

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EZEQUIEL BASTOS RIBEIRO**

**ENERGIA FOTOVOLTAICA – ESTUDO DO  
FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO E SUA VIABILIDADE NO  
BRASIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: LEANDRO DANIEL PORFIRO**

**ANÁPOLIS/GO: 2018**

**EZEQUIEL BASTOS RIBEIRO**

**ENERGIA FOTOVOLTAICA – FUNCIONAMENTO,  
INSTALAÇÃO E SUA ACESSIBILIDADE NO BRASIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: LEANDRO DANIEL PORFIRO**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

RIBEIRO, EZEQUIEL BASTOS

Energia Fotovoltaica – Funcionamento, instalação e sua acessibilidade no Brasil.

52 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Energia Fotovoltaica | 2. Meio ambiente   |
| 3. Fonte Renovável      | 4. Economia        |
| I. ENC/UNI              | II. Bacharel (10º) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

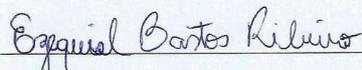
RIBEIRO, Ezequiel Bastos. Energia Fotovoltaica – Funcionamento, instalação e sua acessibilidade no Brasil. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ezequiel Bastos Ribeiro

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:  
Energia Fotovoltaica – Funcionamento, instalação e sua viabilidade no Brasil GRAU:  
Bacharel em Engenharia Civil. ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Ezequiel Bastos Ribeiro

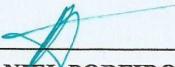
E-mail: ezequielbastosr@hotmail.com

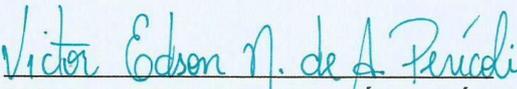
**EZEQUIEL BASTOS RIBEIRO**

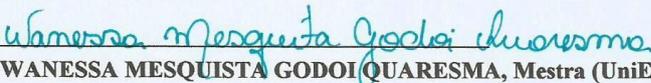
**ENERGIA FOTOVOLTAICA – ESTUDO DO  
FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO E SUA VIABILIDADE NO  
BRASIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**VICTOR EDSON NETO DE ARAÚJO PERÍCOLI, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**WANESSA MESQUISTA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 de novembro de 2018.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, meus maiores exemplos, que não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Agradeço a todos os meus familiares que torceram por mim. Sou grato aos meus queridos mestres que acompanharam meus estudos durante esses 5 anos e, em especial, ao professor Leandro Daniel Porfiro por todo apoio, atenção e dedicação para me orientar nessa monografia. Vocês me inspiraram a me tornar uma profissional melhor a cada dia. Obrigado aos amigos e colegas que me deram o suporte necessário para chegar até aqui. Meu muito obrigado a Deus pelo dom da vida, por sempre me dar saúde e força para completar essa importante etapa da minha vida.

Ezequiel Bastos Ribeiro

## RESUMO

O trabalho em questão foi realizado no intuito de melhor apresentar e esclarecer uma fonte de energia renovável, que é muito promissora no Brasil e também muito pouco explorada, pelo fato da falta de conhecimento e até mesmo um “pré-conceito” que a maioria das pessoas têm sobre o assunto. A energia fotovoltaica, que é proveniente da luz solar incidente na Terra, surge através do efeito fotovoltaico e vem demonstrando índices de crescimento ao longo dos anos, tanto no Brasil, quanto mundialmente, e neste presente trabalho foi apresentado como se dá a transformação em energia elétrica, elementos e materiais utilizados como placas fotovoltaicas, inversores e cabamentos, forma de instalação. Já para o estudo de caso foi feita uma análise da viabilidade de se adquirir essa fonte de energia em uma residência na cidade de Anápolis, mostrando quais materiais foram utilizados, como foi feita a instalação, valores em geral de economia do sistema fotovoltaico, assim como o tempo de retorno do investimento que se é esperado.

### **Palavras-chave:**

Energia renovável. Energia fotovoltaica. Efeito fotovoltaico. Luz solar. Energia elétrica. Viabilidade. Sistema fotovoltaico.

## **ABSTRACT**

The work in question was carried out in order to better present and clarify a renewable energy source, which is very promising in Brazil and also very little explored, due to the lack of knowledge and even a "preconception" that most people have on the subject. Photovoltaic energy, which comes from sunlight incident on the Earth, arises through the photovoltaic effect and has been showing growth rates over the years, both in Brazil and worldwide, and in this present work was presented as the transformation into energy electrical, elements and materials used as photovoltaic panels, inverters and wiring, form of installation. For the case study, an analysis was made of the feasibility of acquiring this source of energy in a residence in the city of Anápolis, showing which materials were used, as was the installation, general values of photovoltaic system economy, as well as the expected return on investment.

### **Keywords:**

Renewable energy. Photovoltaic energy. Photovoltaic effect. Sunlight. Electricity. Viability. Photovoltaic system.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Sistema de Geração Distribuída Ilustrado.....                                  | 19 |
| Figura 2 - Componentes da radiação solar. ....  | 22 |
| Figura 3 - Mapa brasileiro de irradiação solar em média anual.....                        | 22 |
| Figura 4 - Piranômetro Fotovoltaico.....  | 23 |
| Figura 5 - Composição da célula fotovoltaica.....   | 25 |
| Figura 6 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino.....                             | 26 |
| Figura 7 - Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.....                               | 27 |
| Figura 8 - Composição básica de um sistema FV conectado á rede.....                       | 28 |
| Figura 9 - Interligação em série de células cristalinas fotovoltaicas.....                | 29 |
| Figura 10 - Quatro módulos ligados em série.....  | 29 |
| Figura 11 - Diagrama para Ligação de Paineis Fotovoltaicos em Paralelo.....               | 30 |
| Figura 12 - Ligação de baterias/módulos em combinação série-paralelo. ....                | 30 |
| Figura 13 - Diagrama ilustrativo sobre funcionamento de sistema fotovoltaico on-grid..... | 34 |
| Figura 14 - Modelo painel solar TSM-PD14 Trinasolar.....                                  | 35 |
| Figura 15 - Módulos fotovoltaicos instalados na residência em Anápolis.....               | 36 |
| Figura 16 - Selo do INMETRO do Módulo fotovoltaico.....                                   | 36 |
| Figura 17 - Inversor fotovoltaico Galvo 1.5-1.....  | 37 |
| Figura 18 - Inversor instalado na residência.....   | 38 |
| Figura 19 - Placa de Sinalização de Segurança.....  | 39 |
| Figura 20 - Modelo de placa de advertência para o poste do transformador.....             | 40 |
| Figura 21 - Sistema de medição bidirecional.....  | 41 |
| Figura 22 - Lançamento de fatura da Celg.....   | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Matriz de Produção de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional..... | 16 |
| Tabela 2 - Índice de irradiação solar diária média.....                                | 42 |
| Tabela 3 - Geração do sistema a cada mês.....  | 43 |
| Tabela 4 - Economia de energia em reais a cada mês.....                                | 45 |
| Tabela 5 - Projeção de economia em reais por ano (25 anos).....                        | 46 |
| Tabela 6 - Cálculo do retorno do investimento durante 25 anos.....                     | 47 |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1- Matriz de produção de Energia Elétrica – Fevereiro/2018..... | 15 |
| Gráfico 2 - Crescimento Global da Energia Fotovoltaica.....             | 18 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| BEN     | BALANÇO ENERGETICO NACIONAL                     |
| EPE     | EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA                  |
| IEA     | INTERNATIONAL ENERGY AGENCY                     |
| MME     | MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA                   |
| CCEE    | CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA   |
| GD      | GERAÇÃO DISTRIBUÍDA                             |
| CRESESB | CENTRO DE REFEÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA |
| CEPEL   | CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA         |
| Wp      | WATT PICO                                       |
| CC      | CORRENTE CONTÍNUA                               |
| SSE     | SURFACE METEREOLGY AND SOLAR ENERGY             |
| NASA    | NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION   |
| FV      | FOTOVOLTAICO                                    |
| I x V   | TENSÃO X CORRENTE                               |
| KWh     | KILO WATT HORA                                  |
| GWh     | GIGA WATT HORA                                  |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>12</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA.....  | 12        |
| 1.2 OBJETIVOS.....  | 13        |
| <b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.3 METODOLOGIA.....  | 13        |
| 1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....  | 14        |
| <br>  |           |
| <b>2 CENÁRIO DA ENERGIA ELÉTRICA no brasil.....</b>   | <b>15</b> |
| 2.1 ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....   | 15        |
| 2.2 ORIGEM DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....   | 16        |
| 2.3 CENÁRIO ATUAL.....  | 17        |
| 2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....  | 19        |
| <br>  |           |
| <b>3 BASE DA CONVERSÃO DE LUZ EM ENERGIA ELÉTRICA E SEUS COMPONENTES.....</b>                     | <b>21</b> |
| 3.1 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA.....   | 21        |
| 3.2 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR.....  | 23        |
| <b>3.2.1 Células Fotovoltaicas.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.2.2 Estrutura básica de uma célula de silício.....</b>                                       | <b>26</b> |
| 3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (ON-GRID) .....                | 27        |
| 3.4 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO Á REDE ELÉTRICA.....                         | 28        |
| <b>3.4.1 Módulos Fotovoltaicos.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>3.4.2 Tipos de conexão dos módulos.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>3.4.3 Inversor.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>3.4.4 Proteção.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>3.4.5 Instalação Elétrica.....</b>   | <b>31</b> |
| <b>3.4.6 Estrutura do Suporte.....</b>  | <b>31</b> |
| <br>  |           |
| <b>4 ESTUDO DE CASO: SISTEMA (ON-GRID) INSTALADO EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE ANÁPOLIS.....</b> | <b>33</b> |

|               |   |           |
|---------------|---|-----------|
| 4.1           | NORMAS TÉCNICAS DE REFERÊNCIA.....                | 33        |
| 4.2           | MODO DE ATUAÇÃO.....                              | 34        |
| 4.3           | MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....                        | 35        |
| 4.4           | INVERSOR INTERATIVO (GRID-TIE).....               | 37        |
| 4.5           | CABOS.....  | 38        |
| 4.6           | PROTEÇÃO DO SISTEMA.....                          | 38        |
| 4.7           | SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA.....                     | 39        |
| 4.8           | CONEXÃO COM A REDE.....                           | 40        |
| 4.9           | FORMA DE MEDIÇÃO.....                             | 40        |
| 4.10          | VIABILIDADE DO PROJETO.....                       | 41        |
| <b>4.10.1</b> | <b>Cálculo da geração em KWh do sistema.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>4.10.2</b> | <b>Economia mensal do sistema em R\$.....</b>     | <b>44</b> |
| <b>4.10.3</b> | <b>Retorno e viabilidade do investimento.....</b> | <b>45</b> |
| <b>5</b>      | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                  | <b>48</b> |

REFERÊNCIAS

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é umas das formas de energia mais usadas em todo o mundo, e no Brasil, não é diferente. O desenvolvimento da sociedade moderna depende muito da energia, seja para iluminação, aquecimento ou refrigeração, ou mesmo para utilização em processos industriais e eletrônicos.

Na medida em que a população cresce, a demanda por energia elétrica tende a acompanhar esse crescimento. Para atender essa demanda, são usadas várias fontes de geração de energia, como por exemplo, a hidrelétrica, termoeletétrica, nuclear, eólica, solar dentre outras. No Brasil, segundo o Ministério de Minas e Energias, em seu Relatório Final, a fonte hidrelétrica prevalece como maior produtora de energia elétrica, com 68,1% da produção total, essa fonte, que não é considerada uma “fonte limpa”, pelo fato da devastação causada no alagamento para os reservatórios de água. As termoeletricas que também têm posição de destaque apresentam um grande problema ambiental, que é a emissão dos gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano, responsáveis por causar danos à vida, atualmente e futuramente, através do aumento da temperatura a acidez presente no solo. Em contrapartida uma fonte de energia considerada renovável, que não causa poluição ou nada que degrade o meio ambiente, como a solar, só representa 0,01% de toda a produção. (BRASIL, 2017).

