA DO RECURSO SOLAR.....	43
3.4.2	DESVIO AZIMUTAL .....	44
3.4.3	ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS.....	45
3.4.4	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA .....	45
<b>4</b>	<b>COMPARAÇÃO DOS DADOS .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de fontes alternativas para geração de energia elétrica tem crescido vertiginosamente nos últimos anos devido a diversos fatores, como o custo da energia, questões ambientais e a escassez de matéria prima de diversas fontes de energia (VILLALVA, 2015).

A utilização do carvão, por exemplo, que é muito poluente, possui um custo elevado e prejudicial à saúde dos trabalhadores do setor. A energia nuclear possui um grande risco em caso de falha e/ou desastres naturais, e aos poucos tem sido abandonada em diversos países. A energia hídrica possui um custo elevado para novas construções e a sua disponibilidade é cada vez mais rara nos maiores centros consumidores (VILLALVA, 2015).

Devidos a esses diversos fatores e outros como a conscientização ambiental cada vez mais importante no mundo, a busca por energias renováveis como fonte de energia tem sido uma tendência. Dentre as principais fontes renováveis destacam-se a Eólica, Fotovoltaica e Biomassa (VILLALVA, 2015).

Das fontes renováveis citadas, a de mais fácil acesso aos consumidores residenciais, comércios e empresas instaladas nos centros urbanos, destaca-se a energia fotovoltaica, principalmente pela facilidade de acesso aos equipamentos e a sua instalação ser possível em telhados ou pequenas áreas livres (VILLALVA, 2015).

A utilização da energia solar traz benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo de eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes à atmosfera (PEREIRA *et al.*, 2006).

No Brasil, o aproveitamento do Sol para geração de energia elétrica esteve historicamente ligado à geração fotovoltaica. No final do século passado o Brasil começou a desenvolver programas de eletrificação rural fazendo uso dessa tecnologia. Mas somente na década atual é que ela começou a ganhar abrangência nacional, com a regulamentação da geração distribuída conectada à rede e a realização de leilões específicos para sua contratação na forma de plantas centralizadas (TOLMASQUIM, 2016).

## 1.1 TEMA

O tema desta pesquisa está relacionado às Energias Renováveis, mais precisamente ao correto dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) em uma empresa de médio porte, objetivando apresentar uma melhoria da produção mensal de energia através de redimensionamento do sistema, e analisando falhas no projeto já executado.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Este trabalho visa apresentar resultados de geração de energia para um SFVCR já instalado, alterando somente as variáveis de instalação, sem alterar ou redimensionar os equipamentos instalados. Este trabalho não visa apresentar resultados financeiros, somente de produção de energia.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Para um melhor dimensionamento de um SFVCR é imprescindível o conhecimento a respeito dos valores corretos de irradiação no local da instalação, e como trabalhar com estes dados para um melhor posicionamento do sistema para máxima eficiência. Trabalho este que não é executado pela falta de profissionais capacitados para a área de energia solar fotovoltaica.

O correto dimensionamento do sistema pode contribuir para uma maior produção de energia elétrica durante a vida útil do sistema, contribuindo também para a redução do retorno do investimento.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a melhoria na produção de energia de um SFVCR em uma empresa de médio porte, comparando às possibilidades apresentadas no dimensionamento e instalação do sistema.

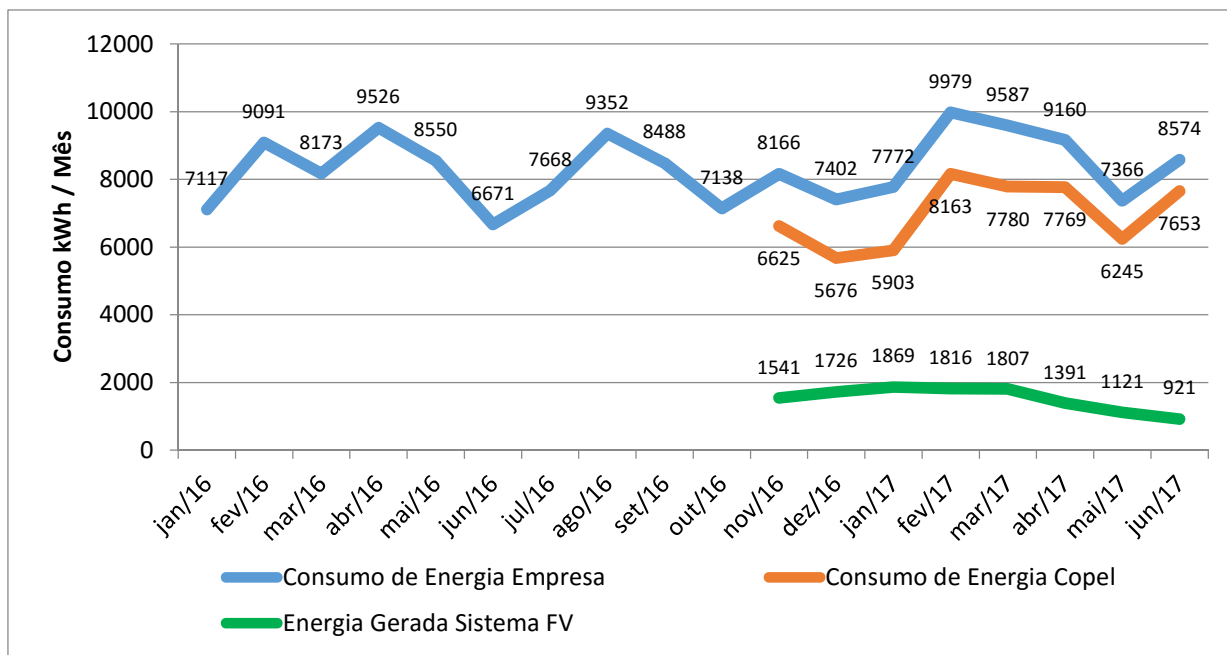
### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar os dados de irradiação solar incidente no local de instalação;
- Revisar dados de instalação, ângulo e desvio azimutal;
- Analisar alternativas de instalação para melhorias ao sistema instalado;
- Determinar a tendência de produção de energia para os próximos 25 anos;

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Um Sistema Fotovoltaico bem projetado e instalado pode proporcionar ao proprietário que o custo do sistema seja mais barato e rentável. Como a geração de energia fotovoltaica é um mercado praticamente novo, os projetos e instalações não tem atendido as expectativas dos proprietários, principalmente em relação à quantidade de energia produzida pelo sistema.

Através do acompanhamento mensal da conta de energia da empresa analisada, verificou-se que após a instalação do SFVCR em Novembro de 2017 conforme Gráfico 01, a empresa conseguiu uma economia média de 17,93% no consumo de energia elétrica nos primeiros 8 meses de funcionamento do sistema, variando essa média entre 10,74% e 24,05%, sendo que a empresa recebeu a promessa da instaladora de uma redução anual de 25% no consumo de energia.



**Gráfico 01: Consumo e produção de energia da empresa analisada.**

**Fonte: Autoria própria.**

Assim, com os dados da conta de energia da empresa e no acompanhamento diário das obras de instalação do sistema, o trabalho pretende mostrar a diferença de um projeto baseado nos dados disponíveis ante um projeto com a aplicação de dados corretos e nas boas práticas, mostrando que é possível uma maior produção de energia no mesmo sistema.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico utilizado foi as instalações existentes, acompanhamento diário das instalações, pesquisa documental realizada em fontes como tabelas, dados históricos, legislação, Atlas Brasileiro de Energia Solar e material didático ministrado no curso de Especialização em Energias Renováveis.



## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho prevê a estrutura abaixo:

**Capítulo 1: INTRODUÇÃO:** Apresentação do tema, delimitação, problemas e premissas, objetivos, justificativa e procedimentos metodológicos.

