



**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia de Energia**

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ESTUDO DA INSERÇÃO  
RESIDENCIAL**

**Autor: Nasser Braz Faiad  
Orientador: Flávio Henrique J. R. Silva**

**Brasília, DF  
2015**



**NASSER BRAZ FAIAD**

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ESTUDO DA INSERÇÃO RESIDENCIAL**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Henrique J. R. Silva.

**Brasília, DF  
2015**

## **CIP – Catalogação Internacional da Publicação\***

Braz Faiad, Nasser.

Geração Distribuída: Estudo da Inserção Residencial / Nasser  
Braz Faiad

Brasília: UnB, 2015 81 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília  
Faculdade do Gama, Brasília, 2015. Orientação: Flávio  
Henrique J. R. Silva.

1. Geração Distribuída 2. Energia Solar Fotovoltaica 3.  
Sustentabilidade. I. Silva, J. R., Flávio Henrique II. Geração  
Distribuída: Estudo da Inserção Residencial.

CDU Classificação



## **GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ESTUDO DA INSERSÃO RESIDENCIAL**

**Nasser Braz Faiad**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 10/12/2015 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dr.: Flávio Henrique J. R. Silva, UnB/ FGA**  
Orientador

---

**Prof. Dr.: Cristiano Jacques M. R. Mendes, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof. Dr.: Euler de Vilhena Garcia, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2015

Esse trabalho é dedicado aos homens e mulheres que através do conhecimento e dedicação buscam construir um mundo melhor e em harmonia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade de estar vivo, à minha família por ter viabilizado minha vida material, meus estudos e progresso nesta jornada. A minha namorada querida. Aos colegas de convívio.

A todos que me acompanharam nessa caminhada, todos os professores e funcionários da Universidade de Brasília, em especial ao professor Flávio Silva que tão prontamente se disponibilizou a auxiliar-me nesse trabalho de conclusão de curso.

Aos colegas da SRD (ANEEL) que contribuíram muito com minha formação profissional e pessoal. Em especial ao Daniel Vieira que muito contribuiu com este estudo.

"If you can dream it, you can do it."  
Walt Disney.

## RESUMO

O consumo energético mundial está aumentando constantemente devido ao crescimento populacional e às demandas cada vez maiores por equipamentos alimentados à energia elétrica para a manutenção do estilo de vida atual. Suprir o crescimento através de fontes de energia de origem fóssil implica em efeitos das mais variadas naturezas como, por exemplo, o efeito estufa. A cultura da sustentabilidade tem ganhado importância e suas medidas tornam-se essenciais no dia-a-dia da humanidade. Neste contexto, a diversificação da matriz energética através da Geração Distribuída (GD) vem ao encontro da manutenção de um desenvolvimento sustentável para a sociedade. O Brasil apresenta grande parte de seu território próximo à linha do equador, assim apresenta grande potencial para exploração da energia solar. A geração distribuída fotovoltaica torna-se excelente escolha. No entanto, sua forma de inserção é pouco conhecida. Este estudo trata a viabilidade da GD, com enfoque na geração distribuída fotovoltaica, suas vantagens e desvantagens, legislação envolvida, bem como os dispositivos elétricos necessários e seu funcionamento. A proposta desse estudo é entender essa modalidade de geração de energia, aspectos técnicos relacionados, desenvolver uma metodologia objetiva de inserção e analisar sua viabilidade econômica. Dessa forma, é realizado estudo de caso em uma residência localizada no Lago Norte, Brasília-DF. Para tal, foram desenvolvidos oito métodos para inserção de GD fotovoltaica e percebeu-se que a sua utilização é, de fato, grande oportunidade, porém com alto investimento inicial. O retorno financeiro calculado foi de oito anos e três meses, mostrando que se trata de investimento de longo prazo, mas, de fato, lucrativo e interessante. Para que se reduza o período de *payback* foram analisadas estratégias de redução de custo dos equipamentos, possibilidade de parcerias com o governo e, até mesmo, a produção nacional dos componentes.

**Palavras-Chave:** Geração Distribuída. Energia Solar Fotovoltaica. Sustentabilidade. Viabilidade financeira.



## ABSTRACT

The world energy consumption is constantly increasing due to population growth and increasing demands for equipment supplied to electricity to maintain the current lifestyle. To supply the growth through fossil energy sources implies effects of various natures such as, for example, the greenhouse effect. The culture of sustainability has gained importance and its measures become essential in daily humanity. In this context, the diversification of energy sources through the Distributed Generation (DG) meets the maintenance of a sustainable development for society. Brazil has much of its territory close to the equator, so has great potential for exploitation of solar energy. The photovoltaic distributed generation becomes excellent choice. However, their form of insertion is not well known. This study deals with the viability of GD, focusing on photovoltaic distributed generation, its advantages and disadvantages, involved legislation and the eletrics devices and its operations. The purpose of this study is to understand this type of power generation, technical aspects, develop an objective methodology for inclusion and analyze its economic viability. Thus, it is fulfilled a case study in a residence located in Lago Norte, Brasília-DF. For such, were developed eight methods for photovoltaic GD insert and it was noticed that its use is indeed great opportunity, but with high initial investment. The payback was calculated to eight years and three months, showing that it is long-term investment, but in fact, profitable and interesting. In order to reduce the payback period were analyzed reduction of cost of the equipment, the possibility of partnerships with the government and even national production of the components.

**Keywords: Distributed Generetion. Photovoltaic Solar Energy. Sustainability, Financial Viability.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de Acesso de Microgeradores ao Sistema de Distribuição da CEB-D. Fonte: NTD 6.09 CEB, 2012 .....	25
Figura 2. Média Anual da Radiação Solar no Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, 2006. ....	26
Figura 3. Média Anual da Radiação Solar por Regiões no Brasil. Fonte: Adaptação do Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, 2006. ....	27
Figura 4. Elementos Elétricos necessários para instalação de Sistemas Fotovoltaicos. Fonte: Adaptação de figura presente em _____. <a href="http://solvenergia.blogspot.com.br">http://solvenergia.blogspot.com.br</a> , acesso em 10 de novembro de 2014.....	36
Figura 5. Diagrama esquemático de uma célula fotovoltaica. Fonte: _____. <a href="http://www.pucrs.br/cbsolar/energia">http://www.pucrs.br/cbsolar/energia</a> , acesso em 10 de novembro de 2014. ....	39
Figura 6. Influência da irradiância solar e temperatura no comportamento dos painéis solares. ....	41
Figura 7. Influência dos arranjos de módulos (série e paralelo) na tensão e corrente.....	42
Figura 8. Forma de conexão do acessante (através de inversor) à rede de BT da CEB-D. Fonte: CEB NTD 6.09, 2014. ....	45
Figura 9. Disposição simplificada dos medidores unidirecionais. Fonte: CEB NTD 6.09, 2014.....	47
Figura 10. Disposição simplificada do medidor bidirecional. Fonte: CEB NTD 6.09, 2014.. ....	47
Figura 11. Local do estudo de caso. Fonte: <a href="http://google.com.br/maps">google.com.br/maps</a> , acesso em: 30/08/2015. ....	49
Figura 12. Local do estudo de caso. Fonte: <a href="http://google.com.br/maps">google.com.br/maps</a> , acesso em: 27/08/2015. ....	50
Figura 13. Local do estudo de caso. Fonte: <a href="http://google.com.br/maps">google.com.br/maps</a> , acesso em: 27/08/2015. ....	50
Figura 14. Irradiação solar local. Fonte: <a href="http://www.nrel.gov/swera">www.nrel.gov/swera</a> , acesso em: 28/08/2015. ....	51
Figura 15. Irradiação solar global. Fonte: <a href="http://www.nrel.gov/swera">www.nrel.gov/swera</a> , acesso em: 28/08/2015... ..	51

Figura 16. Atlas Solarimétrico do Brasil, Horas de insolação diária. Fonte: <a href="http://www.cresesb.cepel.br">www.cresesb.cepel.br</a> , acesso em: 30/08/2015. ....	53
Figura 17. Consumo de energia mensal para o local. Fonte: Composição própria. ....	58
Figura 18. Metodologia para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos ligados a rede de baixa tensão. Fonte: Composição própria. ....	58
Figura 19. Módulo fotovoltaico a ser utilizado. Fonte: <a href="http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br">minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br</a> , acesso em 16/09/2015.. ....	65
Figura 20. Área do telhado que será destinada a inserção dos módulos fotovoltaicos. Fonte: <a href="http://www.google.com/maps">www.google.com/maps</a> , acesso em: 30/08/2015 .....	67
Figura 21. Distribuição dos módulos fotovoltaicos. Fonte: composição própria com auxílio do <i>software AUTOCAD 2010</i> . ....	67
Figura 22. Inversor a ser utilizado. Fonte: <a href="http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br">minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br</a> , acesso em 16/09/2015.. ....	68
Figura 23. Curva de payback descontado do projeto. Fonte: Composição própria. ....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Inclinação dos Painéis Fotovoltaicos em graus por Estado. Fonte: minhacasasolar.com.br, acesso em 27/10/2014 .....	43
Tabela 2. Requisitos mínimos de proteção para a potência instalada. Fonte: PRODIST módulo 3, seção 3.7, ANEEL, 2012.....	46
Tabela 3. Reajuste tarifário nos últimos 10 anos. Fonte: <a href="http://www.ceb.com.br/index.php/tarifas">http://www.ceb.com.br/index.php/tarifas</a> , acesso em 31/08/2015.....	54
Tabela 4. Medidor cedido pela CEB-D. Dados de 27/08/2015. ....	54
Tabela 5. Pesquisa de mercado módulos fotovoltaicos. Fonte: Composição própria.....	55
Tabela 6. Pesquisa de mercado de inversores. Fonte: Composição própria. Dados de 28/08/2015.....	56
Tabela 7. Pesquisa de mercado de suportes. Fonte: Composição própria. Dados de 28/08/2015.....	57
Tabela 8. Consumo de energia mensal para o local. Fonte: Composição própria.....	57
Tabela 9. Parâmetros adotados no estudo de caso. Fonte: Composição própria.....	63
Tabela 10. Exemplo de como será executado o método da atratividade econômica do projeto. Fonte: SAMANEZ, C. P. (2009). Engenharia Econômica. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009.....	63
Tabela 11. Determinação do módulo fotovoltaico a ser utilizado, aplicação de índice. Fonte: Composição própria.....	66
Tabela 12. Determinação do inversor a ser utilizado. Fonte: Composição própria.....	69
Tabela 13. Determinação do suporte a ser utilizado. Fonte: Composição própria.....	70
Tabela 14. Parâmetros adotados no estudo de caso. Fonte: Composição própria.....	71
Tabela 15. Fluxo de caixa do projeto. Fonte: Composição própria.....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIE	Agência Internacional da Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
°C	Grau Celsius, unidade de temperatura
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
cm <sup>2</sup>	Centímetro Quadrado, Unidade de comprimento
CEB	Companhia Energética de Brasília
CIGS	Célula solar composta de cobre, índio, gálio e selênio
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoa Física
DSV	Dispositivo de Seccionamento Visível
EUA	Estados Unidos da América
eV	Elétron Volt
FCA	Fluxo de Caixa do Acionista
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
H <sub>2</sub>	Átomo de Hidrogênio
He	Átomo de Hélio
Icc	Corrente de Curto Circuito
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
J	Joule, Unidade de Energia
K	Kelvin, Unidade de temperatura
k	Taxa comparativa
kg	Kilograma, Unidade de massa
km	Kilômetro, Unidade de comprimento
kV	Kilo Volt, Unidade de tensão
kW	Kilo Watt, unidade de Potência
kWh	Kilo Watt Hora, Unidade de Energia
kWh/ano	Kilo Watt Hora por ano, Unidade de Energia em um ano
kWh/m <sup>2</sup>	Kilo Watt Hora por metro quadrado, Unidade de Radiação Solar
LCD	Liquid Crystal Display
µm	Micro metro, Unidade de comprimento
Min	Minuto, unidade de tempo
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MW	Mega Watt, Unidade de potência
NTD	Norma Técnica de Distribuição
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPAEP	Organização Árabe dos Países Exportadores de Petróleo
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
P	Potência
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
REN	Resolução Normativa
R\$/MWh	Reais por Mega Watt hora, Unidade de custo por potência
R\$/kW	Reais por kilo Watt, Unidade de custo por potência
TIR	Taxa Interna de Retorno
V	Tensão
VOC	Tensão de Circuito Aberto
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watt, unidade de potência
Wh/m <sup>2</sup>	Watt hora por metro quadrado, Unidade de Radiação Solar

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1. DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA .....	20
2.2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	20
<b>2.2.1. Aspectos regulatórios para a implantação de geração distribuída ...</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2 Geração distribuída e projeto .....</b>	<b>25</b>
2.2.2.1. Prós e Contras .....	258
<b>2.2.3. Geração solar fotovoltaica .....</b>	<b>32</b>
2.2.3.1. Energia solar fotovoltaica .....	33
2.2.3.2. Efeito fotoelétrico.....	33
2.3. SISTEMA PARA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA.....	34
<b>2.3.1. Célula fotovoltaica .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.2. Módulo fotovoltaico .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.3. Estrutura de suporte.....</b>	<b>43</b>
<b>2.3.4. Inversores .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.5. Proteção.....</b>	<b>45</b>
<b>2.3.6. Medidores .....</b>	<b>46</b>
2.4. NORMAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	47
2.5. VIABILIDADE ECONÔMICA.....	47
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
3.1. MATERIAIS .....	49
<b>3.1.1. Localização .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.2. Irradiação solar.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1.3. Normas de GD .....</b>	<b>52</b>
<b>3.1.4. Horas de insolação diária no Brasil.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1.5. Ferramentas de engenharia econômica .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.6. Medidor .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.7. Módulo fotovoltaico .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.8. Inversor .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.9. Suporte.....</b>	<b>57</b>

3.1.10. Consumo de energia mensal .....	57
3.2. MÉTODOS.....	58
3.2.1. Cálculo da média do consumo mensal .....	59
3.2.2. Custo de disponibilidade.....	59
3.2.3. Potência do sistema fotovoltaico .....	60
3.2.4. Escolha do painel fotovoltaico.....	60
3.2.5. Quantificação dos módulos fotovoltaicos .....	61
3.2.6. Posicionamento e arranjos dos módulos fotovoltaicos .....	61
3.2.7. Escolha do inversor .....	61
3.2.8. Escolha da estrutura suporte.....	62
3.2.9. Atratividade econômica do projeto .....	62
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
4.1. RESULTADOS .....	64
4.1.1. Cálculo da média do consumo mensal .....	64
4.1.2. Custo de disponibilidade.....	64
4.1.3. Potência do sistema fotovoltaico .....	65
4.1.4. Escolha do painel fotovoltaico.....	65
4.1.5. Quantificação dos módulos fotovoltaicos .....	66
4.1.6. Posicionamento e arranjos dos módulos fotovoltaicos .....	67
4.1.7. Escolha do inversor .....	68
4.1.8. Escolha da estrutura suporte.....	69
4.1.9. Atratividade econômica do projeto .....	70
4.2. DISCUSSÃO.....	73
4.2.1. Custo do sistema .....	73
4.2.2. Análise do payback.....	73
4.2.3. Meios de diminuição dos custos .....	73
4.2.4. Produção nacional dos componentes.....	75
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A fundação de qualquer sociedade, desde que se tem registro nos primórdios da humanidade, se baseia na utilização de energia. Ela é responsável pela manutenção da vida como a conhecemos hoje e como nossos antepassados viveram há milhares de anos. Atualmente, mais do que nunca, a energia se faz imprescindível para qualquer nação e, por isso, é um assunto que deve ser tratado amplamente. (Jenkins, et. al., 2010).

O crescimento e desenvolvimento das sociedades são acompanhados pelo aumento de suas necessidades. A energia é uma necessidade, o mundo é dependente da energia elétrica, que proporciona desenvolvimento econômico, conforto, melhor qualidade de vida, comunicação em tempo real, e vários outros benefícios.

Tem sido observado ao longo dos últimos anos um maior debate e um maior engajamento da população no que diz respeito à sustentabilidade. Há o crescimento da percepção dos prejuízos ao meio ambiente, como, por exemplo, a extinção de espécies. Dadas as circunstâncias de aquecimento global, aumento da preocupação com o futuro do planeta terra, nota-se a necessidade de se alterar o paradigma da geração de energia elétrica atual, sem que haja redução no desenvolvimento mundial.

As fontes fósseis de energia predominam até hoje na matriz energética mundial e de todos os países individualmente. Em 2001, o mundo consumiu quase 80% de energias fósseis em um total de 10,2 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo. A principal delas é o petróleo (35% do total), mas as parcelas de carvão (23%) e gás natural (22%) também são bastante significativas. (GOLDEMBERG, J.; LUCON, O., 2007). A grande dependência deste tipo de energia provocou, nas últimas décadas, mudanças climáticas globais. As emissões de gases poluentes como o dióxido de carbono, resultante da combustão de combustíveis de origem fósseis, têm provocado o aquecimento da atmosfera (efeito estufa). Dessa forma, a geração de energia elétrica nos moldes atuais vai de encontro ao objetivo de se desenvolver um mundo mais sustentável.

Nesse contexto surgem, como proposta de solução, as fontes alternativas de energia elétrica, que afetam pouco o meio ambiente se comparadas à forma de



geração convencional. As fontes renováveis, como eólica, solar e biomassa, se apresentam como solução para garantir o suprimento da demanda energética mundial.

O fato de que o Brasil tem muitos recursos hídricos incentiva a geração de energia elétrica através de grandes usinas hidrelétricas. Contudo, a geração de energia de forma centralizada possui suas peculiaridades, uma vez que geralmente as grandes usinas estão localizadas distante dos centros consumidores, precisando assim de grandes linhas de transmissão, as quais contam com grandes perdas de energia.

O Brasil está situado em uma zona de insolação bastante elevada, o que reitera as possibilidades de seu aproveitamento. Este estudo analisa em especial a Geração Solar Fotovoltaica. Nesse tipo de geração, a fonte de energia utilizada é o sol que é uma fonte de energia limpa, inesgotável e, ainda, disponível em todas as partes do globo terrestre.

A Geração Solar Fotovoltaica pode ser utilizada para gerar energia de duas formas. De forma isolada, onde a energia produzida é consumida pela carga e o excedente é acumulado em baterias; ou na forma de Geração Distribuída (GD), onde a energia é consumida pela carga e o excedente é inserido na rede elétrica existente. Gerar energia dessa forma altera o paradigma dos últimos anos, que se baseia na existência de uma central geradora de energia que fornecia a energia para as cargas. No cenário de utilização da GD, existirá a central geradora, porém as cargas poderão produzir parte ou a totalidade da energia necessária às suas necessidades, e ainda injetar o excedente produzido na rede elétrica.

A inserção de geração distribuída fotovoltaica em residências de baixa tensão é composta de certa complexidade e que deve ser desmembrada e compreendida precisamente. Além disso, para que se conheça a viabilidade econômica da mesma é necessário que haja o dimensionamento e estudo do caso em questão.

## 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Geração distribuída é um conceito novo para a maioria dos brasileiros. Muitos não sabem do que se trata, como funciona, como deve ser implementada. Por ser uma demanda atual há quantidade reduzida de estudos na área, sendo que esta quantidade se restringe ainda mais, quando se verificam estudos na região de Brasília. Destacando-se a importância, já que o estudo é realizado em uma área residencial com grandes potenciais de utilização GD fotovoltaica, pois a população local dispõe, em geral, de níveis de renda elevados e disponibilidade de área no telhado para alocação das placas solares.

O objetivo desse estudo é o entendimento dessa modalidade de geração, suas vantagens e desvantagens, os mecanismos envolvidos na implantação da geração distribuída solar fotovoltaica e análise da atratividade econômica através de um estudo de caso. Dessa forma, serão estudados a legislação envolvida e que deverá ser consultada, os dispositivos elétricos necessários, a forma de funcionamento de sistemas fotovoltaicos, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico e sua viabilidade econômica. Aspectos necessários para a instalação de geração distribuída fotovoltaica em uma residência de baixa tensão.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Irão ser abordados neste capítulo o histórico que levou a preocupação com a diversificação da matriz energética mundial, o que é geração distribuída, os aspectos regulatórios envolvidos, os prós e contras da GD, a geração solar fotovoltaica, os equipamentos elétricos necessários para a utilização da GD fotovoltaica e algumas técnicas para análise de viabilidade econômica de um investimento.

