

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS**  
**Programa De Pesquisa, Produção E Divulgação Científica**

**GUILHERME JOSÉ DOS SANTOS**  
**LEONARDO REZENDE FERNANDES**

**ANÁLISE SOBRE ENERGIA SOLAR NO BRASIL: o sol como fonte  
de energia elétrica**

**BELO HORIZONTE**  
**SETEMBRO – 2020**

GUILHERME JOSÉ DOS SANTOS  
LEONARDO REZENDE FERNANDES

**ANÁLISE SOBRE ENERGIA SOLAR NO BRASIL: o sol como fonte de energia  
elétrica**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado à Faculdade de Engenharia de  
Minas Gerais, como requisito parcial para a  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Área de concentração: Construção civil

Orientador: Prof. Ms. Pablo Rangel Abreu  
Andrade

BELO HORIZONTE  
SETEMBRO – 2020



**FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS**  
**Instituto Educacional “Cândida de Souza”**

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**ANÁLISE SOBRE ENERGIA SOLAR NO BRASIL: o sol como fonte de energia elétrica**”, de autoria do(s) aluno(s) **Guilherme José dos Santos e Leonardo Rezende Fernandes**, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof.<sup>a</sup> Ms. Pablo Rangel Abreu Andrade  
Orientador

---

Prof. Dr. ou Ms. Nome Completo do Membro da Banca  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. ou Ms. Nome Completo do Membro da Banca  
Membro da Banca

Belo Horizonte, 10 de maio de 2021.

## RESUMO

No Brasil, a principal fonte geradora de energia elétrica é a hidráulica. Com maior escassez de recursos hídricos no país, existe necessidade de gerar energia elétrica por meio de outras fontes, para suprir a demanda nacional é de urgente e extrema importância. Neste contexto, o sol surge como uma fonte energética muito interessante, pois é inesgotável e não produz impacto ambiental, além de possuir um grande mercado a ser desenvolvido, gerando trabalho e renda em toda cadeia produtiva. Portanto, o presente trabalho visa demonstrar como mediante políticas públicas de incentivo é passível potencializar o uso do sol como fonte energética. A pergunta norteadora do estudo ficou definida em compreender porque o Brasil não adota a energia solar como uma das suas principais fontes já que possui uma das melhores condições climáticas para tal? Para responder essa questão objetivo geral da pesquisa foi analisar a utilização do sol como fonte geradora de energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas, os objetivos específicos: Analisar o potencial nacional quanto a utilização do sol como fonte de energia elétrica; Elaborar proposições para tornar o uso do sol como fonte geradora de eletricidade atrativa no aspecto financeiro; Identificar as causas que contribuem para que o processo de exploração do sol como fonte de energia seja atualmente inviável economicamente.

**Palavras-chave:** Energia. Brasil. Fotovoltaica. Sol.

## **ABSTRACT**

In Brazil, the main source of electricity is hydraulic. With a greater scarcity of water resources in the country, the need to generate electricity from other sources to supply national demand is of urgent and extreme importance. In this context, the sun appears as a very interesting energy source, as it is inexhaustible and has little environmental impact, in addition to having a large market to be developed, generating work and income in the entire production chain. Therefore, the present work aims to demonstrate how, through public incentive policies, it is possible to enhance the use of the sun as an energy source, making Brazil a developed nation without compromising the environment. The guiding question of the study was defined as understanding why Brazil does not adopt solar energy as one of its main sources since it has one of the best climatic conditions for this? To answer this question, the research's general objective was to analyze the use of the sun as a source of electric energy through photovoltaic plates, the specific objectives: To analyze the national potential regarding the use of the sun as a source of electric energy; Develop proposals to make the use of the sun as a source of electricity attractive in the financial aspect; Identify as causes that contribute to the process of exploiting the sun as a source of energy is currently economically unfeasible.

**Keywords:** Energy. Brazil. Photovoltaic. Sun.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usina de Marmelos-Zero.....	14
Figura 2 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores ...	29
Figura 3 – Componentes do sistema.....	37
Figura 4 – Composição do painel Fotovoltaico .....	38
Figura 5 – Composição do painel Fotovoltaico .....	39
Figura 6 – Usina solar flutuante.....	39
Figura 7 – Casa com painel solar.....	40
Figura 8 – Inversor .....	41
Figura 9 – Potencial solar do território brasileiro .....	52
Figura 10 – Ranking de distribuição de energia fotovoltaica no Brasil por estados...	53
Figura 11 – Imagem ilustrativa sobre a ocupação do Brasil no ranking mundial.....	57
Figura 12 – Análise de sombreamento.....	62
Figura 13 – Imagem ilustrativa de um sistema de microgeração fotovoltaico .....	66
Figura 14 – Conta de energia do proprietário anterior a instalação.....	67
Figura 15 – Projeto de instalação.....	68
Figura 16 – Conta de luz após a instalação .....	69
Figura 17 – Estimativa de economia .....	70
Figura 18 – Comparação entre a energia gerada e consumida em um ano .....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores energéticos – Brasil.....	17
Tabela 2 – Evolução da matriz elétrica brasileira .....	20
Tabela 3 – A matriz energética brasileira em 2018/2019 .....	21
Tabela 4 – A matriz energética brasileira em 2018/2019 .....	23
Tabela 5 – Tipo de recurso .....	32

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados relevantes sobre a energia solar (2020).....	54
Quadro 2 – Trajetória da energia solat fotovoltaica no Brasil .....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica CA - Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
GNL	Gás Natural Liquefeito GW - Gigawatts
GWH	Gigawatts-hora
KV	Kilovolt
MTEP	Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo
MW	Megawatt
OCDE	Organização Para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OIE	Oferta Interna de Energia
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TWH	Terawatts-hora
KWH	Kilowatts-hora

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Problema de Pesquisa .....	9
1.2 Objetivo Geral .....	10
1.3 Objetivos Específicos.....	10
1.4 Justificativa .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1 Energia Elétrica: Características Gerais .....	11
2.2 Energia no Brasil.....	14
2.3 Consumo de Energia .....	17
2.4 Matriz Energética Brasileira .....	18
2.5 História da Energia Elétrica Solar .....	23
2.6 Definição de Energia Fotovoltaica.....	24
2.7 Como Funciona a Energia Fotovoltaica .....	26
2.8 Potencial Fotovoltaico Brasileiro .....	28
2.9 Dificuldades que o Brasil Encontra Para Utilizar a Energia Fotovoltaica .	31
2.10 Geração Solar Fotovoltaica Centralizada.....	33
2.11 Funcionamento da Célula Solar .....	34
2.12 Distribuição da Radiação Solar .....	34
2.13 Tipos de Sistema Solares Fotovoltaicos .....	35
2.14 Componentes do Sistema .....	37
2.14.1 Painel solar .....	38
2.14.2 Inversores .....	40
2.14.3 Racking .....	41
2.14.4 Outros componentes .....	42
2.15 Benefícios das Energias Renováveis.....	43
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
3.1 Pesquisa Quanto aos Fins .....	45
3.2 Pesquisa Quanto aos Meios .....	47
3.3 Universo e Amostra.....	48
3.4 Formas de Coleta e Análise dos Dados .....	49
3.5 Limitações da Pesquisa .....	50

<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>50</b>
4.1 Resultados sobre o Potencial Fotovoltaico Brasileiro .....	51
4.2 Dados Relevantes Sobre A Energia Fotovoltaica Brasileira .....	54
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>59</b>
5.1 Introdução .....	59
5.1.2 Sistema on-grid .....	60
<b>5.2 Dimensionamento do Sistema</b> .....	<b>63</b>
5.2.1 <i>Análise Preliminar</i> .....	63
<b>5.3 Resultados</b> .....	<b>68</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A energia elétrica foi um fator determinante para a evolução da humanidade. A quantidade de energia consumida é um dos fatores que indicam o desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019) o consumo de energia elétrica no Brasil em 2019 foi de 482.084 Gwh, crescimento de 1,4% em comparação com o ano anterior. Com esse nível de demanda é fundamental buscar de modo sustentável outras fontes geradoras de energia elétrica.

Conforme o Balanço Energético Nacional (BEM, 2018) 65,2% da energia elétrica produzida no país no ano de 2017 foi proveniente de usinas hidrelétricas, porém, os impactos ambientais que essa modalidade de geração causa são muito altos, quando comparados a outras fontes de produção tais como a fotovoltaica. O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante a conversão da energia solar em eletricidade, tampouco gases de efeito estufa, algo extremamente positivo ao meio ambiente.

O Brasil possui um potencial gigantesco para a exploração desta fonte para geração de energia elétrica. Todo esse potencial se deve a um conjunto de características naturais favoráveis, tais como os altos níveis de insolação e as grandes reservas de silício, material essencial para a fabricação dos painéis fotovoltaicos. Diante disso, a geração de energia fotovoltaica precisa ser amplamente explorada no país. Já que possuímos características favoráveis para isso, além da necessidade de diversificação da matriz elétrica e também da preservação ambiental do país.

### **1.1 Problema de Pesquisa**

Porque o Brasil não adota a energia solar como uma das suas principais fontes já que possui uma das melhores condições climáticas para tal?

## 1.2 Objetivo Geral

Analisar a utilização do sol como fonte geradora de energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas.

## 1.3 Objetivos Específicos

- a) Analisar a capacidade de geração fotovoltaico para uma residência.
- b) Verificar o quanto um pode economizar adotando um sistema de microgeração fotovoltaico.
- c) Identificar as causas que contribuem para que o processo de exploração do sol como fonte de energia seja atualmente inviável economicamente

## 1.4 Justificativa

A pesquisa é de grande valia no contexto energético brasileiro, no Brasil a principal fonte geradora de energia elétrica é a hidráulica. Através da pesquisa será possível demonstrar uma extensa gama de informações para todos profissionais e interessados no tema principalmente engenheiros civis, como também para o governo, fazer uma análise dos desafios que impossibilitam a utilização de uma geração de energia tão favorável economicamente e ambientalmente para o Brasil para assim possibilitar possíveis soluções para a utilização da mesma.

Alguns benefícios da utilização da energia fotovoltaica para o meio ambiente são: Redução do consumo de água; Redução a poluição do ar; Desaceleração das mudanças climáticas; Redução a pegada de carbono; Redução da dependência de combustíveis fósseis. As vantagens econômicas da energia solar incluem: Reduzir do valor das contas de energia elétrica. A medição líquida permite que o consumidor venda seu excesso de eletricidade para a concessionária com contas de energia

ainda mais baixas.

Com maior escassez de recursos hídricos no país, a necessidade de gerar energia elétrica por meio de outras fontes, para suprir a demanda nacional é de urgente e extrema importância. Neste contexto, o sol surge como uma fonte energética muito interessante, pois é inesgotável e produz pouco impacto ambiental, além de possuir um grande mercado a ser desenvolvido, gerando trabalho e renda em toda cadeia produtiva. Entretanto é preciso compreender as dificuldades que o país tem em implementar esse tipo de energia.

Portanto, o presente trabalho visa demonstrar como mediante políticas públicas de incentivo podem ser utilizadas para possíveis potencializações o uso do sol como fonte energética, fazendo com que o Brasil seja uma nação desenvolvida sem comprometer o meio ambiente.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Energia Elétrica: Características Gerais**

A geração de eletricidade é o processo de geração de energia elétrica a partir de fontes de energia primária. De acordo com Camargo (2017) para empresas de serviços públicos no setor de energia elétrica, é o estágio anterior à sua entrega aos usuários finais (transmissão, distribuição etc.). Uma característica da eletricidade é que ela não está disponível livremente na natureza em grandes quantidades; portanto, deve ser "produzida" (ou seja, transformar outras formas de energia em eletricidade).

Camargos (2017) cita que a produção é realizada em centrais elétricas (também chamadas de "usinas elétricas"). A eletricidade é gerada com mais frequência em uma usina por geradores eletromecânicos, principalmente acionados por motores térmicos alimentados por combustão ou fissão nuclear, mas também por outros meios, como a energia cinética da água e do vento. Outras fontes de energia incluem energia solar

fotovoltaica e energia geotérmica. A geração de eletricidade é o processo de geração de energia elétrica a partir de fontes de energia primária.

Para Kempener (2015) a eletricidade é uma moeda de energia , e não uma fonte de energia , o que significa que a geração elétrica precisa começar a partir de uma fonte de energia primária, como um combustível ou um fluxo de energia primária . Esses combustíveis e fluxos são geralmente transformados em corrente elétrica que transmite energia elétrica para a rede . As usinas de energia são a tecnologia de conversão de energia mais usada para criar eletricidade a partir da energia primária. Tipos comuns de usinas de energia incluem carvão , energia nuclear e hidrelétrica .

Embora seja possível ter geração elétrica CA e geração elétrica CC, quase toda a eletricidade produzida com um gerador é de corrente alternada. Para Kempener (2015) o movimento (energia cinética) é convertido nos campos elétrico e magnético que criam uma força eletromotriz , que faz o fluxo de corrente em um fio. Essa eletricidade geralmente viaja através da rede elétrica, permitindo que algum dispositivo elétrico use a energia nos elétrons e depois envie os elétrons de volta. Isto é o que se entende por um circuito elétrico ; os elétrons devem ser capazes de fazer a viagem de ida e volta.