**Capítulo 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:** Será descrito um SFVCR, dados de irradiação solar e materiais de instalação.

**Capítulo 3: DESENVOLVIMENTO:** Apresentar dados de uma instalação pronta e projetar um SFVCR de acordo com os dados disponíveis de irradiação e as boas práticas de instalação.

**Capítulo 4: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS:** Comparar o SFVCR projetado com o cenário existente, verificando a tendência de produção de energia durante os próximos 25 anos.

**Capítulo 5: CONCLUSÃO:** Mostrar as conclusões obtidas nas comparações do Capítulo 4.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia do Sol pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica. (VILLALVA, 2015).

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico de conversão da energia contida na radiação luminosa em energia elétrica. Observado primeiramente pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade. Os semicondutores utilizados nos dispositivos de conversão fotovoltaica são compostos de elementos capazes de absorver a energia da radiação solar e transferir parte para os elétrons, produzindo, assim, pares de portadores de carga (ZILLES, *et al.* 2012).

#### 2.1.1 Legislação Vigente no Brasil

Desde 17 de abril de 2012, o Brasil possui uma regulamentação específica para geração distribuída de energia, a Resolução Normativa 482 da ANEEL, em que os consumidores podem gerar sua própria energia por meio de energias renováveis, trocando energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica. Devido ao aumento nas instalações de sistemas geradores de energia, a ANEEL aprovou aprimoramentos na Resolução Normativa no 482/2012, ampliando e agilizando o acesso ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica aos usuários (ANEEL, 2015).

Segundo as novas regras, a Resolução Normativa no 687/2015 que começaram a valer a partir de 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5

MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

Assim, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2015).

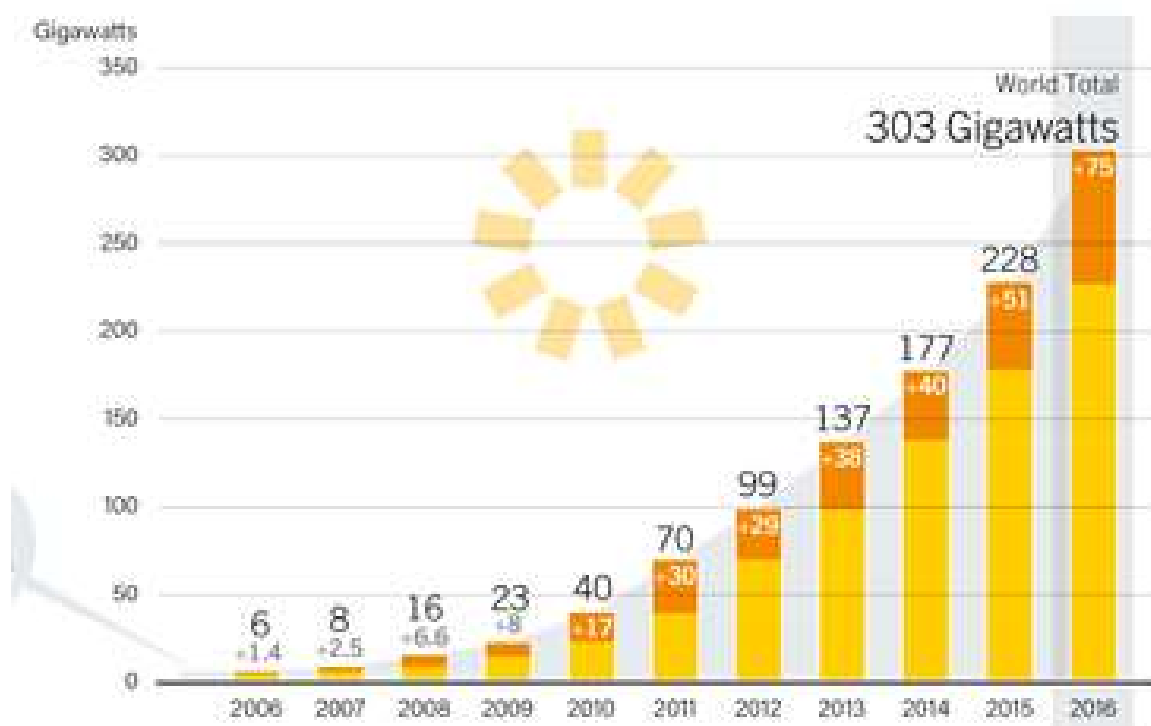
## 2.2 RECURSO SOLAR

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra. Além de ser responsável pela manutenção da vida no Planeta, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de sua utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, como por exemplo, a térmica e a elétrica. (PINHO; GALDINO, 2014).

### 2.2.1 Capacidade Instalada Global

A fonte solar representou uma parcela de apenas 1% do total da energia elétrica produzida no mundo em 2014 (SOLARPOWER EUROPE, 2015).

Segundo dados do REN21, o mundo possuía ao final de 2016, aproximadamente 303 GW instalados, sendo que 75 GW foram instalados somente no ano de 2016, conforme mostra a Figura 01.



**Figura 01: Capacidade global e adição anual de potência instalada.**

Fonte: REN21 (2017).

### 2.2.2 Capacidade Instalada no Brasil

A energia fotovoltaica ainda não aparece expressivamente nos dados de geração de energia elétrica total do Brasil, pois os investimentos em SFVCR ficaram por muito tempo restritos às universidades e centros de pesquisas. No entanto, conhecendo-se o potencial de geração fotovoltaica do país e os possíveis avanços tecnológicos na área, o uso desta energia está cada vez mais promissor (TEM-PASS et al., 2016).

Segundo dados da ANEEL, em seu relatório BIG 2017, conforme Tabela 01, o Brasil possui hoje 51 usinas fotovoltaicas em funcionamento, gerando aproximadamente 172.234 kW, o que corresponde a 0,11 % da Matriz de Energia Elétrica do Brasil.

Tabela 1: Empreendimentos em operação no Brasil

Empreendimentos em Operação no Brasil				
Tipo	Usinas	Potência	Potência	%
		Outorgada kW	Fiscalizada kW	
CGH	616	552.678	554.636	0,36
EOL	451	11.032.039	10.943.243	7,13
PCH	433	4.967.262	4.957.984	3,23
UFV	51	176.234	172.234	0,11
UHE	218	101.168.278	93.857.452	61,14
UTE	2.926	42.503.460	41.044.006	26,74
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,30
<b>TOTAL</b>	<b>4.697</b>	<b>162.389.951</b>	<b>153.519.555</b>	<b>100,00</b>

Fonte: BIG (2017).

Para os próximos anos a quantidade de usinas fotovoltaicas no Brasil irá crescer, como mostra a Tabela 02, serão incrementadas na Matriz Elétrica Brasileira mais 37 usinas, correspondente à 1.061.400 kW.

Tabela 2: Empreendimentos em construção no Brasil

Empreendimentos em Construção no Brasil			
Tipo	Usinas	Potência	%
		Outorgada kW	
CGH	5	8.398	0,08
EOL	147	3.395.900	30,64
PCH	27	374.041	3,37
UFV	37	1.061.400	9,58
UHE	6	1.922.100	17,34
UTE	31	2.972.824	26,82
UTN	1	1.350.000	12,18
<b>TOTAL</b>	<b>254</b>	<b>11.084.663</b>	<b>100</b>

Fonte: BIG (2017).

E o Brasil possui ainda usinas fotovoltaicas que terão sua construção iniciada, como mostra a Tabela 03, totalizando 69 usinas, gerando 1.776.997 kW.

**Tabela 3: Empreendimentos com construção não iniciada no Brasil**

Empreendimentos com Construção não Iniciada no Brasil			
Tipo	Usinas	Potência Outorgada kW	%
CGH	38	27.531	0,21
CGU	1	50	0,00
EOL	159	3.589.650	26,84
PCH	134	1.749.520	13,08
UFV	69	1.776.997	13,29
UHE	8	731.540	5,47
UTE	182	5.497.418	41,11
<b>TOTAL</b>	<b>591</b>	<b>13.372.706</b>	<b>100</b>

Fonte: BIG (2017).