### 2.1 DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA

Em Outubro de 1973, quando inicia-se a guerra entre Israel, Egito e Síria, os seis países exportadores do Golfo, reunidos em Genebra, elevam unilateralmente o preço do *Arabian Light* (principal companhia de petróleo da Arábia Saudita) de 2,989 dólares para 4,119 dólares. Nos dias que se seguem, a Organização Árabe dos Países Exportadores de Petróleo decide um embargo às exportações destinadas aos aliados de Israel. Dois meses mais tarde, dezembro de 1973, houve uma nova alta do preço de referência: 11,651 dólares. Depois de cinco anos de relativa estabilidade, um acirramento de relações leva os preços a mais de 35 dólares o barril no decorrer do quarto trimestre de 1979: a revolução iraniana e a decisão saudita de limitar sua produção faz com que os operadores fiquem irritados. Eles se arrojam nos mercados, os quais fogem de qualquer controle. Os países importadores, membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, reagem com muita rapidez a essas elevações de preço. Desde 1974, no quadro da Agência Internacional da Energia que acabam de criar, eles chegam a um acordo sobre o modo como reduzir a parte do petróleo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo em seus abastecimentos energéticos. Alguns objetivos foram traçados, entre eles a diversificação da matriz energética. (MARTIN, 1992).

A percepção de um horizonte limitado para a economia do petróleo, além da localização concentrada das reservas conhecidas em poucos países do Oriente Médio, motivaram esforços do melhor aproveitamento das energias renováveis.

A dependência das fontes energéticas fósseis aliada à preocupação com sustentabilidade vem dando suporte a um grande crescimento em investimentos na diversificação da matriz energética e principalmente em torná-la renovável.

Devido às dificuldades de acesso e às grandes distâncias envolvidas, além das implicações de impacto ambiental decorrentes da atual solução de geração de

energia no Brasil, o alto custo do combustível frente aos compromissos assumidos para a universalização do atendimento de energia elétrica leva à busca de tecnologias que permitam a autosuficiência energética local, preferencialmente por fontes locais renováveis e ambientalmente limpas. Cabe ressaltar que, em junho de 2008, o ministro de Minas e Energia reafirmou o compromisso do governo federal de garantir o acesso à energia elétrica a todos os brasileiros, momento em que atribuiu à energia solar e às pequenas centrais hidrelétricas posição de destaque para a consecução desse objetivo (Secretaria de Comunicação da Presidência da República, 2008).

Dentro desse contexto de diversificação da matriz energética, surge a necessidade de elaboração de mecanismos que estimulem o desenvolvimento deste processo. Dentre esses mecanismos está a geração distribuída.

## 2.2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Para o entendimento da ligação entre geração distribuída e diversificação da matriz energética, primeiramente deve-se entender o conceito da mesma, o qual será mencionado a partir de diferentes autores:

“GD é definida como um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição da geração de energia elétrica em determinada região”. (Severino, 2008).

“Produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

- Hidrelétrico, com capacidade instalada superior a 30 MW; e
- Termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75%. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética”. (Decreto número 5.163/2004).

“GD é o tipo de geração não centralizada localizada próxima dos consumidores, independentemente da potência instalada”. (INEE, s. d.).

“Compreende todas as instalações de geração que estão conectadas diretamente à rede de distribuição ou do lado do consumidor e que têm base no uso de fontes renováveis de energia ou de tecnologias para geração combinada de calor e energia, não excedendo o tamanho aproximado de 10 MW”. (5<sup>th</sup> Research Framework Programme of European Union, 2002).

“As tecnologias de GD têm evoluído para incluir potências cada vez menores. A GD inclui: cogeneradores, geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, painéis fotovoltaicos e pequenas centrais hidrelétricas”. (INEE, 2007).

“GD são tecnologias de geração de pequeno porte, tipicamente inferior a 30 MW, estrategicamente localizadas próximas dos consumidores ou centros de carga, proporcionando benefícios aos consumidores e suporte para a operação econômica das redes de distribuição existentes”. (Gas Research Institute, 1999).

Nas definições apresentadas, pode-se ver, com bastante facilidade, que cada autor ou instituição utiliza a definição mais adequada à sua realidade ou aquela que satisfaça a determinadas necessidades. Cada definição apresentada traz informações importantes acerca de um ponto de vista pelo qual a GD é vista. Dessa forma, a chamada geração distribuída trata do desenvolvimento de conexões de pequenos geradores próximos às unidades consumidoras a fim de aliviar a carga das centrais geradoras, sendo fundamentalmente caracterizados por fontes renováveis de energia e de baixa potência instalada.

### **2.2.1. Aspectos regulatórios para a implantação de geração distribuída**

Para utilização da GD em uma unidade consumidora foi definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica – regulamentação específica. No que tange à normatização sobre geração distribuída, a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012) é a formalização mais atual dos direitos e deveres que cada agente do sistema de distribuição deve seguir para assegurar que as denominadas mini e micro gerações distribuídas estejam regularmente estabelecidas neste novo cenário de faturamentos e compensações. Primeiramente, cabe definir o que são as chamadas microgeração e minigeração distribuídas no âmbito do sistema de distribuição. A definição de microgeração distribuída engloba geradores com

potência ativa instalada de até 100kW, localizados nas unidades consumidoras. E a fonte de energia deve pertencer ao leque das consideradas alternativas, são elas: solar, eólica, biomassa, hidráulica e cogeração qualificada. Quanto à minigeração distribuída, esta difere do conceito anterior simplesmente no limite da potência nominal do gerador que, por sua vez, varia entre 100kW e 1MW.

A energia proveniente de geração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade. Esse sistema é também conhecido pelo termo em inglês *net metering*.

*Net metering* é um sistema de compensação de energia elétrica, cujo papel é garantir que a energia gerada por estas unidades seja abatida do seu consumo. Porém, existem particularidades no mesmo ciclo de faturamento, ou no ciclo subsequente, dependendo da quantidade relativa de geração e do grupo ao qual pertence a unidade. Em outras palavras, existem dois casos: no primeiro, a geração não supera o consumo no ciclo de faturamento e no segundo, a geração supera. Já no segundo caso, em que o faturamento seria negativo, a energia remanescente será utilizada pela distribuidora para atender a outras unidades e, no ciclo de faturamento subsequente, este mesmo valor de consumo será abatido do faturamento, obedecida a diferença entre postos de tarifação quando cabível. Embora de definição relativamente simples, alguns adendos devem ser feitos para melhor entender o funcionamento do sistema. Começando do fim para o início: o consumo a ser feito posteriormente, no segundo caso, deve ser pela mesma unidade ou por outra previamente cadastrada com o mesmo CPF ou CNPJ da geradora dos créditos e cabe ao consumidor definir a ordem de prioridade das unidades participantes. Outro ponto importante é que a potência ativa a ser injetada na rede através de uma mini ou microgeração distribuída será contabilizada oficialmente pelo sistema de compensação de energia elétrica a título de empréstimo gratuito, de forma que a unidade consumidora receberá um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida em até 36 meses. Finalmente, a razão de ter-se citado a diferença entre os postos de tarifação para caracterizar a quantia em energia a ser consumida posteriormente pela unidade é que, dependendo da sua classificação em Grupo A ou B, o sistema irá se atentar para a razão entre as tarifas dos postos em que houve excesso de geração ou de consumo. Os consumidores do Grupo A

englobam, em sua maioria, indústrias e estabelecimentos comerciais. Eles são atendidos por tensão igual ou superior a 2,3kV e qualificados em tarifa binômia, enquanto as unidades consumidoras pertencentes ao Grupo B, caracterizadas por tensão menor que 2,3kV, são regidas por uma tarifa monômia. Geralmente as unidades residenciais são pertencentes ao Grupo B e, por isso, possuem suas tarifas aplicáveis apenas ao consumo de energia ativa. No Grupo A, diferentemente, a tarifa é aplicável à potência ativa (demanda contratada) e a energia ativa (ANEEL, 2010).

A micro ou minigeração distribuída é conectada à rede por meio de uma unidade consumidora. Assim, o tratamento regulatório acerca das responsabilidades para conexão é similar àquele dado a unidades consumidoras convencionais. Portanto, aplica-se o princípio da Participação Financeira, regulamentado na Seção X do Capítulo III das Condições Gerais de Fornecimento (Resolução 414/2010). Vale ressaltar que os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica são arcados integralmente pela distribuidora acessada (Artigo 5º, Resolução 482, 2012).

Vale lembrar que a regra aprovada pela ANEEL é válida para geradores que utilizem fontes renováveis de energia como a hídrica, solar, biomassa e eólica. Com isso, a Agência espera oferecer melhores condições para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico brasileiro, com aproveitamento adequado dos recursos naturais e utilização eficiente das redes elétricas.

A distribuidora deve disponibilizar para seus consumidores as normas técnicas relacionadas à conexão de microgeração e minigeração ao seu sistema de distribuição. Deve também, respeitar os prazos estabelecidos pela REN 482/2012, caso o consumidor queira conectar sua unidade geradora à rede, desde o pedido de conexão da unidade consumidora até a vistoria final para ser autorizada esta conexão.

As principais condições de acesso à rede são as adequações do sistema de medição dentro do prazo estabelecido da vistoria, sendo que os custos referentes à adequação do sistema de medição necessário, para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado. A instalação do sistema de geração deve obter os equipamentos que garantem a

qualidade da conexão com a rede, para que não haja perturbação no sistema de distribuição. No que tange ao sistema de medição, a única diferença em relação às unidades consumidoras sem geração, no mesmo nível de tensão, é a medição bidirecional de energia elétrica ativa. A fim de fornecer mais opções de medição, podem-se utilizar dois medidores unidirecionais, um para aferir a energia consumida, outro para aferir a energia gerada.

Além disso, outro aspecto que impacta a geração distribuída diretamente é o custo de disponibilidade, no qual o art. 98 da Resolução 414/2011 da ANEEL define que é o valor mínimo faturável, aplicável ao faturamento de unidades consumidoras do Grupo “B”, de acordo com os limites fixados por tipo de ligação:

- monofásica: valor em moeda corrente equivalente a 30kW/h;
- bifásica: valor em moeda corrente equivalente a 50kW/h;
- trifásica: valor em moeda corrente equivalente a 100kWh.

Os valores mínimos serão aplicados sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos citados acima. Assim, mesmo que o consumidor do Grupo “B”, participante do sistema de compensação, injetar energia à rede e tiver seu consumo zerado em algum mês a sua conta de energia não terá o valor zerado. E sim, o valor do custo de disponibilidade referente a seu tipo de ligação.

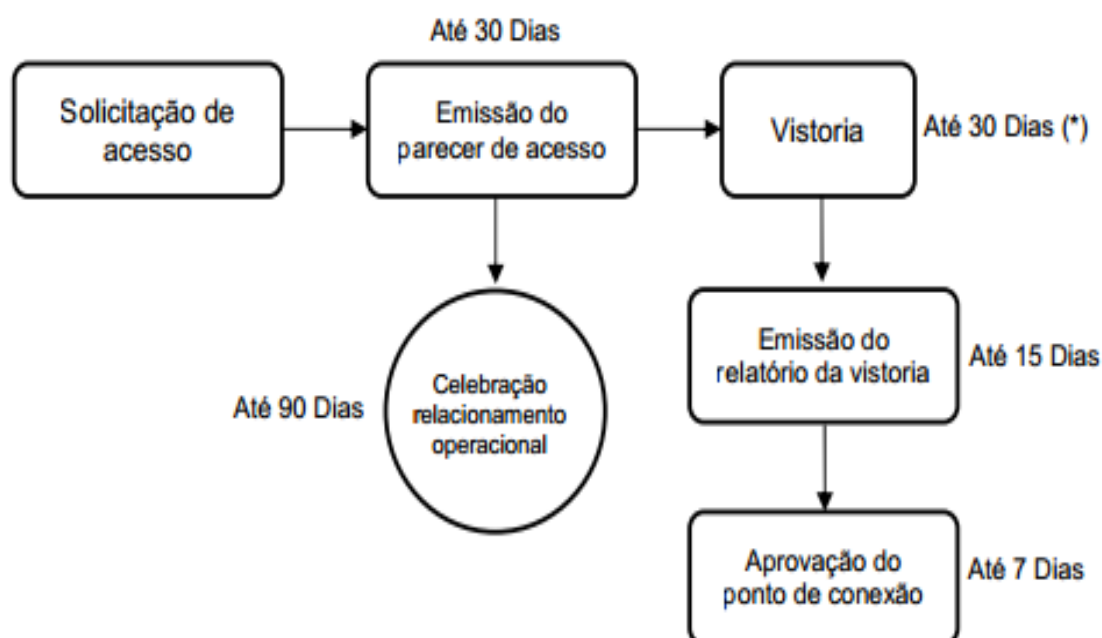
Sendo o presente estudo realizado para o Distrito Federal, sabe-se que a concessionária de energia aqui responsável é a Companhia Energética de Brasília. Desta feita, deve-se ter conhecimento dos mecanismos que a mesma reserva para que a GD seja regulamentada.

Em dezembro de 2012, a CEB disponibilizou a Norma Técnica de Distribuição 6.09. Essa norma técnica intitulada de Requisitos para a conexão de acessantes ao Sistema de Distribuição CEB-D – conexão em baixa e média tensão cumpre os requisitos estabelecidos pela Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL e estabelece critérios e procedimentos técnicos exigidos pela CEB para a conexão de consumidores atendidos em baixa tensão que façam a adesão ao sistema de compensação de energia, em conformidade com as recomendações regulatórias existentes para o assunto no setor elétrico nacional (CEB, 2012).

São apresentados os procedimentos de acesso, padrões de projeto, critérios técnicos e operacionais e o relacionamento operacional envolvido na conexão de consumidores, atendidos em baixa tensão, que façam a adesão ao sistema de



compensação de energia. Nela é apresentado fluxograma resumido com as etapas necessárias e seu limite para que a CEB os realize. Tal fluxograma pode ser visualizado na Figura 1 de fundamental entendimento para utilização da GD.



(\*) a partir da solicitação de vistoria por parte do acessante.

Figura 1. Etapas de Acesso de Microgeradores ao Sistema de Distribuição da CEB-D. Fonte: NTD 6.09 CEB, 2012.

### 2.2.2 Geração distribuída e projeto

O projeto de geração distribuída deverá ser executado de forma a seguir as normas estabelecidas pela distribuidora e visar o máximo retorno econômico para o proprietário. Sendo assim, devem ser feitos levantamentos prévios para sua elaboração.

Primeiramente, deve-se escolher a forma de geração distribuída a ser instalada. O estudo a ser realizado neste trabalho será referido à geração solar fotovoltaica.

Escolhida a fonte de geração, pode-se determinar a fonte da mesma. Para geração solar, o sol será a fonte primária. O sol incide radiações de forma variável ao redor do globo terrestre, sendo assim, a radiação irá ser diferenciada a partir do

local e do período a ser analisado. O estudo será realizado para Brasília, sendo assim a radiação para o Brasil e para o Centro-Oeste foram levantadas a partir da análise das figuras 2 e 3, as quais se referem às radiações solares para estes lugares. O período será dado pela média anual, já que não se deseja analisar um período específico. Portanto, a variável a ser estudada e observada é a radiação solar média anual para o Brasil e mais especificamente para o Distrito-Federal, no qual se localiza Brasília.

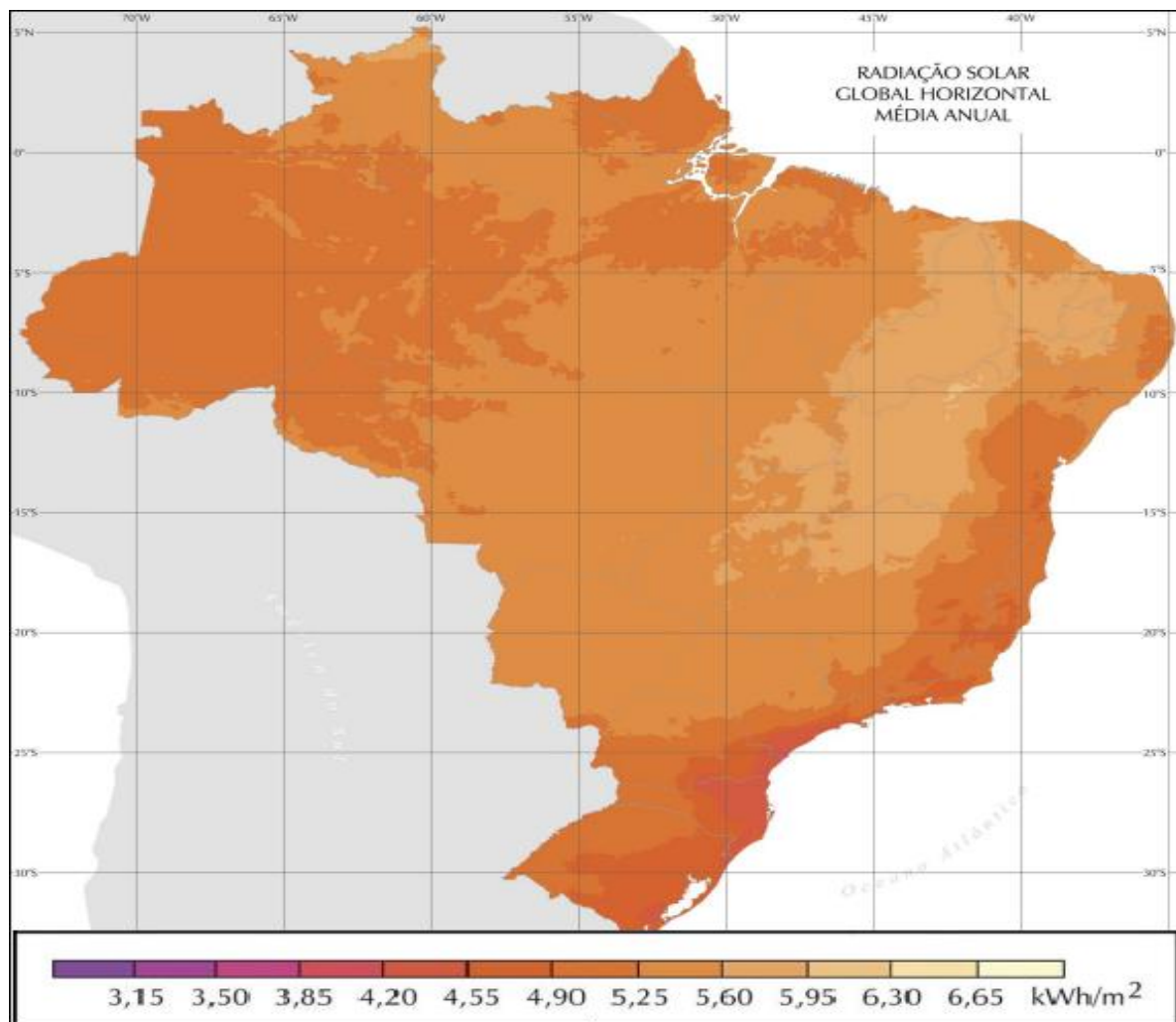
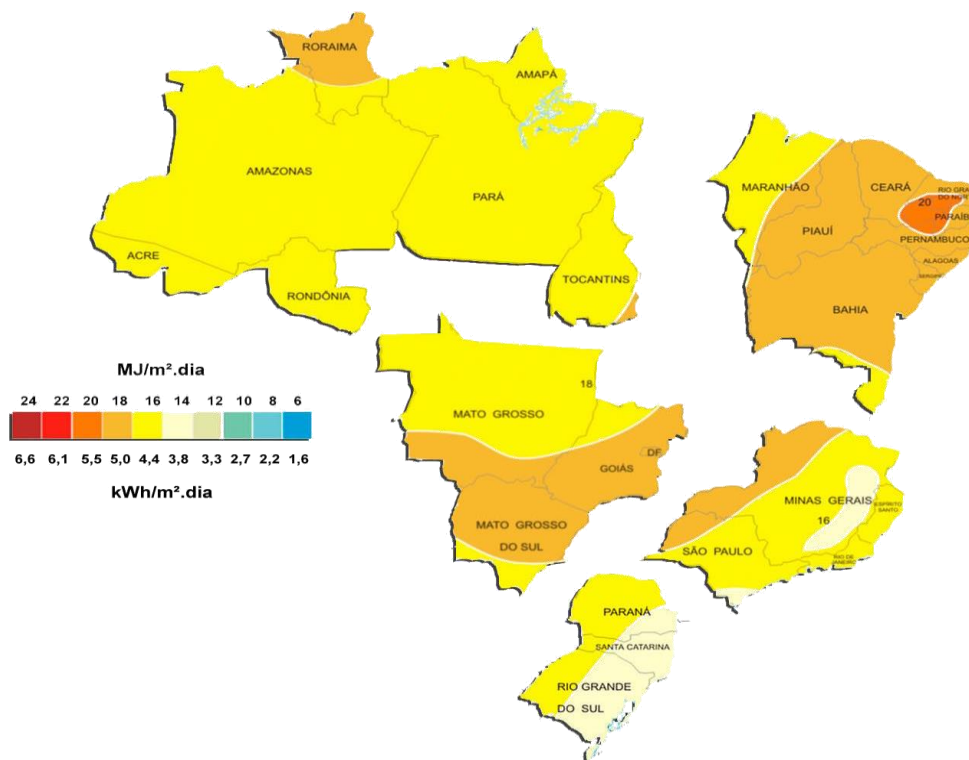


Figura 2. Média Anual da Radiação Solar no Brasil. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, 2006.