Nas últimas décadas e com o avanço nas discussões sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, a principal fonte de energia discutida enquanto saída para os problemas ambientais é a energia solar fotovoltaica, que apesar da baixa escala de uso atualmente, vem tendo um crescimento significativo. Essa fonte que possibilita uma geração de energia elétrica distribuída, sem que seja preciso linhas e torres de transmissão e distribuição. Ela é instalada na própria edificação no meio urbano ou rural, não necessitando de uma área à parte (RÜTHER, 2017).

O Brasil possui a maior parte de sua terra situada na região intertropical, cujos índices de radiação solar são mais altos, favorecendo este tipo de produção de energia.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A energia fotovoltaica é uma alternativa de grande importância ao se tratar da preservação ambiental, principalmente no Brasil. Em busca de soluções para a não devastação do ambiente e também da economia dos cidadãos brasileiros, surge o potencial do país em

produção de energia por meio solar, já que sua localização geográfica se encontra próxima à linha do Equador, onde a incidência da radiação solar tem maior frequência. Aprimorando cada vez mais essa fonte alternativa e com todo esse potencial existente para o crescimento, a energia fotovoltaica pode se tornar um caminho a ser seguido em maior escala no Brasil.

Neste sentido, compreendemos que este trabalho pode contribuir para melhorar o debate em torno da eficiência e da relação custo-benefício da utilização e instalação de geradores de energia fotovoltaica.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar o contexto geral da energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, apresentar a capacidade e o potencial de produção de energia solar de uma residência no município de Anápolis.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Discutir sobre a energia fotovoltaica.
- Apresentar as fases de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência.
- Calcular os custos de um projeto de uma casa com energia solar.
- Calcular a produção de energia gerada pelo sistema fotovoltaico e com isso, analisar a viabilidade e o retorno do investimento dessa fonte renovável.

## 1.3 METODOLOGIA

Na primeira etapa realizaremos uma revisão bibliográfica utilizando banco de dados do Banco Digital de Teses e Dissertações (BDTD), além do Google Acadêmico, na internet com os descritores: placa fotovoltaica, energia solar, para fundamentar as discussões deste trabalho. Na segunda etapa, com o apoio da empresa Energize, que é especializada em instalação de placas de energia fotovoltaica, situada em Anápolis-GO, realizaremos uma análise de uma residência que utiliza este tipo de energia, a partir dos dados cedidos pela empresa. Por questões de ética profissional os nomes e endereço serão omitidos. Realizaremos uma

comparação entre a fonte de energia renovável e a energia advinda da concessionária Enel. As comparações serão realizadas através dos cálculos que serão apresentados neste trabalho. Este comparativo servirá de base para qualquer pesquisador, professor ou aluno que deseje obter informações sobre o custo e a viabilidade de se utilizar energia fotovoltaica.

#### 1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esse trabalho é composto por 5 capítulos. A partir da introdução, o capítulo 2 relata a Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, sua origem e situação atual.

No capítulo 3 tem como proposta mostrar a base da conversão de luz em energia elétrica e os componentes que permitem esse acontecimento.

No capítulo 4 foi apresentando o Estudo de caso de um Sistema (ON-GRID) instalado em uma residência na cidade de Anápolis, a partir desse estudo foi encontrado o material utilizado, tipo de instalação e o tempo de retorno do investimento, definindo assim se é uma opção viável ou não.

Por fim, o capítulo 5 são as considerações finais do trabalho apresentando todos os resultados e conclusões encontrados.

## 2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

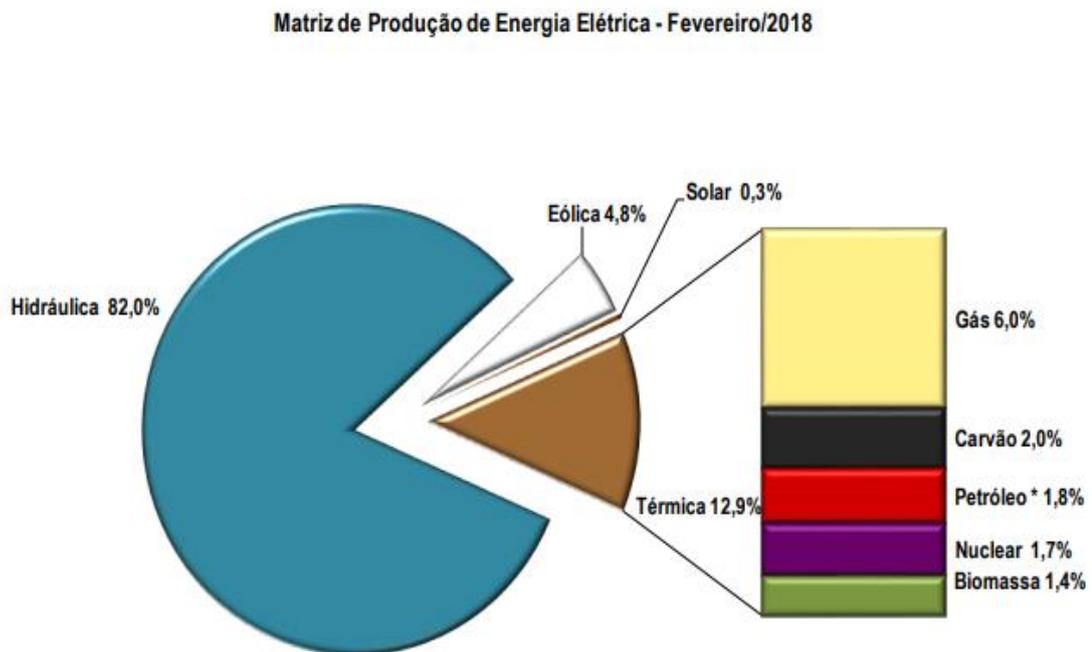
### 2.1 ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A geração de energia elétrica no Brasil, considerando as centrais de serviços públicos e desconsiderando a energia gerada por autoprodutores teve um alcance de produção de 540.007 GWh de março/2017 a fevereiro/2018 (BRASIL, 2018).

Segundo dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2018), a produção separada por fontes de geração teve como principal força, as hidrelétricas, que também apresentou um crescimento se relacionada aos anos anteriores. A produção a partir de fontes não renováveis representou 12,9% do total produzido no Brasil até fevereiro de 2018, número esse que revela uma diminuição desses tipos de fontes em relação aos anos anteriores.

O gráfico a seguir apresenta estes índices:

**Gráfico 1- Matriz de produção de Energia Elétrica – Fevereiro/2018.**



Fonte: CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018.

Na tabela a seguir é possível também observar essa relação de produção de energia tanto no mês, quanto no acumulado de 12 meses:

**Tabela 1 - Matriz de Produção de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional.**

| Fonte             | Valor mensal    |                                      |                                     | Acumulado 12 meses     |                        |              |
|-------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
|                   | Fev/18<br>(GWh) | Evolução mensal<br>(Fev/18 / Jan/18) | Evolução anual<br>(Fev/18 / Fev/17) | Mar/16-Fev/17<br>(GWh) | Mar/17-Fev/18<br>(GWh) | Evolução     |
| <b>Hidráulica</b> | <b>35.638</b>   | <b>-5,7%</b>                         | <b>-3,4%</b>                        | <b>406.192</b>         | <b>383.472</b>         | <b>-5,6%</b> |
| <b>Térmica</b>    | <b>5.394</b>    | <b>-19,1%</b>                        | <b>2,2%</b>                         | <b>98.929</b>          | <b>113.823</b>         | <b>15,1%</b> |
| Gás               | 2.598           | -22,9%                               | 5,9%                                | 39.544                 | 50.025                 | 26,5%        |
| Carvão            | 889             | -2,4%                                | 12,7%                               | 13.048                 | 13.439                 | 3,0%         |
| Petróleo *        | 570             | 16,4%                                | 17,7%                               | 8.216                  | 10.523                 | 28,1%        |
| Nuclear           | 752             | -41,4%                               | -31,6%                              | 14.369                 | 14.087                 | -2,0%        |
| Biomassa          | 585             | -4,7%                                | 28,8%                               | 23.753                 | 25.748                 | 8,4%         |
| <b>Eólica</b>     | <b>2.068</b>    | <b>-38,1%</b>                        | <b>-3,4%</b>                        | <b>34.169</b>          | <b>41.378</b>          | <b>21,1%</b> |
| <b>Solar</b>      | <b>148</b>      | <b>-9,4%</b>                         | <b>6423%</b>                        | <b>29</b>              | <b>1.405</b>           | <b>4781%</b> |
| <b>TOTAL</b>      | <b>43.247</b>   | <b>-9,9%</b>                         | <b>-2,44%</b>                       | <b>539.319</b>         | <b>540.077</b>         | <b>0,1%</b>  |

Fonte: CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018.

Portanto, segundo dados fornecidos pelo Boletim Mensal do Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, do Ministério de Minas e Energia (MME, 2018), o Brasil é representado por uma matriz elétrica predominantemente renovável, com 87,1% da sua oferta interna de eletricidade. Das fontes renováveis a proveniente da água (hidráulica), se destaca contendo 82,0% da parcela total de oferta. Apesar dos dados serem de bons indícios, a energia produzida nas hidrelétricas por mais que seja renovável, apresentam danos ao meio ambiente pelo fato das extensas áreas alagadas para os reservatórios de água. A energia solar apresenta um baixíssimo índice ao compararmos com toda a oferta interna no Brasil, 0,01%, porém ao passar dos anos é uma fonte que merece destaque pelo alto crescimento que vem acontecendo, e pelo potencial que o Brasil tem em produzi-la.

A partir deste cenário é possível observar que a energia fotovoltaica ainda é pouco utilizada no Brasil, fato que torna este estudo relevante, pois contribui para a discussão sobre a temática. Neste sentido, torna-se importante discutirmos este tipo específico de energia, a energia solar fotovoltaica.

## 2.2 ORIGEM DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

No século XIX, no ano de 1839, o pesquisador Alexandre Edmond foi o responsável pela descoberta na energia solar. Enquanto realizava experimentos com eletrodos, ele percebeu

que a partir da luz solar era possível se obter energia elétrica. Em sua experiência, ele descobriu o chamado efeito fotovoltaico, esse efeito se caracteriza por uma diferença de potencial que se dá nos extremos da estrutura de um material semicondutor ao se interagir com a radiação solar, ou seja, no momento da interação ocorre uma movimentação e liberação de elétrons, gerando a diferença de potencial (CRESESB, 2004).

No ano de 1884 foi criada a primeira célula fotovoltaica, usando selênio, que tinha uma baixa eficiência de apenas 1%. Após mais de um século da descoberta da energia solar, em 1954, se originou a primeira célula fotovoltaica usando o material silício, que tinha eficiência de 6%. O uso desse novo material foi desenvolvido por três pessoas, o químico Calvin Fuller, o físico Gerald Pearson e o engenheiro Daryl Chapin, eles que eram do laboratório da Bell em Murray Hill (EUA) (Universidade Técnica de Lisboa, 2018).

Com isso, a energia solar fotovoltaica deixava de ser apenas uma expectativa para o futuro, se tornando realidade e a partir daí iniciando seu crescimento pelo mundo.