Se considerarmos a soma das usinas atualmente em operação, as em construção e as usinas que ainda não tiveram sua construção iniciada, o Brasil terá, conforme mostra a Tabela 4, 157 usinas fotovoltaicas, correspondendo à 3.014.631 kW, o que significa que a energia fotovoltaica irá saltar dos atuais 0,11% da matriz elétrica brasileira para 1,61%.

**Tabela 4: Empreendimentos atuais e futuros no Brasil**

Empreendimentos Atuais e Futuros no Brasil			
Tipo	Usinas	Potência Outorgada kW	%
CGH	659	588.607	0,32
CGU	1	50	0,00
EOL	757	18.017.589	9,64
PCH	594	7.090.823	3,79
UFV	157	3.014.631	1,61

Empreendimentos Atuais e Futuros no Brasil			
Tipo	Usinas	Potência Outorgada kW	%
UHE	232	103.821.918	55,57
UTE	3139	50.973.702	27,28
UTN	3	3.340.000	1,79
<b>TOTAL</b>	<b>5.542</b>	<b>186.847.320</b>	<b>100</b>

Fonte: BIG (2017).

### 2.3 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar varia de acordo com a posição terrestre que influencia no ângulo de incidência dos raios solares. As regiões mais próximas à linha do Equador além de apresentarem menor variação ao longo do ano, ainda possuem intensidade de irradiação anual superior às regiões mais distantes (PINHO; GALDINO, 2014).

Como ilustrado na Figura 02, a radiação solar é composta pela radiação solar direta, radiação solar difusa e radiação devida ao albedo.

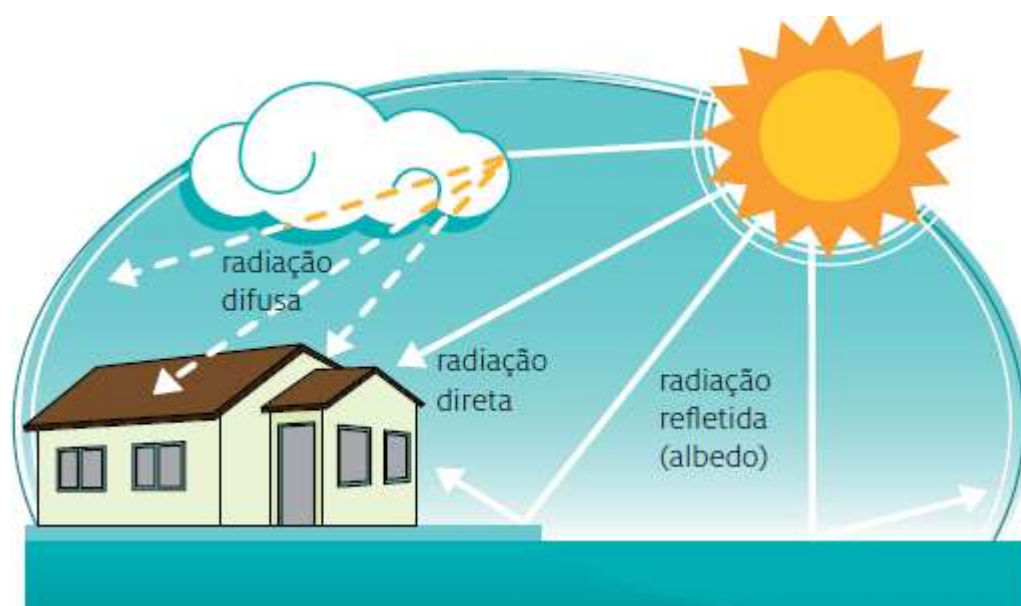


Figura 02: Componentes da radiação solar.

Fonte: ASPE - Agência de Serviços Públicos de Energia do Espírito Santo (2013).

A radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal (VILLALVA, 2015). A radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano. É resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos (VILLALVA, 2015). A radiação refletida, ou albedo, corresponde à fração da radiação refletida nos arredores e no solo. Segundo Tolmasquim (2016) a radiação solar que atinge a superfície da terra pode ser decomposta em dois planos:

- ✓ Plano horizontal: no qual a radiação global consiste na soma das componentes direta e difusa;
- ✓ Plano inclinado: além da radiação direta e difusa, existe a parcela da radiação refletida na superfície e nos elementos do entorno.

## 2.4 IRRADIANCIA SOLAR

Irradiância é a grandeza utilizada para quantificar a radiação solar e é uma unidade de potência por área, sendo expressa na unidade de  $W/m^2$ .

A medida de irradiância em  $W/m^2$  é muito útil para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Com o valor padrão de  $1000 W/m^2$  as eficiências das células e módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes podem ser especificadas e comparadas com base numa condição padrão de radiação solar (VILLALVA, 2015).

Na Figura 03 é mostrado o perfil da irradiância solar ao longo de um dia, mostrando que a maior irradiância ocorre ao meio dia solar, ou seja, este é o melhor momento para produção de energia através do sol.



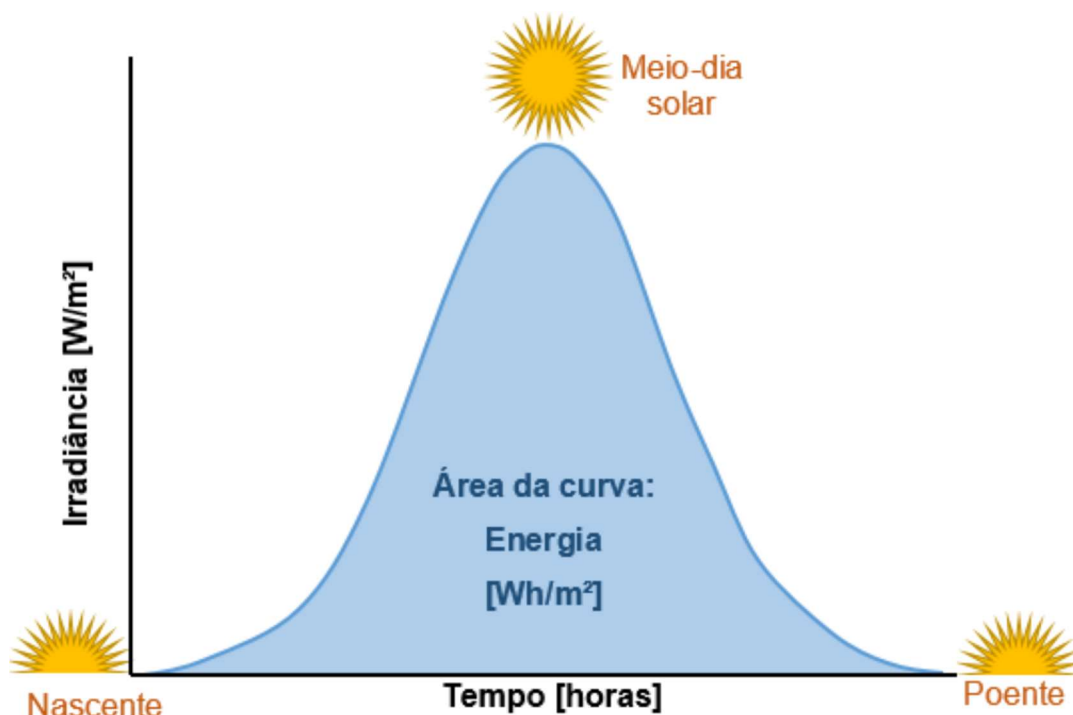


Figura 03: Perfil da irradiância solar ao longo de um dia.

Fonte: Villalva (2015).