**Figura 3. Média Anual da Radiação Solar por Regiões no Brasil. Fonte: Adaptação do Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, 2006.**

O índice de radiação solar do Brasil é um dos mais altos do mundo. Grande parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima a linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia. A região nordeste do Brasil, por estar ainda mais próxima do que as demais regiões, é a que possui maior área de radiação solar e também aonde ela é mais eficaz, variando entre 5.700 e 6.100 Wh/m<sup>2</sup> dia (Brasil Solair, 2012).

A radiação solar média anual para o Centro-Oeste, que é a Região que abriga o Distrito Federal e dessa forma Brasília é de 5kWh/m<sup>2</sup>.dia. Pode ser considerada uma média alta com grande potencial para aproveitamento.

Definida a fonte, o local, deve-se verificar qual é a concessionária local e sua forma de tarifação. Para Brasília, tem-se a CEB e sua tarifa pode ser encontrada na conta de luz que mensalmente é cobrada e chega às residências.

As tarifas de energia elétrica são definidas baseadas na demanda de potência e no consumo de energia. A demanda de potência é medida em quilowatt e corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora, durante um intervalo de tempo especificado normalmente 15 minutos e é faturada pelo maior valor medido durante o período de fornecimento, em 30 dias.

O consumo de energia é medido em quilowatt-hora (kWh) e corresponde ao valor acumulado pelo uso da potência elétrica disponibilizada ao consumidor ao longo de um período de consumo, também em 30 dias. As tarifas de demanda de potência são fixadas em reais por quilowatt (R\$/kW) e as tarifas de consumo de energia elétrica são fixadas em reais por megawatt-hora (R\$/MWh) e especificadas nas contas de energia, mensalmente, do consumidor em reais por quilowatt-hora. Dependendo da estrutura tarifária e da modalidade de fornecimento na qual o consumidor está enquadrado irá definir o tipo de tarifa que este pagará (ANEEL, 2005). Dessa forma, a tarifação será resultado da diferença entre a potência consumida pela unidade e a potência injetada pela geração e baseada na estrutura tarifária que pode ser visualizada na conta de energia elétrica.

Por fim, com a definição da estrutura tarifária, deve-se instalar a GD e para tal, deve-se entender como funciona, as partes integrantes da mesma, forma de instalação, material necessário.

#### 2.2.2.1 Prós e contras

A GD pode ser vista como uma via de diversificação energética, porém há uma série de características que fazem dela uma iniciativa de grande importância:

- Baixos impactos ambientais: Os impactos ambientais para a energia gerada por fontes renováveis são mínimos. Não há nenhuma emissão na produção de energia com estes sistemas.

- Geração de empregos: Estudos atuais mostram boas perspectivas para a geração de emprego pela cadeia produtiva. Por exemplo: de acordo com a publicação americana National Solar Jobs Census, em 2011 a indústria americana gerou cerca de 100 mil empregos diretos, a maior parte concentrada em empresas de instalação dos sistemas fotovoltaicos. Como a potência fotovoltaica total instalada nos EUA em 2011, de acordo ao U.S. Solar Market Insight, foi da ordem de 1.855 MW, calcula-se que houve uma oferta de 53 empregos por MW instalado.

- Nesse tipo de arranjo, as unidades podem ser construídas de forma bastante eficiente e podem operar com um número relativamente pequeno de pessoal.

- Eficiência energética e uso racional de energia, as energias disponibilizadas de forma espontânea e sem custos da natureza podem ser utilizados;

- Políticas de desregulamentação e competição;
- Aumento da oferta nacional de energia, a implantação de GD aumenta a quantidade de energia;
- Disponibilidade plantas de geração modulares;
- Facilidade em encontrar locais para pequenos geradores;
- Tempos curtos de construção e custos de capitais baixos de pequenas plantas;

-Geração pode ser situada próximo à carga, o que reduz os custos de transmissão. No que diz respeito à estrutura tarifária, à medida que o nível de tensão diminui no sistema elétrico, o preço da energia aumenta, já que este é definido pela acumulação de custo advinda de serviços de transmissão e distribuição. Dessa forma, a energia advinda de uma geração mais próxima da carga tem um custo razoavelmente menor de uso do sistema de transporte (transmissão e distribuição), o que faria seu preço sobressair na competição com o preço da energia por geração convencional (Jenkins, et. al., 2000).

- Opções de operação;
- A redução de custos associados a perdas técnicas;
- Unidades geradoras de menor porte;
- Sujeitas a menor entraves burocráticos;
- Diminuição do custo da tarifa;
- Desenvolvimento econômico local.

Há uma série de fatores que elevam a utilização da GD como uma importante medida político-energética, porém não pode ser vista apenas pela ótica favorável, ou seja, devem ser elencados fatores que a tornam inviável e confrontá-los de forma que possa ser mensurado se os fatores positivos superam os negativos.

-Complexidade operacional introduzida pela geração distribuída na rede de distribuição, cuja operação, em especial no tocante aos sistemas de proteção e regulação de tensão requer rigoroso planejamento e supervisão, além do balanço geração.

-A energia que antes fluía em apenas um sentido, ou seja, da fonte geradora para a carga, agora pode assumir várias direções. Além do fluxo fonte para carga, pode ocorrer fluxo de energia de carga para carga, e até mesmo de cargas para a fonte.

-Durante a carga mínima a tensão recebida por todos os consumidores estará pouco abaixo do valor máximo permitido. Se a geração distribuída é conectada ao final do circuito, então o fluxo no circuito será alterado, e, portanto, o perfil de tensão. O caso mais oneroso é provável que aconteça quando a carga do consumidor na rede é mínima e a saída da geração distribuída deve fluir de volta em direção à fonte (Jenkins, et. al., 2000). Essa situação pode ocorrer durante o período de férias de verão. Nessa época, muitos consumidores que têm GD para suprir aparelhos de ar condicionado, podem viajar. Dessa forma, o consumo será muito reduzido, e como o sistema continuará gerando energia haverá elevação da tensão durante o despacho de energia para a carga mais próxima.

-Considerando um caso em que a GD fornece uma parcela considerável da carga do alimentador de distribuição, se houver a desconexão súbita dessa fonte de energia, o sistema será suprido completamente pela geração central. Dessa forma, a queda de tensão do sistema aumenta instantaneamente. Caso os equipamentos utilizados para regulação de tensão no alimentador tenham sido ajustados levando em conta a GD, a desconexão súbita pode fazer com que o sistema opere com faixa de fornecimento de tensão fora do valor adequado.

-Com a inserção da geração distribuída, os circuitos passam a ser energizados de diversos pontos diferentes. Com isso, haverá alteração nos procedimentos de manutenção. Os sistemas de isolação e aterramento deverão estar adequados visando maior segurança. Nota-se, também, que será mais difícil ter interrupções para manutenções planejadas. Isso causa outro problema, pois para as linhas com geração distribuída se tornam menos flexíveis no que tange às rotinas de manutenção.

-Os dimensionamentos de transformadores de distribuição e de seção de condutores de alimentadores tornam-se fáceis de serem feitos, caso o fluxo de potência seja unidirecional (Shayani, 2010). A partir do momento em que a GD é instalada junto às cargas, o fluxo de potência pode deixar de ser unidirecional, dessa forma, as facilidades de dimensionamento citadas anteriormente são alteradas. Ou seja, devem ser feitos cálculos para possíveis modificações dos mesmos, dependendo da geração estabelecida.

-A intermitência da geração de energia elétrica pelos sistemas renováveis de fácil instalação, como o solar fotovoltaico e eólico. Isso ocorre devido a constante

variação das condições climáticas e do nível de irradiância global causando diminuição da potência gerada. Além disso, a intermitência diminui consideravelmente a previsibilidade da geração de energia elétrica destes sistemas. Isso gera dificuldades para o planejamento do controle operativo da distribuição e da transmissão. Logo, existe uma demanda por desenvolvimento tecnológico e computacional na área de meteorologia, visando assim diminuir os riscos de previsão de geração dos sistemas.

-Para os painéis fotovoltaicos tem-se a baixa eficiência energética de geração. As melhores placas fotovoltaicas existentes no mercado, as de silício monocristalino, possuem eficiência energética de 15 a 18%, valores bem menores que os de outras fontes tradicionais como as termoeletricas, com 38% (ABINEE, 2012).

-Ainda para os sistemas fotovoltaicos, do ponto de vista econômico, encontram-se as maiores barreiras para o desenvolvimento e popularização dessa fonte de energia. O alto custo das placas fotovoltaicas, dos inversores e de outros componentes necessários ao sistema tornam os sistemas fotovoltaicos pouco competitivos em relação às outras fontes e às tarifas das distribuidoras, apesar de todos os seus benefícios. O fato de não existir uma cadeia produtiva nacional e nenhum incentivo direto para o desenvolvimento dessas tecnologias no país, a fim de aproveitar o fato de o Brasil ser um dos maiores produtores de silício bruto do mundo, obriga a população e empresas interessadas a importar esses produtos. Além disso, sobre os produtos importados incidem altos impostos, que aumentam ainda mais esse custo (ABINEE, 2012).

Os contras para o desenvolvimento e implantação da GD partem da falta de estudo e pesquisas, tecnologia defasada e pouco explorada. Grande parte dos aspectos que cerceiam seu desenvolvimento poderiam ser evitados se fossem melhor estudados e compreendidos, por exemplo, o fato de haverem correntes no contra fluxo poderiam ser facilmente evitadas com a inserção de um bom controlador de carga. Em suma a utilização da GD permitirá não só um aumento da oferta e diversidade da matriz energética, como também um grande desenvolvimento na tecnologia e indústria nacional.

### 2.2.3. Geração solar fotovoltaica

A energia do Sol é originada em sucessivas reações de fusão nuclear. A cada segundo, aproximadamente  $6 \times 10^{11}$  kg de  $H_2$  são convertidos em He, com consumo aproximado de massa de  $4 \times 10^9$  kg e com liberação energética de  $4 \times 10^{20}$  J (Shayani, 2006). De toda essa energia, cerca de 99% são emitidos na forma de radiação eletromagnética, sendo que cerca de 9% são de radiação ultravioleta, 40% localizam-se na região visível do espectro e cerca de 50% são de radiação infravermelha, com comprimentos de onda que variam entre 0,2  $\mu m$  e 3,0  $\mu m$  (Hinrichs e Klinbach, 2003). Sabendo que a massa total do Sol é de aproximadamente  $2 \times 10^{30}$  kg, a projeção para a sua vida útil é de, no mínimo, 10 bilhões de anos (Shayani, 2006), o suficiente para se considerar, ainda por muito tempo, o Sol como fonte inesgotável de energia e sem nenhum risco de contingenciamentos técnicos, econômicos, militares e/ou políticos.

A Terra tem raio médio de 6.400 km, com superfície de interceptação da luz solar de aproximadamente  $1,28 \times 10^8$  km<sup>2</sup> e recebe, permanentemente sobre a superfície iluminada,  $1,748 \times 10^{11}$  MW. Com isso, anualmente, cerca de  $1,531 \times 10^{18}$  kWh de energia solar atingem a Terra. Essa energia corresponde a mais de 102.000 vezes o consumo mundial de energia elétrica, considerando-o igual a  $1,50 \times 10^{13}$  kWh/ano, correspondente ao consumo mundial de eletricidade em 2005 e corresponde a mais de 16.600 vezes o consumo mundial de energia, considerando-o igual a  $9,20 \times 10^{13}$  kWh/ano, correspondente ao consumo mundial de energia em 2005 (Ministério de Minas e Energia, 2008). Isso significa dizer que, a cada 6 minutos, a Terra recebe energia solar equivalente a todo o seu consumo anual de energia elétrica e que, a cada 32 minutos, a Terra recebe energia solar equivalente a todo o seu consumo anual de energia. A radiação solar incidente sobre a Terra a cada período de três dias está associada à energia equivalente à armazenada em todas as fontes conhecidas de energia fóssil, como o petróleo, o gás natural e o carvão (Aldabó, 2002).

Com todo esse potencial, é possível que sejam concebidos sistemas de geração de energia elétrica que não sejam dependentes dos recursos fósseis e que utilizem somente a radiação solar como fonte energética, seja de forma direta, obtida diretamente dos raios solares, seja de forma indireta, pelo uso de ondas, marés,



ventos, força hidráulica e materiais de origem vegetal, como a biomassa, que são produzidos pelo Sol no processo da fotossíntese.

#### 2.2.3.1. Energia solar fotovoltaica

A geração de energia elétrica a partir da energia solar pode ocorrer de duas formas: (a) indiretamente, por meio do uso do calor para gerar vapor que, expandindo-se em turbina a vapor, aciona um gerador elétrico em uma usina termelétrica - constituindo os sistemas termo solares; (b) diretamente, por meio do uso de painéis fotovoltaicos - constituindo os sistemas fotovoltaicos. Com isso, é importante ressaltar que, no caso da energia solar, a mesma fonte de energia pode suprir duas diferentes formas de geração elétrica.

O presente estudo será referido ao uso de painéis fotovoltaicos. A geração fotovoltaica é uma tecnologia altamente modular, com ausência quase total de emissão de poluentes e de ruídos durante o funcionamento e baixa exigência de manutenção. O gerador fotovoltaico, usualmente conhecido por arranjo fotovoltaico, é constituído por módulos fotovoltaicos que, por sua vez, são constituídos por células fotovoltaicas, responsáveis pela conversão da radiação solar em eletricidade na forma de CC. Em um mesmo módulo, as células são conectadas eletricamente em série, e a quantidade de módulos conectados em série determinará a tensão de operação do arranjo fotovoltaico em CC. A corrente do arranjo é definida pela conexão em paralelo de módulos individuais ou de *strings*, ou seja, conjuntos de módulos conectados em série. A potência instalada do arranjo, usualmente especificada em corrente contínua, é dada pela soma das potências nominais individuais dos módulos. A energia é resultado de um fenômeno físico denominado efeito fotoelétrico.

#### 2.2.3.2. Efeito fotoelétrico

Devido à absorção da luz incidente sobre uma estrutura material condutora, surgirá uma diferença de potencial nos extremos dessa estrutura. Esse é o efeito fotoelétrico, que foi descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel no ano de 1839. A primeira célula solar de silício foi produzida em 1954 pelos laboratórios Bell. A partir do surgimento desse primeiro dispositivo, a tecnologia foi aperfeiçoada para

ser utilizada em aplicações espaciais e passou a ser utilizada em aplicações terrestres (Patel, 1999).

O efeito fotoelétrico pode ser explicado de forma simples como sendo a emissão de elétrons de um material a partir da incidência da luz solar sobre o mesmo. O fóton incide sobre o material e transfere energia suficiente para que os elétrons saiam do seu nível energético e passem a um nível energético mais alto. Quando isto acontece, o elétron deixa a banda de valência e passa para a banda de condução, onde poderá se movimentar livremente. No lugar em que existia o elétron na banda de valência, surge uma lacuna. Portanto, devido ao aumento de energia do elétron, tem-se um par elétron-lacuna. É possível utilizar este elétron livre para gerar corrente elétrica. Basta canalizá-lo para um circuito. Em uma estrutura contendo apenas silício, o par elétron lacuna se recombina e a energia absorvida pelo elétron é dissipada na forma de calor. É necessário, portanto, acelerar o elétron para fora do material. Se as células possuírem um campo elétrico permanente, esse processo de acelerar o elétron para fora do material pode ser realizado. É então feita a dopagem do material semiconductor dessas células para se obter o campo elétrico permanente necessário (Shayani, 2006). E, dessa forma, gerar energia elétrica.

### 2.3. SISTEMA PARA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Sistemas fotovoltaicos já fazem parte de nossas vidas. As aplicações vão desde pequenas aplicações como calculadoras e relógios de pulso até o fornecimento de eletricidade para as bombas de água, sinalizações em estradas, equipamentos de comunicações, satélites, casas móveis, medicina (para alimentar equipamentos médicos, purificadores de água, refrigeradores para vacinas), boias de navegação, iluminação pública, iluminação de jardins, iluminação de casas e aparelhos eletrodomésticos.

Eles podem ser classificados com a forma na qual serão utilizados e forma de ligação com a rede de distribuição.

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, também chamados sistemas isolados, são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica, ou não há interesse do consumidor em conectar-se a rede:

-Sistema fotovoltaico isolado doméstico: Nesse tipo de sistema a geração fotovoltaica é utilizada para suprir a demanda de eletricidade para residências,

comunidades e vilas. Suas cargas usuais são iluminação, refrigeração e outras pequenas cargas.

-Sistema fotovoltaico isolado não doméstico: Trata-se da aplicação da geração fotovoltaica isolada para fins comerciais. Ótima solução para fornecimento de energia para estações de telecomunicações isoladas, bombeamento de água, sistemas de navegação, dentre outros.

Os sistemas fotovoltaicos não autônomos, também chamados sistemas *grid tie*, são empregados em locais atendidos por uma rede elétrica:

-Sistema fotovoltaico conectado à rede de forma centralizada: Ao atuar nessa configuração, normalmente a geração fotovoltaica possui uma dimensão considerável (maior que 1 MW), em um local com valores anuais de irradiância altos, porém distante da carga. Sua conexão ao sistema interligado ocorre por meio da rede de transmissão e seus custos incluem os mesmos custos de interligação de um sistema de uma grande hidrelétrica, inclusive, apresenta as mesmas perdas por efeito Joule características da transmissão, transformação e distribuição;

-Sistema fotovoltaico conectado à rede de forma distribuída: Nesse caso, a geração fotovoltaica ocorre diretamente na unidade consumidora conectada à rede, podendo inclusive estar gerando energia para a própria rede de distribuição. Normalmente são conectados no lado do consumidor, de maneira integrada com a edificação em telhados e após o ponto de instalação do medidor da concessionária. Os sistemas autônomos ou não conectados a rede (*off grid*) exigem alguns equipamentos elétricos em comparação com o sistema convencional, já que ele deverá ser responsável por atender a carga. Esses equipamentos são:

- Controlador de carga e
- Baterias.

A utilização desses equipamentos encarece o custo da instalação, já que são equipamentos relativamente caros. As baterias possuem vida útil baixa (2 à 5 anos) necessitando serem trocadas, enquanto que os painéis fotovoltaicos possuem durabilidade média superior, cerca de 25 anos. O mercado de baterias é pouco diversificado, aumentando o custo para adquiri-las. Além disso, necessitam de manutenção periódica e seu descarte tem que ser feito com cuidado, já que envolve riscos de contaminação ambiental. Nesse tipo de sistema é comum que se use

banco de baterias, ou seja, são necessárias mais de uma bateria para compor a demanda necessitada. O controlador de carga não representa a problemática maior desse tipo de sistema, sendo considerado apenas o gasto extra que se teria.

Diante da problemática envolvendo o uso de baterias, o presente estudo irá focar a um sistema ligado diretamente à rede elétrica da distribuidora, não sendo utilizado bateria ou controlador de carga. Dessa forma, os elementos presentes no sistema serão:

- Células Fotovoltaicas;
- Módulos Fotovoltaicos;
- Estrutura de Suporte;
- Inversores
- Proteção e
- Medidores.