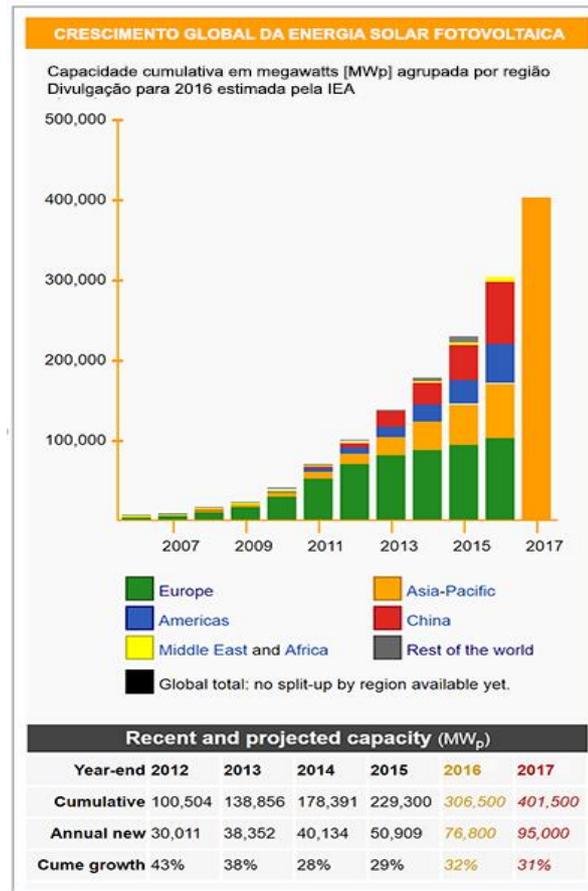
O aproveitamento da energia proveniente do sol, seja como fonte para iluminação ou fonte de calor, é uma das alternativas que se pode ter mais expectativa para a solução dos problemas da escassez energética no futuro e que pode atender as demandas ambientais de preservação do meio ambiente.

### 2.3 CENÁRIO ATUAL

Segundo dados da *International Energy Agency* (IEA, 2017), no cenário mundial, no ano de 2016, países como China, EUA e Índia tiveram um grande crescimento. Na América e no Brasil apesar de ser notado o crescimento da produção ao longo dos anos, ainda se deixa a desejar, visto o potencial que o Brasil possui para produção dessa energia. É importante destacar que de maneira geral todos os continentes aumentaram sua produção de energia fotovoltaica, com destaque especial para a Ásia, que teve a China como protagonista.

Para exemplificar esse crescimento é apresentado a seguir um gráfico que mostra o crescimento global da produção de energia fotovoltaica no mundo.

Gráfico 2 - Crescimento Global da Energia Fotovoltaica.



Fonte: *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY*, 2017.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2018), no mês de maio de 2018, já existiam 27.803 sistemas solares fotovoltaicos ligados à rede. Outra marca importante conquistada no mês de maio, foi a de atingir 250 MW de potência instalada, contando sistemas de micro e minigeração distribuída, instalados em residências, indústrias, edificações do governo, comércios e na zona rural. Na análise do número de sistemas instalados o destaque vai para os consumidores residenciais, alcançando 77,4 % do total, já analisando a potência alcançada, o setor que destoa é o de comércio com 42,8 % da potência total do país. Esses dados podem ser considerados muito expressivos, visto que em 2012, apenas 13 locais geravam eletricidade a partir dessa fonte, a energia solar era utilizada de forma geral apenas para aquecedores de água.

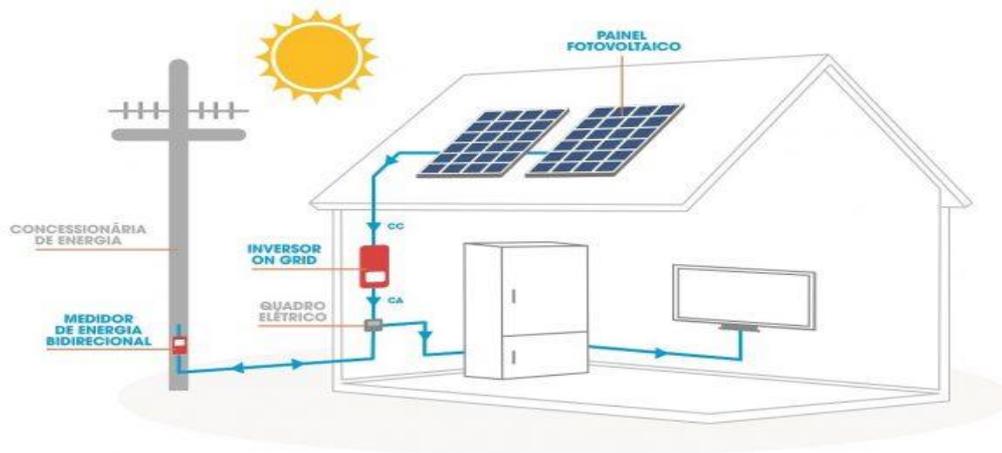
Pelo fato do grande potencial solar do Brasil, numa perspectiva apresentada pela Bloomberg New Energy Finance (2016b), a energia fotovoltaica que em 2016 representa o menor índice de porcentagem de produção de energia elétrica, alcançará em 2040 a incrível marca de 32% de toda a matriz elétrica brasileira, passando assim a ser a maior fonte em representatividade no Brasil, com capacidade prevista entre 110 e 126 (SEBRAE, 2017).

## 2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Geração Distribuída é definida como uma geração de energia elétrica que se é instalada próxima ao local de consumo da mesma, ou no próprio estabelecimento do consumidor. No ano de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou duas Resoluções Normativas ( n° 482 e a n° 517), elas, que regem condições gerais sobre a microgeração de energia elétrica como também o sistema de compensação de energia elétrica, também denominado de *net metering*, que está em uso atualmente em diversos países.

Para explicar este sistema utilizamos o esquema a seguir (Figura 1):

**Figura 1 - Sistema de Geração Distribuída Ilustrado.**



Fonte: SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO DE SÃO PAULO, 2017.

A energia que excede é “emprestada” à distribuidora local de energia, e após isso ocorre uma compensação com o consumo de energia elétrica dessa unidade consumidora. A energia de saldo produzida em determinado mês poderá ser descontada em outro posto de tarifa, ou em caso de preferência, no mês próximo. Esse saldo de energia que pode vir a existir tem validade de 60 meses, podendo ainda o consumidor utilizar seu saldo em outra unidade, desde que estejam na mesma concessão e sejam do mesmo titular. Esse processo aceita apenas troca de kWh entre o consumidor/gerador e a distribuidora de energia, não tendo circulação de dinheiro no mesmo (ANEEL, 2012).

A Resolução Normativa ANEEL n° 687/15, complementar à 482/12, rege que a microgeração é caracterizada por produções abaixo de 75 kW, e a minigeração tem sua produção acima de 75 kW até o limite de 5 MW. Essa resolução vale por qualquer que seja a fonte renovável em questão. As modalidades que se enquadram nessa Resolução são os Imóveis

individuais, condomínios, cooperativas e consórcios. Na microgeração, a distribuidora tem um prazo de 34 dias para conectar a instalação da rede, contado inicialmente do dia de solicitação.

Com a geração distribuída regida e aprovada por lei, o Sistema Fotovoltaico ganhou um grande aliado para seu crescimento, visando não só o grande potencial que o Brasil tem, mas também a capacidade de economia nos custos com energia da sociedade.

Para compreender melhor como essa energia é utilizada discutiremos a seguir a base de conversão de luz em energia elétrica.

### 3 BASE DA CONVERSÃO DE LUZ EM ENERGIA ELÉTRICA E SEUS COMPONENTES

A energia fornecida pelo sol para a Terra atinge a marca de  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar por ano. Esse valor comparado com o consumo mundial de energia no mesmo período se faz 10.000 vezes maior. Isso nos indica que a radiação solar, não só tem a capacidade de manter a vida na Terra, como também tem um potencial gigantesco como fonte energética, se utilizados e captados por meio dos sistemas fotovoltaicos (RÜTHER, 2004).

#### 3.1 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA

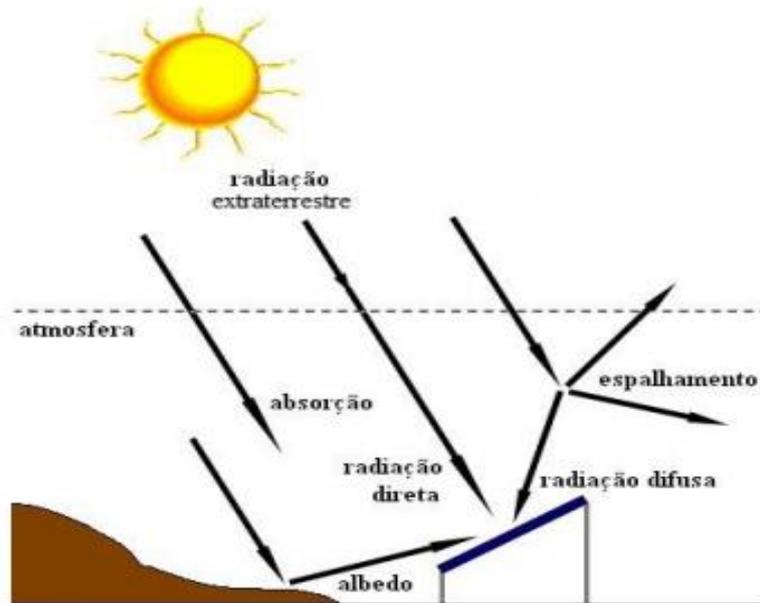
É denominada irradiância solar, a densidade média anual do fluxo de energia que se têm pela radiação solar. Essa irradiância quando é medida num plano que se encontra perpendicular aos raios solares no topo da atmosfera da Terra, têm-se o nome de constante solar e é adotado o valor de  $1.367 \text{ W/m}^2$ . Se o raio médio da Terra tem 6.371 km, com esse valor da irradiância, é calculado que a potência total disponibilizada do Sol para Terra, no topo da atmosfera, que é aproximadamente 174.000 TW, valor significativo e que mostra a grande alternativa que é o Sol, equanto fonte de energia. (CRESESB, 2014).

Com base em medições feitas no período do ano 2000 ao ano 2005, obteve-se num diagrama que de toda a irradiância solar que chega a atmosfera, 54 % incide no topo da atmosfera, sendo 7 % refletida e 47 % é absorvida, e o restante (46%) são absorvidos e refletidos pela própria atmosfera, com isso se conclui que aproximadamente 94.000 TW de potência chegam de forma efetiva à Terra (TRENBERTH, 2009).

Pegando como base o consumo mundial de energia primária em 2011, têm-se o valor de consumo de aproximadamente 143.000 TWh e num intervalo de 2 horas ( 94.000 TW multiplicado por 2, obtendo 188.000 TWh), já se tem uma quantidade de energia recebida na superfície terrestre superior ao consumo energético mundial durante um ano (CRESESB, 2014).

A figura a seguir (Figura 2) representa a irradiação solar sobre a Terra.

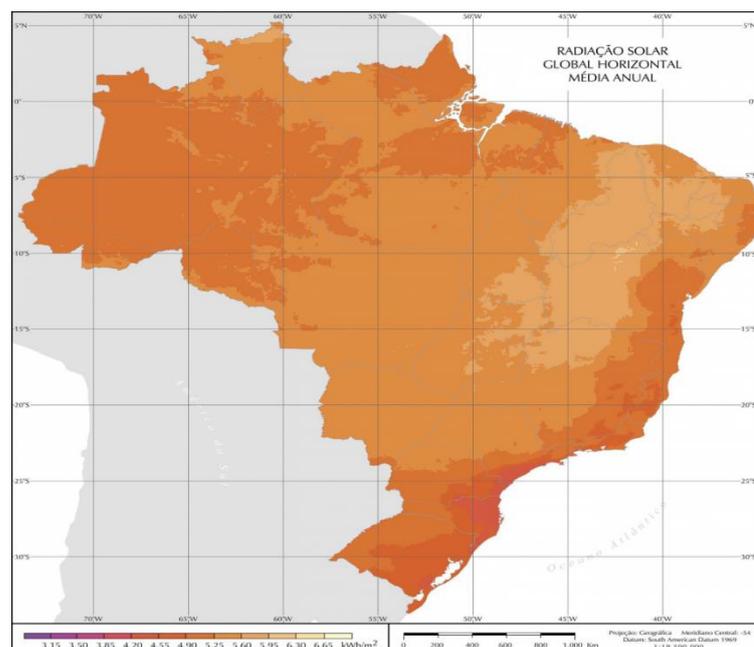
**Figura 2 - Componentes da radiação solar.**



Fonte:RODRIGUES, 2014.