Para Kempener (2015) a Transmissão e distribuição se referem aos diferentes estágios de transporte de eletricidade através de postes e fios de geradores para uma casa ou empresa. A principal distinção entre os dois é o nível de tensão no qual a eletricidade se move em cada estágio. Depois que a eletricidade é gerada, um sistema de fios elétricos transporta a eletricidade da fonte de geração para nossas casas e empresas. Essas linhas podem ser encontradas no alto ou às vezes no solo, e, combinadas, as linhas de transmissão e distribuição compõem o que é comumente chamado de "rede". Transmissão e distribuição são dois estágios ou sistemas separados na rede.

Ainda de acordo com Kempener (2015) a transmissão é a "rodovia interestadual" de entrega de eletricidade. Refere-se à parte da entrega de eletricidade que move a eletricidade a granel dos locais de geração por longas distâncias para subestações mais próximas das áreas de demanda por eletricidade. Os consumidores podem

reconhecer as linhas de transmissão como os postes / torres maiores e mais altos que transportam muitos fios por distâncias maiores. As linhas de transmissão movem grandes quantidades de energia em um nível de alta tensão – um nível que é demais para ser entregue diretamente a uma casa ou empresa. Linhas de transmissão, transformadores, subestações e outros equipamentos têm tensões de 100 kV (100.000 volts) e acima.

Camargo (2017) cita que na maioria dos casos, a energia que circula pelo sistema de transmissão deve ser reduzida a níveis mais baixos de tensão pelos distribuidores de eletricidade antes de poder ser entregue a uma residência ou empresa. A energia, especificamente o nível de tensão, enviado pelas linhas de transmissão é reduzido ou "reduzido" por meio de transformadores e enviado pelas linhas de distribuição, que são então conectadas às residências e empresas.

Se a transmissão é a rodovia interestadual da rede, a distribuição é a rua da cidade. É a última etapa da entrega de energia elétrica da geração ao consumidor. A energia viaja no sistema de distribuição em um nível de tensão que pode ser entregue diretamente a uma casa ou empresa. Linhas de distribuição são as que muitas pessoas veem nas ruas. A distribuição é a energia que liga e aciona os aparelhos que usamos todos os dias para manter nossa comida fresca, nossas roupas limpas e nossas casas frias ou quentes. A tensão das linhas de distribuição - as que muitas pessoas veem em seus bairros - é de aproximadamente 13 kV (13.000 volts); uma casa típica funciona com 110 volts.

Historicamente, as linhas de transmissão e distribuição eram de propriedade da mesma empresa, mas a partir dos anos 90, muitos países liberalizaram a regulamentação do mercado de eletricidade de maneiras que levaram à separação do negócio de transmissão de eletricidade do negócio de distribuição. Para compreender melhor a temática no próximo tópico serão abordados os conceitos de energia no Brasil.

## 2.2 Energia no Brasil

A chegada da energia elétrica no Brasil se deu no ano de 1879, no império de Dom Pedro II, quando o imperador convidou Thomas Edison a introduzir sua invenção revolucionária, e então utilizando as lâmpadas de dínamo, foi inaugurado no Rio De Janeiro (até então capital do país) o serviço permanente de iluminação elétrica na estação central da ferrovia Dom Pedro II, hoje conhecida como Central do Brasil.

A primeira hidrelétrica do país entrou em funcionamento em Diamantina - MG, em 1883. Com o aumento da demanda por energia para atender os setores de iluminação pública, mineração e indústria brasileira foi inaugurada em 1889 a hidrelétrica Marmelos-Zero, também em Minas Gerais, desta vez em Juiz de Fora, dando início à criação de muitas outras (MEMÓRIA DA ELETRICIDADE, 1988).

Figura 1 – Usina de Marmelos-Zero



Fonte: CEMIG (2020).

Para Kempener (2015) em 1892 com investimento estrangeiro de Canadenses e Americanos foi inaugurado pela Companhia Ferro-Carril do Jardim Botânico, o primeiro bonde elétrico do país, no Rio de Janeiro (MEMORIA DA ELETRICIDADE – Eletrobrás, 2012). Com o crescimento da indústria nacional no início do século XX e a falta de regulamentação do setor elétrico, empresas estrangeiras foram atraídas e dominaram a expansão elétrica, não somente com a criação de várias usinas, mas também adquirindo o controle de diversas concessionárias, como fez a empresa American and Foreign Power Empresa Cliente – AMFORP, que no ano de 1927, junto com o grupo Light tinham quase absoluto controle da produção e distribuição de energia.

Em 1934 o Governo Federal criou o Código de Águas regulamentando os serviços de energia elétrica, atribuindo à união o controle sobre a produção de energia. Em 1939 foi criado o Conselho Nacional das Águas e Energia Elétrica – CNAEE. A criação das regulamentações acarretou uma diminuição do interesse estrangeiro e conseqüentemente de seus investimentos em um momento de crescente demanda, ocasionando assim uma crise energética.

Camargo (2017) menciona que devido aos problemas da crise energética e conseqüente racionamento, o governo passou a investir fortemente na produção de energia estatizando o setor e criando novas usinas até o final da década de 70. Contudo, devido ao clima político nas décadas a seguir e os altos juros, fez com que o governo se endividasse e privatizasse novamente o setor elétrico no início da década de 90.

Graças ao crescimento populacional, o conseqüente aumento do consumo de energia e agravada pela falta de chuva na região Nordeste e Sudeste, em 2001 o país teve sua maior crise e racionamento elétrico já visto. Em 2003 o Governo Federal criou o programa Luz para todos que tinha como objetivo levar luz para os milhares de brasileiros ainda sem acesso. E nos anos seguintes até 2008 foram aumentadas as capacidades de produção e transmissão de energia através da criação de novas usinas (MEMORIA DA ELETRICIDADE – Eletrobrás, 2012).

O Brasil é conhecido mundialmente por sua ampla participação de fontes renováveis

na produção de energia. De acordo com o balanço energético brasileiro, 32,9% da oferta nacional de energia em 2015 foi proveniente de fontes renováveis, como energia hidrelétrica, produtos da cana-de-açúcar e eólica (EPE, 2016). Se considerarmos apenas o fornecimento de energia elétrica, os números são ainda mais positivos. As fontes renováveis representam 75,51% do total, das quais 64% são hidrelétricas; 8%, biomassa; 3,5% eólica e 0,01% solar.

Os leilões de energia são um dos principais instrumentos adotados pelo governo federal brasileiro para garantir que os padrões de qualidade pré-definidos sejam atendidos pelos serviços de energia com preços mais baixos. Leilões exclusivos, como eólicos ou solares, têm sido um importante mecanismo para aumentar a participação de algumas fontes na matriz energética nacional.

Camargo (2017) cita que em 2009 foi realizado o primeiro leilão exclusivo de energia eólica. Desde então, um total de 430 parques eólicos (10,74 GW) foram instalados até o final de 2016. O primeiro leilão de energia solar foi realizado em 2014 e outros dois em 2015. Juntos, eles comissionaram 94 usinas (3.049 GW). Dois novos leilões estão planejados para dezembro de 2017 e outro em abril de 2018, todos incluindo energia eólica e solar fotovoltaica como possíveis fontes de energia.

O Brasil tem sofrido sérias mudanças no padrão de chuva, que trouxe os níveis dos reservatórios a números muito críticos nos últimos anos. Em 2012, os reservatórios hidrelétricos caíram ao menor volume em 10 anos. Isso resultou na ativação de diversas termelétricas que custaram mais de R\$ 8,6 bilhões aos consumidores brasileiros naquele ano e, conseqüentemente, no aumento da participação dos combustíveis fósseis no mix de energia elétrica brasileira.

Para Orioli (2015) o aumento do volume de chuvas em relação aos anos anteriores permitiu um crescimento na geração hidrelétrica, o que resultou em uma queda de 28% na participação das usinas à combustível fóssil na produção de energia. Além disso, a geração a partir de fontes renováveis que não a hidroelétrica aumentou 19%, principalmente eólica e biomassa. A consequência foi uma redução de 30% das emissões de gases de efeito estufa do setor elétrico. O último Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) estima um crescimento médio da Oferta Nacional de Energia de 2% ao ano. Desse total, o governo espera uma participação de 48% das

energias renováveis em 2026. No próximo tópico serão analisados os principais pontos do consumo de energia no Brasil.

### 2.3 Consumo de Energia

Para Orioli (2015) o consumo energético brasileiro no ano de 2019 foi de 545.638 GWh e a Oferta Interna de Energia(OIE) foi de 651,3 TWh, até o ano 2050 a previsão de consumo energético, feita pelo Ministério de Minas e Energia em 2016 é de 1.605 TWh, considerando que as hidrelétricas são responsáveis pela maior geração de energia no país e que do ano de 2018 para 2019 a hidráulica nacional teve um aumento de apenas 2,3%, precisa-se pensar em uma outra fonte energética que tenha capacidade de produzir energia suficiente para auxiliar na futura demanda e pensando no atual clima ambiental, que ajude a reduzir a quantidade de poluentes sendo também renovável.

Tabela 1 – Indicadores energéticos – Brasil

Especificação	Unidade	2018	2019	19/18%	Estrutura (%) 2018	Estrutura (%) 2019
<b>Oferta total de energia elétrica</b>	GWh	636.375	651.285	2,3	100,0	100,0
<b>Consumo final</b>	GWh	97.973	105.647	7,8	15,4	16,2
<b>Consumo final de energia elétrica</b>	GWh	538.403	545.638	1,3	84,6	83,8
<b>Industrial</b>	GWh	538.403	545.638	1,3	100,0	100,0
<b>Residencial</b>	GWh	200.760	195.867	-2,4	37,3	35,9
<b>Comercial e público</b>	GWh	137.987	141.042	3,7	25,3	25,8
<b>Outros</b>	GWh	63.845	66.157	3,6	11,9	12,1

Fonte: ADAPTADO DE MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2020).

Para Zahedi (2015) o consumo de energia refere-se a toda a energia utilizada para realizar uma ação, fabricar algo ou simplesmente habitar um determinado local. Em uma fábrica, o consumo total de energia pode ser medido observando-se quanta energia um processo de produção consome, por exemplo, ao fabricar peças de automóveis. Isso incluirá água, eletricidade, gás, etc. Em uma casa, o consumo de energia inclui eletricidade, gás, água e qualquer outra energia usada para viver nela. O consumo de energia de um ônibus inclui a quantidade de diesel ou gasolina que ele usa para circular. Tudo isso para esclarecer o seguinte: o consumo de energia não vem necessariamente de uma única fonte de energia. Para compreender melhor a produção e utilização da energia brasileira, o próximo tópico abordará sobre a matriz energética brasileira.

## **2.4 Matriz Energética Brasileira**

Orioli (2015) cita que em 2017, o Brasil aumentou a Oferta Doméstica de Energia em 1,8%, atingindo 293,5 Mtep (Milhões de Toneladas Equivalente de Petróleo), sendo liderado pelo crescimento do gás natural (6,7%) e da energia eólica (26,5%). Historicamente, o Brasil migrou de uma economia movida a madeira e carvão, na década de 70, para uma economia atual movida por um mix mais equilibrado de fontes de energia em 2017, mas com Petróleo e Gás respondendo por cerca de 50% da energia fornecem. Essa mudança refletiu uma mudança da população das áreas rurais para as cidades e o país agora é predominantemente urbano. Além disso, o gás natural passou de pouca importância na matriz energética na década de 70 para se tornar a terceira fonte de energia mais importante do país. Quando se trata de petróleo e derivados, alguns pontos merecem destaque.

Para Orioli (2015) o petróleo foi a segunda maior fonte de suprimento de energia em 1970 (37,7%) e a corrente é a mais importante, embora sua participação relativa tenha se mantido praticamente a mesma nos últimos anos, sendo 36,2% em 2017. No entanto, a estrutura de abastecimento de petróleo foi drasticamente alterada. Em

1970, as importações líquidas representavam cerca de 70% da oferta interna bruta brasileira, delineando uma dependência pronunciada. Em contrapartida, o Brasil tornou-se exportador líquido de petróleo bruto desde 2006 (com exceção de 2007), o que significa que o país é autossuficiente em quantidade de petróleo (em relação à qualidade do petróleo, o Brasil ainda depende de pequenas importações de petróleo mais leve).

Para Zahedi (2015) o esforço para aumentar a produção nacional de petróleo não foi a única medida adotada para diminuir a dependência externa do petróleo bruto no Brasil durante os anos setenta, quando ocorreram duas crises globais do petróleo em 1973 e 1979. Na segunda metade dos anos setenta o Brasil lançou um programa para impulsionar o desenvolvimento da nova fonte de combustível chamada Pro Álcool, com o objetivo de reduzir a dependência energética e a vulnerabilidade do petróleo bruto, por meio do estímulo ao aproveitamento dos automóveis movidos a etanol. A partir da década de 2000 o Brasil adotou outras medidas também visando garantir a segurança do abastecimento (por exemplo, reduzir a dependência do petróleo bruto), tanto quanto para atender a questões socioambientais: além de aumentar o papel do etanol combustível, com o lançamento de carros flexíveis, biodiesel, bioeletricidade, o biogás e o bio-metano foram inseridos na matriz energética nacional.