## 2.5 IRRADIAÇÃO SOLAR

A irradiação solar, segundo Villalva (2015), é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo. Sua unidade é o  $\text{Wh/m}^2$  (watt-hora por metro quadrado). O watt-hora é uma unidade física de energia e o watt-hora por metro quadrado expressa a densidade de energia por área.

Os dados de irradiação solar são imprescindíveis, sendo a obtenção correta das medidas de irradiação no local de instalação vital para um perfeito dimensionamento do sistema.

Estas medidas podem ser obtidas através de medições locais com equipamentos apropriados, ou através de bancos de dados existentes, como o Atlas Brasileiro de Energia Solar.

## 2.6 ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR

O Atlas permite uma análise real sobre a capacidade de produção de energia através do sol no Brasil, e contribui para decisões estratégicas nas políticas públicas do setor de energia elétrica. Possui dados compilados ao longo de dez anos de informações de recursos energéticos renováveis para diversos pontos em todo o globo (PEREIRA *et al.*, 2006).

Dentre as informações disponibilizadas pelo Atlas, os dados de irradiação solar nos planos horizontais e inclinados, médias de irradiação anual e mensal são os mais importantes para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

## 2.7 IRRADIAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL E INCLINADO

A irradiação global no plano horizontal é a energia solar recebida por uma superfície horizontal instalada no solo, e a irradiação no plano inclinado é a energia solar recebida por uma superfície posicionada com inclinação igual à latitude do local onde instalada.

Para o perfeito dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, os dados de irradiação no plano horizontal devem ser utilizados quando os módulos fotovoltaicos a serem instalados estiverem posicionados com inclinação diferente da latitude do local, e desvio azimutal igual a  $0^\circ$ .

Para o plano inclinado, os dados de irradiação devem ser utilizados quando os módulos fotovoltaicos estiverem posicionados com a inclinação igual à latitude do local de instalação e desvio azimutal igual a  $0^\circ$ .

O Atlas Brasileiro de Energia Solar, como mencionado, fornece dados de irradiação média mensal e anual. Na Tabela 05 é ilustrada a irradiação média mensal e anual em kWh/m<sup>2</sup> nos planos horizontal e inclinado para a cidade de Curitiba/PR na latitude  $-25,41^\circ$  e longitude  $-49,26^\circ$ .

Tabela 05: Irradiação no plano horizontal e inclinado em Curitiba/PR.

GLOBAL		INCLINADO	
MÊS	Valor Dia Típico (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	MÊS	Valor Dia Típico (kWh/m <sup>2</sup> .dia)
Jan	5,67	Jan	5,19
Fev	5,47	Fev	5,32
Mar	5,05	Mar	5,57
Abr	4,12	Abr	4,95
Mai	3,29	Mai	4,54
Jun	3,08	Jun	4,52
Jul	3,28	Jul	4,22
Ago	4,21	Ago	5,39
Set	4,30	Set	4,97
Out	5,02	Out	4,95
Nov	5,97	Nov	5,39
Dez	5,92	Dez	5,18
<b>TOTAL</b>	<b>4,61</b>	<b>TOTAL</b>	<b>5,01</b>

Fonte: Adaptado de Pereira et al., (2006).

Verifica-se pela Tabela 05 que o valor médio de irradiação no plano inclinado é superior ao plano horizontal, porém em alguns meses principalmente na primavera e verão os valores do plano horizontal são maiores.

## 2.8 ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para um melhor aproveitamento da irradiação que os módulos fotovoltaicos recebem, alguns ajustes se fazem necessários, como ajuste no ângulo de instalação em relação ao norte geográfico e no ajuste do ângulo de inclinação dos módulos.

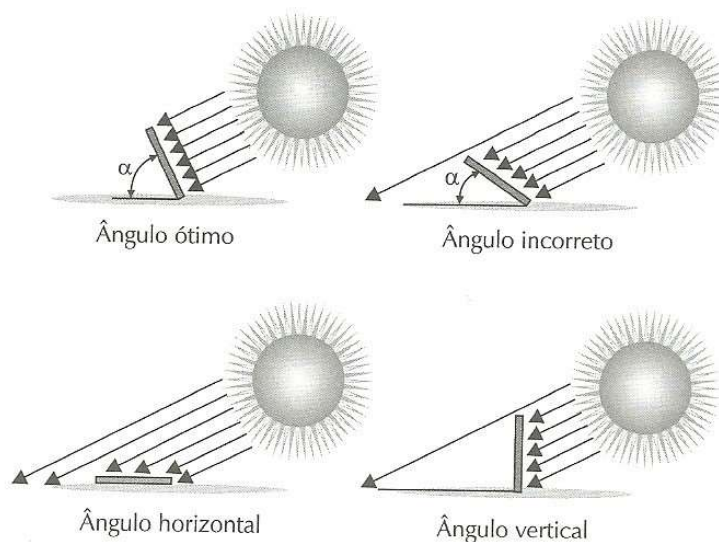
Segundo Villalva (2015), os raios solares são ondas eletromagnéticas paralelas entre si que chegam à Terra em linha reta. Ao cruzar a atmosfera terrestre os raios sofrem o efeito da difusão e são desviados e refletidos em todas as direções,

mas a maior parte deles, que corresponde à radiação direta, continua sua trajetória em linha reta.

Segundo Villalva (2015), em cada ponto do planeta a radiação direta incide no solo com uma inclinação diferente. Essa inclinação varia ao longo dos dias, meses do ano, de acordo com a posição da Terra e do Sol no espaço.

## 2.9 ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS

A grande maioria dos sistemas fotovoltaicos possuem módulos fixos, então devem ser instalados na melhor inclinação possível para um melhor aproveitamento médio da irradiação, como mostrado na Figura 04, pois não é possível obter os melhores valores de irradiação sem ajustes periódicos ou sem a instalação de equipamento de rastreamento do sol.



**Figura 04: Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico na captação de energia.**

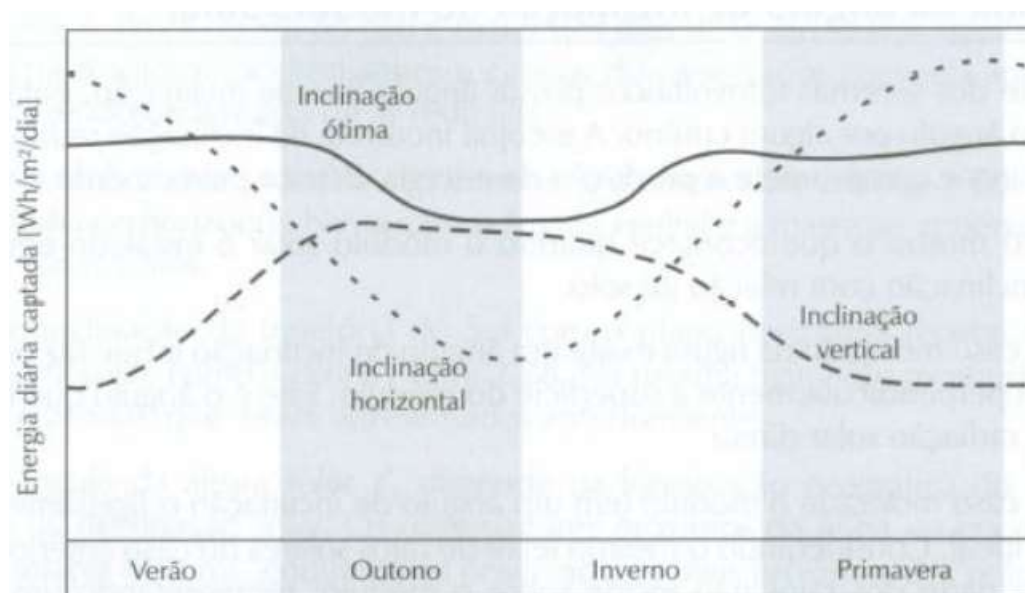
**Fonte: Villalva (2015).**

Segundo Villalva (2015), não existe um consenso geral sobre o melhor método de escolher o ângulo de inclinação de um módulo solar. A inclinação horizontal

privilegia a produção de energia no verão, enquanto a inclinação vertical privilegia no inverno.