Analisando a radiação solar que chega até a superfície terrestre e que incide em uma superfície receptora de energia, deve-se considerar duas componentes, as diretas e as difusas. A direta é caracterizada por ser proveniente diretamente da direção do sol e produzir sombras nítidas, já a difusa é proveniente de todas as direções, pois atinge a direção do solo após passar por um espalhamento na atmosfera terrestre. A componente difusa que pode ter sua origem, por exemplo, com a ocorrência de um dia nublado.

**Figura 3 - Mapa brasileiro de irradiação solar em média anual.**



Fonte: PEREIRA, 2006.

A partir valor da irradiação solar incidente pode-se calcular a energia elétrica que pode ser convertida por meio de um Sistema Fotovoltaico. O potencial do Brasil, como visto na figura 8, é de enorme escala e constante em todo o território brasileiro, tornando assim todos os estados aptos a serem grandes produtores de energia por via solar. Em um comparativo, o Brasil tem mais disponibilidade de irradiação até mesmo que a Alemanha que é um país com uma capacidade instalada grande de sistemas Fotovoltaicos, referência mundial (CEPEL/CRESESB, 2014).

### 3.2 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

A medição da quantidade de radiação solar que existe em determinado ponto, é de suma importância ao projeto de um Sistema Fotovoltaico. Os dados sobre o histórico de radiação em determinado local ou região, pode contribuir para decidir não só se será viável a utilização desta tecnologia, como também a capacidade da produção de energia elétrica naquele local.

Para a realização da medição, existem variados tipos de instrumentos que podem ser usados, como os Pireliômetros, Heliófrago, Actinógrafo, Piranômetro, dentre outros. Porém de forma geral o equipamento mais utilizado devido ao menor custo costuma ser o Piranômetro, que apesar de não ser o mais preciso, sai na vantagem principalmente em relação à economia.

**Figura 4 - Piranômetro Fotovoltaico.**



Fonte: Hukseflux Brasil, 2018.

O Piranômetro (Figura-9), chamado Piranômetro padrão secundário SR30, regido pela norma ISO 9060. Essa norma que é a responsável pela classificação dos instrumentos e padrão secundário, primeira classe e a segunda classe. Esses equipamentos devem ter uma calibração frequente do tipo *in-situ* com o período de no máximo 18 meses para garantir a qualidade nas medições, a norma que rege os procedimentos de calibração é a ISO 9847 (1992).

Para a realização de uma medição qualificada, além da qualidade nos equipamentos, devem ser feitas leituras em várias horas do dia, pois os módulos fotovoltaicos geralmente são instalados num plano inclinado, e com a variação da posição do sol a cada instante, a conversão de um dado de irradiância de um plano horizontal para um plano inclinado também varia a cada instante.

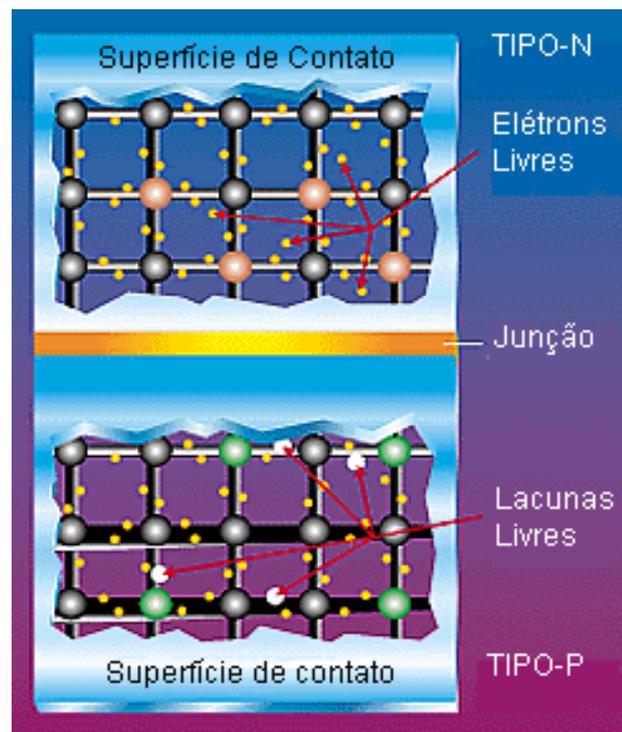
Outra forma também usada para a medição da radiação solar é por meio de satélites. O Atlas Brasileiro de energia solar, ao longo do tempo tem sido aperfeiçoado, publicando imagens e índices sobre esse tipo de medição no território brasileiro. Um dos bancos de dados que é responsável por essas informações via satélite é o *Surface meteorology and Solar Energy service* (SSE) da NASA (CRESESB, 2014).

### 3.2.1 Células Fotovoltaicas

Nesta parte, discutiremos os aspectos físicos e estruturais de uma célula fotovoltaica.

De todo o sistema fotovoltaico, a célula é onde se encontra a base de toda a conversão da luz solar na energia elétrica. A conversão direta da energia radiante solar em corrente elétrica é realizada mediante ao efeito fotovoltaico que se caracteriza pelo surgimento de uma diferença de potencial elétrico. Essa diferença se origina com os fótons que ao incidirem sobre o material semicondutor da célula, promovem um deslocamento nos elétrons. Esses elétrons podem ser capturados antes de voltarem a seus orbitais atômicos, e por meio disso são aproveitados como corrente elétrica, com isso surgem lacunas, que são tratados pela Física como se fizessem o papel de cargas positivas, pois elas atraem os elétrons livres, que conduzem a corrente elétrica (Figura 5).

Figura 5 - Composição da célula fotovoltaica.



Fonte: UFPR, 2000.

Para que ocorra o efeito fotovoltaico, o material contido na célula deve ser basicamente um semicondutor, visto que os isolantes não se adequam pela baixa condutividade que eles apresentam e os metais concentram uma grande quantidade de elétrons e, por isso, são insensíveis à luz. Diante dos semicondutores, para a seleção do mais apropriado, se analisa principalmente quanto à capacidade de fornecer o maior produto tensão x corrente ( $I \times V$ ) para a luz visível. Alguns dos materiais mais usados para a fabricação de células fotovoltaicas são: silício, selênio, gálio e o cádmio. Na análise dos elementos existe o silício policristalino, o silício amorfo, arseneto de gálio, sulfeto de cádmio, entre outros. O silício policristalino e o amorfo, já são de uso comercial mesmo que de baixíssima escala, a vantagem deles em relação principalmente ao monocristalino é que exigem de uma menor quantidade para o uso da produção da célula, além da capacidade do seu processamento ser compatível com a produção em massa (Figura - 10) (CRESESB, 2006).

De todos esses elementos citados, os provenientes do silício são os mais utilizados, uma vez que é abundantemente encontrado no mundo e no Brasil principalmente. Em meio aos tipos de silício, atualmente, o silício monocristalino é o elemento que tem predominância na fabricação de células. Enquanto isso outros materiais são estudados e pesquisados visando melhorar não somente a eficiência nas células, como também o alto custo que ela tem.

**Figura 6 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino.**



Fonte: SUN 7 ENERGIA SOLAR, 2018.

### **3.2.2 Estrutura básica de uma célula de silício**

O silício é um material que não é encontrado puro na natureza, ele se apresenta normalmente como areia. Através de alguns processos físicos e químicos, se obtém o silício puro. O cristal do elemento de silício puro, em sua composição não possui elétrons livres, e por esse motivo é considerado um mal condutor. Para resolver esse problema são acrescentadas porções de outros elementos, esse processo é denominado dopagem.

Para realizar a dopagem é muito comum o uso de dois elementos junto ao silício, que geralmente são o Fósforo (P) e o Boro (B). Ao realizar a dopagem com o Fósforo, surgem elétrons livres, portadores de cargas negativas, obtendo assim o Silício Tipo N. Fazendo o mesmo processo, porém acrescentando o Boro, surge um material com outras características, que tem falta de elétrons, material com cargas positivas livres, obtendo assim o silício Tipo P. Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P (PALZ, 1981).

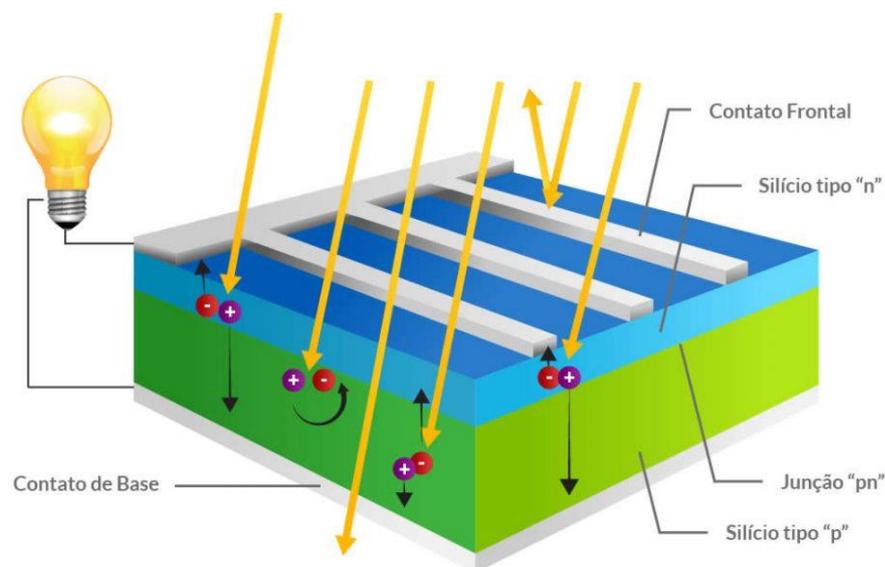
Essa é a base constituinte de todo os tipos de elementos semicondutores como diodos, transístores e células fotovoltaicas.

Individualmente, essas duas camadas (N e P), são eletricamente neutras. Porém ao serem unidas na região chamada P-N, se forma um campo elétrico, por causa da diferença de potencial entre as placas. Ou seja, o efeito o campo elétrico exerce força sobre os elétrons livres do silício tipo N, que por sua vez, ocupam os vazios da camada do silício tipo P. Assim, com a incidência de luz sobre essa célula fotovoltaica, os fótons vindos da luz se “esbarram” com elétrons da estrutura de silício, gerando assim energia e os transformando-os em condutores (PALZ, 1981).

Porém, só o fato de encostar as camadas não produz aceleração nos elétrons para gerar corrente elétrica é necessária uma energia extra que pode ser dada pela luz, ou por outra diferença de potencial (ddp). Nos diodos de silício, por exemplo, os elétrons só atravessam essa junção (também conhecida como banda) quando a ddp ultrapassa 0,7 V, se o material utilizar germânio no lugar do silício essa voltagem de ativação cai para 0,3 V.

Através de um condutor externo, se liga a camada negativa à positiva, gerando um assim um caminho para a corrente elétrica. Enquanto a luz incidir na célula, esse fluxo de elétrons (corrente elétrica) se mantém. A quantidade de corrente elétrica a ser gerada, será proporcional à intensidade da luz incidente (PALZ, 1981). Daí a importância da área da placa, pois quanto maior a palca maior será a quantidade de luz que ela conseguirá absorver.