Para Orioli (2015) com o expressivo aumento da oferta hidráulica a partir da década de 70, tornando-se a quarta principal fonte de suprimento de energia do país em 2017 com 12%, o Brasil conseguiu compor um mix privilegiado de dotação de energias renováveis e não renováveis ao longo dos anos.

Notavelmente, a participação das renováveis na matriz energética brasileira (derivados da cana-de-açúcar, hidráulica, lenha e carvão, e outras renováveis) está entre as mais altas do mundo, sendo de 43,2% em 2017, enquanto este indicador em 2015 no Mundo e as estatísticas da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) eram de apenas 13,7% e 10,1%, respectivamente. Parida (2017) cita que em 2017, o fornecimento de energia elétrica no Brasil totalizou 624,3 TWh, com um acréscimo de 0,7%, na sequência de um aumento semelhante no consumo (0,9%). Apesar da redução da oferta de energia hidráulica (- 3,4%), as fontes renováveis ainda representavam 80,3% da matriz elétrica do Brasil em 2017, e

isso pode ser explicado pelo aumento da geração eólica, conforme aponta o Balanço Energético Brasileiro de 2018 (EPE, 2018). A geração eólica cresceu 26,5% em 2017, atingindo 42,4 TWh. A capacidade instalada de energia eólica atingiu 12.283 MW, crescendo 21,3% em relação a 2016.

A partir de 2017, a matriz elétrica brasileira, cujo nível percentual de participação renovável quatro vezes maior que a mundial ou da OCDE, era abastecida principalmente pelas seguintes fontes: hidrelétrica (65,2%), biomassa (8,2%) e energia eólica (6,8%), de acordo com a edição do Balanço Energético Brasileiro 2018 (EPE, 2018).

Para Parida (2016) o Brasil é abençoado com um dos maiores potenciais hidrelétricos do mundo. Conforme demonstrado anteriormente, a geração desta fonte foi responsável por quase 2/3 do fornecimento doméstico de energia elétrica, incluindo a importação. Hoje, apenas cerca de 1/3 do potencial hidrelétrico brasileiro é totalmente explorado. O maior potencial hidrelétrico subdesenvolvido está no Norte do Brasil, mas novos projetos podem enfrentar alguns contratempos devido a questões socioambientais.

Apesar da grande participação que a energia hidrelétrica representa na geração de energia elétrica do país, é importante destacar que essa participação sofreu uma redução significativa nos últimos anos. Isso se deveu, em grande parte, às condições hidrológicas adversas, contrabalançadas pela geração termelétrica, com destaque para a contribuição das usinas a gás natural, que conta com o relevante papel desempenhado pelo GNL importado. Na tabela abaixo, foi demonstrado a evolução da matriz elétrica brasileira, os dados são do Ministério de Minas e Energia (2020):

Tabela 2 – Evolução da matriz elétrica brasileira

<b>ANOS</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Hidráulica</b>	81,0%	81,9%	76,9%	70,6%	65,2%	64,0%	68,1%	65,2%
<b>Biomassa</b>	5,9%	6,6%	6,8%	6,6%	7,4%	8,0%	8,2%	8%
<b>Gás natural</b>	6,2%	4,4%	7,9%	11,3%	13,0%	12,9%	9,1%	10,5%

<b>Produtos petrolíferos</b>	2,7%	2,5%	3,3%	5,3%	6,8%	4,8%	2,5%	3,0%
<b>Carvão</b>	1,4%	1,4%	1,6%	2,6%	3,2%	4,5%	4,1%	36%
<b>Nuclear</b>	2,4%	2,7%	2,7%	2,5%	2,5%	2,4%	2,6%	2,5%
<b>Eólica</b>	0,4%	0,5%	0,9%	1,1%	2,0%	3,5%	5,4%	6,8%
<b>Solar fotovoltaica</b>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%

Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2020).

Através da tabela é possível analisar que o tipo de energia mais utilizado é a energia hidráulica, mas ao decorrer dos anos o percentual diminuiu, dando espaço para outros tipos de energias, mas a energia solar fotovoltaica ainda não apresenta percentual de utilização considerável. Para Mendes (2017) ainda que a energia eólica tenha respondido por apenas 6,8% da geração de energia elétrica do Brasil em 2017, vale destacar a evolução de sua contribuição. Considerando apenas a oferta de energia eólica desde 2013, ela acumula um crescimento de 544%. A energia eólica é considerada mais adequada para áreas costeiras, principalmente no Nordeste do Brasil, embora também existam parques eólicos na região sul do país. Dentro das tendências, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2016-2026, divulgado pela Agência Brasileira de Pesquisas Energéticas (EPE, 2018), prevê que a Oferta Doméstica de Energia atinja 350 Mtep em 2026, com um crescimento médio anual de 2%. Também estima um aumento da participação das renováveis na matriz energética, chegando a 48% em 2026. Por outro lado, destaca a redução da participação do petróleo e derivados no abastecimento doméstico de energia de 37% em 2016 para 32% em 2026. Na tabela abaixo é possível analisar a matriz energética brasileira nos anos de 2018/2019, através de um comparativo:

Tabela 3 – A matriz energética brasileira em 2018/2019

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		19/18 %	Estrutura %	
	2018	2019		2018	2019
<b>NÃO-RENOVÁVEL</b>	<b>157.972</b>	<b>158.395</b>	<b>0,3</b>	<b>54,5</b>	<b>53,9</b>
<i>PETRÓLEO E DERIVADOS</i>	<i>99.627</i>	<i>101.051</i>	<i>1,4</i>	<i>34,4</i>	<i>34,4</i>
<i>GÁS NATURAL</i>	<i>35.905</i>	<i>35.909</i>	<i>0,0</i>	<i>12,4</i>	<i>12,2</i>
<i>CARVÃO MINERAL E DERIVADOS</i>	<i>16.418</i>	<i>15.480</i>	<i>-5,7</i>	<i>5,7</i>	<i>5,3</i>
<i>URÂNIO (U308) E DERIVADOS</i>	<i>4.174</i>	<i>4.174</i>	<i>0,0</i>	<i>1,4</i>	<i>1,4</i>
<i>OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (a)</i>	<i>1.848</i>	<i>1.780</i>	<i>-3,7</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>
<b>RENOVÁVEL</b>	<b>131.898</b>	<b>135.642</b>	<b>2,8</b>	<b>45,5</b>	<b>46,1</b>
<i>HIDRÁULICA E ELETRICIDADE</i>	<i>36.460</i>	<i>36.364</i>	<i>-0,3</i>	<i>12,6</i>	<i>12,4</i>
<i>LENHA E CARVÃO VEGETAL</i>	<i>25.511</i>	<i>25.725</i>	<i>0,8</i>	<i>8,8</i>	<i>8,7</i>
<i>DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR</i>	<i>50.090</i>	<i>52.841</i>	<i>5,5</i>	<i>17,3</i>	<i>18,0</i>
<i>OUTRAS RENOVÁVEIS (b)</i>	<i>19.837</i>	<i>20.712</i>	<i>4,4</i>	<i>6,8</i>	<i>7,0</i>
<b>TOTAL</b>	<b>289.870</b>	<b>294.036</b>	<b>1,4</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>dos quais fósseis</i>	<i>153.798</i>	<i>154.221</i>	<i>0,3</i>	<i>53,1</i>	<i>52,4</i>

(a) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre; (b) lixívia, biodiesel, eólica, solar, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim elefante.

Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2020).

Parida (2016) cita que a matriz energética brasileira em 2019 foi composta de 46,1% de fontes renováveis e 53,9% de fontes não-renováveis. Em 2019 a Oferta Interna de Energia (OIE) foi de 294 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), dentro das fontes não-renováveis foram 34,4% petróleo e derivados, 12,2% gás natural, 5,3% carvão mineral e derivados, 1,4% uranio (U308) e derivados e 0,6% outras fontes não-renováveis. Nas fontes renováveis se dividem 12,4% hidráulica e eletricidade, 8,7% lenha e carvão vegetal, 18% derivados da cana-de-açúcar e 7% outras fontes renováveis.

Tabela 4 – A matriz energética brasileira em 2018/2019

ESPECIFICAÇÃO	GWh		19/18 %	Estrutura (%)	
	2018	2019		2018	2019
HIDRÁULICA	388.971	397.877	2,3	61,1	61,1
BAGAÇO DE CANA	35.435	36.827	3,9	5,6	5,7
EÓLICA	48.475	55.986	15,5	7,6	8,6
SOLAR	3.461	6.655	92,2	0,54	1,02
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	18.947	18.094	-4,5	3,0	2,8
ÓLEO	9.293	6.926	-25,5	1,5	1,1
GÁS NATURAL	54.622	60.448	10,7	8,6	9,3
CARVÃO	14.204	15.327	7,9	2,2	2,4
NUCLEAR	15.674	16.129	2,9	2,5	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.314	12.060	-2,1	1,9	1,9
IMPORTAÇÃO	34.979	24.957	-28,7	5,5	3,8
<b>TOTAL (c)</b>	<b>636.375</b>	<b>651.285</b>	<b>2,3</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>530.269</i>	<i>540.395</i>	<i>1,9</i>	<i>83,3</i>	<i>83,0</i>

(a) Lixívia, biogás, casca de arroz, capim elefante, resíduos de madeira e gás de c. vegetal; (b) Gás de alto forno, gás de aciaria, gás de coqueria, gás de refinaria, gás de enxofre e alcatrão; (c) Inclui autoprodutor cativo, que não usa a rede básica.

Fonte: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2020).

Dentro da matriz elétrica brasileira, em 2019, a Oferta de Energia Elétrica foi de 651,3TWh, 2,3% superior a 2018 e embora tenha tido um aumento de 15,5% na energia eólica e 10,7% no gás natural, a hidráulica foi responsável por 61,1% da geração de energia elétrica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

## 2.5 História da Energia Elétrica Solar

A tecnologia de transformar a luz do sol em eletricidade não é nova, as primeiras placas solares foram inventadas no final do século XIX, Zahedi (2015) cita que com seu custo de fabricação muito elevado só recebeu atenção na metade do século 20, com a era dos satélites onde a autonomia energética dos equipamentos era mais importante que o custo de fabricação. Por ser uma energia limpa, renovável e com custo operacional baixo países como Alemanha, Coreia do Sul e EUA tem investido nesta tecnologia para suprir suas necessidades energética e reduzir a emissão de  $\text{CO}_2$  na atmosfera o que tem levado cientistas a desenvolverem técnicas mais eficiente para a fabricação dos

painéis solares.

Para Ogbomo (2016) no Brasil a história da energia fotovoltaica é muito recente, com início de sua utilização como uma fonte alternativa em locais sem o acesso ao sistema elétrico nacional. Atualmente já existe no Brasil sistemas solares ligados à rede pública, na sua maioria instaladas por instituições de pesquisa com o intuito de acompanhar o desenvolvimento da tecnologia.

A ANEEL regulamentou em 2012 as regras para injeção de energia ao sistema elétrico por pequenas unidades geradoras sem o estímulo do governo esta técnica não tem sido muito utilizada no país. Hoje um dos maiores desafios que o setor enfrenta é a redução de custos dos sistemas fotovoltaicos, com as novas tecnologias em desenvolvimento, principalmente a dos filmes finos, poderão provocar reduções significativas nos custos dos módulos fotovoltaicos. O baixo nível cultural e econômico da maior parte das populações limita o desenvolvimento do mercado.

## **2.6 Definição de Energia Fotovoltaica**

Um sistema fotovoltaico, ou sistema de energia solar, é um sistema de energia projetado para fornecer energia elétrica por meio de energia solar. De acordo com Zahedi (2015) consiste em um arranjo de vários componentes, incluindo painéis solares para absorver e converter a luz solar em eletricidade, um inversor solar para converter a saída de corrente contínua em alternada, bem como montagem, cabeamento e outros acessórios elétricos para configurar um sistema de trabalho.

Para Zahedi (2015) também pode usar um sistema de rastreamento solar para melhorar o desempenho geral do sistema e incluir uma solução de bateria integrada, já que os preços dos dispositivos de armazenamento devem cair. A rigor, um painel solar abrange apenas o conjunto de painéis solares, a parte visível do sistema fotovoltaico e não inclui todo o outro *hardware*, muitas vezes resumido como equilíbrio do sistema. Como os sistemas fotovoltaicos convertem luz diretamente em

eletricidade, eles não devem ser confundidos com outras tecnologias solares, como a energia solar concentrada ou a energia solar térmica , usada para aquecimento e resfriamento.

Para Mendes (2016) os sistemas fotovoltaicos variam de pequenos sistemas montados em telhados ou integrados em edifícios . Hoje em dia, a maioria dos sistemas fotovoltaicos é conectada à rede , enquanto os sistemas fora da rede ou autônomos respondem por uma pequena parte do mercado. Operando silenciosamente e sem quaisquer peças móveis ou emissões ambientais , os sistemas fotovoltaicos evoluíram de aplicações de nicho de mercado para uma tecnologia madura usada para geração de eletricidade convencional. Um sistema de telhado recupera a energia investida para sua fabricação e instalação dentro de 0,7 a 2 anos e produz cerca de 95 por cento da energia renovável limpa em uma vida útil de 30 anos.