A montagem esquemática desses elementos pode ser visualizada na Figura 4 a seguir.



Figura 4. Elementos Elétricos necessários para instalação de Sistemas Fotovoltaicos. Fonte: Adaptação de figura presente em \_\_\_\_\_. <http://solvenergia.blogspot.com.br>, acesso em 10 de novembro de 2014.

### 2.3.1. Células fotovoltaicas

Sendo a menor componente do sistema, a célula fotovoltaica é implementada normalmente em dimensões de 12,5cm<sup>2</sup>, 15cm<sup>2</sup> e até 20cm<sup>2</sup>. Existe uma variedade grande de materiais usualmente utilizados na produção destas células, dentre eles o chamado filme fino e o silício cristalino, que agrega 80% da produção total dentre os países produtores atualmente. A implementação de células fotovoltaicas com silício cristalino pode ser desdobrada ainda em três tipos: silício monocristalino, silício policristalino e semicondutores compostos.

-Silício monocristalino: Material composto por pequenos cristais de silício com uma estrutura regular. Produzido por método de crescimento monocristalino e possui eficiência comercial entre 15% e 20%.

-Silício policristalino: Normalmente produzido por um processo de solidificação bidirecional. Sua popularidade vem crescendo à medida que seu custo de produção é menor que de outras células. Porém sua eficiência também é menor e varia em torno de 14%.

Embora o silício não seja o material que apresenta a maior eficiência de conversão, é o mais utilizado por ser uma tecnologia robusta e confiável (Shayani, 2006). Além disto, o Silício é o segundo elemento mais abundante da superfície da Terra, perfazendo mais de 25% da crosta terrestre.

Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício: a célula solar é o elemento básico para a transformação da radiação eletromagnética em energia elétrica e pode ser compreendida como um dispositivo semicondutor que produz uma corrente elétrica, quando exposto à luz.

Um semicondutor a zero Kelvin possui uma banda preenchida por elétrons, chamada de banda de valência e uma segunda banda de nível mais alto, chamada de banda de condução. Entre essas duas bandas existe uma banda, que os elétrons não podem ocupar, chamada de banda proibida ou *gap*. Para que o elétron passe da banda de valência para a de condução, uma quantidade mínima de energia é necessária, sendo uma constante característica para cada material. Desse deslocamento, dois tipos de portadores de carga são formados: o elétron, agora localizado na banda de condução ao invés da banda de valência, e uma lacuna, ou buraco, carregado positivamente.

Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons na faixa do visível, com energia suficiente, excitar os elétrons à banda de condução. Esse efeito, que pode ser observado em semicondutores puros, também chamados de intrínsecos, não garante por si só o funcionamento de células fotovoltaicas. Para obtê-las é necessária uma estrutura apropriada, em que os elétrons excitados possam ser coletados, gerando uma corrente útil.

Os elementos pertencentes ao grupo IV da tabela periódica, como silício e germânio, possuem como principal característica a presença de quatro elétrons de valência que se ligam aos vizinhos em ligações covalentes, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos penta valentes, como o fósforo e o arsênio, haverá um elétron em excesso para formar as ligações covalentes, ficando fracamente ligado a seu átomo de origem. Nesse caso necessita-se somente uma pequena quantidade de energia para liberar este elétron para a banda de condução. Diz-se que o elemento doador de elétrons é o dopante, já o cristal dopado chama-se N. Se, por outro lado, forem introduzidos elementos do grupo III da tabela periódica, como Índio e o Boro, haverá falta de um elétron para satisfazer as ligações covalentes com os átomos de silício da rede. Essa falta de elétron é denominada buraco ou lacuna. O cristal dopante é chamado P e é considerado um aceitador de elétrons ou um dopante P.

Através da união dos cristais do tipo N e P, uma junção PN é formada. Na região da junção se dá uma difusão de elétrons do lado N para P, devido ao elevado gradiente de concentração. Esse deslocamento estabelece uma redução de elétrons do lado N, tornando-o positivo, e um acúmulo de elétrons do lado P, tornando-o negativo. Surge assim um campo elétrico na região da junção; esse processo alcança o equilíbrio, quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de impedir a passagem dos elétrons livres remanescentes do lado N. A tensão total através da junção é denominada de tensão de difusão, cerca de 1 Volt. Um modelo esquemático da célula fotovoltaica pode ser visualizado na figura 5.

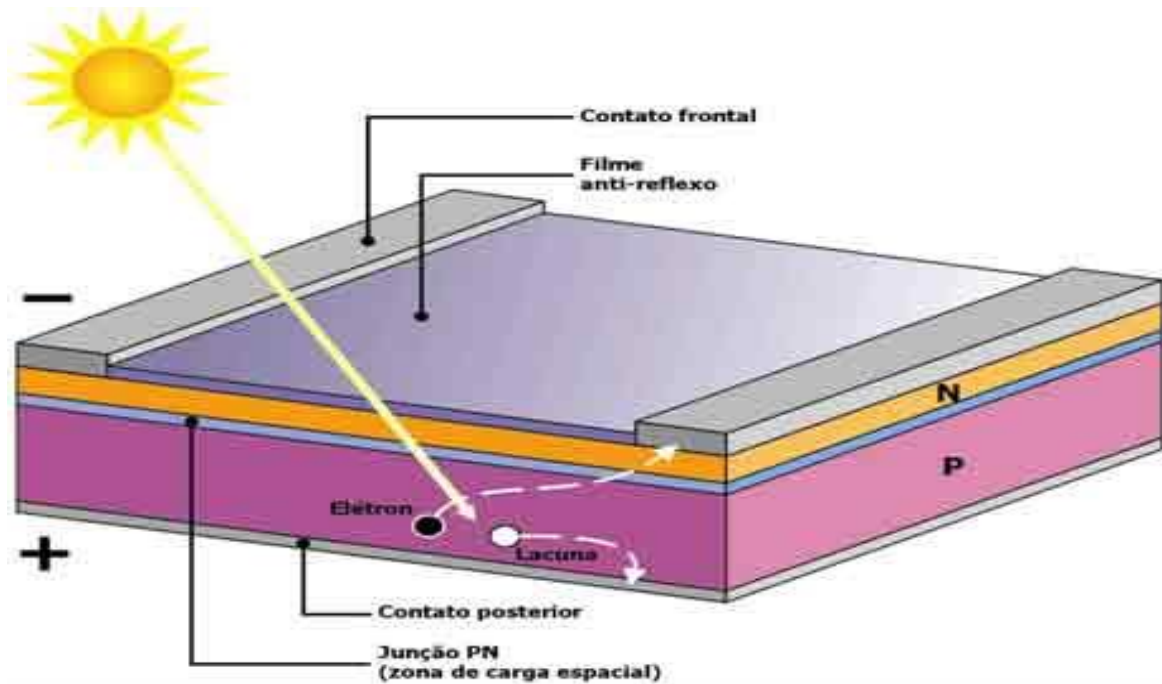


Figura 5. Diagrama esquemático de uma célula fotovoltaica. Fonte: \_\_\_\_\_. <http://www.pucrs.br/cbsolar/energia>, acesso em 10 de novembro de 2014.

Quando a região da união é iluminada os fótons com energia igual ou superior a banda gap do material semiconductor utilizado podem ser absorvidos e produzem elétrons livres. Os fótons arrancam elétrons das ligações covalentes, formando pares de elétron lacunas que serão acelerados por efeito do campo elétrico em sentidos opostos. Este fenômeno é em essência, o efeito fotovoltaico. A consequência desta “separação de carga” é a formação de uma diferença de potencial entre as superfícies opostas da célula. Esta tensão é chamada tensão de circuito aberto. Se um condutor conecta ambas as faces da célula, quando a mesma é iluminada, circulará uma corrente, cuja intensidade é proporcional à irradiância que incide sobre a célula, conhecida como corrente de curto circuito.

Fótons com energia menor que a banda *gap* não são absorvidos. Já os que têm energia maior podem ser absorvidos, mas o excesso de energia aquece o material ou é reemitido, ou seja, é perdido do ponto de vista da conversão em energia elétrica. O espectro da radiação solar contém fótons com energia variando de 0.5 eV, na faixa de infravermelho, até 2.7 eV, na faixa do ultravioleta, sendo que a faixa da luz visível vai de cerca de 1.7 eV, para a luz vermelha, até 2.5 eV, para a azul. O silício apresenta banda *gap* de 1.1 eV. Consequentemente, grande parte da

energia incidente não é aproveitada. A célula solar tem sua eficiência influenciada por alguns fatores a serem citados:

-O elétron livre liberado pela absorção do fóton pode se recombinar com uma lacuna antes de atingir os contatos elétricos. Esse processo é especialmente afetado pela presença de impurezas, de defeitos na estrutura cristalina ou de interfaces que facilitam a recombinação;

-A resistência existente tanto no material semicondutor quanto na superfície de contato metálica que conecta ao circuito externo diminui a eficiência. Porém, aumentá-la, visando reduzir essa resistência, diminui a área de absorção de luz.

-A reflexão da radiação incidente prejudica a eficiência. Esse tipo de material pode refletir até 30% da luz que incide sobre ele (Shayani, 2006). Pode-se aplicar uma fina camada de monóxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), para reduzir essa reflexão. Outro artifício a ser utilizado é alterar a superfície do material para o formato de pirâmides. Esse formato possibilita uma maior absorção dos raios solares incidentes sobre o material. O contato elétrico das células também é um fator que contribui para a reflexão. Na parte inferior a conexão entre as células é feita por uma chapa que cobre toda a parte inferior das células. Na parte superior do painel, os contatos elétricos devem ser feitos de forma que a menor área possível seja coberta pelos contatos, evitando que se cause sombreamento no material semicondutor. São utilizados filetes de contatos em paralelo, de forma que abranjam toda a célula, haja vista que os elétrons percorrem todo o material (Shayani, 2006). Existe a opção de se utilizar contatos transparentes para reduzir a reflexão da luz incidente (Aldabó, 2002).

-A temperatura afeta o funcionamento da célula, reduzindo a eficiência à medida que aumenta. O aumento da temperatura faz com que a banda de energia do material semicondutor diminua, resultando em um acréscimo da foto corrente gerada, de aproximadamente 0,1%. Entretanto, a tensão de circuito aberto, decresce a uma taxa de  $0,3\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , resultando que a potência gerada diminua em 1 % a cada 2,7 K de elevação da temperatura. O silício é um material brilhante e acaba gerando um efeito de reflexão indesejável quando se deseja gerar energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico.

Várias tecnologias de células fotoelétricas são utilizadas atualmente. Pode-se citar Silício Cristalino, Silício Amorfo, CIGS, Arseneto de Gálio e Telureto de Cádmio.



Essas células são utilizadas para outros fins além de painéis fotovoltaicos, como monitores de LCD e plasma (Oliveira, 2011).

### 2.3.2. Módulo fotovoltaico

São conjuntos de células fotovoltaicas tipicamente classificadas com potência ativa que varie entre 50W e 300W. A tensão de circuito aberto de uma célula fotovoltaica de silício monocristalino é da ordem de 0,5 a 0,6 Volts. Desta forma, para obter, por exemplo, um módulo de silício cristalino de 12 Volts, faz-se um arranjo de 24 células de 0,5 Volts conectadas em série. Módulos de maior potência de pico apresentam células em série e em paralelo, de acordo com a corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto desejados.

A potência nominal de um módulo ou painel solar fotovoltaico é a potência de pico ou máxima, obtida sob condições padrão de teste. Inclui-se, então, o sufixo “p” de “pico” à unidade de potência utilizada (ABINEE, 2012). O comportamento de um painel é semelhante, mas com valores de tensão, corrente e potência maiores. A corrente de curto-circuito é diretamente proporcional à irradiância, enquanto a tensão de circuito aberto é negativamente afetada pelo aumento da temperatura da célula. Esse comportamento pode ser verificado na figura 6 a seguir:

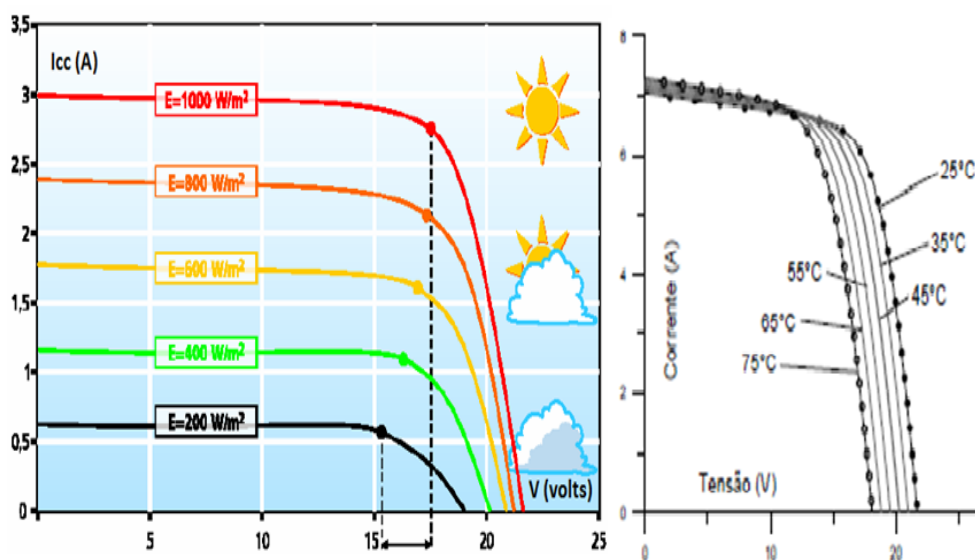


Figura 6. Influência da irradiância solar e temperatura no comportamento dos painéis solares.

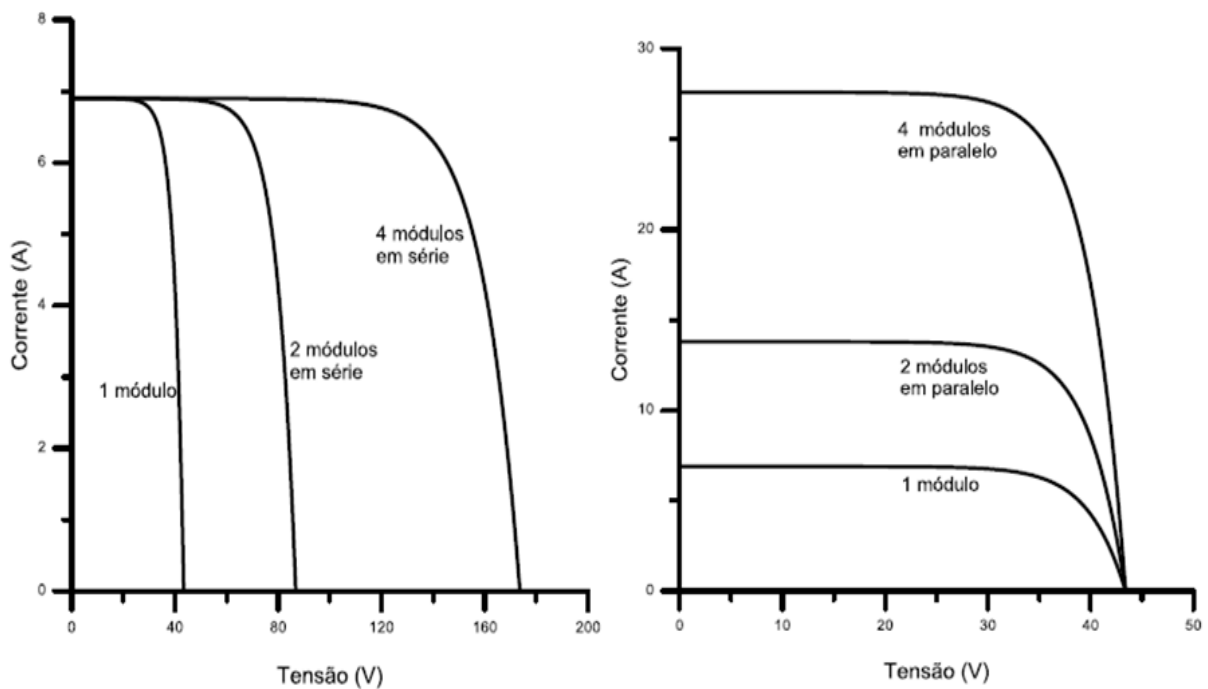
Este é um comportamento importante, pois os locais de maior incidência solar são, não sem motivo, também mais quentes. Os painéis fotovoltaicos são construídos de forma a serem duráveis e resistentes contra intempéries, pois estarão

expostos ao tempo, tendo que enfrentar tempestades, chuvas de granizo e temperaturas intensas. Grandes fabricantes garantem uma vida útil de 25 anos para módulos fotovoltaicos feitos de células de Silício monocristalino, com eficiência de até 90% com 10 anos de fabricação e 80% com 20 anos, sua eficiência diminui com o passar dos anos.

Dependendo da finalidade, podem-se fazer arranjos de módulos fotovoltaicos em série, para aumentar a tensão, e em paralelo, para aumentar a corrente do sistema, de forma a aumentar a potência entregue.

- Associação em série tem-se:  $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_n$  e  $I = I_1 = I_2 = I_3 = I_n$ ;
- Associação em paralelo tem-se:  $V = V_1 = V_2 = V_3 = V_n$  e  $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_n$ ;

Esse comportamento pode ser verificado na figura 7 a seguir:



**Figura 7. Influência dos arranjos de módulos (série e paralelo) na tensão e corrente.**

Além da potência, esses arranjos deverão levar em conta fatores como sombreamento, devido à projeção do que se encontra ao redor, inclinação, intensidade luminosa, temperatura das células, nebulosidade. Por exemplo, caso a sombra tampe um dos módulos e o arranjo esteja ligado todo em série, o circuito abrirá e não haverá passagem de corrente elétrica neste trecho e dessa forma não haverá geração de energia.

### 2.3.3. Estrutura de suporte

Os arranjos fotovoltaicos precisam ser instalados em estruturas de suporte adequadas. Os arranjos fotovoltaicos são montados em estruturas de suporte geralmente metálicas. Materiais típicos empregados na produção de suportes para os módulos fotovoltaicos são aço inox e alumínio anodizado. Estas estruturas podem ser fixas, geralmente na mesma inclinação da latitude do local, ou terem movimento em um ou dois eixos. Atualmente existe um portfólio muito grande de estruturas nas quais os módulos fotovoltaicos são instalados, incluindo as mais diferentes utilizações como fachadas, telhados inclinados ou planos.

A estrutura de suporte deve permitir angulação ao painel de forma a permitir aproveitar a radiação solar em sua totalidade e para tal, deve seguir a inclinação dada pela tabela 1. O presente estudo será realizado no Distrito Federal, o qual está inserido no Estado de Goiás, portanto deverá ter a mesma inclinação, dada por 16°. A tabela 1 indica estes dados em cada estado.

Inclinação dos Painéis Fotovoltaicos (em graus)**			
Acre	15	Paráíba	15
Alagoas	15	Paraná	25
Amapá	15	Pernambuco	15
Amazonas	15	Piauí	15
Bahia	15	Rio de Janeiro	22
Ceará	15	Rio Grande Norte	15
Espírito Santo	20	Rio Grande Sul	40
Goiás	16	Rondônia	15
Maranhão	15	Roraima	15
Mato Grosso	15	Santa Catarina	32
Mato Grosso Sul	20	São Paulo	23
Minas Gerais	19	Sergipe	15
Pará	15	Tocantins	15

**Tabela 1. Inclinação dos Painéis Fotovoltaicos em graus por Estado. Fonte: minhacasolar.com.br, acesso em 27/10/2014.**

#### 2.3.4. Inversores

O inversor deve regular a qualidade de energia de sua saída, com um mínimo de perda de potência. São dispositivos que convertem corrente contínua gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada, na faixa de tensão adequada. Em caso de sistemas interligados à rede elétrica, a tensão, a frequência, a fase e o formato de onda devem ser os mais próximos possíveis da forma ideal da rede.

Trata-se de um componente fundamental de um sistema fotovoltaico, pois os produtos elétricos e eletrônicos utilizados hoje, em sua maioria, funcionam em corrente alternada. Desta forma, não seria possível fazer um aproveitamento ideal da energia solar fotovoltaica sem o uso de inversores.