Para otimizar o melhor aproveitamento adota-se comumente para o ângulo de inclinação dos módulos, o valor da latitude do local de instalação. O melhor ângulo para instalação pode também ser obtido através do auxílio de softwares específicos, mas sempre serão próximos à latitude.

No Gráfico 02 é representada a curva da energia captada por um módulo com diferentes inclinações.



**Gráfico 02: Energia solar captada ao longo do ano com diferentes inclinações.**

**Fonte: Villalva (2015).**

Para regiões onde a latitude é menor do que  $10^{\circ}$ , orienta-se que a instalação dos módulos seja sempre no mínimo de  $10^{\circ}$ , para evitar o acúmulo de poeira e facilitar a limpeza através da chuva.

## 2.10 DESVIO AZIMUTAL

O desvio azimutal é o ângulo resultante da diferença entre o norte geográfico e a posição de instalação em relação ao norte.

No hemisfério Sul, quando o ângulo do azimute solar coincide com o norte polar da Terra, diz-se que o ângulo azimutal é igual a zero. O inverso ocorre quando no hemisfério Norte, o ângulo azimutal é medido em relação ao sul geográfico (VILLALVA, 2015).

A instalação correta de um módulo solar fotovoltaico deve levar em conta o movimento diário do Sol. Um módulo instalado com sua face voltada para o Leste fará o aproveitamento solar somente no período da manhã. No período da tarde, após o meio-dia solar, os raios solares vão deixar de incidir sobre a face do módulo e sua energia não será aproveitada (VILLALVA, 2015).

Para o melhor aproveitamento da energia solar, é recomendado que os módulos fossem instalados com a face voltada para o norte geográfico, conforme Figura 05, possibilitando o melhor aproveitamento médio durante o ano sem a necessidade de reposicionamentos periódicos, nem sistema de rastreamento solar.

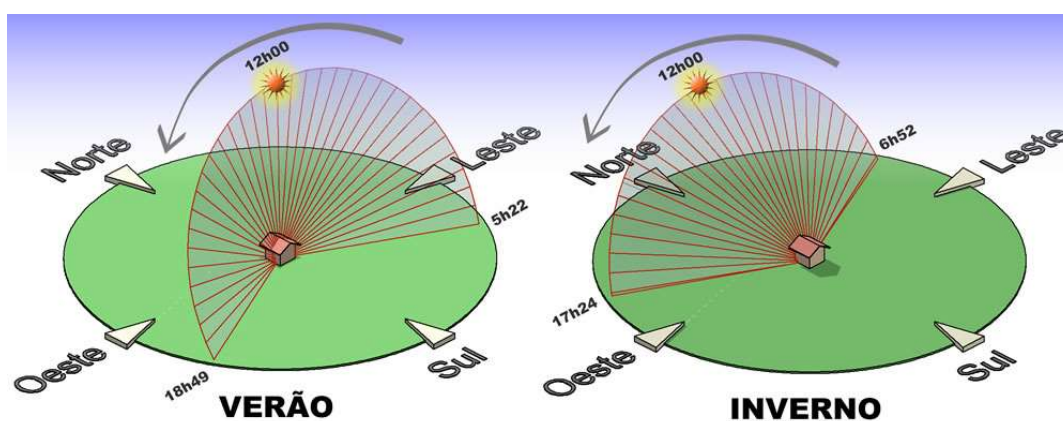


Figura 05: Trajetória do movimento solar ao longo do ano.

Fonte: Dtabach (2017).

## 2.11 PERFORMANCE RATIO

*Performance Ratio* ou Taxa de Desempenho é a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a  $1.000\text{W}/\text{m}^2$  incidentes no painel FV, também normalmente vinculada a um ano de operação, *performance ratio* anual, porém, pode ser também considerada a *performance ratio* mensal. Esta grandeza é expressa em porcentagem. (TIEPOLO *et al.*, 2016).

## 2.12 SISTEMA FOTOVOLTÁICO

Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Villalva (2015), os sistemas fotovoltaicos exigem pouca manutenção, são silenciosos, ecológicos e não precisam de abastecimento de combustível.

Os sistemas fotovoltaicos podem ou não serem conectados à rede da concessionária de energia local. No caso de sistemas fotovoltaicos não conectados, estes são chamados de “isolados” (SFVI) e utilizam baterias para armazenamento de energia, como ilustrado na Figura 06.



**Figura 06: Banco de baterias para um SFVI.**

**Fonte: Krannich Solar (2017).**

### 2.12.1 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica - SFVCR são caracterizados por estarem efetivamente interligados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Esses sistemas não possuem elementos para armazenar a energia elétrica, visto que durante os momentos, nos quais não existe geração de energia elétrica vinda do painel fotovoltaico, o sistema utiliza a rede da concessionária como fonte de energia. (TONIN, URBANETZ JR, 2016)

O SFVCR é constituído basicamente pelo painel fotovoltaico, pelo inversor, o qual disponibiliza energia elétrica em corrente alternada para a instalação e, pelo fato desse equipamento ser conectado em paralelo com a rede elétrica, ele injeta o excedente de energia gerado e, pelo medidor bidirecional, o qual contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica. (TONIN, URBANETZ JR, 2016)



Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser centralizados, constituindo usinas de geração de energia elétrica ou micro e minissistemas descentralizados de geração distribuída instalados em qualquer tipo de consumidor (VILLALVA, 2015). A Figura 07 ilustra uma usina fotovoltaica de grande porte conectada à rede.



**Figura 07: Usina Panda Green Energy, China.**

**Fonte: IDGNOW (2017).**

Segundo Rüter (2004), os sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede oferecem uma série de vantagens para o sistema elétrico, muitas das quais estão relacionadas a custos evitados, dentre elas, podem-se destacar:

- ✓ Perdas por transmissão e distribuição de energia são minimizadas;

- ✓ Investimentos em linhas de transmissão e distribuição são reduzidos;
- ✓ Não apresentam necessidade de área livre, já que a área necessária é a própria edificação;

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica configuram-se como uma alternativa sustentável de produção de energia elétrica para os centros urbanos, pois permitem a geração de energia de modo distribuído, ou seja, no próprio local onde esta será consumida e, permitem também, com que o excedente de energia produzido seja injetado na rede, colaborando assim com o desempenho da rede em que se encontram conectados. Além disso, esses sistemas não necessitam de novas áreas para instalação, pois estes fazem uso de espaços já existentes, como as coberturas das edificações para as quais gerarão energia (REBECHI, 2008). A Figura 08 ilustra uma usina fotovoltaica de médio porte instalada no telhado de uma indústria, conectada à rede, e a Figura 09 ilustra uma instalação de pequeno porte conectada à rede.

De acordo com a VIA SOLAR (2016) os SFVCR possuem vida útil estimada de 25 anos.