De acordo com Mendes (2016) antes restritos a estações espaciais e satélites, os fotovoltaicos agora estão ganhando popularidade e se tornando uma opção cada vez mais viável. Todos os dias, o sol libera uma enorme quantidade de energia, muito mais do que toda a população consome. Sendo o sol uma fonte sustentável, renovável e inesgotável de geração de energia elétrica, não o utilizar parece quase um contrassenso, principalmente considerando os impactos sociais e ambientais de outras formas de geração de energia. Mas a tecnologia para criar eletricidade a partir do sol não é simples e ainda tem algumas limitações, sendo a mais significativa o preço.

Ainda de acordo com Mendes (2016) o processo de transformar os raios solares em energia elétrica começa na chamada célula fotovoltaica. Essas células são produzidas com duas camadas de silício alteradas quimicamente, das quais uma não tem eleiões e a outra está sobrecarregada de elétrons. Quando os fótons da luz solar atingem a superfície, esses elétrons ganham a capacidade de se mover, gerando um fluxo que cria uma corrente elétrica. Cada célula gera uma pequena quantidade de energia e um painel normalmente é feito de 36 a 72 células fotovoltaicas. Ao conectar vários painéis, um sistema fotovoltaico é criado. Oito a dez painéis são suficientes para alimentar uma pequena casa. Evidentemente, porém, essa estatística é influenciada

por alguns fatores, como a eficiência dos painéis, a quantidade de insolação na região e a demanda energética da própria residência. É importante ressaltar que os painéis solares fotovoltaicos produzem eletricidade na forma de corrente contínua, ou seja, a eletricidade deve passar por um inversor para transformá-la em corrente alternada - que é o que é normalmente usado em edifícios, eletrodomésticos, tomadas e lâmpadas.

Para Pless (2017) os sistemas fotovoltaicos podem facilitar a geração de energia em locais remotos aonde as redes de infraestrutura não chegam. Nestes casos, o sistema usa baterias para armazenar eletricidade quando menos energia é usada do que consumida, como à noite ou em dias muito nublados. No entanto, também é possível usar a energia fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. Nestes casos, o excesso de energia vai para a rede elétrica, gerando “créditos” de energia para o edifício em questão. Em alguns países, é até possível vender energia excedente, tornando a construção de uma usina para os vizinhos e forma de pagar o investimento mais rapidamente.

## **2.7 Como Funciona a Energia Fotovoltaica**

As células solares são feitas dos mesmos tipos de materiais semicondutores, como o silício, usados na indústria de microeletrônica. Para Woyte (2018) as células solares, uma pastilha semicondutora fina é tratada especialmente para formar um campo elétrico, positivo de um lado e negativo do outro. Quando a energia da luz atinge a célula solar, os elétrons são liberados dos átomos no material semicondutor. Se os condutores elétricos estiverem ligados aos lados positivo e negativo, formando um circuito elétrico, os elétrons podem ser capturados na forma de uma corrente elétrica - isto é, eletricidade. Essa eletricidade pode então ser usada para alimentar uma carga, como uma luz ou uma ferramenta.

Kammen (2015) menciona que uma série de células solares conectadas eletricamente umas às outras e montadas em uma estrutura ou estrutura de suporte são chamadas

de módulo fotovoltaico. Os módulos são projetados para fornecer eletricidade em uma determinada tensão, como um sistema comum de 12 volts. A corrente produzida é diretamente dependente de quanta luz atinge o módulo.

Vários módulos podem ser ligados entre si para formar uma matriz. Em geral, quanto maior a área de um módulo ou matriz, mais eletricidade será produzida. Módulos fotovoltaicos e matrizes produzem eletricidade de corrente contínua (CC). Eles podem ser conectados em arranjos elétricos em série e em paralelo para produzir qualquer combinação de tensão e corrente necessária.

Os dispositivos fotovoltaicos mais comuns de hoje usam uma única junção, ou interface, para criar um campo elétrico dentro de um semicondutor, como uma célula fotovoltaica. Em uma célula fotovoltaica de junção única, apenas os fótons cuja energia é igual ou maior do que o gap do material da célula podem liberar um elétron para um circuito elétrico. Em outras palavras, a resposta fotovoltaica das células de junção única é limitada à porção do espectro do Sol cuja energia está acima da lacuna de banda do material absorvente, e fótons de baixa energia não são usados. (KAMMEN 2015 p.12)

Para Kammen (2015) uma maneira de contornar essa limitação é usar duas (ou mais) células diferentes, com mais de um gap e mais de uma junção, para gerar uma tensão. Essas células são chamadas de células "multijuncionais" (também chamadas de células "em cascata" ou "tandem"). Dispositivos multijuncionais podem alcançar uma maior eficiência de conversão total porque podem converter mais do espectro de energia da luz em eletricidade.

Grande parte da pesquisa atual em células multijuncionais concentra-se no arsenieto de gálio como uma (ou todas) as células componentes. Essas células atingiram eficiências de cerca de 35% sob luz solar concentrada. Outros materiais estudados para dispositivos multijuncionais foram o silício amorfo e o disseleneto de cobre e índio.

## 2.8 Potencial Fotovoltaico Brasileiro

Em virtude das altas taxas de irradiação solar que incide sobre todo território tem-se a possibilidade de utilizar a energia solar fotovoltaica em todos os rincões da pátria. Para Villava (2015) a capacidade de produção de um sistema fotovoltaico está atrelada aos níveis de irradiação de onde será instalado o sistema. Quando comparamos o potencial fotovoltaico brasileiro com o de países que utilizam a energia solar em larga escala percebemos o quanto o Brasil é privilegiado para utilizar a energia proveniente do sol. A Alemanha um dos países que mais utilizam a energia fotovoltaica dispõe em sua região de maior irradiação solar cerca de 3.500 Wh/m<sup>2</sup> por dia, enquanto no Brasil a taxa de irradiação solar diária fica entre 4500 Wh/m<sup>2</sup> e 6000 Wh/m<sup>2</sup>.

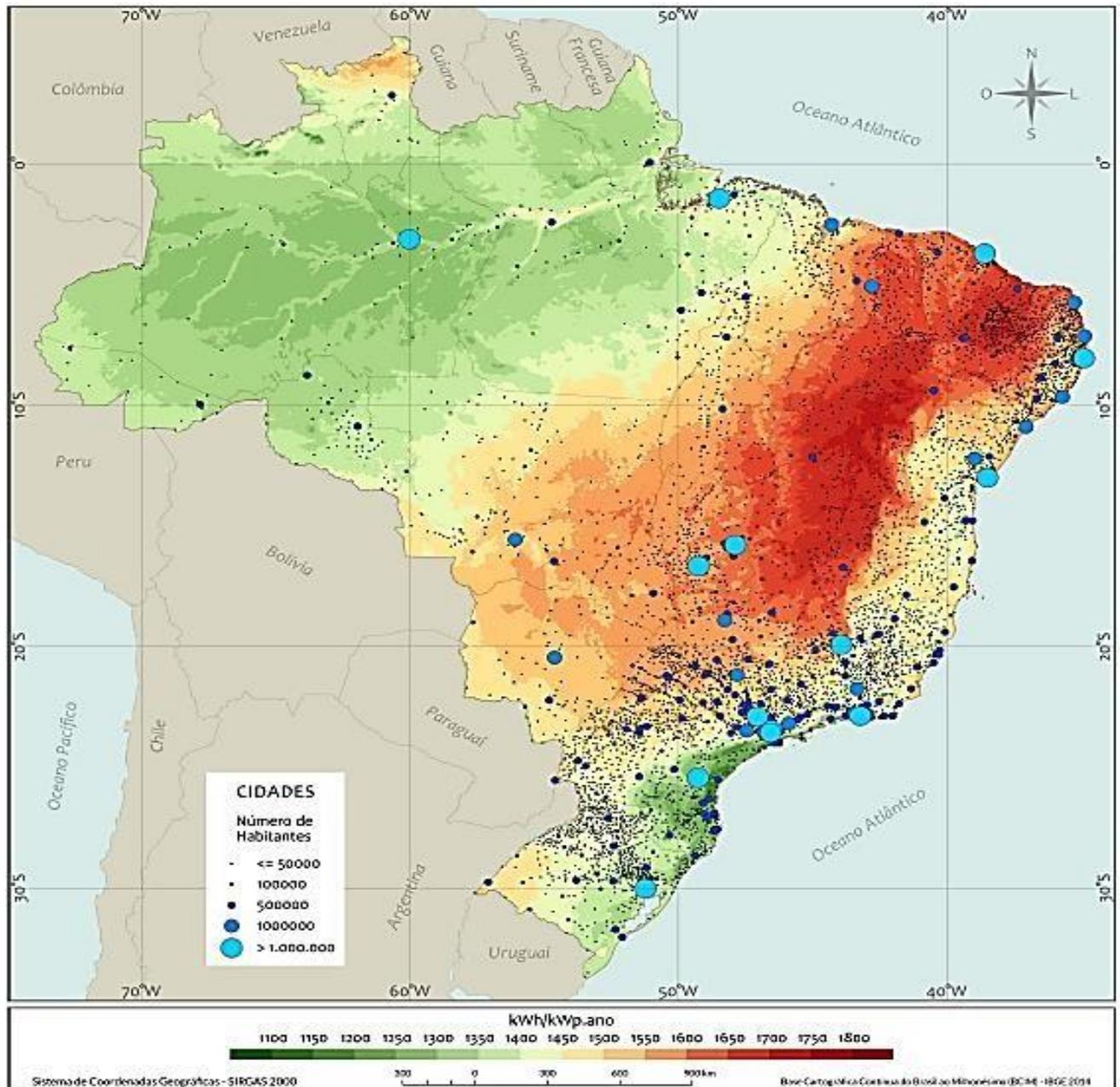
O Brasil possui uma capacidade de geração fotovoltaica muito superior a capacidade alemã, tal superioridade se deve as dimensões continentais que o país possui. Além dos altos níveis de irradiação solar que incidem sobre o território brasileiro. Esses fatores colocam o país muito bem posicionado para ser uma potência mundial no aproveitamento do sol como fonte de energia. (VILLALVA, 2015).

De acordo com Villava (2015) o país tem grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. Para se ter uma ideia, a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é uma das líderes no uso de energia fotovoltaica (PV), é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente de 4.500 Wh / m<sup>2</sup> a 6.300 Wh / m<sup>2</sup>.

Pless (2017) cita que apesar dessas condições favoráveis, o uso da energia solar para geração de eletricidade ainda não é considerado uma opção para alimentar nossas indústrias, residências e edifícios. Como o país já possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, uma melhor integração da energia solar fotovoltaica seria uma fonte complementar, aproximando a geração do consumo e reduzindo assim as perdas na transmissão. Com a publicação da Resolução Normativa 482 em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ampliou essas possibilidades, pois reduziu as barreiras de conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede. Enquanto nas cidades existem vastas áreas de edifícios para

instalação de painéis fotovoltaicos, nas áreas rurais esta fonte de energia é a opção mais limpa e segura para levar eletricidade a comunidades isoladas e de difícil acesso.

Figura 2 – Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores)



Fonte: RÜTHER et al. (2017)

Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh/kWp.ano no perfil de cores).

O Brasil possui uma das maiores reservas de silício do mundo. Isso torna o país um

local privilegiado para desenvolver uma indústria local de produção de células solares, gerando empregos e retorno de impostos. Para isso, seria necessário investir em pesquisas para desenvolver uma purificação do silício para conscientizar o chamado “grau solar”, que é superior ao silício utilizado na siderurgia.

De acordo com Bruton (2019) o potencial de uso de sistemas solares fotovoltaicos (SF) é imenso, e pode ser estimado em dezenas a centenas de MWp somente na região amazônica, mesmo se somente uma parcela das aproximadamente 300 centrais de geração diesel das concessionárias com capacidade de 620MWA, além dos milhares de redes comunitárias, adotassem SF como complementação ou substituição total dos geradores a diesel. Hoje, a tecnologia solar já é uma das alternativas mais viáveis de energia renovável atualmente disponível para atender a demanda da região. A economia de combustível fóssil e a redução de emissão de gases do efeito estufa são exemplos dos benefícios.

Em relação a sistemas SF conectados a rede elétrica, o crescimento do mercado nos países desenvolvidos é impressionante. Em um futuro próximo, quando o uso de sistemas SF interligados à rede se tornar mais difundido, com a redução dos custos e reconhecimento dos benefícios, será de alto valor estratégico para fornecedores de energia e investidores.

O Brasil está particularmente bem situado para esse tipo de aplicação, porém no momento não há interesse do governo nem das concessionárias investirem neste segmento. Portanto, a elaboração de especificações de equipamentos ou leis regulamentares para a injeção de energia elétrica de SF não são priorizados. Para a geração descentralizada através de energias renováveis encontra-se em discussão a abertura da CCC levando em conta a resolução 083/2004 que rege os Sistemas Individuais de Geração de energia de Fontes Intermitentes (SIGFI).