Muitos inversores específicos para aplicações em sistemas fotovoltaicos vêm equipados com um dispositivo denominado *Maximum Power Point Tracking*, cuja finalidade é forçar a operação do painel no ponto de máxima potência da curva P<sub>x</sub>V, para qualquer nível de irradiância e temperatura da célula. Este sistema é importante para sistemas fotovoltaicos, pois garante que os módulos estejam, a todo momento, fornecendo a maior potência possível, garantindo um maior aproveitamento.

É um dispositivo elétrico que utiliza um mecanismo de chaveamento para alternar o fluxo de corrente. Normalmente possui tensão de entrada 12, 24 ou 48 Volts e converte em 127 ou 220 Volts. Graças ao avanço da eletrônica de potência, os inversores chegam a operar com uma eficiência de conversão variando aproximadamente entre 95% e 97%.

A CEB estabelece a partir da NTD 6.09. modelo de projeto que o cliente deverá seguir em projetos de GD que utilizem inversores. A figura 8 traz essa informação.

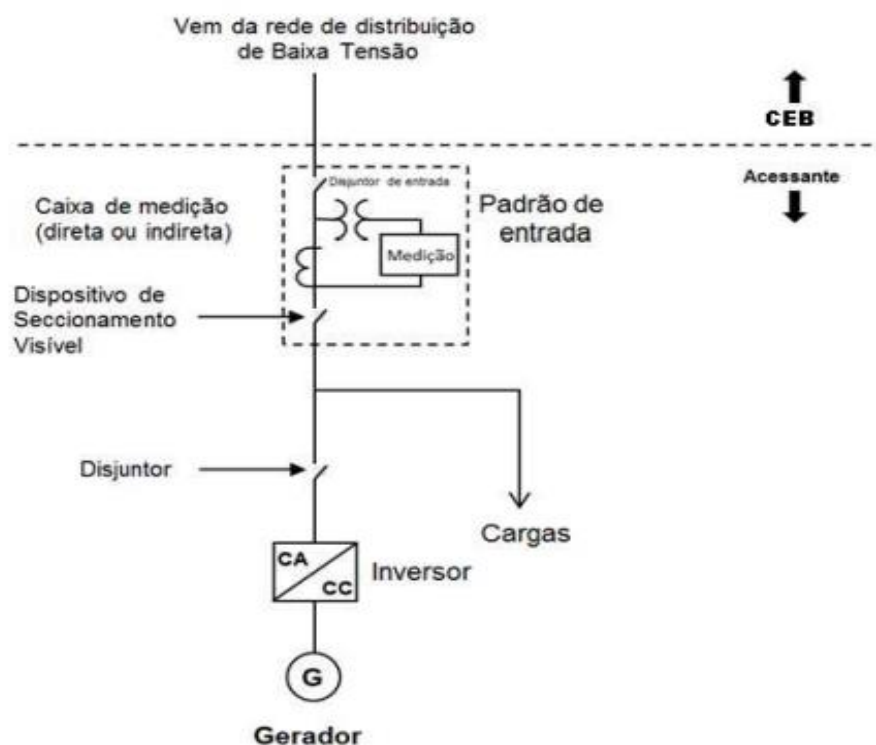


Figura 8. Forma de conexão do acessante (através de inversor) à rede de BT da CEB-D. Fonte: CEB NTD 6.09, 2014.

### 2.3.5. Proteção

Os sistemas de potência estão constantemente sujeitos a perturbações das mais variáveis origens, tais como grandes variações de carga, curto circuito. Dessa forma, deve haver um sistema para protegê-lo.

Os sistemas de proteção detectam anomalias e iniciam uma ação corretiva para que o sistema de potência não saia de sua operação normal. Caso isto ocorra, o tempo de atuação deve ser o menor possível para evitar danos nos equipamentos e, a menor parte do sistema deve ser isolada para que consumidores próximos ou mesmo de outras regiões não sejam afetados.

A ANEEL estabelece no módulo 3 do PRODIST, seção 3.7 os procedimentos para acesso de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição. Há as determinações de requisitos mínimos de equipamentos que devem constar para proteção do sistema. Esses requisitos podem ser visualizados na tabela 2.

Nos sistemas que se conectam a rede através de inversores, as proteções relacionadas na tabela 2 podem estar inseridas nos referidos equipamentos, sendo a redundância de proteções desnecessária para microgeradores distribuídos.

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Até100 kW	101 kW a 500 kW	501 kW a 1 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim	Sim	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	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes
Ensaio	Sim	Sim	Sim

**Tabela 2. Requisitos mínimos de proteção para a potência instalada. Fonte: PRODIST módulo 3, seção 3.7, ANEEL, 2012.**

### 2.3.6. Medidores

Podendo ser uni ou bidirecional, os medidores constituem a peça mais importante de um sistema de compensação, ou de uma rede inteligente. Ele é o responsável por detectar a energia sendo consumida ou gerada por qualquer tipo de unidade consumidora. Com estas medições, o sistema é capaz de fazer qualquer tipo de uso com relação à tarifação, compensação, estatísticas, tendências, ou seja, ele provê um monitoramento constante à rede o que a torna mais confiável. A operação do medidor tem de ser acompanhada com cautela, pois qualquer surto pode significar problema econômico tanto para a distribuidora quanto para o cliente. As figuras 9 e 10 apresentam as exigências da CEB para inserção de medidores, unidirecional (dois medidores independentes) e bidirecional.

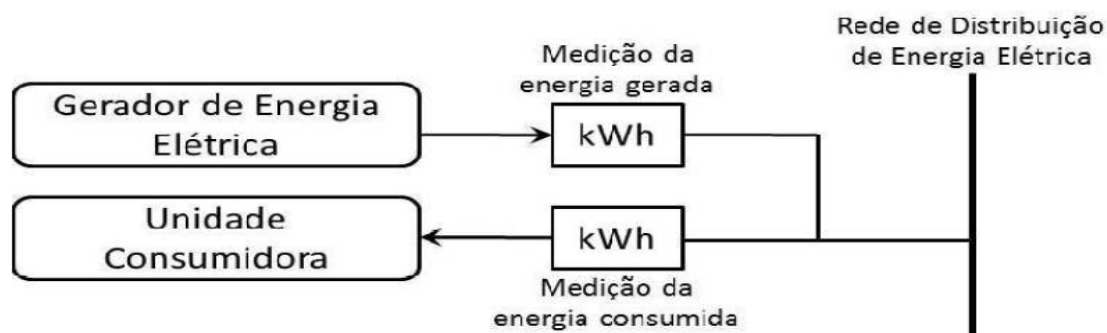


Figura 9. Disposição simplificada dos medidores unidirecionais. Fonte: CEB NTD 6.09, 2014.

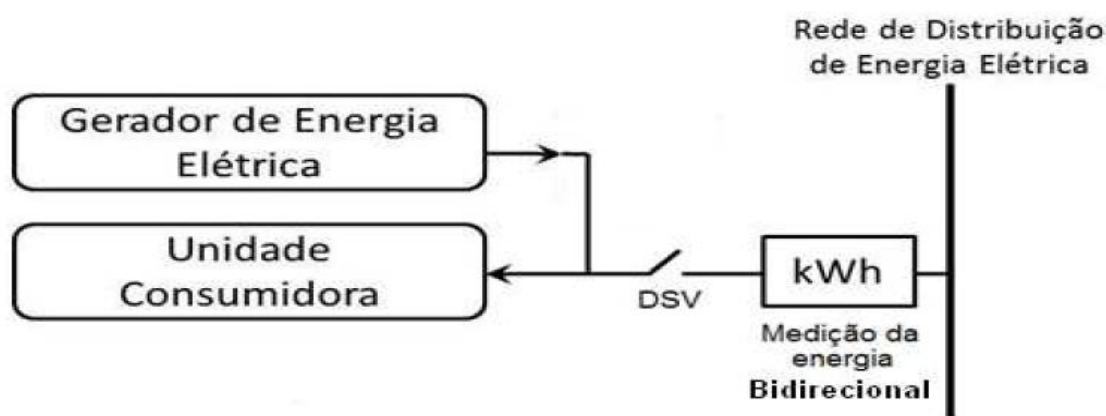


Figura 10. Disposição simplificada do medidor bidirecional. Fonte: CEB NTD 6.09, 2014.

## 2.4. NORMAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

No dia 1º de março de 2013, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT publicou a norma ABNT NBR 16149:2013, intitulada: Sistemas fotovoltaicos – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição, norma que estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos (ABNT, 2013).

## 2.5. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para analisar economicamente um investimento em longo prazo, com um longo período de uso, uma das principais ferramentas utilizadas pela engenharia econômica é o fluxo de caixa. O fluxo de caixa resume as entradas e saídas efetivas

de dinheiro ao longo do tempo, permitindo, desse modo, conhecer a rentabilidade e a viabilidade econômica do projeto. Logo, os fluxos de caixas representam a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil de produção e/ou funcionamento (Samanez, 2009).

O fluxo de caixa é a principal matéria-prima para medir a rentabilidade de um projeto. É a partir dele que se calcula o *payback* de um determinado empreendimento. *Payback* é o tempo de retorno sobre o investimento, número de períodos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo, isto considerando que o fluxo de caixa do projeto é do tipo em que o investimento é realizado no primeiro período e as receitas estão nos anos seguintes.

Existe o *payback* simples e o descontado, o primeiro não leva em conta o dinheiro no tempo, ou seja, a taxa de juros e é vantajoso pela sua simplicidade de cálculo, já que sua análise é feita dividindo-se o custo de implantação do empreendimento pelo benefício auferido. Já o *payback* descontado apresenta um valor mais confiável, já que é o número de períodos que zera o valor presente líquido, ou anual, do empreendimento. Para calculá-lo a primeira coisa a se fazer é determinar a taxa de remuneração do dinheiro no tempo considerada pelo investidor. Em seguida, calcula-se todos os valores presentes dos fluxos de caixa. Tudo se passa como no critério do período *payback* simples, entretanto o tempo necessário para o pagamento do investimento inicial é calculado com base nos seus valores presentes e não nos valores dos fluxos. Nota-se que quanto maior o período analisado e a taxa de desconto, maior a divergência entre os resultados dos dois métodos de cálculo e o *payback* descontado visa corrigir o maior problema do *payback* simples, o de não considerar o valor do dinheiro no tempo, sendo assim, o mais utilizado para análises de investimentos.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo materiais e métodos trará a metodologia a ser seguida no estudo e os itens necessários para que sejam alcançados os objetivos esperados nesse estudo.

#### 3.1 MATERIAIS

A seção abordará os itens necessários para o desenvolvimento da metodologia de inserção de sistemas fotovoltaicos em residências de baixa tensão e ligadas a rede da distribuidora local de energia elétrica. Foram listados dez materiais, entre eles algumas tabelas que reúnem os modelos de placas solares, inversores, estrutura de suporte, medidor disponíveis no mercado brasileiro.

##### 3.1.1 Localização

O local escolhido para o desenvolvimento do estudo de caso foi uma residência localizada no Lago Norte, Brasília-DF. A localização foi estabelecida através do *Google* maps e pode ser vista nas figuras 11, 12 e 13.

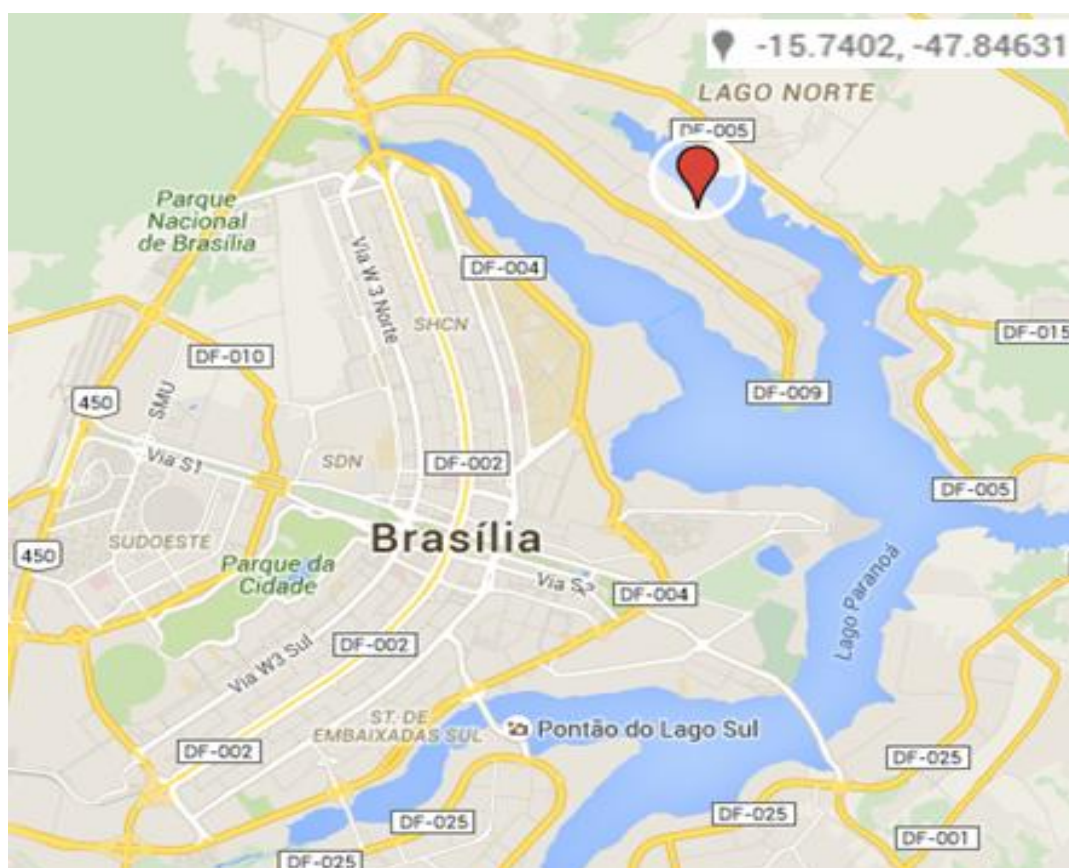


Figura 11. Local do estudo de caso. Fonte: [google.com.br/maps](http://google.com.br/maps), acesso em: 30/08/2015.

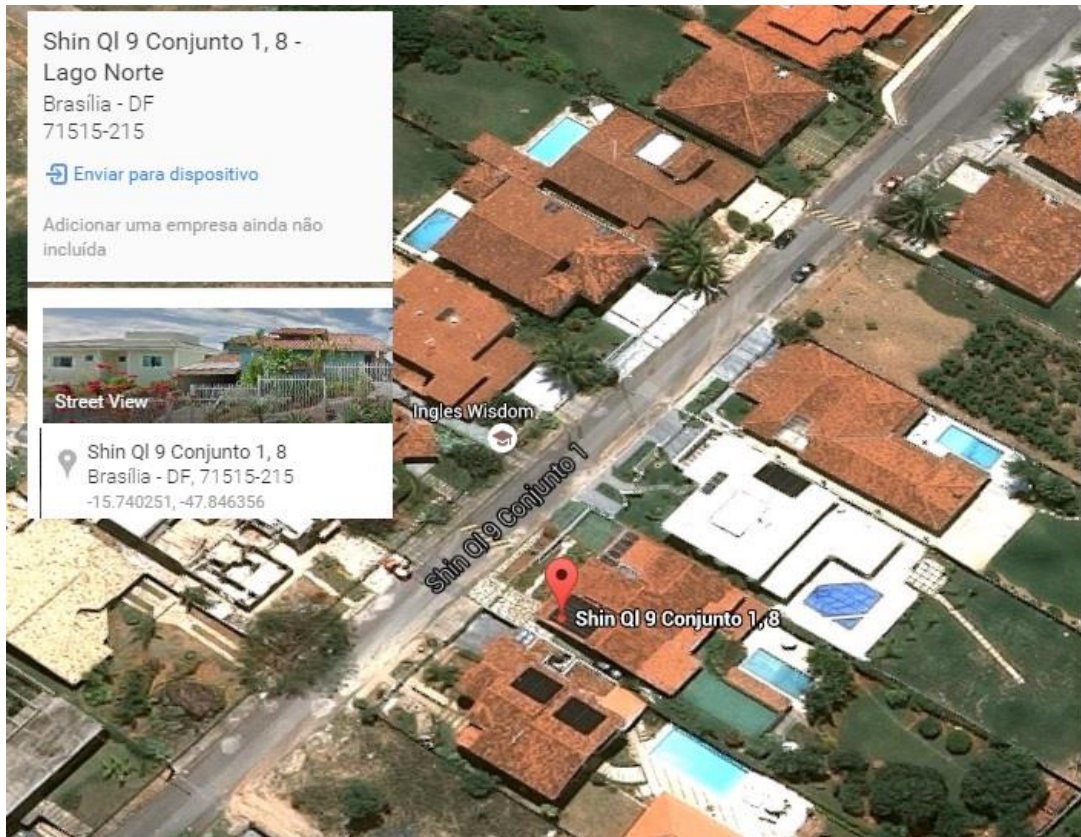


Figura 12. Local do estudo de caso. Fonte: [google.com.br/maps](http://google.com.br/maps), acesso em: 27/08/2015.



Figura 13. Local do estudo de caso. Fonte: [google.com.br/maps](http://google.com.br/maps), acesso em: 27/08/2015.

### 3.1.2 Irradiação solar

A partir da localização, foi obtida sua latitude e longitude e a partir desses dados e do sítio [www.nrel.gov/swera](http://www.nrel.gov/swera), obtiveram-se os dados da irradiação solar no local escolhido. Estes podem ser vistos na figura 14 e a curva anual com distribuição mensal da irradiação global na figura 15.

Highest Resolution Energy Resource Estimate at -15.90° Latitude -47.87° Longitude	
Concentrating Solar Collectors: Direct Normal Irradiance (DNI):	4.767 kWh/m sq
Horizontal Flat Plate Collectors: Global Horizontal Irradiance (GHI):	5.149 kWh/m sq
Tilted Flat Plate Collectors: Latitude Tilt Irradiance (TILT):	5.59 kWh/m sq

Figura 14. Irradiação solar local. Fonte: [www.nrel.gov/swera](http://www.nrel.gov/swera), acesso em: 28/08/2015.

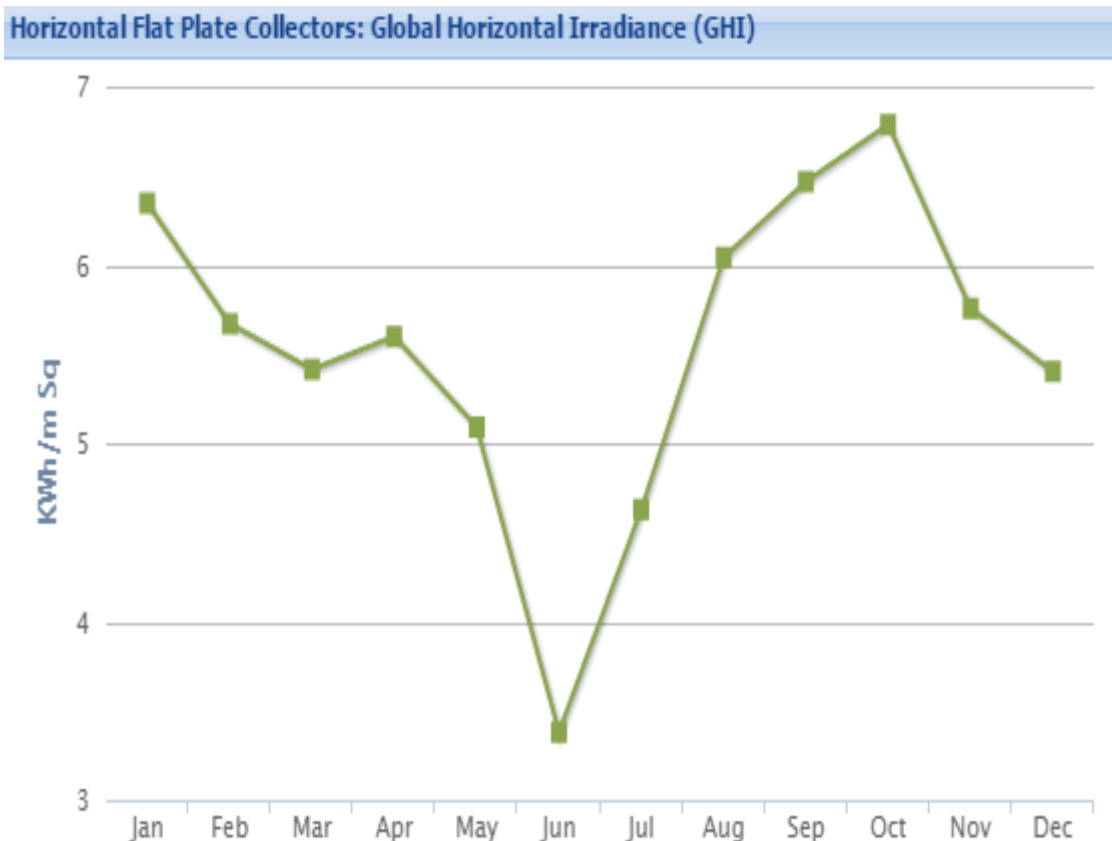


Figura 15. Irradiação solar global. Fonte: [www.nrel.gov/swera](http://www.nrel.gov/swera), acesso em: 28/08/2015.