**Figura 7 - Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.**



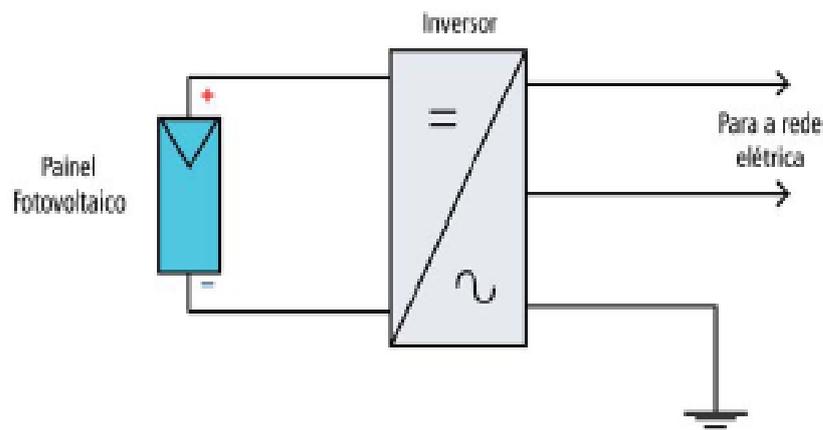
Fonte: WGSOL, 2018.

### 3.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (ON-GRID)

Esse tipo de sistema é caracterizado pela produção da energia elétrica no próprio local de consumo, porém existe uma interação com a rede elétrica provinda da fonte distribuidora da cidade em questão. Essa interação permite que o consumidor use a energia elétrica convencional para complemento na quantidade total da energia de demanda da residência (RÜTHER, 2004; IEA, 2010).

Os sistemas distribuídos, por serem conectados à rede, não necessitam de baterias em sua composição. Eles são constituídos basicamente pelo painel fotovoltaico e o inversor, além dos componentes de comando e de proteção, como por exemplos chaves, fusíveis e disjuntores.

**Figura 8 - Composição básica de um sistema FV conectado à rede.**



Fonte: LAMBERTS, 2010.

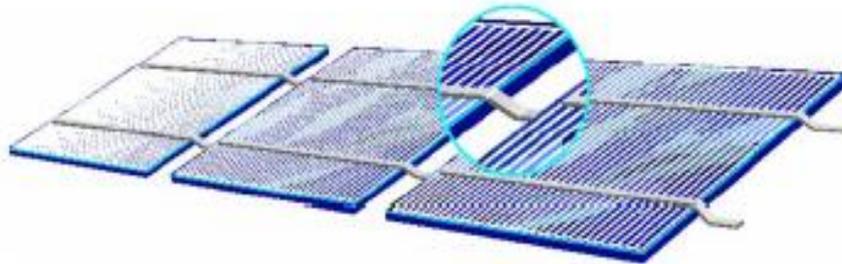
Nos sistema FV distribuído, apresentam uma grande vantagem por diminuïrem perdas relacionadas à transmissão e distribuição, tornando-se assim um sistema eficiente em relação à capacidade energética. Além disso, não há necessidade de um local específico para a instalação do sistema, já que ele é integrado a própria edificação (RÜTHER, 2004).

### 3.4 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

#### 3.4.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são fabricados a partir do encadeamento de várias células fotovoltaicas. Esse encadeamento é feito, pois apenas as células não satisfazem o sistema FV, devido à baixa potência que elas apresentam (1 a 3 W), e sua tensão individual ser menor que 1 V. Ligando as células em série, o pólo negativo de uma é soldados ao pólo positivo da célula em sequência (Figura – 9) (ALVARENGA, 2018).

**Figura 9 - Interligação em série de células cristalinas fotovoltaicas.**



Fonte: DEPARTAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA (UFC), 2014.

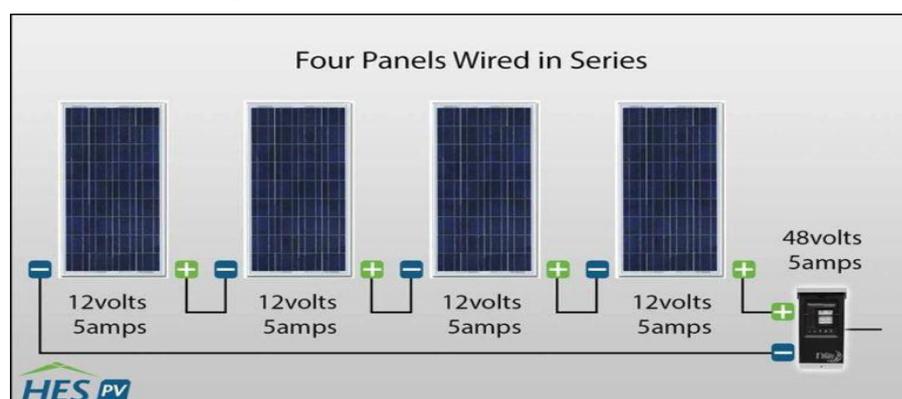
Com a formação do módulo, não necessariamente pode ser suficiente apenas um módulo Fotovoltaico, assim, se torna preciso a conexão de vários módulos em série (painel), isso irá determinar também a tensão de operação do sistema fotovoltaico em corrente contínua (CC). Essa corrente do gerador FV, é calculada através da conexão em paralelo de painéis individuais ou por conjunto de módulos conectados em série. Já a potência instalada, é calculada através da soma da potência de cada módulo individualmente (RÜTHER, 2004).

### 3.4.2 Tipos de conexão dos módulos

- *Em Série*

Quando os módulos são conectados em série, têm-se um pólo positivo de um módulo ligado ao negativo de outro módulo. Assim, para se calcular a tensão total de saída do sistema, se somam as tensões de cada módulo, já para a corrente total do conjunto será igual a corrente de um módulo.

**Figura 10 - Quatro módulos ligados em série.**



Fonte: KRINAT SOLAR, 2017.

É necessário um certo cuidado quanto as sombras no local numa ligação em série, pois se caso um único módulo estiver em posição de sombreamento, pode ser afetada toda a fileira de módulos, porque a corrente do conjunto é igual a corrente de um módulo.

- *Em Paralelo*

Nessa conexão, o pólo positivo de um módulo é unido ao pólo positivo de outro. Assim, a corrente total é calculada pela soma de todas as correntes de cada módulo e a tensão total é igual a tensão de um único módulo.

**Figura 11 - Diagrama para Ligação de Paineis Fotovoltaicos em Paralelo.**



Fonte: KRINAT SOLAR, 2017.

- *Ligação Mista (Série/Paralelo)*

Esse modelo de conexão é muito comum em sistemas fotovoltaicos conectados à rede. É baseado geralmente com os módulos ligados em série e os arranjos (conjunto de módulos ligados em série) conectados em paralelo, aumentando assim a corrente de saída.

**Figura 12 - Ligação de baterias/módulos em combinação série-paralelo.**



Fonte: KRINAT SOLAR, 2017.

### 3.4.3 Inversor

Como os módulos fotovoltaicos geram energia elétrica em corrente contínua (CC), e a energia proveniente da rede elétrica está sempre em corrente alternada (CA), é utilizado o chamado inversor que realiza a transformação de CC em CA adaptando todas as características e sincronizando junto às da rede elétrica.

Segundo Pereira e Gonçalves (2008), as principais funções dos inversores em SFRC são:

- Rastreamento do Ponto Máximo de Potência (MPPT), permite que os sistemas FV façam ajustes e mantenham o Módulo FV operando sempre perto do seu maior potencial;
- Converter CC em CA;
- Desconexão e Isolamento: em casos de os níveis de corrente, tensão e frequência não estarem na faixa exigida pelos padrões da rede elétrica de ser desconectado, valendo também para quando a rede estiver sem energia, ocorrendo assim um isolamento do gerador FV da rede.

### 3.4.4 Proteção

Deve ser feita a proteção dos cabos contra sobrecorrentes, a utilização da String Box é essencial, ela que é um equipamento de proteção que isola o sistema de produção de energia fotovoltaica para impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos. Em casos desses problemas que podem surgir, a String Box sacrifica seus componentes e abre o circuito elétrico em que ela está instalada. Fazendo uma analogia, ela funciona como os disjuntores de energia dentro da sua caixa de distribuição. Nela, se utiliza por exemplo fusíveis instalados como chave seccionada. Isso ajudará para que a CC chegue ao inversor protegida, além de também proporcionar maior proteção para o consumidor (SOLARVOLT, 2018).

### 3.4.5 Instalação Elétrica

É utilizado o cabeamento para interligar os elementos que constituem o sistema fotovoltaico. Para as instalações elétricas e de todo o cabeamento em um sistema FV, como são de baixa tensão, é regido pela NBR 5410. A diferença de forma geral de um SFV para a instalação convencional, é o fato do gerador FV se manter energizado sempre que houver incidência de luz solar e também de se tratar de um circuito CC (RÜTHER, 2004).

### 3.4.6 Estrutura do Suporte

A estrutura adequada do suporte dos módulos fotovoltaicos, deve ser montada pensando não somente na facilidade da instalação, como também das manutenções que irão ser

feitas no passar do tempo. A manutenção desse equipamento que consiste de forma generalizada apenas em limpeza, visto que problema maiores teria a cobertura da garantia do fornecedor. Outros pontos importantes ao se instalar o suporte, é o da questão estética da residência e também da economia em cabos condutores de energia elétrica, sendo assim, quanto mais longe do ponto de consumo estiverem seus módulos, mais será gasto com cabeamento.

São feitas algumas exigências quanto à instalação dessas estruturas segundo Lorenzo e Zilles (1994), são elas:

- Resistir ventos de até 150 km/h;
- Os módulos devem estar localizados à no máximo 1 metro do solo;
- A fabricação do suporte deve ser baseada em materiais não corrosivos;
- Deve ser feito o aterro segundo as normas vigentes;
- Não prejudica a edificação esteticamente.

Considerando todo o aporte teórico discutido, apresentaremos no próximo capítulo (capítulo 4) um estudo de caso na cidade de Anápolis, para uma residência com a contribuição de uma empresa de Anápolis, especializada na área de energia fotovoltaica. A empresa nos cedeu alguns dados reais e por motivo de ética na pesquisa os nomes serão alterados para que sejam preservadas as identidades. O objetivo desta análise é mostrar para o leitor (a), a relação de custo benefício da instalação de energia fotovoltaica para uma residência, considerando o ano de 2016, como base dos cálculos.

## **4 ESTUDO DE CASO: SISTEMA (ON-GRID) INSTALADO EM UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE ANÁPOLIS**

O projeto base para o estudo de caso, foi feito em um residência de Anápolis no ano de 2016, projetado e executado pela empresa Energize, que é uma empresa de Anápolis especializada em Energia Fotovoltaica, no qual o dono foi aluno do curso de Engenharia Civil da Unievangélica.

### **4.1 NORMAS TÉCNICAS DE REFERÊNCIA**

O primeiro passo para a instalação do sistema fotovoltaico em uma residência, é se adequar e ter conhecimento sobre as Normas Técnicas de Referência, somente após se adequar às normas será possível um sucesso em toda a instalação do Sistema.

Analisando as condições gerais regidas pela Agência Nacional de Energia elétrica (ANEEL), na RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, existe três tipos de geração da energia fotovoltaica. Para o sistema ser definido como de microgeração distribuída, a potência instalada na central geradora de energia elétrica deve ser inferior a 100 kW e que utilize fontes de energia que sejam de base hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Já na minigeração distribuída, seguem as mesmas definições que a microrgeração, com o diferencial na potência instalada que é quando superior a 100 kW e inferior a 1MW. Por último o sistema de compensação de energia elétrica, é definido como um sistema de micro ou minigeração, que sua energia gerada por unidade consumidora compensa o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012).

Após analisadas as condições gerais do tipo de seu Sistema Fotovoltaico existem os Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da Companhia de Energia Elétrica de Goiás, que atualmente é a ENEL. Esses requisitos são regidos e especificados pela CELG D, NTC-71 Revisão 2. Nessa análise da Norma NTC-7, o aderente ao sistema terá conhecimento sobre todos os pré-requisitos ao se tratar de instalação, toda documentação necessária para o fim desejado com a produção de energia como por exemplo o empréstimo gratuito da energia gerada à distribuidora local (Enel) que posteriormente será compensada com o consumo de energia elétrica ativa (NTC-71, 2016).