## 2.9 Dificuldades que o Brasil Encontra Para Utilizar a Energia Fotovoltaica

De acordo com Egli (2018) um dos problemas para o desenvolvimento da energia fotovoltaica em larga escala no Brasil são os altos custos dos equipamentos de implantação, já que a maioria deles é obtida por meio de importação; a falta de consciência sobre as melhorias que uma fonte limpa e renovável proporciona e a falta de políticas públicas que promovam a integração da energia gerada pelos clientes nas distribuidoras de energia elétrica.

De acordo com Bluesol (2018) os painéis de energia fotovoltaicos têm altos custos de instalação inicial. Se forem utilizados em indústrias ou em uma quinta de agricultura, que irão utilizar apenas a energia fotovoltaica, acaba por compensar o investimento inicial. Para uso em um ambiente familiar, o investimento apenas compensa se tiver algum apoio do estado com energias renováveis, caso contrário sai muito caro o investimento. Não há produção de energia solar a noite, ficando praticamente metade do dia sem produzir energia; necessita de uma grande densidade de insolação para ter um trabalho em ritmo produtivo e eficaz.

No Brasil, o potencial de energia fotovoltaica é imenso, dados seus altos índices de radiação solar. Atualmente, os governos e as concessionárias de serviços públicos são os principais investidores, utilizando painéis fotovoltaicos em sinalização e fiscalização rodoviárias, iluminação pública, telecomunicações e outros. O projeto federal Luz Para Todos, que visa levar energia elétrica para comunidades isoladas e carentes, também faz amplo uso da energia fotovoltaica.

Para Egli (2018), os sistemas fotovoltaicos *on-grid* ainda são uma grande novidade. Os dois principais obstáculos tem sido o custo de compra e instalação dos painéis e a falta de uma política oficial de subsídios. O primeiro já está sendo ultrapassado graças ao avanço da tecnologia, que tem reduzido o custo e aumentado da eficiência dos painéis fotovoltaicos. Já o segundo depende da vontade política dos governantes e da conscientização da sociedade, o principal fator de pressão junto ao poder público. As perspectivas do setor no Brasil, porém, são otimistas, e espera-se que em breve o país conte com legislação que defina incentivos à instalação de sistemas

fotovoltaicos residenciais e comerciais, assim como à venda de energia fotovoltaica à rede elétrica por parte dos usuários.

De acordo com Egli (2018) cada setor que produz energia no Brasil tem seu custo de produção, e seu valor negociado no mercado aberto, seja ele por meio de ações, ativos financeiros, leilões do governo ou diretamente com o fornecedor/consumidor, o setor de hidrelétrica é o mais barato e o mais viável por ser proveniente dos grandes rios, já a energia solar é uma das mais caras graças ao pouco investimento do Brasil nas pesquisas para obtenção de energia solar mais barata e do desenvolvimento de novas tecnologias capazes de transformar energia solar em energia elétrica. Abaixo a tabela demonstra os valores comercializados no mercado nacional, quanto custa cada kWh em centavos de dólar (U\$\$). Comparação de custo da energia Custo médio (centavo de U\$\$ por kWh):

Tabela 5 – Tipo de recurso

<b>TIPO DE RECURSO</b>	<b>Custo mínimo</b>	<b>Custo máximo</b>
<b>HIDROELÉTRICA</b>	\$ 2,00	\$ 5,00
<b>NUCLEAR</b>	\$ 3,00	\$ 4,00
<b>CARVÃO</b>	\$ 4,00	\$ 5,00
<b>GÁS NATURAL</b>	\$ 4,00	\$ 5,00
<b>EÓLICA</b>	\$ 4,00	\$ 10,00
<b>GEOTÉRMICA</b>	\$ 5,00	\$ 8,00
<b>SOLAR</b>	\$ 15,00	\$ 35,00
<b>BIOMASSA</b>	\$ 8,00	\$ 12,00

Fonte: EGLI (2018)

Com esses dados de custo mínimo e custo máximo dos valores comercializados no Brasil, pode-se perceber que quando mais limpa for a geração e distribuição de energia, mais alto será seu valor diante das outras fontes de energia que estamos séculos acostumado, os valores altos demonstram que a tecnologia limpa ainda é primitiva e está em desenvolvimento se comparada a tecnologias que já temos total domínio.

A utilização de energia solar em residências tornou-se viável para 15% das residências brasileiras, os valores ainda são muito altos e isso dificulta a implementação em larga escala da energia solar, o custo da geração nas residências brasileiras, a partir de um equipamento de pequena potência, é R\$ 602 por mega watt-hora (MWh). O cálculo é feito com base no custo médio de instalação de um painel solar, que podem variar de R\$ 16.000 até R\$ 30.000 para residências que necessitam 2Kwp até 4Kwp, residências que necessitam de mais energia de 5Kwp até 10Kwp, o valor varia de R\$ 40.000 até R\$ 100.000. (EGLI 2018 p.22).

Para tanto os valores ainda estão muito acima das energias convencionais tornando-se a energia solar viável para poucos, com investimentos privados e públicos no setor, nos próximos os painéis solares se tornarão mais baratos que as energias convencionais, e com potencial maior e mais limpo, tornando-se um dos meios mais baratos e eficientes de adquirir energia elétrica.

## **2.10 Geração Solar Fotovoltaica Centralizada**

Apesar de a irradiação solar ser abundante em todo território brasileiro, as regiões nordeste e centro oeste são as que detêm maior potencial para explorar a energia solar (VILLALVA, 2015). Grande parte das usinas de grande porte é construída no solo sobre estruturas metálicas inclinadas fixas, ou com um seguidor solar também conhecido como tracker, dispositivo que vai mudando a posição dos painéis seguindo a trajetória do sol (RÜTHER et al. 2017). As regiões sul e sudeste do Brasil também são atrativas para instalação de usinas fotovoltaicas de grande porte, pois se deve a alguns fatores, dentre os quais destaco o fato dessas regiões estarem próximas aos grandes centros de consumo e possuírem maior disponibilidade de pontos de conexão sem necessitar a construção de novas linhas de transmissão (RÜTHER et al. 2017).

Quando analisamos a região oeste de alguns estados do sul e sudeste percebemos que esses estados apresentam excelentes índices de irradiação solar durante o verão, acima até de locais que possuem usinas fotovoltaicas de grande porte instaladas (RÜTHER et al., 2017). Dado o potencial fotovoltaico que o Brasil possui podemos vislumbrar a médio longo prazo que mais usinas de grande porte possam ser instaladas em outras regiões levando a geração fotovoltaica a todos os rincões da pátria

## 2.11 Funcionamento da Célula Solar

Células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, ou seja, material com características intermédias entre um condutor e um isolante. O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. De acordo com Lewis (2016) o cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto, é mau condutor elétrico. Para alterar isto se acrescentam porcentagens de outros elementos. Este processo se denomina dopagem. A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro em vez de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P. Separadamente, ambas as cargas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, na região P-N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N".

## 2.12 Distribuição da Radiação Solar

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera depende da distância entre o Sol e a Terra. De acordo com Lewis (2016) durante o decorrer do ano, pode variar entre 1,47 x 10<sup>8</sup> km e 1,52 x 10<sup>8</sup> km. Devido a este fato, a irradiância solar varia entre 1.325 W/m<sup>2</sup> e 1.412 W/m<sup>2</sup>. No entanto, apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre. A atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozono, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição). O nível de irradiância na Terra atinge um total aproximado

de 1.0 W/m<sup>2</sup> ao meio-dia, em boas condições climatéricas, independentemente da localização. A irradiação solar, em algumas regiões situadas perto do Equador, excede 2.300 kWh/m<sup>2</sup>, por ano, enquanto no sul do Brasil este valor é menor. No Brasil por sua extensão territorial existe uma grande variação na irradiação solar.

### **2.13 Tipos de Sistema Solares Fotovoltaicos**

Para Egli (2018) sistemas solares fotovoltaicos podem ser configurados basicamente em duas categorias: autônomos ou interligados à rede elétrica local. Dentre as diferenças fundamentais entre os dois tipos de configuração, destacam-se a orientação dos painéis solares e a existência ou não de um sistema acumulador de energia. Os sistemas autônomos se caracterizam pela necessidade de um sistema acumulador de energia, normalmente um banco de baterias, onde a energia gerada pelos painéis solares é armazenada e distribuída aos pontos de consumo. Dada a característica intermitente da geração fotovoltaica, o sistema acumulador é imprescindível em quase todos sistemas autônomos, se constituindo também num de seus componentes de mais elevado custo do sistema.

Ao contrário dos painéis fotovoltaicos, baterias necessitam de manutenção e têm uma vida útil normalmente de quatro e seis vezes menor que a dos painéis. No entanto este é o tipo de sistema economicamente competitivo com formas mais convencionais de geração, pois os elevados custos envolvidos por estes sistemas se comparam favoravelmente à extensão da rede elétrica pública para atender a pequenas demandas. Sistemas autônomos são normalmente utilizados quando o custo de estender a rede elétrica pública for elevado, ou quando o local for de difícil acesso. (EGLI 2018 p.21).

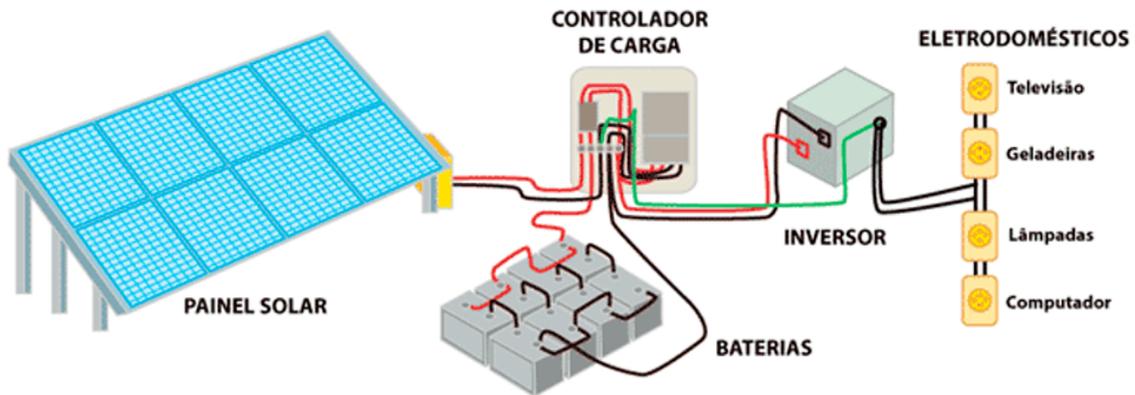
O sistema interligado tem um dos aspectos mais importantes dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, tem sido a sua interligação à rede pública elétrica. De início, o local preferencial para a instalação técnica fotovoltaica, foi o topo dos telhados dos edifícios. Posteriormente, a integração dos sistemas fotovoltaicos em diferentes tipos de prédios (apartamentos, escolas, centros comerciais), tem vindo a ganhar um espaço cada vez maior. Paralelamente, a utilização da tecnologia fotovoltaica em diferentes formas de construção. Um outro tipo de projeto, também em franca

expansão, refere-se aos grandes projetos fotovoltaicos que são construídos à superfície do solo, formando grandes centrais fotovoltaicas ligadas à rede. Este tipo de projeto fotovoltaico tem vindo a ser promovido por empresas operadoras do setor elétrico.

Para Egli (2018) os sistemas eólicos e hídricos por se tratar de eletricidade gerada por campos eletromagnéticos, para atingir a frequência do sistema elétrico, controla-se a velocidade do aerogerador ou turbina. Na energia solar por ser gerada em corrente contínua à necessidade um aparato eletrônico, denominado inversor, para que a eletricidade possa ser entregue a rede pública. Os inversores empregados nesta função obtêm o sinal de frequência da rede externa para transformar a corrente contínua em alternada senoidal de uma forma harmônica. Estes equipamentos podem ser ligados em paralelo ou em fases defasadas 120 graus, para conseguir uma maior potência e estabilidade.

Para Nascimento (2016) os equipamentos atuais já integram os reguladores de tensão das placas, e sistema de proteção contra sobrecarga e formação de ilha (efeito quando a rede pública é desligada e as placas ficam isoladas). Para ter um controle da energia que é entregue a rede externa utiliza-se um medidor no ponto de encontro entre os circuitos, no caso de uma residência é necessário um medidor de duplo sentido para que no final do mês a concessionária possa saber o quanto de energia foi entregue ou consumida da sua rede. A muitas vantagens em se utilizar um circuito interligado em residências, a possibilidade de utilização de equipamentos potentes como chuveiro, ar-condicionado, geladeira e fornos, outra vantagem é a redução de custos de instalação devido a não necessidade de banco de baterias.

Figura 3 – Componentes do sistema



FONTE: SEC POWER (2020).