### **3.1.3 Normas de GD**

As normas de geração distribuídas utilizadas como base para os cálculos deste trabalho ANEEL PRODIST módulo 3, Resolução ANEEL 482/2012, CEB 6.09/2012 e ANEEL 414/2011.

PRODIST: descreve os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição, incluindo os critérios técnicos e operacionais das instalações e as etapas e prazos a serem atendidos por distribuidoras e consumidores quando da solicitação de acesso ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

ANEEL 482/2012: estabelece as condições técnicas e comerciais para o acesso de micro e minigeração distribuída nas redes de distribuição de energia elétrica e cria o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, no qual a energia ativa injetada na rede de distribuição pela unidade consumidora que adere ao sistema é cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa por 36 meses.

CEB 6.09/2012: estabelece os critérios e procedimentos técnicos exigidos pela CEB-D para a conexão de consumidores atendidos em baixa tensão que façam a adesão ao sistema de compensação de energia, em conformidade com as recomendações regulatórias existentes para o assunto no setor elétrico nacional.

Estas normas estão explicadas na seção 2.2.1 “Aspectos regulatórios para a implantação de geração distribuída”.

### **3.1.4 Horas de insolação diária no Brasil**

É determinada a quantidade de horas de sol na região do Distrito Federal. Através da análise da figura 16, percebe-se que em Brasília há uma média de insolação diária de seis horas.



O reajuste tarifário foi baseado na evolução de tarifação praticada pela CEB-D. Fez-se uma média dos reajustes praticados de 2004 a 2015. Foi utilizada a tabela 03 que é apresentada a seguir.

ANO	REAJUSTE TARIFÁRIO
2015	24,1%
2014	17,12%
2013	7,64%
2012	2,78%
2011	8,15%
2010	10,79%
2009	9,52%
2008	-7,30%
2007	-3,22%
2006	-1,59%
2005	1,23%
2004	2,44%

Tabela 03. Reajuste tarifário nos últimos 10 anos.

Fonte: <http://www.ceb.com.br/index.php/tarifas>, acesso em 31/08/2015.

### 3.1.6 Medidor

Para estimar o valor cobrado pelo medidor, foi utilizado o custo cobrado pela CEB-D pela venda de seu modelo de medidor bidirecional.

MODELO	VALOR
Medidor Bidirecional Digital cedido pela CEB-D	R\$ 90,00

Tabela 04. Medidor cedido pela CEB-D. Dados de 27/08/2015

### 3.1.7 Módulo fotovoltaico

Para estimar o valor cobrado pelo módulo foram levantados valores presentes no mercado. Os valores colhidos são referentes à 28/08/2015, podem ser visualizados na tabela 05 e para a sua determinação foram utilizados três sítios:

- WWW.NEOSOLAR.COM.BR
- WWW.MERCADOLIVRE.COM.BR
- MINHACASASOLAR.COM.BR

Marca	Preço	Potência (W)	Voltagem Máx. Potência	Corrente Máx. Potência
Hilight Solar 300Wp-156-72M	R\$ 1.375,00	300	36 V	8,33 A
MITSUBISHI 265W	R\$ 1.450,00	265	31,7 V	8,38 A
Jinko Solar JKM260P	R\$ 897,91	260	30,4 V	8,56 A
Canadian Solar CS6P-260P	R\$ 897,91	260	30,4 V	8,56 A
Canadian Solar CS6P-255P	R\$ 880,00	255	30,2 V	8,43 A
Hilight Solar 250Wp-156-60M	R\$ 1.185,00	250	30 V	8,33 A
Suoyang SY-250M	R\$ 970,00	250	48,6 V	5,15 A
Axitec AC-250P/156-60S	R\$ 980,00	250	30,7 V	8,18 A
Yingli YL250P 29b	R\$ 849,00	250	30,4 V	8,24 A
Jetion JT235PCe	R\$ 999,00	235	30,5 V	7,71 A
Yingli YL240P 29b	R\$ 999,00	240	29,5 V	8,14 A
Yingli YL245P	R\$ 999,00	245	30,2 V	8,11 A
Yingli YL140P-17b	R\$ 609,00	140	18 V	7,77 A
Solaris S140P	R\$ 726,00	140	18,36 V	7,65 A
Jetion JT140PFe	R\$ 699,00	140	18,3 V	7,65 A
SolarWorld SW140	R\$ 749,00	140	18 V	7,85 A
Solar Powerwell BWSM140M36	R\$ 738,00	140	12 V	8,23 A
BYD 140P6-18	R\$ 799,00	140	18 V	7,78 A
Suntech STP135D-12/TEA	R\$ 899,00	135	17,5 V	7,71 A
WSolar 130 W Premium	R\$ 450,00	130	17,5 V	7,42 A
Atersa A95M	R\$ 899,00	95	17,76 V	5,35 A
Yingli YL095P-17b 2/3	R\$ 489,00	95	18,18 V	5,23 A
Yingli YL090P 17b 2/3	R\$ 499,00	90	17,77 V	5,06 A

**Tabela 05. Pesquisa de mercado módulos fotovoltaicos. Fonte: Composição própria.**

### 3.1.8 Inversor

Para estimar o valor cobrado pelo inversor foram levantados valores presentes no mercado. Para determinação destes valores, presentes na tabela 06, foram utilizados dois sítios:

- [WWW.NEOSOLAR.COM.BR](http://WWW.NEOSOLAR.COM.BR)
- [MINHACASASOLAR.COM.BR](http://MINHACASASOLAR.COM.BR)

Marca	Preço (R\$)	Entrada				
		Potência máxima	Voltagem máxima	Voltagem mínima	Corrente de curto circuito máxima do arranjo	Corrente máxima
Microinversor i-Energy GT260	1149,00	240 a 265 W	59	25	12,1 A	10 A
Grid-Tie SMA Sunny Boy 1200	6890,00	1320 W	400	100	13,6 A	12,6 A
SMA Sunny Boy SB 1300TL-10	6290,00	1400 W	600	100	15 A	12 A
PHB Solar-PHB1500- SS	4990,00	1800 W	450	125	12 A	13 A
Fronius Galvo 1.5-1	7490,00	1600 W	420	120	16,3 A	13,3 A
Fronius Galvo 1.5-1 light	6790,00	1600 W	420	120	16,3 A	13,3 A
Fronius Galvo 2.0-1	7690,00	2140 W	420	120	20,1 A	17,8 A
Fronius Galvo 2.0-1 light	6990,00	2140 W	420	120	20,1 A	17,8 A
SMA Sunny Boy SB 2000TLST-21	7590,00	2200 W	600	125	-	12 A
Fronius Galvo 2.5-1	7890,00	2650 W	550	165	24,8 A	16,6 A
Fronius Galvo 2.5-1 light	7190,00	2650 W	550	165	24,8 A	16,6 A
SMA Sunny Boy SB 2500TLST-21	9990,00	2650 W	750	125	-	12 A
SMA Sunny Boy SB 3000TL-21	10490,00	3200 W	750	125	-	12 A
Fronius Galvo 3.1-1	8090,00	3310 W	550	165	31 A	20,7 A
Fronius Galvo 3.1-1 light	7390,00	3310 W	550	165	31 A	20,7 A
PHB Solar-PHB3000- SS	6990,00	3200 W	500	125	18 A	17 A
SMA Sunny Boy 3300	12790,00	4040 W	500	200	-	20 A
SMA Sunny Boy SB 4000TL-21 1300TL-10	11390,00	4200 W	750	125	-	12 A
Fronius IG Plus 50V-1	8390,00	4260 W	600	260	27,9 A	18,6 A
PHB Solar-PHB4600- SS	9990,00	5400 W	580	125	28 A	18 A

Tabela 06. Pesquisa de mercado de inversores. Fonte: Composição própria. Dados de 28/08/2015.



### 3.1.9 Suporte

Para estimar o valor cobrado pelo suporte foram levantados valores presentes no mercado. Para determinação destes valores, presentes na tabela 07, foram utilizados três sítios:

- WWW.NEOSOLAR.COM.BR
- ENERGY.BIO.BR/LOJA/
- MINHACASASOLAR.COM.BR

Fabricante	Modelo	Preço	Número Máx. Painéis
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 1.350,00	8
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 1.875,00	12
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 2.412,00	14
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 2.946,00	20
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 3.560,00	24
THESAN	Telha Cerâmica	R\$ 899,00	3
THESAN	Telha Cerâmica	R\$ 1.189,00	4
THESAN	"Azimuth0"	R\$ 2.899,00	6
MCS	CK-990x1	R\$ 338,00	1
MCS	CK-990x2	R\$ 490,00	2
MCS	CK-990x4	R\$ 860,00	4

Tabela 07. Pesquisa de mercado de suportes. Fonte: Composição própria. Dados de 28/08/2015.

### 3.1.10 Consumo de energia mensal

O histórico de consumo do local escolhido pode ser visto na tabela 08 e na figura 17.

<b>Meses:</b>	<b>Maio</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>
<b>Consumo (KWh):</b>	370	320	240	330	350
<b>Meses:</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>
<b>Consumo (KWh):</b>	360	380	300	370	340
<b>Meses:</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>
<b>Consumo (KWh):</b>	320	290	320	270	360

Tabela 08. Consumo de energia mensal para o local. Fonte: Composição própria.

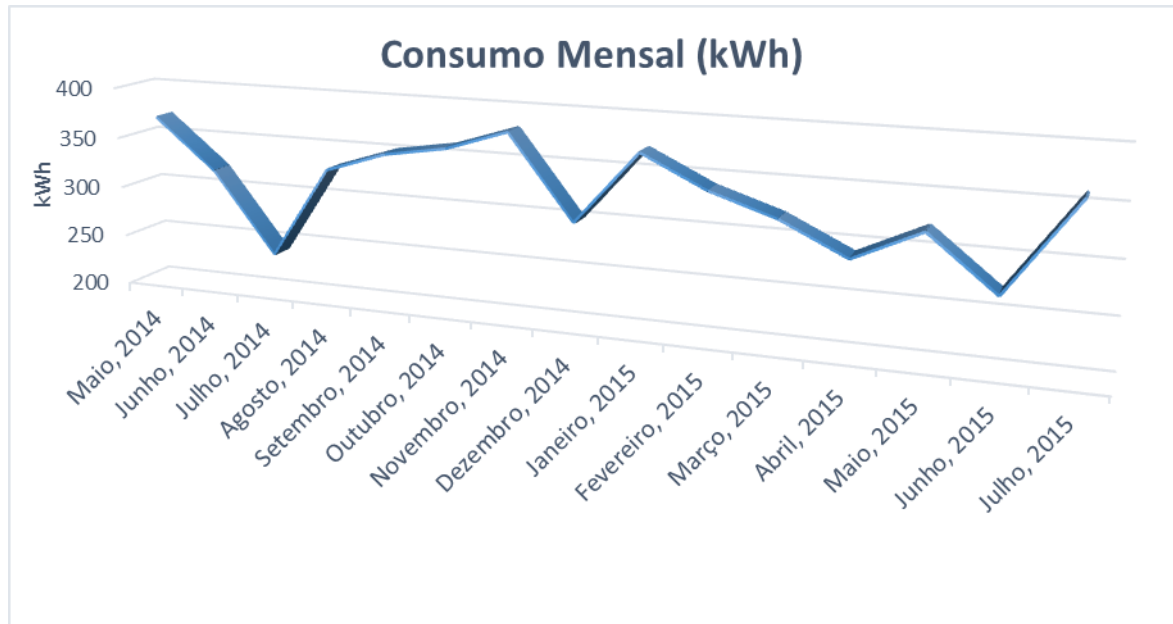


Figura 17. Consumo de energia mensal para o local. Fonte: Composição própria.

### 3.2 MÉTODOS

A seção desenvolverá metodologia para dimensionamento de sistemas ligados a redes de baixa tensão. Foram desenvolvidos nove métodos, os quais podem ser observados no fluxograma apresentado na figura 18.

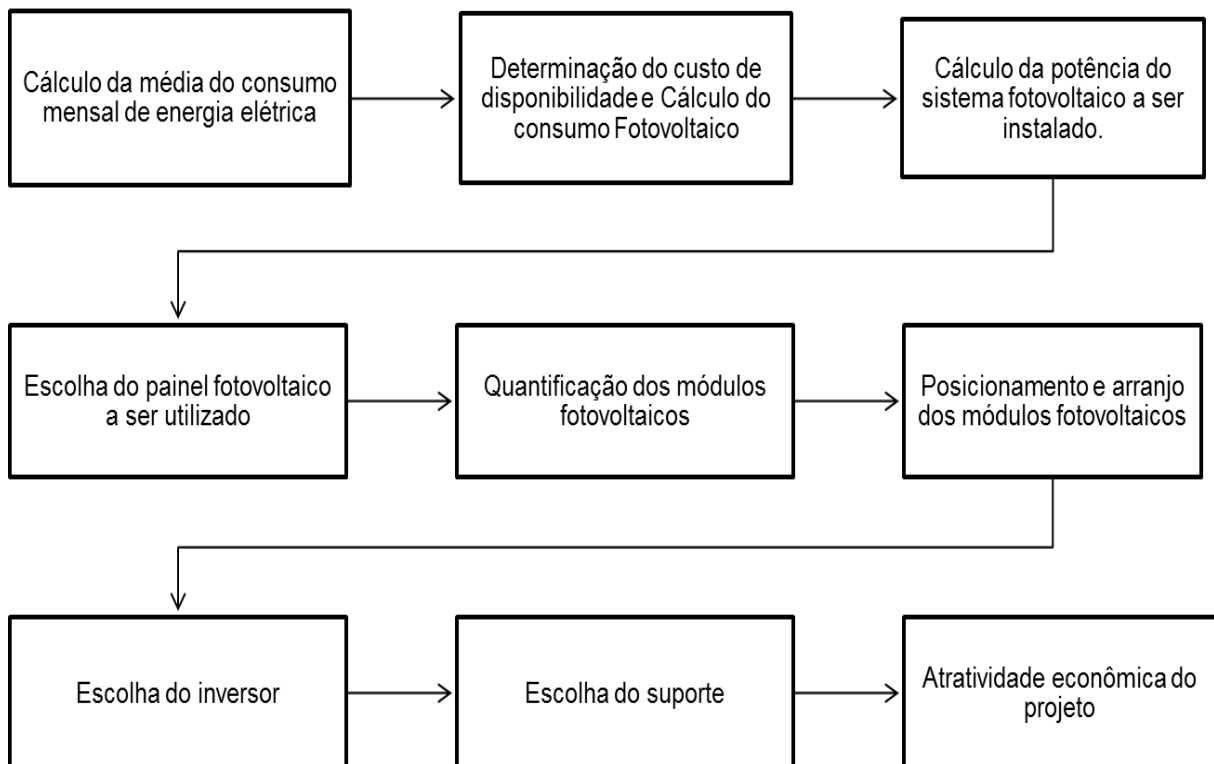


Figura 18. Metodologia para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos ligados a rede de baixa tensão. Fonte: Composição própria.

### 3.2.1 Cálculo da média do consumo mensal

Tomando como base a tabela 08, que reúne o histórico dos valores de consumo da unidade consumidora desde maio de 2014 até julho de 2015, deve-se fazer a média destes valores. A quantidade mínima de meses a serem utilizados é doze. Esses valores podem ser encontrados na conta de energia elétrica mensal disponibilizado pela concessionária de energia. O estudo utilizou um total de quinze meses, já que se possuía duas contas de energia elétrica da unidade consumidora estudada. O cálculo pode ser visualizado na equação (1).

$$M_c = \sum_0^N v_n, \text{ onde } v_n \text{ é o consumo no mês } n \quad (1)$$

### 3.2.2 Custo de disponibilidade

O custo de disponibilidade, no qual o art. 98 da Resolução 414/2011 da ANEEL define que é o valor mínimo faturável, aplicável ao faturamento de unidades consumidoras do Grupo “B”, de acordo com os limites fixados por tipo de ligação:

- monofásica: valor em moeda corrente equivalente a 30kW/h;
- bifásica: valor em moeda corrente equivalente a 50kW/h;
- trifásica: valor em moeda corrente equivalente a 100kWh.

Os valores mínimos serão aplicados sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos citados acima. Assim, mesmo que o consumidor do Grupo “B”, participante do sistema de compensação, injetar energia à rede e tiver seu consumo zerado em algum mês a sua conta de energia não terá o valor zerado. E sim, o valor do custo de disponibilidade referente a seu tipo de ligação.

A unidade consumidora em questão é trifásica, sendo assim, o custo de disponibilidade será de 100kWh. Ele será utilizado para dimensionar a potência gerada pelo sistema fotovoltaico, já que não é necessário que o sistema produza a energia equivalente ao mês e sim a energia mensal diminuído o valor do custo de disponibilidade, como pode ser visto na equação (2) a seguir. Esse fato é de grande importância, já que se trata de um valor fixo e sua utilização diminui os custos do sistema fotovoltaico a ser projetado.

$$\text{Consumo}_{FY} = \text{Média de consumo} - \text{Custo de disponibilidade} \quad (2)$$

### 3.2.3 Potência do sistema fotovoltaico

A terceira etapa é dimensionar o sistema fotovoltaico com as características da unidade consumidora escolhida. Será utilizado o consumo fotovoltaico calculado a partir da subseção 3.2.2, o dado de irradiância solar global obtido para o local analisado na subseção 3.1.2 e a eficiência de conversão DC-AC do sistema. Com esses dados em mãos, basta utilizar a Equação (3). Nela calcula-se a potência a ser instalada no sistema fotovoltaico (PFV) considerando os 30 dias do mês. Com a PFV para o atendimento do consumo mensal da unidade consumidora, pode-se então prosseguir para a próxima etapa do método.

A eficiência de conversão DC-AC do sistema é resultado do produto da eficiência do inversor, eficiência dos cabos AC, eficiência dos cabos DC, eficiência relacionada às perdas por sujeira acumulada nos módulos fotovoltaicos, eficiência relacionada às perdas por temperatura nos módulos. O valor da eficiência na conversão DC-AC é de 0,76, como pode ser visto na equação (4).

$$P_{FV} = \frac{\text{Consumo}_{FV}}{\text{Irradiação Solar} * \text{Dias do mês} * \eta_{DC-AC}} \quad (3)$$

$$\eta_{DC-AC} = \eta_{INV.} * (1 - \text{Perdas}_{cabos AC}) * (1 - \text{Perdas}_{cabos AC}) * \\ * (1 - \text{Perdas}_{cabos DC}) * (1 - \text{Perdas}_{Temperatura}) * (1 - \text{Perdas}_{sujeira})$$

$$\eta_{DC-AC} = 0,9 * 0,9 * 0,98 * 0,98 * 0,98 \Leftrightarrow \eta_{DC-AC} = 0,762 \quad (4)$$

### 3.2.4 Escolha do painel fotovoltaico

A escolha do modelo utilizado foi baseada no desenvolvimento de um índice que é resultado da divisão da potência do módulo pelo custo e multiplicada pela eficiência do mesmo em valor percentual. O índice foi criado para facilitar a escolha do modelo, tendo em vista que a escolha deve ser diretamente proporcional à potência gerada e eficiência e inversamente proporcional ao custo, já que se deseja um projeto atrativo financeiramente. A expressão para o cálculo do índice pode ser vista na equação (5). O índice será aplicado aos modelos de painéis disponíveis no mercado reunidos na tabela 5, localizada na subseção 3.1.7.

$$I = (P \div A) \cdot \eta \quad (5)$$

### 3.2.5 Quantificação dos módulos fotovoltaicos

A quantidade de módulos a ser utilizada é de suma importância para a composição do custo final do projeto. Para determinar essa quantidade será utilizada a equação (6), a qual é o resultado da divisão da potência do sistema fotovoltaico encontrado na subseção 3.2.3 pela potência do módulo escolhido na subseção 3.2.4.

$$Q_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_m} \quad (6)$$

### 3.2.6 Posicionamento e arranjos dos módulos fotovoltaicos

O posicionamento e arranjo dos módulos fotovoltaicos é necessário para adequação posterior do inversor e do suporte para os módulos, visto que os módulos deverão ser ligados em série/paralelo e conforme sua ligação haverá corrente e tensão características. Além disso, deverá ser levado em consideração a área necessária para instalação dos módulos e posicionamento do suporte de forma a dar a angulação de 16° necessária aos mesmos. O *software AUTOCAD 2010* será utilizado para simular o posicionamento dos módulos e facilitar a visualização.