**Figura 08: Exemplo SFVCR em indústrias.**

**Fonte: Portal Solar (2017).**



**Figura 09: Exemplo SFVCR residencial.**

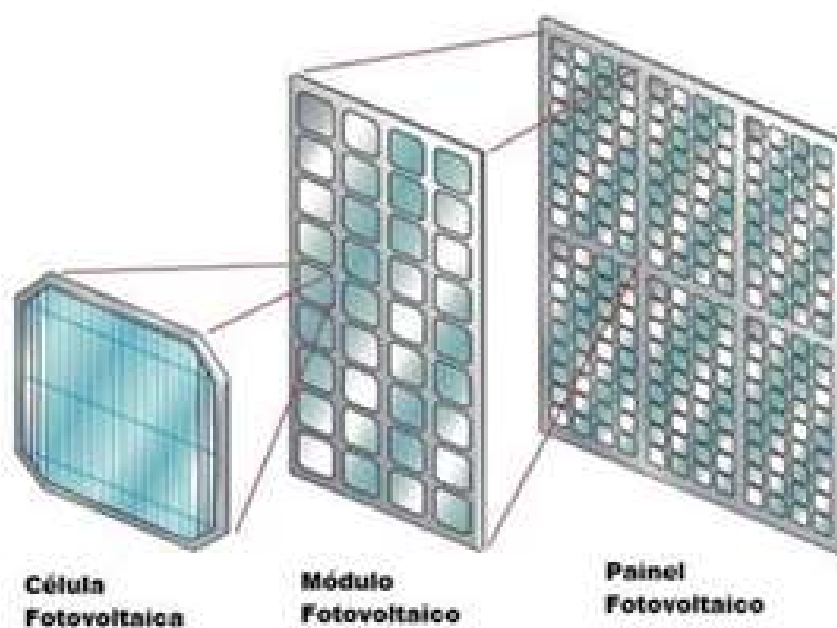
**Fonte: Mastersolar (2017).**

### 2.12.2 Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é formado a partir da conexão, usualmente em série, de várias células fotovoltaicas, com a finalidade de obter adequada resistência mecânica e as intempéries, além dos parâmetros de corrente e tensão desejados. A associação de módulos, em série e/ou paralelo, resultará no arranjo fotovoltaico (CAMPOS, 2016), conforme ilustra a Figura 10.

O arranjo fotovoltaico é capaz de fornecer corrente e tensão em regime de corrente contínua (CC), sendo necessário converter esse fluxo para CA, que é o padrão utilizado pela maior parte dos equipamentos elétricos existentes. O dispositivo capaz de fazer essa conversão é o inversor (PINHO; GALDINO, 2014).





**Figura 10 - Processo de hierarquia fotovoltaica**  
**Fonte: Geopower (2017).**

A Figura 11 ilustra módulos fotovoltaicos de silício policristalino.



**Figura 11: Módulos fotovoltaicos de silício policristalino.**  
**Fonte: Autoria própria (2016).**

Dentre os diversos materiais usados para a fabricação das células fotovoltaicas, destacam-se o silício monocristalino (m-Si), o silício policristalino (p-Si) e os filmes finos, como o silício amorfo (a-Si), o silício microcristalino ( $\mu$ -Si), o telureto de cádmio (CdTe), o disseleneto de cobre-índio-gálio (CuInGaSe<sub>2</sub>), o disseleneto de cobre-índio (CuInSe<sub>2</sub>) e o arseneto de gálio (GaAs). Existem outras tecnologias mais modernas, como as células fotovoltaicas orgânicas, porém sua utilização comercial ainda é limitada (TONIN, URBANETZ JR, 2016).

### 2.12.3 Inversor de Frequência

O inversor de frequência é o equipamento responsável pela conversão da corrente contínua em corrente alternada produzida pelos módulos fotovoltaicos. A Figura 12 ilustra inversores de frequência.

O inversor deve ser projetado para dissipar o mínimo de potência, evitando assim, perdas e também, deve produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos e em sincronismo com a rede elétrica a ser conectado e na mesma frequência (TONIN, URBANETZ JR, 2016).

Para aplicações de potência inferior a 5 kW, recomenda-se o uso de inversores monofásicos. É importante ressaltar que a escolha do inversor interfere diretamente no desempenho, confiabilidade e no custo do sistema fotovoltaico (TONIN, URBANETZ JR, 2016).



**Figura 12: Inversores de frequência.**

**Fonte: Autorial própria (2016).**

Segundo Tonin (2016), as funções mais comuns nos inversores monofásicos fabricados atualmente são:

- ✓ Conversão CC–CA;
- ✓ Ajuste do ponto operacional do inversor MPPT (Maximum Power Point Tracker) do gerador fotovoltaico;
- ✓ Registro de dados operacionais;
- ✓ Desconexão automática da rede;
- ✓ Dispositivos de Proteção CA e CC;
- ✓ Proteção contra Sobrecargas;

- ✓ Proteção contra Sobretensões;
- ✓ Proteção contra troca de polaridade;
- ✓ Anti-ilhamento;
- ✓ Proteção contra excessiva elevação de temperatura.

#### 2.12.4 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional é o equipamento responsável por medir a quantidade de energia que está sendo injetada na rede por meio do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (TONIN, URBANETZ JR, 2016).

De acordo com a Resolução 482/12 – ANEEL, o medidor bidirecional deve no mínimo diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede (TONIN, URBANETZ JR, 2016).

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em 2016 foi instalado em um edifício comercial na cidade de Curitiba/PR um sistema fotovoltaico conectado à rede de 15 kWp. Este sistema foi instalado aproveitando a arquitetura da edificação, o que torna o sistema deficiente se comparado às melhores condições de instalação levando-se em consideração dados de irradiação, desvio azimutal e ângulo de inclinação dos módulos instalados.

Estas correções no sistema instalado podem, ao longo da vida útil do sistema produzir uma considerável diferença de energia elétrica.

Sendo assim, apresenta-se a seguir os dados do sistema instalado e as proposições de melhorias, comparado então a diferença de energia produzida.

#### 3.2 DADOS DE INSTALAÇÃO

O sistema está instalado na cobertura de um edifício comercial de 6 (seis) andares na cidade de Curitiba/PR, com dados de Latitude de  $-25,41^\circ$  e Longitude de  $-49,26^\circ$ . O sistema está conectado à rede da Copel, recebendo créditos pelo excedente de energia gerada.

#### 3.3 PROJETO ORIGINAL

Apesar de a instalação ser em Curitiba/PR, a localização utilizada para obter dados de irradiação solar foi diferente do local de instalação. Foi utilizada a localização, latitude  $-25,52^\circ$  e longitude  $-49,17^\circ$ , na cidade de São José dos Pinhais/PR para base do projeto, gerando dados de irradiação solar conforme Tabela 06.



**Tabela 06: Irradiação no plano inclinado em SJP/PR.**

<b>MÊS</b>	<b>Valor Dia Típico (kWh/m<sup>2</sup>.dia)</b>
<b>Jan</b>	5,230
<b>Fev</b>	5,260
<b>Mar</b>	5,500
<b>Abr</b>	4,930
<b>Mai</b>	4,510
<b>Jun</b>	4,530
<b>Jul</b>	4,260
<b>Ago</b>	5,310
<b>Set</b>	4,960
<b>Out</b>	4,890
<b>Nov</b>	5,300
<b>Dez</b>	5,160
<b>TOTAL</b>	<b>4,980</b>

Fonte: Adaptado de Pereira et al., (2006).

A instalação foi dimensionada e instalada com 48 módulos fotovoltaicos de 315 W, modelo CS6X-315P da Canadian Solar, fazendo com que o sistema tenha capacidade de 15.120 kWp.

A instalação possui também dois inversores, modelos PVI-5000-OUTD-S e PVI-10000-OUTD da ABB.

Conforme mostrado na Figura 13, os módulos foram instalados aproveitando o telhado da cobertura da edificação.



Figura 13: Área de instalação do SFVCR em Curitiba/PR.

Fonte: A autoria própria (2016).

Para o lado A da Figura 13, foram instalados 30 módulos com inclinação de  $10^\circ$  e desvio azimutal de  $-50^\circ$ , que possuem valores médios de irradiação conforme Tabela 07.

Tabela 07: Irradiação no ângulo de  $10^\circ$  e desvio azimutal de  $-50^\circ$  em SJP/PR.

MÊS	Valor Dia Típico (kWh/m <sup>2</sup> .dia)
Jan	5,255
Fev	5,302
Mar	5,633
Abr	5,174
Mai	4,878
Jun	5,044
Jul	4,671
Ago	5,667
Set	5,125
Out	4,955
Nov	5,326
Dez	5,186
<b>TOTAL</b>	<b>5,185</b>

Fonte: Adaptado de Pereira et al., (2006).