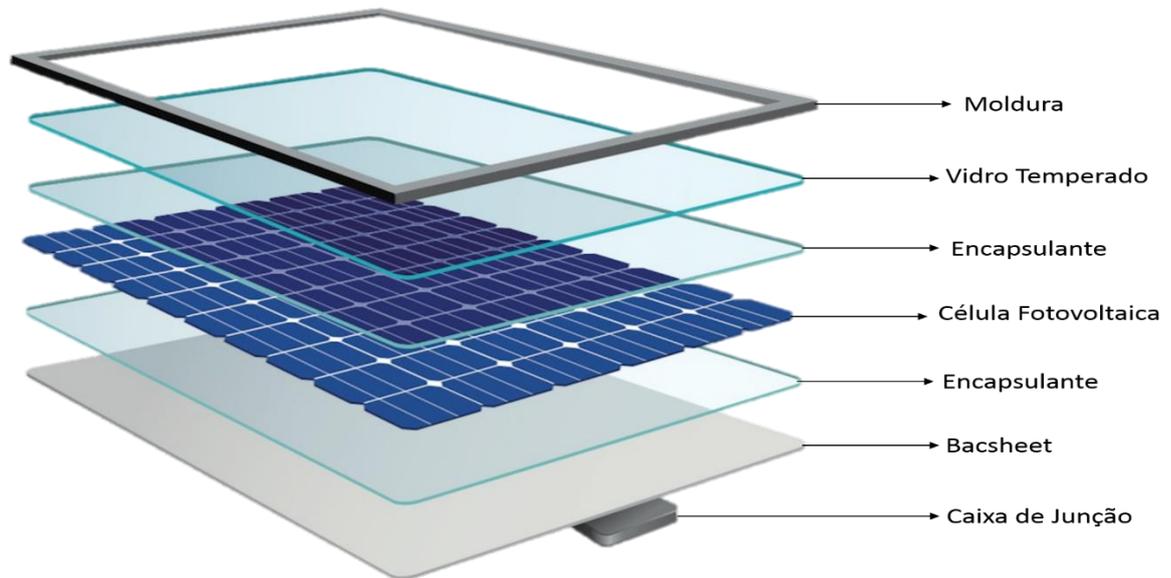
## 2.14 Componentes do Sistema

Um sistema fotovoltaico é composto por um ou mais painéis solares combinados com um inversor e outro hardware elétrico e mecânico que usa a energia do Sol para gerar eletricidade. Os sistemas fotovoltaicos podem variar muito em tamanho, desde pequenos telhados ou sistemas portáteis a usinas de geração em grande escala. Embora os sistemas fotovoltaicos possam operar por si próprios como sistemas fotovoltaicos fora da rede, este artigo se concentra em sistemas conectados à rede elétrica ou sistemas fotovoltaicos vinculados à rede. Além dos painéis solares, existem outros componentes importantes de um sistema fotovoltaico que são comumente chamados de “equilíbrio do sistema” ou BOS.

Esses componentes (que normalmente respondem por mais da metade do custo do sistema e a maior parte da manutenção) podem incluir inversores, *rack*, fiação, combinadores, desconexões, disjuntores e medidores elétricos.

### 2.14.1 Painel solar

Figura 4 – Composição do painel Fotovoltaico



Fonte: ACADEMIA DO SOL (2020).

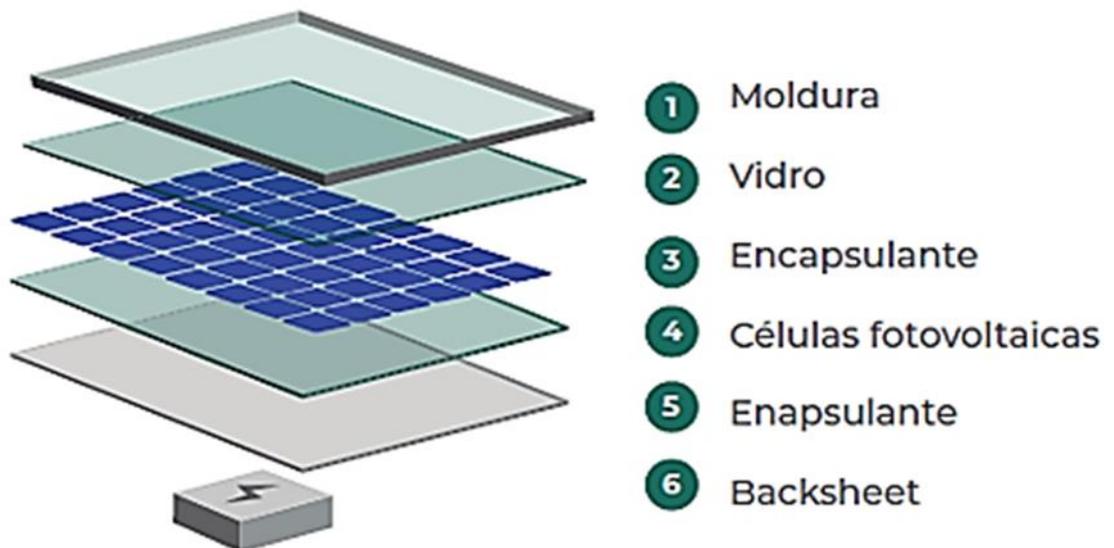
Para Nascimento (2016) um painel solar consiste em muitas células solares com propriedades semicondutoras encapsuladas em um material para protegê-lo do meio ambiente. Essas propriedades permitem que a célula capture a luz, ou mais especificamente, os fótons do sol e converta sua energia em eletricidade útil por meio de um processo denominado efeito fotovoltaico. Em cada lado do semicondutor há uma camada de material condutor que "coleta" a eletricidade produzida.

Figura 5 – Composição do painel Fotovoltaico



Fonte: ACADEMIA DO SOL (2020).

Figura 6 – Usina solar flutuante



Fonte: PORTAL SOLAR (2020).

Figura 7 – Casa com painel solar



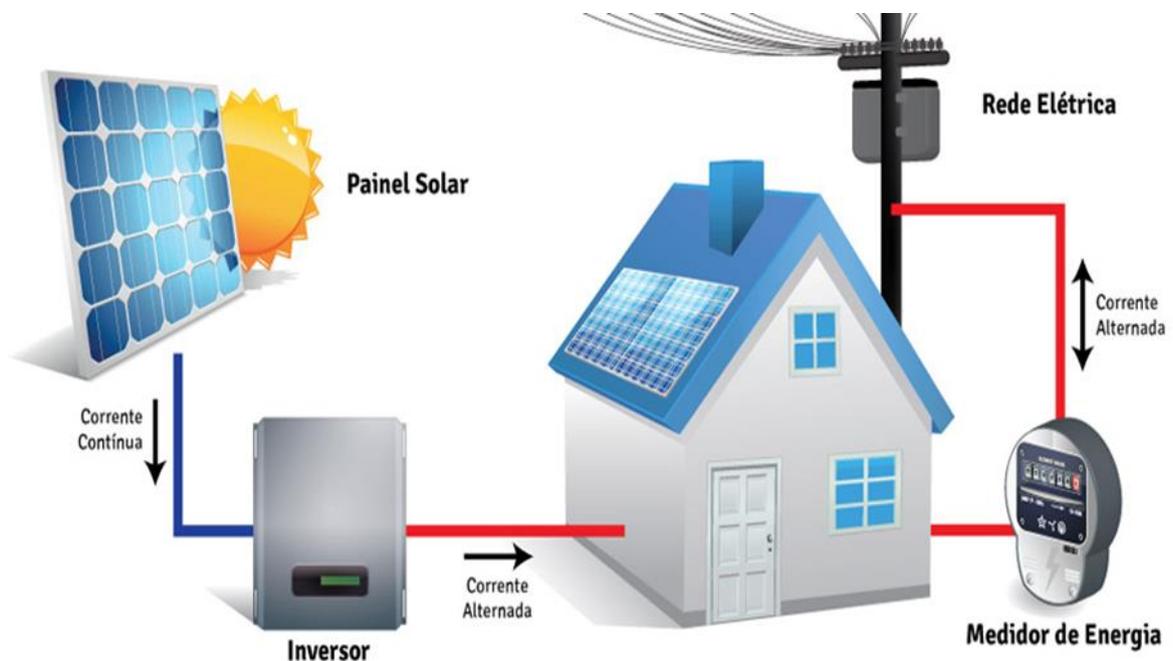
Fonte: REIS (2020).

O lado iluminado do painel também contém um revestimento antirreflexo para minimizar as perdas devido à reflexão. A maioria dos painéis solares produzidos em todo o mundo é feita de silício cristalino, que tem um limite teórico de eficiência de 33% para converter a energia do Sol em eletricidade. Muitos outros materiais semicondutores e tecnologias de células solares foram desenvolvidos para operar com eficiências mais altas, mas estes vêm com um custo de fabricação mais alto.

#### 2.14.2 Inversores

Um inversor é um dispositivo elétrico que aceita corrente elétrica na forma de corrente contínua (CC) e a converte em corrente alternada (CA). De acordo com Schuch (2019) para sistemas de energia solar, isso significa que a corrente DC do painel solar é alimentada por um inversor que a converte em AC.

Figura 8 – Inversor



Fonte: TRILHOS ENÉRGICOS (2020).

Essa conversão é necessária para operar a maioria dos dispositivos elétricos ou fazer interface com a rede elétrica. Os inversores são importantes para quase todos os sistemas de energia solar e normalmente são o componente mais caro depois dos próprios painéis solares. A maioria dos inversores tem eficiências de conversão de 90% ou mais e contém recursos de segurança importantes, incluindo interrupção do circuito de falha de aterramento e anti-ilhamento. Eles desligam o sistema fotovoltaico quando há uma perda de energia da rede.

### 2.14.3 Racking

*Racking* refere-se ao aparelho de montagem que fixa o painel solar ao solo ou telhado. Normalmente construídos em aço ou alumínio, esses aparelhos fixam mecanicamente os painéis solares com um alto nível de precisão. Os sistemas de estantes devem ser projetados para resistir a eventos climáticos extremos, como furacões ou ventos de nível de tornado e / ou grandes acúmulos de neve. Outra

característica importante dos sistemas de *rack* é ligar eletricamente e aterrar o painel solar para evitar eletrocussão.

Para Bluesol (2018) os sistemas de *racking* de telhado normalmente vêm em duas variações, incluindo sistemas de telhado plano e sistemas de telhado inclinado. Para telhados planos, é comum que o sistema de estantes inclua lastro pesado para segurar a matriz no telhado usando a gravidade. Em telhados inclinados, o sistema de estantes deve ser mecanicamente ancorado à estrutura do telhado. Os sistemas fotovoltaicos montados no solo, conforme mostrado na figura 4, também podem usar lastro ou âncoras mecânicas para fixar o conjunto ao solo. Alguns sistemas de rack montados no solo também incorporam sistemas de rastreamento que usam motores e sensores para rastrear o Sol no céu, aumentando a quantidade de energia gerada a um custo de equipamento e manutenção mais alto.

#### 2.14.4 Outros componentes

Para Braga (2015) os componentes restantes de um sistema fotovoltaico solar típico incluem combinadores, desconexões, disjuntores, medidores e fiação. Um combinador solar, como o nome sugere, combina dois ou mais cabos elétricos em um maior. Os combinadores normalmente incluem fusíveis para proteção e são usados em todos os painéis solares de médio a grande porte. As desconexões são portas ou interruptores elétricos que permitem a desconexão manual de um fio elétrico. Normalmente usados em ambos os lados de um inversor, ou seja, a "desconexão CC" e "desconexão CA", esses dispositivos fornecem isolamento elétrico quando um inversor precisa ser instalado ou substituído.

De acordo com Braga (2015) Disjuntores ou disjuntores proteger os sistemas elétricos de sobrecorrente ou sobretensão. Projetados para disparar automaticamente quando a corrente atinge um valor predeterminado, os disjuntores também podem ser operados manualmente, atuando como uma desconexão adicional. Um medidor elétrico mede a quantidade de energia que passa por ele e é comumente usado por

concessionárias de energia elétrica para medir e cobrar os clientes. Para sistemas fotovoltaicos solares, um medidor elétrico bidirecional especial é usado para medir a energia de entrada da concessionária e a energia de saída do sistema fotovoltaico solar. Finalmente, a fiação ou cabos elétricos transportam a energia elétrica de e entre cada componente e devem ser dimensionados corretamente para transportar a corrente. A fiação exposta à luz do sol deve ter proteção contra a exposição aos raios ultravioleta, e os fios que transportam corrente CC às vezes requerem revestimento de metal para proteção adicional.

## **2.15 Benefícios das Energias Renováveis**

Para Vilela (2016) as instalações de energia renovável geralmente têm um impacto muito modesto no meio ambiente. As descargas de substâncias indesejáveis ou prejudiciais à saúde no ar, no solo ou na água comumente associadas a outras formas de geração podem ser reduzidas significativamente com a implantação de energias renováveis. As tecnologias limpas também podem produzir benefícios econômicos indiretos significativos. Por exemplo, ao contrário das instalações de combustível fóssil, as instalações renováveis não precisarão ser equipadas com tecnologia de depuração para mitigar a poluição do ar, nem um país precisará gastar recursos na limpeza de rios poluídos ou da terra em torno de locais contaminados com combustível fóssil por- produtos. Além disso, eles fornecem benefícios de redução de gases de efeito estufa e deve surgir um mercado mundial de créditos de emissão atmosférica como foi previsto, países com um grande portfólio de projetos de energia renovável podem obter créditos de poluição que podem ser trocados por moeda forte. Para Vilela (2016) ter um perfil ambiental limpo aumenta a atratividade de projetos renováveis aos olhos dos investidores, especialmente das agências multilaterais de desenvolvimento, muitas das quais operam sob diretrizes que exigem a promoção de tecnologias não poluentes.