Para o Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição, normatizado pela CELG D, NTC-04 Revisão 3, (2016). É estabelecido diretrizes técnicas para o fornecimento de energia elétrica secundária, através de redes, sejam aéreas ou subterrâneas,

assim como todos os requisitos técnicos necessários e indispensáveis para que se façam as entradas de serviços, em toda área de concessão da CELG D (NTC-04, 2016)

A instalação de um sistema elétrico de baixa tensão e tudo que é necessário, é regido pela ABNT NBR 5410 (2004, p. 1), ela tem que como seu objetivo estabelecer “as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.”

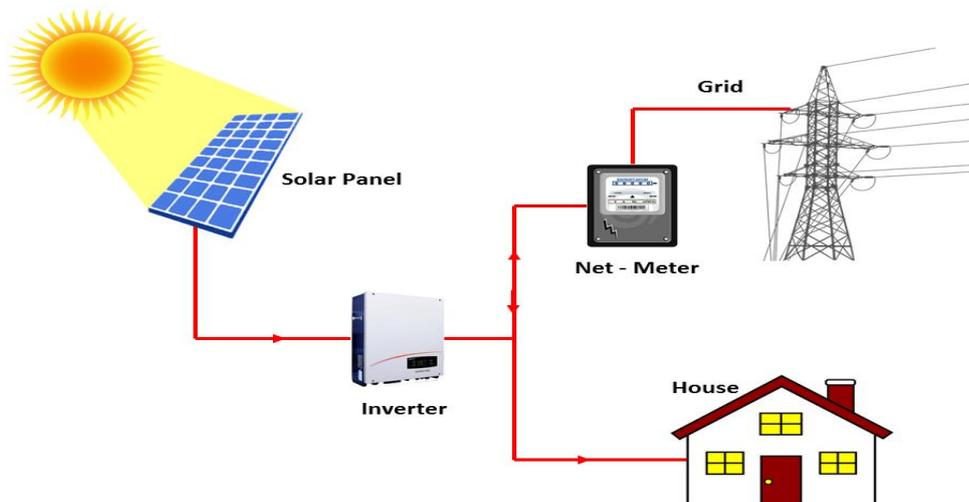
## 4.2 MODO DE ATUAÇÃO

Um sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid) é um gerador de potencial elétrico que tem como fonte primária a energia solar, trabalhando em conjunto com a rede elétrica da distribuidora de energia.

Os módulos fotovoltaicos geram eletricidade em corrente contínua através do efeito fotoelétrico, que depende da incidência da luz solar. O inversor interativo (também chamado de grid-tie) faz a interface entre os módulos e a rede elétrica, convertendo a corrente contínua em corrente alternada e injetando-a na rede da concessionária. Antes de enviar a energia para a rede, o inversor faz uma leitura dos seus valores de tensão e frequência, ajustando sua saída a esses valores.

Um sistema fotovoltaico on-grid é totalmente dependente da rede elétrica e não funciona se o fornecimento de energia da concessionária for interrompido. Essa característica evita que o sistema provoque acidentes em caso de manutenções na rede.

**Figura 13 - Diagrama ilustrativo sobre funcionamento de sistema fotovoltaico on-grid.**

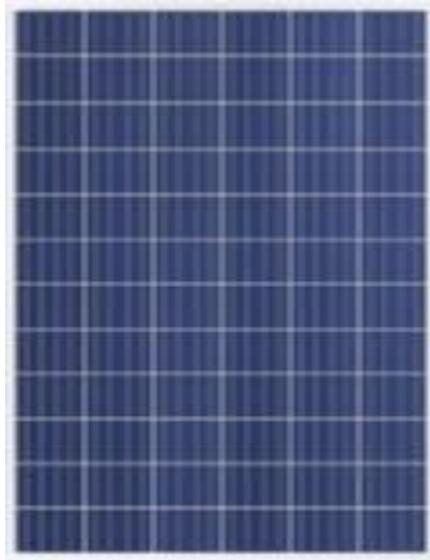


Quando a rede da distribuidora é desligada (queda de energia ou blackout), o inversor se desconecta da rede elétrica, e só volta a injetar energia após um período configurado anteriormente, segundo os padrões exigidos pela distribuidora e aceitos pelas normas nacionais e internacionais que tratam de inversores grid-tie. Ou seja, neste tipo de sistema o usuário passa a ser um microprodutor de energia.

#### 4.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para o projeto executado foram utilizados 05 módulos fotovoltaicos da marca Trinasolar modelo TSM-PD14, com potência de 310 Watt-pico, ilustrado na Figura 14.

**Figura 14 - Modelo painel solar TSM-PD14 Trinasolar.**



Fonte: TRINASOLAR, 2018.

Como consta no catálogo da Trinasolar, o Modelo TSM-PD14 tem como características:

- Módulo Multicristalino contendo 72 células fotovoltaicas;
- Faixa de saída de potência: 310 a 335 W;
- Máxima eficiência: 17,3 %;
- Tolerância de saída de potência: 0 ~ + 5W;
- 10 anos de garantia do produto;
- 25 anos de garantia linear da energia.

A seguir apresentamos o módulo instalado na residência em estudo (Figura 15).

**Figura 15 - Módulos fotovoltaicos instalados na residência em Anápolis.**



Fonte: ENERGIZE, 2016.

É importante destacar que os equipamentos são aferidos e autorizados pelo INMETRO, conforme etiqueta (Figura 16).

**Figura 16 - Selo do INMETRO do Módulo fotovoltaico.**



Fonte: ENERGIZE, 2016.

Todos os 5 módulos utilizados no projeto são idênticos, ou seja, possuem as mesmas características elétricas, mecânicas e dimensionais. O sistema foi composto por 01 arranjo fotovoltaico, formado por 05 módulos fotovoltaicos conectados em série, visando atingir a tensão de trabalho do inversor interativo ao qual foram interligados.

#### 4.4 INVERSOR INTERATIVO (GRID-TIE)

Foi utilizado 01 inversor interativo (grid-tie) produzido pelo fabricante Fronius modelo Galvo 1.5-1. Este modelo possui 03 entradas de arranjo de módulos fotovoltaicos (MPPT1 = 01 entrada), todas conectadas ao sistema de seguimento do ponto de máxima potência (MPPT, *Maximum Power Point Tracking*), que assegura que instantaneamente o inversor extraia máxima potência dos módulos fotovoltaicos, variando o valor de sua tensão de operação até o ponto em que o resultado da multiplicação da tensão com a corrente forneça a maior potência naquele determinado momento.

**Figura 17 - Inversor fotovoltaico Galvo 1.5-1.**



Fonte: ENERGIZE, 2016.

Como todos inversores interativos, este modelo se adapta às condições de operação (tensão, frequência, impedância, etc.) da rede à qual estará conectado.

O inversor do fabricante Fronius modelo Galvo 1.5-1 já vem da fábrica com as proteções eletrônicas descritas no Relatório de Ensaio do produto em questão, obedecendo as seguintes normas:

- IEC 62116 (Anti-Ilhamento);
- IEC 61727 (Interface com a rede de distribuição);
- IEC 61000-3-2 (Distorção Harmônica);
- IEC 61000-3-3 (Cintilação)  $I_n < 16A$ .

Na imagem a seguir (Figura – 18), têm-se o inversor do modelo citado anteriormente já adequadamente instalado na residência do estudo em questão.

**Figura 18 - Inversor instalado na residência.**



Fonte: ENERGIZE, 2016.

#### 4.5 CABOS

Foram utilizados cabos de cobre com isolamento em HEPR 90°C de 06/1 kV com seção mínima de 6 mm<sup>2</sup>. As seções dos condutores positivos, negativos e proteção são idênticas. Foi utilizado cabo de cor vermelho para o + positivo e de cor preto para – negativo instalados dentro de eletroduto aparente de 1 polegada.

#### 4.6 PROTEÇÃO DO SISTEMA

Cada arranjo fotovoltaico deve ter um sistema de proteção próprio. O sistema de proteção contra surtos do arranjo fotovoltaico deve ter uma String Box localizada entre os painéis fotovoltaicos e o inversor, será constituído por um Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS), disjuntor de corrente contínua e um dispositivo de manobra.

O DPS utilizado é de classe 2, adequado para a parte CA depois do inversor e DPS adequado para a parte DC entre o módulo fotovoltaico e inversor.

Conforme DESPACHO N° 720, DE 25 DE MARÇO DE 2014 da ANEEL, torna-se não obrigatório o uso do DSV (Dispositivo seccionador visível) em sistemas classificados como microgeração fotovoltaica, pois o inversor interativo que foi usado no projeto já conta com o sistema anti-ilhamento integrado.

#### 4.7 SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA

Junto ao padrão de entrada de energia, próximo à caixa de medição/proteção, sempre deve ser instalada uma placa de advertência com os seguintes dizeres: “CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA”.

De acordo com a NTC-71 (2012), a placa de advertência sempre deve ser confeccionada conforme Figura 23 e possuir as seguintes características: material: chapa galvalume (43,5% zinco, 55% alumínio e 1,5% silício) nº 22 USG (0,79 mm), cantos arredondados; dimensões da placa: 180 x 250 mm; cor do fundo: amarela, em epóxi; letras: cor preta, tinta eletrostática em pó; na chapa deverá ser aplicada uma demão de fundo anti-corrosivo de espessura mínima de 30 µm (frente e fundo).

**Figura 19 - Placa de Sinalização de Segurança.**



Fonte: ELETROMECHAN, 2018.

Outro tipo de sinalização que deve ser instalado é de uma placa de advertência no poste onde se encontra o transformador de distribuição que alimenta o circuito de baixa tensão da unidade consumidora com geração distribuída, com os seguintes dizeres: “CUIDADO – GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO CIRCUITO”.

De acordo com a NTC-71 (2012), a placa de advertência é sempre confeccionada conforme Figura 24 e possui as seguintes características: material: chapa galvalume (43,5% zinco, 55% alumínio e 1,5% silício) nº 22 USG (0,79 mm), cantos arredondados; dimensões da placa: 140 x 270 mm; cor do fundo: amarela, em epóxi; letras: cor preta, tinta eletrostática em pó; na chapa deverá ser aplicada uma demão de fundo anti-corrosivo de espessura mínima de 30 µm (frente e fundo).

**Figura 20 - Modelo de placa de advertência para o poste do transformador.**



Fonte: ENERGIZE, 2016.

#### 4.8 CONEXÃO COM A REDE

O sistema de escoamento do potencial elétrico gerado será feito conforme os requisitos contidos na norma NTC-71 da concessionária CELG-D.

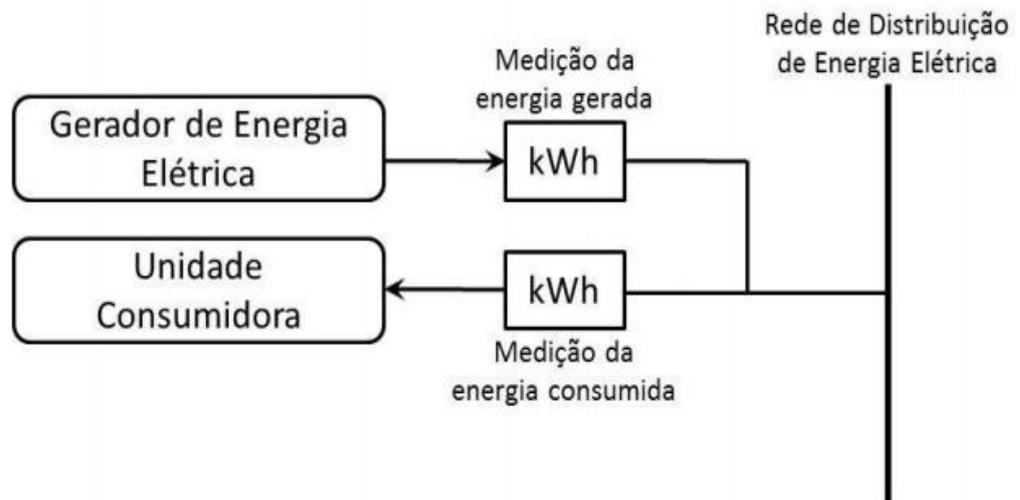
O ponto de conexão será o padrão de entrada da rede de energia elétrica proveniente da concessionária CELG-D, atualmente Enel, essa alternativa visa facilitar futuras intervenções no sistema de microgeração fotovoltaico.