### 3.2.7 Escolha do inversor

A escolha do inversor será baseada na potência do sistema fotovoltaico calculado na subseção 3.2.3, corrente total de curto circuito e tensão de circuito aberto do sistema.

O mecanismo de seleção envolve a necessidade de definir o posicionamento e arranjo dos módulos fotovoltaicos, definidos na subseção 3.2.6 e saber que quando o circuito está em série, somam-se as tensões individuais de cada módulo e quando estão em paralelo somam-se as correntes. Sendo a tensão de circuito aberto da placa dada por 37,5 V, a corrente de curto circuito por 8,12 A e a potência nominal 260 W, por exemplo, tem-se: tensão de circuito aberto, a corrente de curto circuito e a potência são informadas pelo fabricante do painel e é particular para cada um. Sendo assim, irá depender da escolha do painel condicionada pela

subseção 3.2.4. O cálculo da corrente de curto circuito total, tensão de circuito aberto total e potência nominal total serão dados pelas equações (7), (8) e (9).

$$i_{cc\ total} = \text{quantidade de fileiras ligadas em paralelo} \times i_{cc\ \text{módulo FV}} \quad (7)$$

$$V_{oc\ total} = \text{quantidade de módulos em cada fileira} \times V_{oc\ \text{módulo FV}} \quad (8)$$

$$P_{nominal\ total} = \text{quantidade total de módulos FV} \times P_{nominal\ \text{módulo FV}} \quad (9)$$

Analisando-se os valores obtidos nos cálculos e o catálogo de inversores *grid tie* disponíveis no mercado e reunidos na tabela 06 pode-se realizar a escolha do inversor de menor valor.

### 3.2.8 Escolha da estrutura suporte

A escolha da estrutura de suporte será primeiramente baseada na quantidade de módulos necessários do sistema, definido pela subseção 3.2.5 e menor preço disponível no mercado. Os valores serão consultados a partir da tabela 07. Este procedimento é vital para que seja implantado um sistema de qualidade e menor valor possível, de forma a seguir as necessidades de projeto.

### 3.2.9 Atratividade econômica do projeto

Para analisar a atratividade econômica da geração distribuída fotovoltaica será aplicada a técnica de análise de viabilidade financeira do investimento através do método do *payback* descontado que é denominado tempo de repagamento do investimento, ou seja, o período que se leva para recuperar o investimento ou o tempo que o investimento leva para zerar seu fluxo de caixa acumulado. A determinação do período de retorno é realizada com base na tabela 09 que reúne os dados e parâmetros adotados para análise do projeto.

O método empregado pode ser mais bem entendido através da tabela 10 que exemplifica a forma como será utilizado. O emprego do *payback* descontado exige que os valores sejam aplicados ao presente, a equação (10) realiza esse procedimento, aplicando os valores das tarifas de energia elétrica ao seu valor no presente. Deve-se entrar com o valor (receita descontado o custo), a taxa de juros e o ano em questão e a saída é o valor da parcela incorporado o dinheiro no tempo.

<b>Vida útil do sistema</b>	25 anos
<b>Vida útil do inversor</b>	15 anos
<b>Perda de eficiência dos módulos</b>	-0,75% ao ano
<b>Custo de Operação e Manutenção anual</b>	1% do investimento
<b>Reajuste tarifário anual</b>	6,3 % ao ano
<b>Tarifa de energia elétrica CEB-D para unidades consumidoras em baixa tensão e trifásicas</b>	0,5585 R\$ / kWh
<b>Custo de disponibilidade trifásico</b>	100kWh*tarifa de energia

Tabela 09. Parâmetros adotados no estudo de caso. Fonte: Composição própria.

$$\text{Valor presente} = \frac{\text{Valor}}{(1+i)^{\text{ano considerado}}}, \quad i = 6,3\% \quad (10)$$

0	<b>Investimento Inicial</b>	R\$ -25.000	<b>Valor Presente</b>	R\$ -25.000
1	<b>Entradas de Caixa Operacionais</b>	R\$ 12.000	$\frac{12000}{(1,15)^1}$	R\$ 10.435
2		R\$ 11.000	$\frac{11000}{(1,15)^2}$	R\$ 8.318
3		R\$ 10.000	$\frac{10000}{(1,15)^3}$	R\$ 6.575
4		R\$ 9.000	$\frac{9000}{(1,15)^4}$	R\$ 5.146
5		R\$ 24.000	$\frac{24000}{(1,15)^5}$	R\$ 11.932
<b>Taxa: 15%</b>		<b>Payback (anos)</b>	2,95	

Tabela 10. Exemplo de como será executado o método da atratividade econômica do projeto. Fonte: SAMANEZ, C. P. (2009). Engenharia Econômica. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo irá abordar os resultados obtidos através da aplicação da metodologia desenvolvida na seção 3.2, no estudo de caso da unidade consumidora selecionada. Além disso, será feita discussão dos resultados obtidos e meios de redução dos custos relacionados a implementação de sistemas fotovoltaicos.

### 4.1 RESULTADOS

A seção irá abordar os resultados obtidos no estudo de caso, iniciando-se pelo cálculo da média do consumo mensal e chegando até o cálculo do tempo de retorno econômico do investimento.

#### 4.1.1 Cálculo da média do consumo mensal

Aplicando-se os dados do consumo de energia do local sobre a equação (1), encontra-se o consumo médio mensal que é de 328kWh.

$$\text{Média de consumo} = \frac{370 + 320 + 240 + 330 + 350 + 360 + 380 + 300 + 370 + 340 + 320 + 290 + 320 + 270 + 360}{15}$$

$$\therefore \text{Média de consumo} = 328\text{kWh}$$

#### 4.1.2 Custo de disponibilidade

Utilizando-se a tarifa de energia cobrada pela distribuidora CEB como sendo 0,5585 R\$ / kWh (tarifa disponível para julho de 2015) e sabendo-se que a unidade consumidora estudada é residencial de baixa tensão e trifásica, o custo de disponibilidade mensal cobrado será de R\$ 55,85.

$$\text{Custo de disponibilidade} = 100 * 0,5585 \rightarrow \text{R\$55,85}$$

Além disso, utilizando-se a equação (2) teremos que o consumo fotovoltaico será de 228kWh.

$$\text{Consumo}_{FV} = 328 - 100 \rightarrow 228\text{kWh}$$



#### 4.1.3 Potência do sistema fotovoltaico

De posse destes resultados pode-se calcular a potência que o sistema fotovoltaico deverá gerar diariamente para atender a unidade consumidora. Utilizando-se a equação (3), supondo uma média mensal de 30 dias, irradiação solar mensal média anual para a região de 5,149 kWh/m<sup>2</sup> e eficiência DC-AC de 0,76 tem-se que:

$$P_{FV} = \frac{\text{Consumo}_{FV}}{\text{Irradiação Solar} * \text{Dias do mês} * \eta_{DC-AC}} \Leftrightarrow P_{FV} = \frac{228}{5,149 * 30 * 0,76}$$

$$\therefore P_{FV} = 1,9421 \text{ kW ou } 1942,1\text{W}$$

#### 4.1.4 Escolha do painel fotovoltaico

Posteriormente, deve-se definir qual o modelo de painel fotovoltaico será utilizado, para isso será utilizado o índice da equação (5). O resultado é a tabela 11 que reúne os módulos pesquisados no mercado, preço, potência, eficiência, área e seu respectivo índice. Através da análise da tabela 11, percebe-se que o maior índice é de 26,169. Sendo assim, o estudo de caso utilizará o painel Jinko Solar JKM260P que pode ser visualizado na figura 19.



Figura 19. Módulo fotovoltaico a ser utilizado. Fonte: [minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br](http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br), acesso em 16/09/2015.

Marca	Preço	Potência (W)	Eficiência	Área (m <sup>2</sup> )	Índice
Hilight Solar 300Wp-156-72M	R\$ 1.375,00	300	15,64%	1,8525	25,32793522
MITSUBISHI 265W	R\$ 1.450,00	265	16,00%	1,655875	25,60579754
<b>Jinko Solar JKM260P</b>	<b>R\$ 897,91</b>	<b>260</b>	<b>16,19%</b>	<b>1,608516</b>	<b>26,16946303</b>
Canadian Solar CS6P-260P	R\$ 897,91	260	16,16%	1,608516	26,12097113
Canadian Solar CS6P-255P	R\$ 880,00	255	15,85%	1,608516	25,12719799
Hilight Solar 250Wp-156-60M	R\$ 1.185,00	250	15,40%	1,6236	23,71273713
Suoyang SY-250M	R\$ 970,00	250	14,90%	1,67796	22,19957568
Axitec AC-250P/156-60S	R\$ 980,00	250	15,40%	1,6318	23,59357764
Yingli YL250P 29b	R\$ 849,00	250	15,00%	1,6335	22,95684114
Jetion JT235PCe	R\$ 999,00	235	14,30%	1,65168	20,34595079
Yingli YL240P 29b	R\$ 999,00	240	14,70%	1,6335	21,59779614
Yingli YL245P	R\$ 999,00	245	15,00%	1,6335	22,49770432
Yingli YL140P-17b	R\$ 609,00	140	14,00%	0,9996	19,60784314
Solaris S140P	R\$ 726,00	140	15,80%	1,0064	21,97933227
Jetion JT140PFe	R\$ 699,00	140	14,00%	1,001832	19,56415846
SolarWorld SW140	R\$ 749,00	140	13,70%	1,02544	18,70416602
Solar Powerwell BWSM140M36	R\$ 738,00	140	14,10%	0,9916	19,90722065
BYD 140P6-18	R\$ 799,00	140	13,97%	1,001832	19,52223526
Suntech STP135D-12/TEA	R\$ 899,00	135	-	1,001832	-
WSolar 130 W Premium	R\$ 450,00	130	-	0,9916	-
Atersa A95M	R\$ 899,00	95	14,32%	0,662308	20,54029243
Yingli YL095P-17b 2/3	R\$ 489,00	95	14,30%	0,667	20,36731634
Yingli YL090P 17b 2/3	R\$ 499,00	90	13,50%	0,667	18,21589205
Jetion JT090SFb	R\$ 599,00	90	16,10%	0,646495	22,41316638
SolarWorld SW85	R\$ 599,00	85	12,40%	0,683324	15,42460092
Solaris S85P	R\$ 599,00	85	16,00%	0,6596	20,6185567
Yingli YL055P 17b 2/5	R\$ 339,00	55	13,20%	0,41958	17,3030173
Solaris S55P	R\$ 399,00	55	13,70%	0,4437	16,98219518
Jetion JT050SG	R\$ 419,00	50	13,50%	0,45985	14,67869958
Yingli YL050P-17b 2/5	R\$ 399,00	50	12,00%	0,37158	16,14726304
WSolar 50 W Premium	R\$ 195,00	50	-	0,4221	-
Solaris S30P	R\$ 299,00	30	16,00%	0,2805	17,11229947
Jetion JT030SH	R\$ 269,00	30	12,30%	0,24345	15,15711645
Yingli YL030P-17b	R\$ 209,00	30	10,90%	0,2703	12,09766926
Yingli YL020P-17b-1/6	R\$ 149,00	20	10,90%	0,18375	11,86394558
Yingli YL010P-17b-1/12	R\$ 79,00	10	10,00%	0,10675	9,367681499

Tabela 11. Determinação do módulo fotovoltaico a ser utilizado, aplicação de índice.

Fonte: Composição própria.

#### 4.1.5 Quantificação dos módulos fotovoltaicos

Em seguida, deve-se calcular a quantidade de módulos que serão utilizados. Utilizando-se a equação (6), tem-se que serão necessários 8 painéis fotovoltaicos.

$$Q_{FV} = \frac{P_{FV}}{P_m} \Leftrightarrow Q_{FV} = \frac{1942,1}{260} \Leftrightarrow Q_{FV} = 7,47 \sim 8 \text{ painéis}$$

#### 4.1.6 Posicionamento e arranjos dos módulos fotovoltaicos

Para a região de Brasília os painéis devem ser posicionados com um ângulo de  $16^\circ$  (Tabela 01). Com relação ao caso estudado, o telhado já possui inclinação de  $15^\circ$ . Desta forma, o uso do suporte será implementado de forma a facilitar o posicionamento dos painéis e auxiliar as trocas de calor nos mesmos. A área em que serão instalados os painéis pode ser vista na figura 20. A forma como serão distribuídos os painéis pode ser visualizada na figura 21, nela pode-se verificar a forma como os suportes serão instalados e ter noção de como ficará o inversor.



Figura 20. Área do telhado que será destinada a inserção dos módulos fotovoltaicos. Fonte: [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps), acesso em: 30/08/2015.

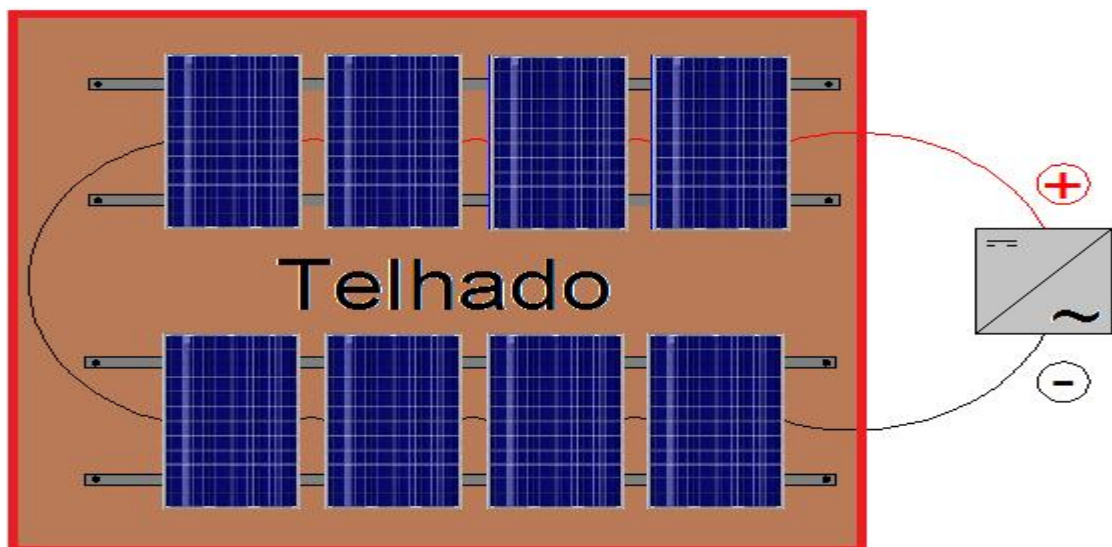


Figura 21. Distribuição dos módulos fotovoltaicos. Fonte: composição própria com auxílio do software *AUTOCAD 2010*.

#### 4.1.7 Escolha do inversor

Definida a forma como os painéis serão organizados, pode-se realizar os cálculos para escolha do inversor. Serão utilizadas as equações (7), (8) e (9).

$$i_{cc \text{ total}} = \text{quantidade de fileiras ligadas em paralelo} \times i_{cc \text{ módulo FV}} \quad (7)$$

$$i_{cc \text{ total}} = 2 \times 8,12 \leftrightarrow i_{cc \text{ total}} = 16,24 \text{ A}$$

$$V_{oc \text{ total}} = \text{quantidade de módulos em cada fileira} \times V_{oc \text{ módulo FV}} \quad (8)$$

$$V_{oc \text{ total}} = 4 \times 37,5 \leftrightarrow V_{oc \text{ total}} = 150 \text{ V}$$

$$P_{nominal \text{ total}} = \text{quantidade total de módulos FV} \times P_{nominal \text{ módulo FV}} \quad (9)$$

$$P_{nominal \text{ total}} = 8 \times 260 \leftrightarrow P_{nominal \text{ total}} = 2080 \text{ W ou } 2,08 \text{ kW}$$

Analisando-se os valores obtidos nos cálculos e o catálogo de inversores *grid tie* disponíveis no mercado e reunidos na tabela 06 pode-se realizar a escolha do inversor de menor valor e que atenda aos valores calculados. Dessa forma, organizou-se os inversores que atendem aos critérios técnicos e organizou-se os mesmo na tabela 12. Analisando-se esta tabela pelo menor valor, optou-se pela escolha do modelo PHB Solar-PHB3000-SS. É necessário destacar que serão utilizados dois inversores no período analisado, já que o período de referência será o de duração dos painéis solares, ou seja, 25 anos e a dos inversores de 15 anos.



Figura 22. Inversor a ser utilizado. Fonte: [minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br](http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br), acesso em 16/09/2015.

Marca	Preço (R\$)	Entrada				
		Potência máxima	Voltagem máxima (Vcc)	Voltagem mínima (Vcc)	Corrente de Curto Circuito máxima arranjo	Corrente máxima
Fronius Galvo 2.0-1	7690,00	2140 W	420	120	20,1 A	17,8 A
Fronius Galvo 2.0-1 light	6990,00	2140 W	420	120	20,1 A	17,8 A
SMA Sunny Boy SB 2000TLST-21	7590,00	2200 W	600	125	-	12 A
Fronius Galvo 2.5-1	7890,00	2650 W	550	165	24,8 A	16,6 A
Fronius Galvo 2.5-1 light	7190,00	2650 W	550	165	24,8 A	16,6 A
SMA Sunny Boy SB 2500TLST-21	9990,00	2650 W	750	125	-	12 A
SMA Sunny Boy SB 3000TL-21	10490,00	3200 W	750	125	-	12 A
Fronius Galvo 3.1-1	8090,00	3310 W	550	165	31 A	20,7 A
Fronius Galvo 3.1-1 light	7390,00	3310 W	550	165	31 A	20,7 A
PHB Solar-PHB3000-SS	6990,00	3200 W	500	125	18 A	17 A
SMA Sunny Boy 3300	12790,00	4040 W	500	200	-	20 A
SMA Sunny Boy SB 4000TL-21 1300TL-10	11390,00	4200 W	750	125	-	12 A
Fronius IG Plus 50V-1	8390,00	4260 W	600	260	27,9 A	18,6 A
PHB Solar-PHB4600-SS	9990,00	5400 W	580	125	28 A	18 A

Tabela 12. Determinação do inversor a ser utilizado. Fonte: Composição própria.

#### 4.1.8 Escolha da estrutura suporte

A estrutura de suporte será utilizada para 8 módulos e o menor preço disponível no mercado é o modelo *Hanger Bolt* da marca *K2 Systems*. O modelo escolhido pode ser visualizado na tabela 13.

Fabricante	Modelo	Preço	Número Máx. Painéis
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 1.350,00	8
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 1.875,00	12
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 2.412,00	14
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 2.946,00	20
K2 Systems	Hanger Bolt	R\$ 3.560,00	24
THESAN	Telha Cerâmica	R\$ 899,00	3
THESAN	Telha Cerâmica	R\$ 1.189,00	4
THESAN	"Azimuth0"	R\$ 2.899,00	6
MCS	CK-990x1	R\$ 338,00	1
MCS	CK-990x2	R\$ 490,00	2
MCS	CK-990x4	R\$ 860,00	4

Tabela 13. Determinação do suporte a ser utilizado. Fonte: Composição própria.