O desenvolvimento de um portfólio diversificado de ativos de geração reduz a dependência de um país de qualquer forma específica de tecnologia ou combustível

e sua vulnerabilidade a interrupções no fornecimento e aumentos de preços. O principal benefício de longo prazo das tecnologias renováveis é que, uma vez que um projeto renovável tenha sido construído e totalmente deprecado, ele se torna um componente permanente, ambientalmente correto e de baixo custo do sistema energético de um país. Com efeito, a construção de um projeto de energia renovável fornece às gerações futuras uma instalação de energia de baixo custo que produz energia com pouca ou nenhuma degradação ambiental.

As tecnologias renováveis são projetadas para funcionar com um suprimento virtualmente inesgotável ou reabastecível de "combustíveis" naturais. Expandir o fornecimento de eletricidade de uma nação atraindo investimentos para projetos de energia renovável é, por definição, uma estratégia de crescimento sustentável, uma vez que a operação das instalações não esgota os recursos finitos do planeta (VILELA 2016 p.33).

As instalações de energia renovável aumentam o valor da base geral de recursos de um país ao usar os recursos nativos do país para geração de eletricidade. Além disso, uma vez que essas instalações operam com "combustíveis" que são nativos e renováveis (diferentemente dos combustíveis fósseis importados), elas podem reduzir os problemas de balanço de pagamentos. A dependência reduzida das importações de combustível reduz a exposição às flutuações da moeda e à volatilidade do preço do combustível.

A construção e operação de projetos renováveis normalmente geram atividade econômica local significativa, muitas vezes em áreas anteriormente "pobres em recursos" de um país. Os projetos de energia renovável atuam, portanto, como motores do desenvolvimento econômico regional. No caso de projetos em grande escala, na rede, será necessário comprar serviços e contratar trabalhadores locais para construir e operar as instalações.

Frequentemente, uma indústria local como uma usina de açúcar ou de papel (quando a tecnologia de biomassa é empregada) estará associada ao desenvolvimento, aumentando as oportunidades de joint ventures entre proprietários de terras locais e investidores privados que podem fornecer conhecimento tecnológico. Instalações de menor escala costumam atrair o envolvimento do setor privado local. O envolvimento local, por sua vez, estimula novas atividades econômicas com efeito multiplicador e

agrega valor à base tributária local. aumentando as oportunidades de joint ventures entre proprietários de terras locais e investidores privados que podem fornecer conhecimento tecnológico. Instalações de menor escala costumam atrair o envolvimento do setor privado local. O envolvimento local, por sua vez, estimula novas atividades econômicas com efeito multiplicador e agrega valor à base tributária local. Aumentando as oportunidades de joint ventures entre proprietários de terras locais e investidores privados que podem fornecer conhecimento tecnológico. Instalações de menor escala costumam atrair o envolvimento do setor privado local. O envolvimento local, por sua vez, estimula novas atividades econômicas com efeito multiplicador e agrega valor à base tributária local.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia é a estratégia geral de pesquisa que descreve a maneira como a pesquisa deve ser realizada e, entre outras coisas, identifica os métodos a serem usados nela. Para Tartuce (2006) esses métodos, descritos na metodologia, definem os meios ou modos de coleta de dados ou, às vezes, como um determinado resultado deve ser calculado. A metodologia não define métodos específicos, embora muita atenção seja dada à natureza e tipos de processos a serem seguidos em um determinado procedimento ou para atingir um objetivo. Em outras palavras, de acordo com Vergara (2000) o capítulo de metodologia deve justificar as escolhas de projeto, mostrando que os métodos e técnicas escolhidos são os mais adequados para os objetivos e metas da pesquisa e fornecerão resultados válidos e confiáveis. Uma boa metodologia de pesquisa fornece resultados cientificamente sólidos, enquanto uma metodologia pobre não.

#### **3.1 Pesquisa Quanto aos Fins**

O tipo de pesquisa é importante ser definido para dar ênfase no direcionamento do

estudo, a partir do tema e objetivos a pesquisa já pode ter uma escolha quanto aos seus fins. De acordo com Gil (1996) existem três principais tipos de pesquisa a pesquisa exploratória geralmente é realizada quando um pesquisador acaba de iniciar uma investigação e deseja compreender o tópico de maneira geral; A pesquisa descritiva visa descrever ou definir o tópico em questão; A pesquisa explicativa tem como objetivo explicar por que fenômenos específicos funcionam da maneira que o fazem.

A presente pesquisa com o título a “Análise sobre energia solar no Brasil” foi realizada com um fim descritivo para alcançar os objetivos propostos. O tipo de pesquisa escolhido foi a pesquisa descritiva que é definida como um método de pesquisa que descreve as características da população ou fenômeno estudado. Essa metodologia se concentra mais no “o quê” do sujeito da pesquisa do que no “por quê” do sujeito da pesquisa.

Para Tartuce (2006) a pesquisa descritiva pode ser explicada como uma declaração de coisas, visto que elas são no momento, com o pesquisador não tendo controle sobre as variáveis. Além disso, “os estudos descritivos podem ser caracterizados como a tentativa de determinar, descrever ou identificar o que é, como no caso da busca pelo entendimento sobre as questões relacionadas a energia fotovoltaica no Brasil.

Para tanto de acordo com Gil (1996) o método de pesquisa descritiva concentra-se principalmente em descrever a natureza de um segmento demográfico, sem focar no “por que” um determinado fenômeno ocorre. Em outras palavras, “descreve” o assunto da pesquisa, sem cobrir “por que” isso acontece. O termo pesquisa descritiva, então, refere-se a questões de pesquisa, desenho do estudo e análise de dados conduzida naquele tópico. Nós o chamamos de método de pesquisa observacional porque nenhuma das variáveis do estudo de pesquisa é influenciada de alguma forma.

### **3.2 Pesquisa Quanto aos Meios**

Para Macedo (1994) quanto aos meios de investigação, uma pesquisa pode ser classificada em cinco tipos: De campo: É baseada pelo ensaio prático que se está sendo aplicada na investigação e é realizada justamente no local onde são observados os fenômenos estudados; De laboratório: É realizada em localidade determinada e limitada; Documental: Através de análises em documentações encontradas em diferentes órgãos, ou com pessoas que possuem a guarda destes documentos; Bibliográfica: É aquele realizado com base em materiais já publicados; Experimental: Investigação empírica na qual o pesquisador manipula e controla variáveis independentes e observa os resultados destas manipulações.

Para responder a questão norteadora da pesquisa será realizada com o meio bibliográfico. Segundo Gil (1996) a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho dessa natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas. Boa parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisa bibliográfica.

As fontes bibliográficas podem ser classificadas em: livros, publicações periódicas e impressos diversos. A principal função da pesquisa bibliográfica é fornecer material de análise que será usado na edificação da pesquisa que será feita. Para Macedo (1994) a delimitação do tema no tempo e no espaço, a seleção das fontes bibliográficas adequadas ao estudo em questão (bibliografias, índices, resumos, catálogos), como também base de dados computadorizados, adoção de método e procedimento de trabalho: fichamento, levantamento de palavras-chave são as procedimentos fundamentais na organização da bibliografia.

Para Gil (1996) o levantamento de dados de referência para análise, assim como a seleção cuidadosa do que será útil para o projeto de pesquisa, evitando a abordagem de assuntos desnecessários ao tema definido. Ainda segundo Macedo (1994) é importante a fase de preparação para racionalizar os passos da coleta de dados, com o seguinte aprendizado: a) ficha bibliográfica; b) normas de referência bibliográfica; c) citações de texto: transcrições diretas, condensações e glosa; d) resumo; e) numeração progressiva. Vemos que para a organização da bibliografia do tipo de pesquisa abordada é necessária uma série de procedimentos técnicos e organizacionais para que se tenha

um trabalho de qualidade.

Para tanto a pesquisa será realizada com cunho bibliográfico, para Vergana (2000) é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral. Assim sendo a coleta de dados foi realizada através de pesquisa bibliográfica com artigos, livros, revistas e outros meios que relatam o assunto em questão. Na revisão de literatura foi aprofundado o conhecimento sobre o assunto, foram abordadas questões como energia fotovoltaica; Consumo de energia; Energia fotovoltaica no Brasil; Potencial fotovoltaico brasileiro; Dificuldades do Brasil na adoção de energia fotovoltaica. Alguns autores foram essenciais para o embasamento teórico, tais como: Camargo (2017); Mendes (2017); Bruton (2019); Braga (2015); Parida (2016); Pless (2017) Villalva (2015) entre outros. O período dos artigos pesquisados foi publicado nos anos de (2000) a (2020).

### **3.3 Universo e Amostra**

Na concepção de Beuren (2013), uma amostra, geralmente, é mais adequada ao processo investigatório quando apresenta custo reduzido, maior rapidez, facilidade de controle e possibilidade de análise mais precisa. No entanto, as amostras não eximem o pesquisador da ocorrência de erros amostrais. Por isso, o autor recomenda a utilização de técnicas adequadas e a utilização de intervalo mínimo de confiança para identificar o espaço onde há expectativa de erro amostral, que pode ser tanto para mais quanto para menos. Nesse sentido, o erro pode ocorrer devido a dois fatores: o tamanho da amostra e a homogeneidade da população-alvo (BEUREN, 2013). Neste trabalho, primeiramente, far-se-á uma coleta do material bibliográfico para uma fundamentação teórica e, posteriormente, uma triagem e leitura do que mais interessar ao tema. As principais fontes de informações serão: Energia; Fotovoltaica; Brasil.

O universo consiste em todos os elementos da pesquisa que se qualificam para inclusão no estudo de pesquisa. Para Macedo (1994) a definição precisa do universo

para um estudo particular é dada pela pergunta de pesquisa, que especifica quem ou o que é de interesse. O universo pode ser indivíduos, grupos de pessoas, locais, organizações ou mesmo objetos. Para tanto, a pesquisa possui uma amostragem não não-probabilística, o pesquisador utilizou-se de autores que já abordaram o assunto em questão e seu próprio julgamento ou até mesmo das experiências de conveniência para extrair uma amostra de um universo de pesquisa.

A amostragem não- probabilística não utiliza a estatística para a formação da amostra e, portanto, os resultados obtidos não podem ser considerados representativos da população-alvo De acordo com Parida (2016) o país tem grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. Para se ter uma ideia, a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é uma das líderes no uso de energia fotovoltaica (PV), é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente de 4.500 Wh / m<sup>2</sup> a 6.300 Wh / m<sup>2</sup>.

Além disso, o Brasil possui uma das maiores reservas de silício do mundo. Isso torna o país um local privilegiado para desenvolver uma indústria local de produção de células solares, gerando empregos e retorno de impostos. Para isso, seria necessário investir em pesquisas para desenvolver uma purificação do silício para conscientizar o chamado “grau solar”, que é superior ao silício utilizado na siderurgia. Apesar dessas condições favoráveis, o uso da energia solar para geração de eletricidade ainda não é considerado uma opção para alimentar nossas indústrias, residências e edifícios isso porquê o valor para a adequação da energia fotovoltaica ainda é muito inacessível.

### **3.4 Formas de Coleta e Análise dos Dados**

Para Prodanov e Freitas (2013) a coleta de dados é a fase do método de pesquisa, cujo objetivo é obter informações da realidade. Nessa etapa, definimos onde e como será realizada a pesquisa. Será definido o tipo de pesquisa, a população (universo da

pesquisa), a amostragem, os instrumentos de coleta de dados e a forma como pretendemos tabular e analisar seus dados. É a fase da pesquisa em que reunimos dados através de técnicas específicas.

O processo de coleta de dados busca métodos ou padrões de associações de dados que tenha condições de transparecer aos fatos que serão utilizados. Basicamente foram analisadas fontes bibliográficas sobre as informações necessárias que proporcione a análise de dados para a obtenção do resultado esperado. No plano de coleta de dados se faz necessário especificar os documentos que serão analisados, quando levantados, serão coletados os dados para a produção do trabalho. A princípio foi realizada a revisão bibliográfica, na qual será utilizada a livros, artigos e periódicos. Após feito isso o trabalho foi dissertado.

### **3.5 Limitações da Pesquisa**

Uma das limitações encontradas foram as dificuldades de encontrar pesquisas anteriores com a temática trabalhada, de acordo com Michel (2005) citar estudos de pesquisa anteriores forma a base de sua revisão da literatura e ajuda a estabelecer uma base para a compreensão do problema de pesquisa que você está investigando. Dependendo da moeda ou do escopo de seu tópico de pesquisa, pode haver pouca ou nenhuma pesquisa anterior sobre seu tópico.

A falta de dados ou de dados confiáveis provavelmente exigirá que você limite o escopo de sua análise, o tamanho de sua amostra, ou pode ser um obstáculo significativo para encontrar uma tendência e um valor significativo relação. Mas mesmo com essa limitação foi possível fazer a abordagem de maneira sólida.