#### 4.9 FORMA DE MEDIÇÃO

De acordo com a NTC-71 (2012), a medição será feita através de medidor bidirecional que irá registrar a entrada de energia elétrica da concessionária para o consumidor e também a geração excedente de energia elétrica que irá do consumidor para a concessionária.

No caso dos sistemas conectados à rede elétrica (on-grid), a energia gerada através dos módulos fotovoltaicos, representa uma fonte de energia que complementa a energia que vem da distribuidora (Enel), esses sistemas de forma geral não utilizam armazenamento de energia, pelo fato de toda energia gerada pelos módulos (durante o dia) serem entregue a rede elétrica instantaneamente.

**Figura 21 - Sistema de medição bidirecional.**



Fonte: ANEEL, 2012.

#### 4.10 VIABILIDADE DO PROJETO

Composição e valor total de projeto:

O projeto foi composto pelos seguintes materiais:

- 5 Painéis fotovoltaicos TSM-PD14;
- Suporte para Painél;
- 1 Inversor Interativo (grid-tie) Fronius modelo Galvo 1.5-1;
- Cabeamento;
- Proteção do sistema;
- Placas de segurança;
- Medidor.

O valor total investido pelo cliente, na época (2016), desde o projeto até a instalação do sistema fotovoltaico on-grid foi de 15.000 Reais.

##### 4.10.1 Cálculo da geração em KWh do sistema

Com os 5 módulos fotovoltaicos instalados e de acordo com a potência de cada módulo, inicialmente foi feito o cálculo do índice de radiação em sol pleno de cada mês através do programa SunData, disponibilizado virtualmente pelo CRESESB (Tabela 01). Esse programa destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do

território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A primeira versão deste programa teve elaboração em 1995, e logo um ano depois, já foi adaptado, para consulta via *web*. Sua primeira versão utilizava dados fornecidos pelo Centro de Estudos de la Energia Solar (CENSOLAR, 1993), e continha informações sobre valores de irradiação solar no plano horizontal para apenas 350 pontos no Brasil. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o CRESESB conseguiu autorização para utilizá-lo como base de dados para o Sun Data, abrindo assim um grande leque de informações e expandindo para 72.000 pontos de acesso em todo o território brasileiro (CRESESB, 2018).

**Tabela 2 - Índice de irradiação solar diária média.**

| CIDADE   | UF | País   | Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia] |               |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |
|----------|----|--------|---|---------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|
|          |    |        | Latitude [°]  | Longitude [°] | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
| ANÁPOLIS | GO | BRASIL | 16,301° S   | 48,949° O     | 5,37 | 5,32 | 5,04 | 5,01 | 4,78 | 4,64 | 4,9 | 5,75 | 5,54 | 5,49 | 5,12 | 5,36 | 5,21  |

Fonte: SUNDATA, 2018.

O sistema instalado tem 5 módulos de 310W cada, de potência, como esses módulos estão associados em série, a potência total do sistema é de 310 x 5, que multiplicando foi encontrado 1550 Wp, ou seja, 1,55 KWp de potência.

Após encontrada a potência do sistema e o índice de sol pleno a cada mês da cidade de Anápolis, podemos encontrar a geração KWh a cada mês com a seguinte fórmula:

$$T(\text{jan}) = R(\text{jan}) \times 30 \times \text{Perda} \times \text{Pot} \quad [1]$$

Onde:

→ T: Potência Total gerada de energia no mês de janeiro;

→ R: Índice de radiação solar por dia no mês de janeiro;

→ 30: Dias em um mês;

→ Perda: Percentual da perda do sistema em contato com o ambiente (17%);

→ Pot: Potência total do sistema em KWp.

Ex:

Mês de janeiro:

$$T(\text{jan}) = R(5,37) \times 30 \times 0,83 \times 1,55$$

$$T(\text{jan}) = 207,255 \text{ KWh}$$

Mês de fevereiro:

$$T(\text{fev}) = R(5,52) \times 30 \times 0,83 \times 1,55$$

$$T(\text{fev}) = 213,04 \text{ KWh}$$

E assim por diante.

A partir da fórmula acima alterando os dados de acordo com o mês em questão, se chegou a seguinte tabela abaixo:

**Tabela 3 - Geração do sistema a cada mês.**

| Geração ( KWh / mês ) |            | Anápolis   |      |
|-----------------------|------------|--|------|
|                       |            | Radiação solar no plano inclinado(kWh/m <sup>2</sup> ) |      |
| Mês de Ref            | TOTAL      |  |      |
|                       | KWH GERADO |  |      |
| JAN                   | 207,26     |  | 5,37 |
| FEV                   | 213,04     |  | 5,52 |
| MAR                   | 194,52     |  | 5,04 |
| ABR                   | 193,36     |  | 5,01 |
| MAI                   | 184,48     |  | 4,78 |
| JUN                   | 179,08     |  | 4,64 |
| JUL                   | 189,12     |  | 4,90 |
| AGO                   | 221,92     |  | 5,75 |
| SET                   | 213,82     |  | 5,54 |
| OUT                   | 211,89     |  | 5,49 |
| NOV                   | 197,61     | 5,12   |      |
| DEZ                   | 206,87     | 5,36   |      |

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Sabendo o valor gerado a cada mês, próximo passo é fazer o somatório anual:

$$\rightarrow \sum P(\text{ger.}) = 207,26 + 213,04 + 194,52 + 193,36 + 184,48 + 179,08 + 189,12 + 221,92 + 213,82 + 211,89 + 197,61 + 206,87 = \underline{2.412,96 \text{ KWh.}}$$

Onde:  $\sum P(\text{ger.})$ : somatório anual de Potência gerada em KWh.

$$\rightarrow M = \sum P(\text{ger.}) \div 12 = \underline{201,08 \text{ Kwh.}}$$

Onde: M: Média mensal de geração em KWh.

Portanto, a geração total do sistema ao longo de um ano é de 2.412,96 KWh, e a média mensal de geração durante os meses do ano é de 201,08 KWh.

#### 4.10.2 Economia mensal do sistema em R\$

Para o cálculo da economia mensal, é utilizada a seguinte fórmula:

$$\cdot \text{Eco (jan)} = \text{Pot}(\text{total}) \times \text{Valor}(\text{KWh}) \quad [2]$$

→ Eco (jan): Economia gerada no mês de janeiro em reais;

→ Pot (total): Potência gerada no mês em questão em KWh;

→ Valor (Kwh): valor do KWh consumido (gerado pela concessionária e incluso os impostos ICMS/PIS/CONFINS).

O valor do Kwh no início de 2016, quando se foi instalado o projeto, era de aproximadamente 72 centavos, como ilustrado na imagem retirada de uma fatura do cliente(Figura - 25).

**Figura 22 - Lançamento de fatura da Celg.**

| LANÇAMENTOS                              | QUANTIDADE | TARIFA   | VALOR         |
|--|------------|----------|---------------|
| CONTRIB. CUSTEIO DA ILUMIN.PUBLICA - CIP |            |          | R\$****21,13  |
| CONSUMO KWH + ICMS/PIS/COFINS            | 213,00     | 0,717800 | R\$****152,89 |
| ADICIONAL BANDEIRA VERMELHA              | 213,00     | 0,069220 | R\$****14,74  |

Fonte: CLIENTE ENERGIZE, 2018.

Ex:

Mês de janeiro:

$$\cdot \text{Eco (jan)} = \text{Pot} (207,26) \times \text{Valor} (0,72 \text{ reais});$$

$$\cdot \text{Eco (jan)} = 149,22 \text{ reais.}$$

Mês de fevereiro:

$$\cdot \text{Eco (fev)} = \text{Pot} (213,04) \times \text{Valor} (0,72 \text{ reais});$$

$$\cdot \text{Eco (fev)} = 153,39 \text{ reais.}$$

E assim por diante.

Após o reconhecimento dos dados necessários, temos a economia de cada mês calculada na tabela em seguida.

Tabela 4 - Economia de energia em reais a cada mês.

| Economia ( R\$ ) |                 |
|------------------|-----------------|
| Mês de Ref       | TOTAL           |
| JAN              | 149,22          |
| FEV              | 153,39          |
| MAR              | 140,05          |
| ABR              | 139,22          |
| MAI              | 132,83          |
| JUN              | 128,94          |
| JUL              | 136,16          |
| AGO              | 159,78          |
| SET              | 153,95          |
| OUT              | 152,56          |
| NOV              | 142,28          |
| DEZ              | 148,95          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>1.737,33</b> |

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Durante o ano de 2016, a economia em reais foi de 1.737,33.

#### 4.10.3 Retorno e viabilidade do investimento

Ao analisar viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico, existem alguns itens fundamentais a serem observados.

Um desses itens é o índice de inflação energética anual, pois a cada ano que se passa temos uma variação nos valores de energia. Esse conhecimento de que o valor do KWh tende a estar em crescimento ao longo dos anos, é acompanhado em confirma pelos índices IPCA E IGP-M. Em uma pesquisa realizada de 2003 a 2016, analisando a tarifa anual média de energia elétrica em todo o Brasil, chegou-se a conclusão que durante esse tempo o preço da tarifa energética tem um aumento de 7,33% ao ano. Exemplificando, uma conta de energia no ano de 2003 que custaria R\$ 200,00, no ano de 2016 se equivaleria a uma conta de R\$ 503,00 (ANEEL, 2017).

O outro item de grande importância é o da perda de eficiência que os sistemas fotovoltaicos têm a cada ano. A garantia dada pelo fornecedor dos módulos é de que quando o sistema tiver 25 anos de uso, ele esteja com 80% da sua eficiência ainda funcionando (TRINASOLAR, 2018).

Portanto, já tendo valor de 1.737,33 reais referente à economia do primeiro ano, calculado anteriormente, deve-se incluir os dois itens citados, na fórmula. Sendo assim foi calculado da seguinte forma:

$$\cdot \text{Eco} = \text{Vant} \times \text{Ian} \times \text{Pan} [3]$$

→ Eco: Economia do ano em questão;

→ Vant: Valor economizado no ano anterior;

→ Ian: Inflação energética a cada ano adotada;

→ Pan: Perda de eficiência anual do sistema (20% após 25 anos).

Ex:

Ano 2017:

$$\text{Eco} = \text{Vant} \times \text{Ian} \times \text{Pan}$$

$$\text{Eco} = 1.737,33(\text{reais}) \times 1,0733 \times 0,995$$

$$\text{Eco} = 1.855,35 \text{ reais}$$

Ano 2018:

$$\text{Eco} = \text{Vant} \times \text{Ian} \times \text{Pan}$$

$$\text{Eco} = 1.855,35(\text{reais}) \times 1,0733 \times 0,995$$

$$\text{Eco} = 1.931,39 \text{ reais.}$$

E assim por diante.

Ou seja, a partir da equação 3 é possível fazer uma projeção de economia (Tabela 5).