Para o lado B da Figura 13, foram instalados 18 módulos com inclinação de 10° e desvio azimutal de +130°, que possuem valores médios de irradiação conforme Tabela 08.

**Tabela 08: Irradiação no ângulo de 10° e desvio azimutal de +130° em SJP/PR.**

MÊS	Valor Dia Típico (kWh/m <sup>2</sup> .dia)
Jan	5,268
Fev	5,229
Mar	5,359
Abr	4,658
Mai	4,057
Jun	3,951
Jul	3,787
Ago	4,812
Set	4,795
Out	4,849
Nov	5,314
Dez	5,214
<b>TOTAL</b>	<b>4,774</b>

Fonte: Adaptado de Pereira et al., (2006).

O sistema também foi dimensionado com uma *performance ratio* de 82%.

### 3.3.1 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PROJETO INSTALADO

Para o SFVCR a estimativa de produção de energia mensal é baseada na soma da potência dos módulos fotovoltaicos instalados, na irradiação média mensal onde o sistema será instalado (já considerando o desvio azimutal e inclinação dos módulos), na *performance ratio* do sistema, na irradiação média na condição STC e na quantidade de dias. O cálculo é obtido através da seguinte equação:

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot PR}$$

Onde:

$P_{FV}$  - Potência instalada em Wp

E - Energia a ser gerada (demanda) em Wh

G - Irradiância na condição STC (1.000 W/m<sup>2</sup>)

$H_{TOT}$  - Irradiação média diária em Wh/m<sup>2</sup>

PR - *Performance ratio* do SFVCR (70% a 80%)

Para o sistema instalado, os cálculos de produção de energia foram baseados na potência do sistema (15.120 kWp), *performance ratio* de 82% e na irradiação média conforme Tabela 07 e 08. Sendo a produção esperada para os lados A e B (Figura 13) da instalação conforme Tabela 09.

**Tabela 09: Produção de energia em kWh estimada para configuração atual.**

MÊS	Energia (kWh/mês) Lado A	Energia (kWh/mês) Lado B	Energia (kWh/mês) TOTAL
Jan	1.262,35	759,28	2.021,63
Fev	1.150,39	680,73	1.831,12
Mar	1.353,15	772,40	2.125,55
Abr	1.202,80	649,71	1.852,51
Mai	1.171,79	584,74	1.756,53
Jun	1.172,58	551,09	1.723,67
Jul	1.122,06	545,83	1.667,89
Ago	1.361,32	693,56	2.054,88
Set	1.191,41	668,82	1.860,23
Out	1.190,29	698,89	1.889,18
Nov	1.238,14	741,21	1.979,35
Dez	1.245,78	751,50	1.997,28
<b>TOTAL</b>			<b>1.896,65</b>

Fonte: Adaptado de Pereira et al., (2006).

### 3.4 REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Através de um acompanhamento diário durante a fase de instalação do sistema, verificaram-se alguns pontos que poderiam ser melhorados visando uma melhor produção de energia anual, como a utilização de dados mais precisos de irradiação solar, melhor ângulo de instalação dos módulos e adaptações para melhorar o desvio azimutal de uma parte do projeto.

Sendo assim, o projeto foi refeito com as adaptações que se mostraram adequadas para uma melhor produção anual de energia.

Não foi alterada a quantidade de módulos e nem os modelos, sendo o objetivo do aumento de produção apenas melhorando conceitos de posicionamento dos módulos e dados de irradiação solar.

#### 3.4.1 ESTIMATIVA DO RECURSO SOLAR

Como o sistema está instalado na cidade de Curitiba/PR na Latitude  $-25,41^\circ$  e Longitude de  $-49,26^\circ$ , foram obtidos os dados de irradiação para esta localização conforme Tabela 10.

**Tabela 10: Irradiação no plano horizontal em Curitiba/PR.**

MÊS	Valor Dia Típico (kWh/m <sup>2</sup> .dia)
Jan	5,67
Fev	5,47
Mar	5,05
Abr	4,12
Mai	3,29
Jun	3,08
Jul	3,28
Ago	4,21
Set	4,30
Out	5,02
Nov	5,97

<b>Dez</b>	<b>5,92</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4,61</b>

Fonte: Adaptado de Pereira et al., (2006).

Os valores da irradiação no plano horizontal alimentam o programa, então é inserido o desvio azimutal definido, pois é um dado fixo, e através do programa é possível simular diferentes ângulos de inclinação para instalação dos módulos. Para este projeto, com os dados de irradiação no plano horizontal obtidos, desvio azimutal de  $-50^\circ$  em relação ao norte geográfico, o programa forneceu como melhor ângulo para a melhor produção de energia anual a inclinação de  $25^\circ$ . Os dados de irradiação para estes parâmetros são mostrados na Tabela 11.

**Tabela 11: Irradiação no ângulo de  $25^\circ$  e desvio azimutal de  $-50^\circ$  em Curitiba/PR.**

<b>MÊS</b>	<b>Valor Dia Típico (kWh/m<sup>2</sup>.dia)</b>
<b>Jan</b>	<b>5,087</b>
<b>Fev</b>	<b>5,265</b>
<b>Mar</b>	<b>5,717</b>
<b>Abr</b>	<b>5,377</b>
<b>Mai</b>	<b>5,271</b>
<b>Jun</b>	<b>5,562</b>
<b>Jul</b>	<b>5,020</b>
<b>Ago</b>	<b>6,087</b>
<b>Set</b>	<b>5,205</b>
<b>Out</b>	<b>4,966</b>
<b>Nov</b>	<b>5,286</b>
<b>Dez</b>	<b>5,066</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,326</b>

Fonte: Autoria própria através dos dados do Projeto SWERA.

### 3.4.2 DESVIO AZIMUTAL

Conforme mostrado na Figura 13, o edifício possui duas inclinações diferentes para o telhado, uma com desvio azimutal de  $-50^\circ$ , e outra com desvio de  $+130^\circ$ . Como

o ideal para o melhor aproveitamento da irradiação solar para a posição em que o edifício está localizado é voltado para o norte, no Lado B do telhado será feita uma adaptação através de estruturas metálicas, posicionando os módulos em direção ao norte.

Sendo assim, todos os módulos ficaram voltados para o norte geográfico, com desvio azimutal de  $-50^\circ$ .

### 3.4.3 ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS

O telhado onde os módulos estão instalados possui uma inclinação de  $10^\circ$ . Visando um melhor aproveitamento do sistema para produção de energia, verificou-se através do software RADIASOL, com os dados de irradiação no local e potência do sistema que o melhor ângulo para instalação é de  $25^\circ$ .

### 3.4.4 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Com os novos dados de irradiação solar, conforme Tabela 11, desvio azimutal e inclinação dos módulos, novos valores de produção de energia foram obtidos conforme Tabela 12. O valor de *performance ratio* foi mantido em 82%.

Como o desvio azimutal e ângulo de inclinação dos módulos para esta nova configuração são os mesmos, os dados apresentados não estão mais divididos em dois inversores.