#### 4.1.9 Atratividade econômica do projeto

Por fim, deve-se realizar a análise de viabilidade econômica do projeto. Os modelos e valores dos itens utilizados no projeto podem ser verificados na tabela 14 que sumariza os custos operados no projeto. Através destes custos elaborou-se o fluxo de caixa apresentado na tabela 15 que apresenta os valores de entradas e saídas e no qual pode-se verificar que no ano 9 há o pagamento do investimento. A figura 23 traz a curva de *payback* descontado do investimento destacando o momento em que há o cruzamento da curva com o eixo das abscissas, ou seja, *payback* do investimento. O investimento possui *payback* de 8 anos e três meses.

É necessário destacar que se incidiram sobre os valores de entrada da tabela 15 a depreciação anual de 0,75% na geração dos painéis e o aumento anual de 6,3% sobre o valor da tarifa de energia elétrica cobrada.

Item	Modelo	Valor (R\$)
<b>Módulo Fotovoltaico</b>	Jinko Solar JKM260P	8x897,91 = 7183,28
<b>Inversor</b>	PHB Solar-PHB3000-SS	2x6990,00 = 13980,00
<b>Suporte</b>	Hanger Bolt	1x1350,00 = 1350,00
<b>Medidor</b>	CEB	1x90,00 = 90,00
<b>TOTAL:</b>		22603,28
<b>Custo de Operação e Manutenção anual</b>	1% do investimento	226,03 a.a.

Tabela 14. Parâmetros adotados no estudo de caso. Fonte: Composição própria.

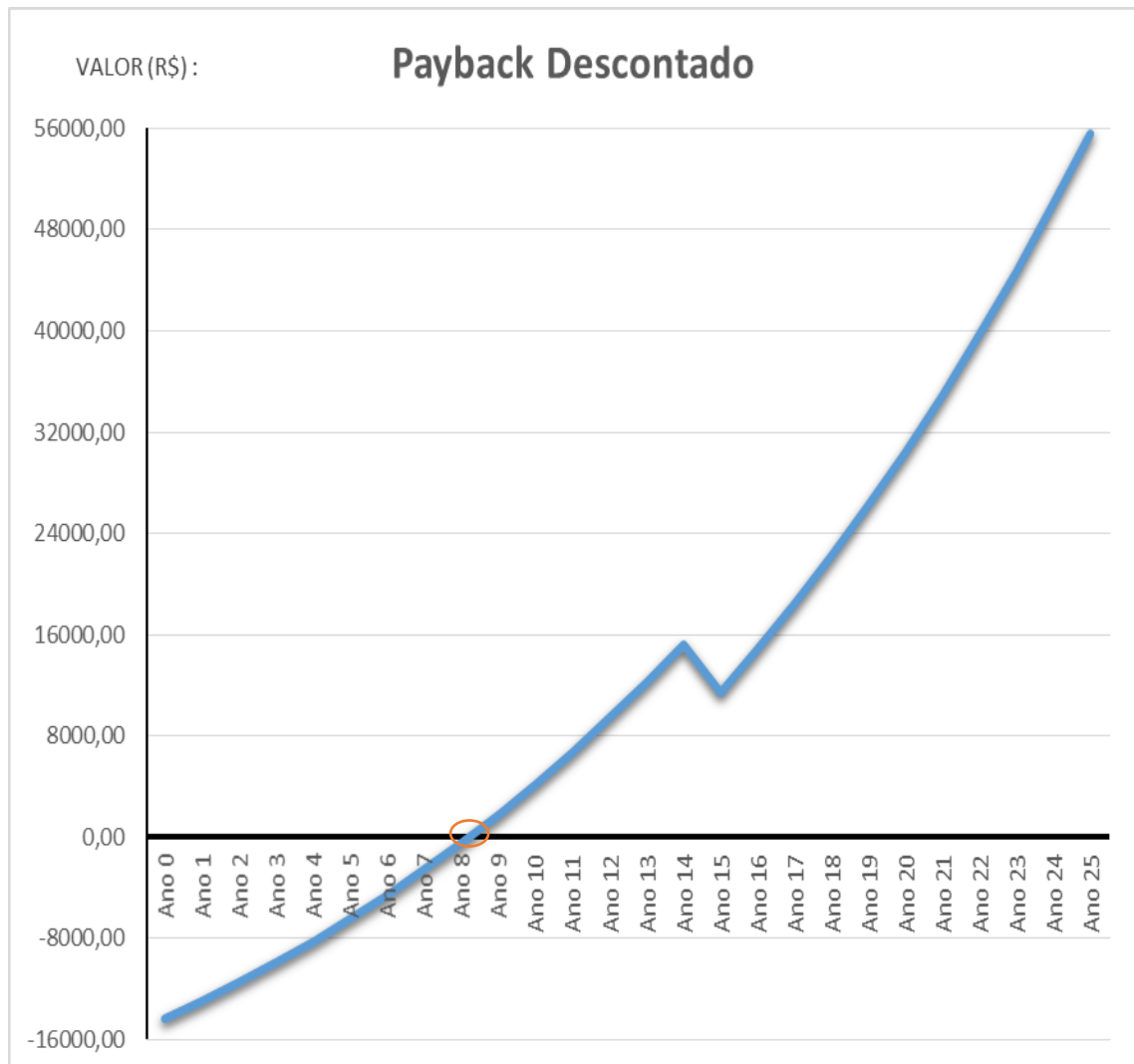


Figura 23. Curva de *payback* descontado do projeto. Fonte: Composição própria.

<b>Ano</b>	<b>Entradas (+)</b>	<b>Saídas (-)</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>
Ano 0	1528,06	15839,31	-14311,25
Ano 1	1612,23	226,03	-12925,05
Ano 2	1701,04	226,03	-11450,04
Ano 3	1794,75	226,03	-9881,32
Ano 4	1893,62	226,03	-8213,73
Ano 5	1997,93	226,03	-6441,83
Ano 6	2107,99	226,03	-4559,87
Ano 7	2224,11	226,03	-2561,79
Ano 8	2346,63	226,03	-441,19
Ano 9	2475,90	226,03	1808,68
Ano 10	2612,29	226,03	4194,94
Ano 11	2756,19	226,03	6725,11
Ano 12	2908,02	226,03	9407,10
Ano 13	3068,22	226,03	12249,29
Ano 14	3237,23	226,03	15260,49
Ano 15	3415,56	7216,03	11460,02
Ano 16	3603,72	226,03	14837,71
Ano 17	3802,23	226,03	18413,91
Ano 18	4011,69	226,03	22199,57
Ano 19	4232,68	226,03	26206,22
Ano 20	4465,84	226,03	30446,03
Ano 21	4712,53	226,03	34932,53
Ano 22	4971,41	226,03	39677,91
Ano 23	5245,27	226,03	44697,16
Ano 24	5534,22	226,03	50005,35
Ano 25	5839,08	226,03	55618,40

Tabela 15. Fluxo de caixa do projeto. Fonte: Composição própria.



## 4.2 DISCUSSÃO

### 4.2.1 Custo do sistema

A potência do sistema fotovoltaico obtida foi de 1942,1 W ou 1,942 kW e o custo nos primeiros 15 anos do sistema foi de R\$ 15839,31. Sendo assim, o custo de geração fotovoltaica foi de 8,15 R\$/W. O texto “Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira” (ABINEE, 2012) aponta um valor de 7,12 R\$/W para sistemas de pequeno porte, esta pequena divergência frente aos valores apontados acima pode ser explicada pela taxa de câmbio considerada na época, que estava em 2,30 BRL/EUR, frente à de 28 de setembro de 2015, 4,05 BRL/EUR. (MONTENEGRO, 2013) realiza uma estimativa do watt instalado utilizando como base cotações com duas empresas nacionais e apresenta valores entre 6,50 e 7,04 R\$/W. A EPE, no documento “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira” de 2012 utiliza o método proposto pela ABINEE e apresenta o valor de 7,66 R\$/W. Sendo assim, os custos obtidos no projeto são compatíveis com a literatura.

O custo inicial de instalação dos painéis é ainda o principal desincentivo aliado à falta de conhecimento dos consumidores. A ausência de incentivos financeiros e regulatórios acentua as barreiras já existentes para a expansão da GD.

### 4.2.2 Análise do *payback*

O *payback* encontrado para o sistema foi de 8 anos e três meses. Nakabayashi (2014) aponta um período de retorno do investimento, no sistema fotovoltaico, de baixa tensão, residencial localizado em Brasília em torno de 11 anos. Desta forma, o tempo obtido está de acordo com a literatura.

### 4.2.3 Meios de diminuição dos custos

Devido a sua localização tropical, o Brasil possui boa irradiação solar. A concentração de irradiação média diária está entre 4,8 e 6,0 kWh/ m<sup>2</sup>. Apesar da disponibilidade do recurso solar no Brasil, estima-se que o país possua atualmente cerca de 20MW de capacidade instalada sendo que 99% dessas instalações são destinadas a sistemas isolados e remotos. (EPE, 2012). Esse fato deve-se ao

elevado custo inicial dos sistemas fotovoltaicos. Serão elencados a partir dos resultados e estudo alguns meios de redução dos custos e, desta forma, facilitando o acesso dos consumidores a geração solar.

-Existência do custo de disponibilidade: não há meios de zerar a conta de energia, o custo de disponibilidade incide sobre o valor da conta mesmo que a geração solar supere o consumo. Desta forma, um mecanismo para aumentar a inserção da geração distribuída poderia ser a diminuição ou eliminação do custo de disponibilidade. O presente estudo baseou-se em custo de disponibilidade de 100 kWh multiplicada pela tarifa de energia.

-Outros obstáculos para a microgeração e minigeração distribuídas estão relacionados:

- (i) À incidência de ICMS na energia injetada na rede e que é usada para compensar a energia consumida e, possivelmente,
- (ii) À cobrança da Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP).

EPE (2014) estima que, caso a tributação do ICMS fosse feita sobre o montante líquido consumido, o custo da geração fotovoltaica seria reduzido em 19%, elevando a potência instalada prevista em 2023 para a minigeração e microgeração distribuídas de 835 MWp para 1,3 GWp. Também é destacado que a tributação, nos moldes do Convênio ICMS nº 6, de 2013, do Confaz, pode estimular o subdimensionamento dos sistemas fotovoltaicos residenciais.

-Vida útil dos inversores: Os sistemas fotovoltaicos convencionais possuem vida útil média de 25 anos. Porém os inversores são o único componente do sistema que não acompanham esta duração, já que possuem vida útil de 15 anos. Os inversores possuem preço elevado, o utilizado neste estudo, por exemplo, possui custo de R\$ 13980,00. Desta forma, seria interessante que houvesse maior interesse dos fabricantes em disponibilizar modelos com maior vida útil, a fim de acompanhar o tempo médio dos sistemas fotovoltaicos. E, assim, reduzir os custos dos sistemas de geração.

#### 4.2.4 Produção nacional dos componentes

Nos últimos anos, um conjunto de fatores têm colaborado para a expansão da geração fotovoltaica (FV) conectada à rede no Brasil. Dentre eles pode-se destacar: a redução dos preços dos módulos fotovoltaicos no mercado internacional; a divulgação desta fonte no meio empresarial e acadêmico; as alterações regulatórias recentes que criaram um novo marco regulatório no setor via Resolução Normativa no 482/20121; e o interesse da indústria em nacionalizar a produção de equipamentos. Tais fatores não vieram, entretanto, acompanhados de outros incentivos regulatórios ou políticas públicas para apoiar a expansão desta fonte.

Dentre os componentes dos sistemas fotovoltaicos a indústria brasileira contempla plenamente os inversores, medidores e suporte. Porém os módulos solares são pouco produzidos no país.

Esposito e Fuchs (2013) chamam a atenção para o desestímulo à produção de painéis fotovoltaicos no Brasil: para o módulo do painel importado as alíquotas de ICMS e IPI são zero, enquanto para a importação de suas partes e peças, visando à montagem do módulo no país, aplica-se ICMS de 18% e IPI entre 5% e 15%. Assim, como a isenção está limitada à célula fotovoltaica, haveria prejuízo, segundo os autores, à agregação de valor no território brasileiro, que seria decorrente da montagem doméstica dos painéis solares. Esposito e Fuchs (2013) apontam como aspecto importante para a disseminação da energia elétrica gerada por radiação solar a necessidade de massificar as redes elétricas inteligentes. Isso porque a energia solar, assim como a energia eólica, é uma fonte intermitente. Ressalta-se, entretanto, que a alíquota do Imposto de Importação dos componentes dos módulos é zero, o que mitiga o problema apontado e reflete a estratégia de incentivar inicialmente a montagem das células no Brasil para então, em um segundo momento, incorporar ao mercado doméstico os demais elos da cadeia.

## 5. CONCLUSÃO

Esse trabalho de conclusão de curso apresenta uma avaliação geral da inserção econômica da geração distribuída fotovoltaica no mercado brasileiro sem a utilização de banco de baterias nas condições atuais do mercado. Foi realizado estudo de caso da inserção de microgeração distribuída fotovoltaica residencial em baixa tensão. Os mecanismos técnicos, regulatórios e viabilidade financeira foram abordados.

A geração distribuída foi analisada e pôde-se notar que ela não é feita apenas de pontos positivos, possui alguns entraves e pontos fracos que devem ser levados em conta. A falta de estudo e pesquisas, tecnologia defasada e pouco explorada são as bases dessas dificuldades. Dessa forma, faz-se necessário aprimoramento dos estudos e grande investimento econômico na área. Faltam estímulos políticos para a instalação da mesma.

A instalação da microgeração e minigeração distribuída não é algo trivial e exige a realização de um estudo prévio para analisar a viabilidade econômica do sistema de geração a ser utilizado, lembrando-se que esta viabilidade pode variar com a localidade que este sistema esteja instalado, já que a mesma é dependente da irradiação solar, do perfil de consumo energético da unidade consumidora, da estrutura que irá suportar as placas.

O *payback* encontrado foi de 8 anos e três meses. Após esse período o investimento trará lucro ao cliente, dessa forma, pode-se concluir que é um investimento viável e de longo prazo de retorno. Muitos clientes possuem a visão de curto prazo, o que pode dificultar a massificação da implantação. Nakabayashi (2014) aponta um período de retorno do investimento, no sistema fotovoltaico, de baixa tensão, residencial localizado em Brasília em torno de 11 anos. Desta forma, o tempo obtido está de acordo com a literatura.

Há necessidade de maior divulgação da geração distribuída no Brasil, de forma que esta prática possa se expandir mais rapidamente. Estudos de modelos de negócio que viabilizem o comércio dos inversores, placas fotovoltaicas e suportes devem ser empreendidos.

O Brasil conta com um enorme potencial para exploração dessa modalidade energética, já que apresenta irradiação solar anual média alta, grande parte do território nacional encontra-se próximo da linha do equador. Acredita-se que se o

governo investir em políticas adequadas e fizer investimentos no setor, o seu desenvolvimento e melhoramento tecnológico tornar-se-ão realidade, e, dessa forma, sua a viabilidade econômica será maior. Poderia ser estudada a desoneração de Impostos como ICMS e COSIP, além da diminuição do custo de disponibilidade que é praticado.

Para trabalhos futuros sugere-se a análise de viabilidade da geração distribuída ligada a rede de alta e média tensão, os mecanismos técnicos, regulatórios envolvidos. Pode-se verificar o impacto da qualidade da energia da rede de baixa tensão com a massificação da geração distribuída. Realizar o projeto de instalação elétrica, dimensionar disjuntores, fiações, eletrodutos, dispositivo de proteção contra surtos, caixas de passagem, quadros elétricos.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] ABINEE – Associação Brasileira da Indústria de Elétricos e Eletrônicos. Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira, 2012. Disponível em: <[www.abinee.org.br](http://www.abinee.org.br)>. Acesso em 27 de Outubro de 2014.
- [2] ALDABÓ, Ricardo. Célula combustível a hidrogênio: fonte de energia da nova era. São Paulo: Artliber, 2004.
- [3] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Tarifas de fornecimento de energia elétrica, 2005. Disponível em <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em 22 de Outubro de 2014.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro: 2013.
- [5] CEB – Companhia Energética de Brasília. Norma Técnica de Distribuição NTD-6.09 – Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB-D – Conexão em baixa e média e tensão, 2012. Disponível em <[www.ceb.com.br](http://www.ceb.com.br)>. Acesso em 26 de Outubro de 2014.
- [6] EPE [Empresa De Pesquisa Energética]. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Nota Técnica. Rio de Janeiro, 2012.
- [7] ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 40, p. 85-113, 2013.
- [8] GAS RESEARCH INSTITUTE. The role of distributed generation in competitive energy markets. In: Distributed generation forum, Chicago, EUA, mar. 1999.
- [9] GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, 2007.

- [10] HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. Energia e meio ambiente. Tradução técnica de Flávio Maron Vichi e Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. Tradução da 3°. ed. norte-americana.
- [11] INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. O que é geração distribuída?. Disponível em: <[www.inee.org.br](http://www.inee.org.br)>. Acesso em: 22 Outubro 2014.
- [12] INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas brasileiro de energia solar. Disponível em: <<http://www.ccst.inpe.br>>. Acesso em: 25 Outubro 2014.
- [13] JENKINS N., ALLAN R., CROSSLEY P., KIRSCHEN D., STRBAC G., Embedded Generation. Power and Energy Systems Series 31, 2000.
- [14] MARTIN, J. A Economia Mundial da Energia. São Paulo: Ed. UNESP, 1992.
- [15] MME – Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME, 2008. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: 22 de Outubro de 2014.
- [16] MONTENEGRO, A. Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil. 175 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC., Florianópolis, SC., 2013. Disponível em: <<https://www.dropbox.com/s/el2ao8tpazd8bx8/Montenegro2013.pdf>> Acesso em: 25 de Setembro de 2015.
- [17] NAKABAYASHI, R. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras. 107 p. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, USP., São Paulo, SP., 2014. Disponível em: <[http://200.144.182.130/iee/lst/sites/default/files/Dissertacao\\_Renno\\_vfinal.pdf](http://200.144.182.130/iee/lst/sites/default/files/Dissertacao_Renno_vfinal.pdf)> Acesso em: 12 de Dezembro de 2015.

[18] OLIVEIRA, M. A. V. de (2011). Dimensionamento de Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição Considerando Curvas de Irradiância Solar e de Carga. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2011, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p.

[19] PRODIST, Módulo 3, Seção 3.7, ANEEL, 2012 – Acesso de micro e minigeração distribuída. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 16 de Novembro de 2014.

[20] RESEARCH FRAMEWORK PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION: Energy, environment and sustainable development, Part B Energy. *Decentralized generation technologies: potentials, success factors and impacts in the liberalized EU energy markets (DECENT): Final Report*. [S.l.: s.n.]: 2002.

[21] RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 09 DE SETEMBRO DE 2010, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 23 de Outubro de 2014.

[22] RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br> >. Acesso em: 23 de Outubro de 2014.

[23] SAMANEZ, C. P. (2009). Engenharia Econômica. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2009.

[24] SEVERINO, M. M (2008). Avaliação técnico-econômica de um sistema híbrido de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas da Amazônia. Publicação PPGENE.TD 027/08. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.



[25] SHAYANI, R. A. (2006). Medição do Rendimento Global de um Sistema Fotovoltaico Isolado Utilizando Módulos de 32 Células. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-265/06, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p.

[26] SHAYANI, R. A. (2010). Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE- 051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p.

[27] \_\_\_\_\_. Geração Distribuída fotovoltaica. Disponível em: <<http://solventoenergia.blogspot.com.br>>. Acesso em: 10 de Novembro 2014.

[28] \_\_\_\_\_. Célula Solar Fotovoltaica, Efeito fotoelétrico. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/cbsolar/energia>>. Acesso em: 10 de Novembro 2014.

[29] \_\_\_\_\_. Comprar painel fotovoltaico. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br>>. Acesso em: 13 de Agosto 2015.

[29] \_\_\_\_\_. Comprar suporte painel fotovoltaico. Disponível em: <<http://energy.bio.br.com.br>>. Acesso em: 15 de Agosto 2015.

[30] \_\_\_\_\_. Decreto n.º 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <[www.presidencia.gov.br/legislacao](http://www.presidencia.gov.br/legislacao)>. Acesso em: 22 Outubro 2014.

[31] \_\_\_\_\_. Energia Solar. Disponível em: <<http://www.brasilsoilair.com.br>>. Acesso em: 22 Outubro 2014.

[32] \_\_\_\_\_. Inclinação de painéis solares no Brasil. Disponível em: <<http://minhacasasolar.com.br>>. Acesso em: 27 de Outubro 2014.