**Tabela 5 - Projeção de economia em reais por ano (25 anos).**

| <b>ANO</b> | <b>Valor em reais gerado pela economia do sistema fotovoltaico a cada ano</b> |
|------------|---|
| 2016       | 1.737,33  |
| 2017       | 1.855,35  |
| 2018       | 1.981,39  |
| 2019       | 2.116,00  |
| 2020       | 2.259,74  |
| 2021       | 2.413,26  |
| 2022       | 2.577,20  |
| 2023       | 2.752,28  |
| 2024       | 2.939,25  |
| 2025       | 3.138,92  |
| 2026       | 3.352,16  |
| 2027       | 3.579,88  |
| 2028       | 3.823,08  |
| 2029       | 4.082,79  |
| 2030       | 4.360,15  |
| 2031       | 4.656,35  |
| 2032       | 4.972,67  |
| 2033       | 5.310,48  |
| 2034       | 5.671,24  |
| 2035       | 6.056,51  |
| 2036       | 6.467,95  |
| 2037       | 6.907,34  |
| 2038       | 7.376,58  |
| 2039       | 7.877,70  |
| 2040       | 8.412,86  |

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Como pode ser observado na tabela 5, a economia de cada ano que se passa sempre aumenta o valor, na medida em que é um item diretamente proporcional à inflação energética anual, mesmo considerando a perda da capacidade de geração de energia, ainda assim é um sistema altamente econômico e viável a médio e longo prazo.

Sabendo o valor de economia que o sistema irá gerar a cada ano, e analisando os 25 anos de garantia do fornecedor, foi feito o cálculo da viabilidade e do período de retorno que essa aquisição alcançará (Tabela 6).

**Tabela 6 - Cálculo do retorno do investimento durante 25 anos.**

| <b>ANO</b> | <b>Poupança acumulada gerada pela economia do sistema fotovoltaico</b> | <b>Valor do investimento</b> | <b>Saldo Retorno do investimento</b> |
|------------|--|------------------------------|--------------------------------------|
| 2016       | R\$ 1.737  | R\$ 15.000                   | -R\$ 13.262,67                       |
| 2017       | R\$ 3.593  |                              | -R\$ 11.407,32                       |
| 2018       | R\$ 5.574,079  |                              | -R\$ 9.425,92                        |
| 2019       | R\$ 7.690,076  |                              | -R\$ 7.309,92                        |
| 2020       | R\$ 9.949,821  |                              | -R\$ 5.050,18                        |
| 2021       | R\$ 12.363,078   |                              | -R\$ 2.636,92                        |
| 2022       | R\$ 14.940,276   |                              | -R\$ 59,72                           |
| 2023       | R\$ 17.692,552   |                              | R\$ 2.692,55                         |
| 2024       | R\$ 20.631,799   |                              | R\$ 5.631,80                         |
| 2025       | R\$ 23.770,721   |                              | R\$ 8.770,72                         |
| 2026       | R\$ 27.122,880   |                              | R\$ 12.122,88                        |
| 2027       | R\$ 30.702,763   |                              | R\$ 15.702,76                        |
| 2028       | R\$ 34.525,839   |                              | R\$ 19.525,84                        |
| 2029       | R\$ 38.608,631   |                              | R\$ 23.608,63                        |
| 2030       | R\$ 42.968,782   |                              | R\$ 27.968,78                        |
| 2031       | R\$ 47.625,132   |                              | R\$ 32.625,13                        |
| 2032       | R\$ 52.597,805   |                              | R\$ 37.597,80                        |
| 2033       | R\$ 57.908,288   |                              | R\$ 42.908,29                        |
| 2034       | R\$ 63.579,532   |                              | R\$ 48.579,53                        |
| 2035       | R\$ 69.636,043   |                              | R\$ 54.636,04                        |
| 2036       | R\$ 76.103,994   |                              | R\$ 61.103,99                        |
| 2037       | R\$ 83.011,335   |                              | R\$ 68.011,34                        |
| 2038       | R\$ 90.387,916   |                              | R\$ 75.387,92                        |
| 2039       | R\$ 98.265,615   |                              | R\$ 83.265,61                        |
| 2040       | R\$ 106.678,473  |                              | R\$ 91.678,47                        |

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Com a economia total de 106.678,47 reais ao longo dos 25 anos, deve ser lembrado a taxa mínima que a concessionária cobra mesmo que não se utilize KWh de energia, que é a taxa cobrada para usar os serviços da distribuidora. Essa taxa vai ser relacionada ao tipo de padrão utilizado na residência (monofásico, bifásico ou trifásico). Estes resultados nos evidenciam que este tipo de sistema é viável economicamente, pois ao longo dos anos o sistema terá seu custo pago com a economia realizada por gerar energia para o sistema da Enel.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia fotovoltaica é uma realidade que a cada dia ganha mais espaço no Brasil e no mundo. Com grande parte do nosso território nacional iluminado constantemente pelo sol, em seu período diurno, o potencial de produção de energia elétrica a partir de placas fotovoltaicas é uma realidade estratégica e promissora.

No estudo de caso apresentado neste trabalho foi possível compreender a importância deste tipo de produção de energia elétrica na qual o consumidor torna-se também um fornecedor de energia, tendo ao longo do tempo o retorno de seu investimento e um lucro participativo em forma de energia.

O resultado desse estudo de viabilidade e retorno do investimento (considerando a Tabela 6), mostra que 7 anos após a instalação do sistema, o valor economizado em energia cobrirá os 15.000,00 reais investidos para adquirir o sistema. Além disso, analisando a economia em 25 anos, no acumulado total foram economizados 106.678,47 reais, ao tirarmos os 15.000,00 reais investidos, temos o valor positivo de 91.678,47 reais, esse valor que ao ser relacionado como um investimento pode ser chamado de lucro. O estudo foi feito baseado nos 25 anos de garantia a 80 % da eficiência do sistema, que o fornecedor proporciona, mas nem por isso o sistema durará apenas os 25 anos. Como é uma tecnologia pouco explorada e com pouco tempo de estudo, ainda existem poucos sistemas instalados com mais de 25 anos.

Contudo o sistema de produção de energia elétrica a partir das placas fotovoltaicas ainda é elevado para grande parte da população brasileira e algumas políticas, ainda insipientes, tem sido realizadas no tocante a essa temática tentando diminuir os impostos para aquisição de placas, o que diminuirá o custo final para o usuário.

Olhando pelo lado do engenheiro civil, segundo o CONFEA (2017), é de direito do engenheiro civil trabalhar na faixa de baixa tensão (50 V A 1.000 V), portanto isso trás uma facilidade de se ingressar nesse meio, sendo engenheiro civil.

Esta é uma importante e estratégica área de estudos da Engenharia Civil, pois contribui diretamente para o aumento das fontes de energia renováveis e para uma conscientização social do consumo consciente da energia elétrica em nosso país. Acreditamos que este estudo possa contribuir para que tanto alunos, quanto engenheiros ou mesmo leigos, possam compreender como a energia fotovoltaica é produzida e instalada em uma residência.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 5410:2004 - **Proteção e segurança**. Rio de Janeiro, 2008.

ABSOLAR. **Brasil atinge 250 MW em geração solar distribuída**. São Paulo/SP, 2018. Disponível em: <[www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-atinge-250-mw-em-geracao-solar-distribuida.html](http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/brasil-atinge-250-mw-em-geracao-solar-distribuida.html)>. Acesso em: 25 out. 2018.

ALVARENGA, Carlos. Solenerg. **O módulo fotovoltaico para gerador solar de eletricidade**. Belo Horizonte/MG. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Modulo-Fotovoltaico-Solenerg.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2018.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do brasil - 3 edição**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 06 mai. 2018.

\_\_\_\_\_. **Relatórios do sistema de apoio a decisão**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>. Acesso em: 06 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução normativa nº 482/12**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolucao%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Retificação da Seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota\\_Tecnica\\_0129\\_SRD.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Nota_Tecnica_0129_SRD.pdf)>. Acesso em: 06 out. 18.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Tutorial de energia solar fotovoltaica**. Brasília/DF. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=321](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321)>. Acesso em: 25 out. de 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional- EPE**. Brasília/DF, 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: 06 mai. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério de minas e energia. **Boletim mensal de monitoramento do sistema elétrico brasileiro**. Brasília/DF, 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sist>>

ema+El%C3%A9trico+-+Mar%C3%A7o+-+2018\_1.pdf/a87b8720-c030-4bfa-8c10-e19cb8d2854c>. Acesso em: 26 mai. 2018.

COMETA, E., “**Energia Solar**”, Hemus, 1977.

EBES. Empresa Especializada em Energia Fotovoltaica. **Energia solar fotovoltaica: origem e importância para os dias atuais**. Campinas/SP. Disponível em: <<http://ebes.com.br/energia-solar-fotovoltaica-origem-e-importancia-para-os-dias-atuais/#oque>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

ELETROMECHAN. **Placa – Risco de choque**. Disponível em: <<https://www.eletromecan.com.br/loja/placa-risco-de-choque-25-x-18cm.html>>. Acesso em: 29 set. 2018.

ENEL, Distribuição. **Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição**. Goiânia/GO, 2016. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/NTC04.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D**. Goiânia/GO, 2016. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/go/documentos/NTC71.pdf>> 2016>. Acesso em: 29 set. 2018.

GUIMARÃES, Gabriel. Solarvolt Energia. **String Box: o que é e como funciona?**. 2016. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 07 out. 2018.

HUKSEFLUX BRASIL. **Piranômetro padrão secundário**. Disponível em: <<https://huksefluxbrasil.com.br/produto/detalhe/piranometro-sr30/>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

IEA. International Energy Agency. **Photovoltaics Power Systems Programme**. Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

INDIA, Jan Power. **On-grid solar system**. Disponível em: <<http://www.janpowerindia.com/solar-solutions/on-grid-solar-system>>. Acesso em: 29 set. 2018.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente: consumo e geração de energia**. Vol. 2. Florianópolis: UFSC, LabEEE. Florianópolis, 2010, 76p.

LORENZO, E.; ZILLES, R. **El generador fotovoltaico**. In: LORENZO, Eduardo Org. Electricidades solar: ingeniera de los sistemas fotovoltaicos. Sevilla: Progensa, 1994.

PALZ, W., ” **Energia Solar e Fontes Alternativas**”, Hemus, 1981.

PEREIRA, E. B et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1. Ed. São José dos Campos – SP: INPE, 2006. V. 1. 60 p.

PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema Tubarão/SC. **Revista Brasileira de Energia**. Vol. 14, nº 1, 1º Sem. 2008, pp. 25-45.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual da engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro/RJ, 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2018.

PORTAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica**. São Paulo/SP, 2011. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

RODRIGUES, Seire Cristina Pereira. **Projeto de módulo de bancada didática para testes em painéis fotovoltaicos** Universidade de Brasília, 2014, dissertação. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/9271/1/2014\\_SeireCristinaPereiraRodrigues.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/9271/1/2014_SeireCristinaPereiraRodrigues.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, 2004. 114p.

SEBRAE. **Cadeia de valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Disponível em: <<http://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/estudo%20energia%20fotovolt%C3%A1lica%20-%20baixa.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2018.

SOLAR BRASIL. **Sistema conectado à rede – geração distribuída**. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/produtos/57-sistema-conectado-a-rede>>. Acesso em: 29 set. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Degradação de Módulos Fotovoltaicos de silício cristalinos instalados no DEE**. Disponível em:

<<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2014.1/H%C3%89LIO%20DELGADO%20ASSUN%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ Faculdade de Engenharia Elétrica. **Como a Célula Fotovoltaica funciona.** Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/comofunciona.htm>>. Acesso em: 28 out. 2018.

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. **Breve história da energia solar.** Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em: 28 out. 2018.

**WG SOL.** O efeito fotovoltaico – O sol fabricando eletricidade. **Betim/MG.** Disponível em: <<https://wgsol.com.br/o-efeito-fotovoltaico-o-sol-fabricando-eletricidade/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

-