**Tabela 12: Produção de energia em kW/h estimada para configuração proposta.**

MÊS	Energia (kWh/mês) TOTAL
Jan	1.955,19
Fev	1.827,77
Mar	2.197,33
Abr	1.999,99

---

<b>MÊS</b>	<b>Energia (kWh/mês) TOTAL</b>
<b>Mai</b>	2.025,91
<b>Jun</b>	2.068,80
<b>Jul</b>	1.929,44
<b>Ago</b>	2.339,54
<b>Set</b>	1.936,01
<b>Out</b>	1.908,68
<b>Nov</b>	1.966,14
<b>Dez</b>	1.947,12
<b>TOTAL</b>	<b>2.008,47</b>

**Fonte: Aatoria própria.**

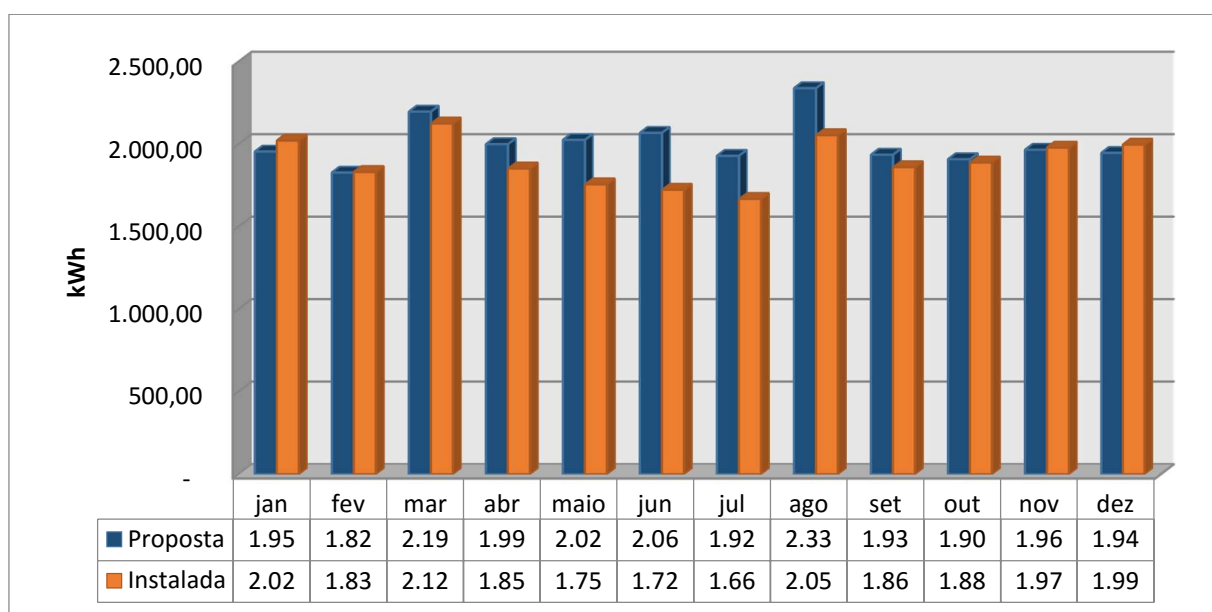


#### 4 COMPARAÇÃO DOS DADOS

A comparação entre a produção de energia mensal do sistema instalado com o sistema proposto com uma nova configuração, conforme Gráfico 03 gera uma diferença média de 1.342,12kWh/ano.

O sistema atualmente instalado tem produção estimada de 22.759,80kWh/ano. Como os sistemas tem uma estimativa de vida útil de 25 anos, o esperado para este sistema é uma produção de 568.995,08kWh neste período.

Já o sistema com uma nova configuração proposta tem produção estimada de 24.101,92kWh/ano e para 25 anos, o esperado é uma produção de 602.547,98kWh.



**Gráfico 03: Comparação de energia produzida em kWh/mês entre sistema instalado e sistema com melhorias propostas.**

**Fonte: Autoria própria.**

Verifica-se assim uma diferença de aproximadamente 1.342kWh/mês e de 33.552,90kWh ao longo de 25 anos.

A grande diferença mensal no comparativo das instalações é nos períodos de outono e inverno, pois é o período que o ajuste do melhor ângulo de instalação dos módulos fotovoltaicos faz diferença.

No período de verão, comparativamente o sistema proposto produz menos energia, mas na média anual o sistema proposto supera o sistema instalado.

Caso o sistema tenha uma manutenção correta, pode ter uma vida útil de mais de 25 anos e conseqüentemente uma maior produção de energia para o cliente.

## 5 CONCLUSÃO

Como resultado principal deste trabalho, foram apresentadas melhorias em um sistema fotovoltaico conectado à rede ante um sistema já instalado e em funcionamento.

Estas melhorias mostraram uma grande diferença entre o sistema instalado e o sistema proposto na empresa analisada, principalmente em relação aos dados utilizados para projeção da energia a ser produzida ao longo de 25 anos. Esses dados mostraram-se essenciais para o início de qualquer cálculo de estimativa de produção de energia.

A utilização dos dados de irradiação solar do Atlas Brasileiro de Energia Solar é essencial, e mostrou-se que a utilização correta dos índices no local de instalação é fundamental para a correta estimativa de produção de energia ao longo da vida útil do sistema.

A atuação de profissionais capacitados pode ser o diferencial no ganho de produção de energia em sistemas fotovoltaicos. Por ser uma área relativamente nova, os profissionais devem ser qualificados ao ponto de analisar as condições dos locais de instalação, definindo os melhores ângulos e posições para os equipamentos do sistema, além de a instalação de materiais e mão-de-obra de qualidade.

O custo da instalação do sistema ainda é uma das principais referências das empresas para a decisão da instalação ou não de energia fotovoltaica, que ainda hoje é considerada cara. Sendo que uma estimativa de produção de energia mais próxima da realidade pode refinar a análise dos custos e os dados de produção mensal dentro da média histórica, e passar uma maior credibilidade ao cliente, não gerando desconforto ao longo da utilização do sistema, pois os clientes frequentemente questionam dados de produção real ante o projetado.

Muitas vezes para a instalação de um sistema fotovoltaico, tende-se a aproveitar a arquitetura do local da instalação, e isso faz em alguns casos com que exista uma perda de produção. Para tanto é ideal que se façam estudos para otimizar a instalação aproveitando a arquitetura existente, pois com pequenas alterações o sistema torna-se mais produtivo e a produção de energia durante a vida útil do sistema pode ser bastante considerável.

Os sistemas fotovoltaicos atualmente são previstos para funcionarem em um período de 25 anos, e com um conjunto de fatores, como qualidade dos materiais e equipamentos, bom dimensionamento da instalação e boa manutenção, os sistemas podem ter uma vida útil maior do que o previamente estipulado.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **REN 482, 12 de Abril de 2012.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 15/04/2017.

BIG, **Banco de Informações de Geração, ANEEL.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 02/08/2017.

CAMPOS, Henrique Marin van der Broocke. **Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica de Curitiba e Região: Um Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado) - UTFPR, Curitiba, 2016.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** INPE, São José dos Campos, São Paulo, 1º Edição, 2006.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, RJ, Março de 2014.

REBECHI, Samuel. **O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Conectada ao Sistema de Distribuição Urbano: Estudo de Caso para um Alimentador com Pico de Carga Diurno.** Florianópolis, 2008.

REN21. **Annual Report 2016.** REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. 2016.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos - O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil.** Editada UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, SC, 2004.

Solar Power Europe. **Global Market Outlook 2016 - 2020.** 2017.

SWERA, **Solar and Wind Energy Resource Assessment,** Disponível em: <<http://en.openei.org/apps/SWERA/>>. Acesso em: 25/05/2017.

TEM-PASS, E. H.; SOUZA, M. B.; IATSKIU, T. **Estudo Econômico para Implementação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia no Estado do Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2016;

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** EPE, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2016.

TONIN, Fabianna Stumpf; URBANETZ JR, Jair. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica - SFVCR.** Artigo - INDUSCON, Curitiba, 2016;

URBANETZ JUNIOR, J. **Apostila de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos do curso de Especialização em Energias Renováveis.** UTFPR, 2016.

VIA SOLAR: **Soluções Energéticas**. Disponível em: <<http://www.viasolarse.com/#!como-funciona/prwsg>>. Acesso em outubro de 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações, sistemas isolados e conectados à rede**. 2° edição. São Paulo. Editora Ética, 2015.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de Textos, São Paulo, 2012.