## **4 RESULTADOS E ANÁLISES**

Neste capítulo, serão apontados alguns dados que foram obtidos ao decorrer do estudo. O país tem grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. De acordo com a fundamentação teórica, a radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é uma das líderes no uso de energia fotovoltaica (PV), é 40% menor do que na região menos ensolarada do Brasil. As tecnologias renováveis são vistas como um instrumento fundamental no combate ao efeito estufa em emissões de gases e mudanças climáticas, e a disponibilidade de recursos naturais renováveis é considerado o principal requisito para a capacidade de uma nação de reduzir o risco climático (IPCC, 2014).

No entanto, o desenvolvimento do setor de energias renováveis não ocorre apenas por meio determinantes da oferta, ou seja, a disponibilidade de recursos naturais, mas também por meio de aspectos de demanda e recursos para sua implementação. O uso da luz solar como fonte de geração de eletricidade tem sido adotado em muitos países há mais de cinquenta anos, inicialmente em baterias e sistemas isolados, e, mais recentemente, para sistemas conectados à rede. Como a energia solar é abundante em todo o mundo, geração fotovoltaica há muito tempo é reconhecida por sua grande tecnologia e potencial econômico, tornando-se muito competitivo entre as renováveis. Até muito recentemente, a tecnologia fotovoltaica não era tão atraente investimento, dados seus altos custos de capital iniciais.

#### **4.1 Resultados sobre o Potencial Fotovoltaico Brasileiro**

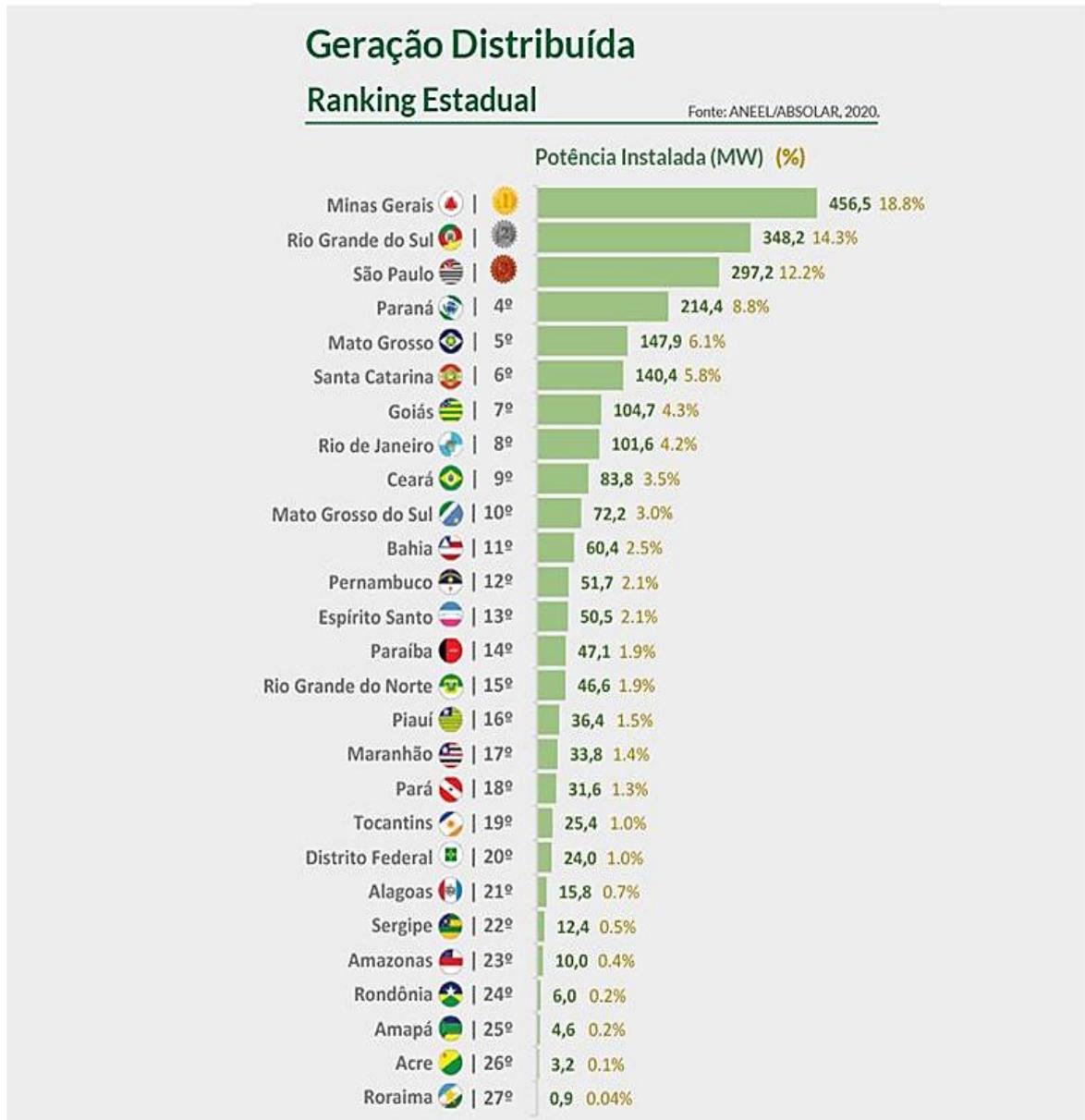
Bazilian et al. (2013) apontam as mudanças dramáticas sofridas pela indústria fotovoltaica em relação às reduções de custos. Os investimentos em sistemas fotovoltaicos compreendem os custos dos módulos e dos hard e soft equilíbrio do sistema. O segundo componente se refere a todas as partes de um sistema fotovoltaico diferente dos módulos 2. Os custos do módulo dependem do mercado global e tendências, enquanto os preços do módulo podem mudar de acordo com as características locais, como salários e estruturas da indústria.

Figura 9 – Potencial solar do território brasileiro



Fonte: QUANTUN (2020).

Figura 10 – Ranking de distribuição de energia fotovoltaica no Brasil por estados



Fonte: ABSOLAR (2020).

Apesar dessas condições favoráveis, o uso da energia solar para geração de energia elétrica ainda não é considerado uma opção para alimentar nossas indústrias, residências e edifícios. Como o país já possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, uma melhor integração da energia solar fotovoltaica seria uma fonte complementar, aproximando a geração do consumo e reduzindo assim as perdas na transmissão. O Brasil, um país desesperado para reduzir sua dependência de energia

hídrica afetada pela seca. Três anos e uma recessão de proporções históricas mais tarde, o plano do Brasil para liberar sua inexplorada energia solar potencial está se movendo muito mais devagar do que o previsto.

## 4.2 Dados Relevantes Sobre A Energia Fotovoltaica Brasileira

Segundo informações de junho de 2020, da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR):

Quadro 1 – Dados relevantes sobre a energia solar (2020)

Entre 2012 e o 2019, o setor de energia fotovoltaica brasileiro gerou mais de 130 mil empregos diretos;
Em 2020, a energia solar fotovoltaica passou a responder por 1,6% da matriz energética brasileira;
O estado com maior potência instalada é Minas Gerais, com 562,5 MW, seguido pelo Rio Grande do Sul (385,0 MW), e por São Paulo (356,8 MW);
A potência operacional total da energia solar brasileira é de 5.764,0 MW, dos quais, 2.928,8 MW vêm de geração centralizada, e 2.836,0 MW, de micro ou minigeração;
A previsão de investimentos nesses projetos já contratados em leilões de energia é de R\$ 25,8 bilhões até 2025;
2.835,6 MW é a potência instalada solar fotovoltaica total em geração distribuída;
304.427 unidades consumidoras recebem créditos pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica.
Entre 2012 e 2019, foram investidos R\$ 14,6 bilhões em sistemas de microgeração (até 75 kW) ou minigeração (entre 75 kW e 5MW) de energia em residências, comércios, indústrias, edifícios públicos e propriedades rurais;
Até 2025, 4,6 GW de potência contratada em leilões de energia entrarão em operação no país;

Fonte: QUANTUN (2020).

A energia solar fotovoltaica é a fonte de energia de crescimento mais rápido no mundo. O Brasil é um dos países mais ensolarados e com uma dimensão continental que lhe dá a oportunidade de se tornar uma nação líder em energia solar fotovoltaica. Ainda há muito potencial a ser desenvolvido. Abaixo estão as principais características na trajetória da energia fotovoltaica no Brasil nos últimos anos.

Quadro 2 – Trajetória da energia solar fotovoltaica no Brasil

2010	É publicada consulta pública da <i>Consulta Pública nº 015/2010</i> da ANEEL, com o objetivo de reduzir as barreiras à instalação de geração distribuída (GD) a partir de fontes renováveis de energia no Brasil.
2011	O decreto da <i>Portaria INMETRO nº 004/2011</i> e a chamada pública <i>Chamada Pública nº 013/2011</i> melhoram as regras fundamentais e reúnem conhecimentos relevantes para apoiar as decisões sobre o funcionamento dos sistemas solares fotovoltaicos distribuídos no país.
2012	<i>REN 482/2012</i> é publicada: o sistema brasileiro de net metering finalmente nasceu!
2013	A ABSOLAR é fundada e o primeiro leilão brasileiro de energia solar FV é realizado no estado de Pernambuco. Simultaneamente, o mercado fotovoltaico solar distribuído começa a se desenvolver lentamente.
2014	É realizado o primeiro leilão nacional de energia solar fotovoltaica, um Leilão de Energia de Reserva (LER), resultando em 31 contratos de energia solar fotovoltaica de grande porte, com uma capacidade total contratada de 889,66 MWac.
Abril – 2015	Publicação do Convênio ICMS Nº 16/2015 que autoriza os Estados brasileiros a isentar os impostos estaduais sobre a eletricidade net-net da geração distribuída com até 1 MW de capacidade instalada.
Outubro – 2015	A <i>Lei nº 13.169 / 2015</i> reduziu os tributos federais PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) do sistema de medição líquida exclusivamente ao consumo líquido de energia da rede.
Dezembro – 2015	Criação do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD).
2017	A Solar PV participa pela primeira vez no leilão de Energia Nova A-4, resultando em 20 contratos de energia solar fotovoltaica de grande escala.
Janeiro - 2018	Solar PV atinge seu primeiro gigawatt (GW) de capacidade instalada acumulada no Brasil!
Maio – 2018	A ANEEL abre <i>consulta pública Consulta Pública nº 010/2018</i> para revisar as regras de distribuição de energia solar fotovoltaica no Brasil.
Janeiro – 2019	A geração solar fotovoltaica centralizada atinge 2 GW de capacidade instalada acumulada e se

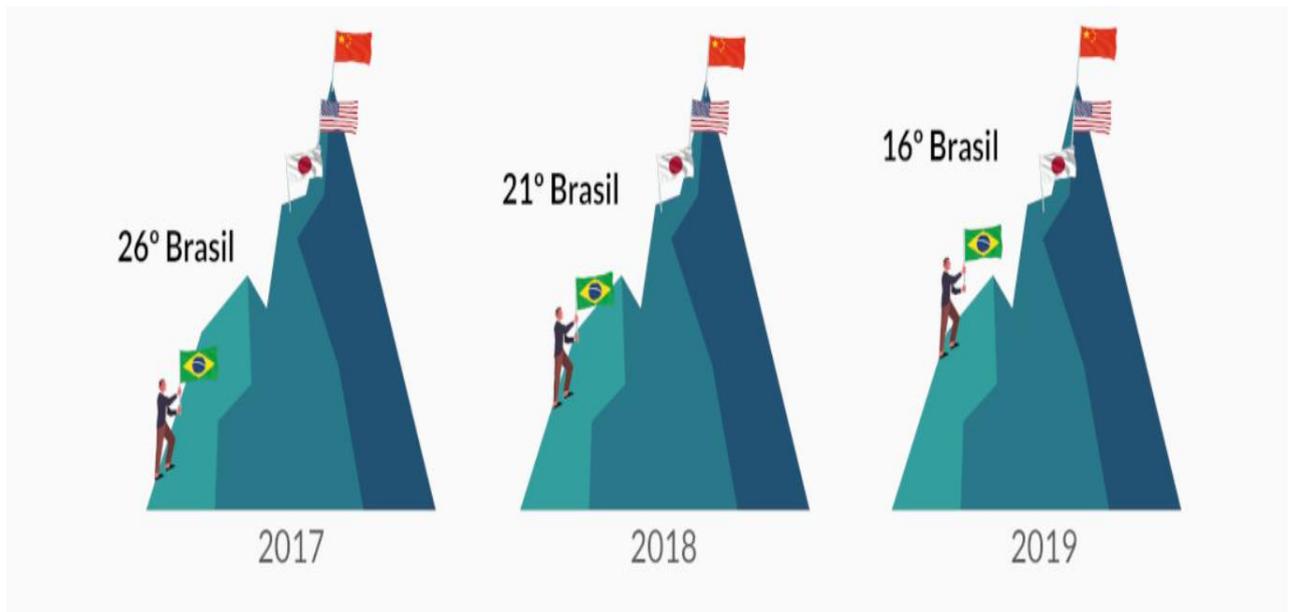
Junho – 2019	torna a 7ª maior fonte de eletricidade do Brasil, superando a energia nuclear! A energia solar fotovoltaica distribuída atinge seu primeiro GW de capacidade instalada cumulativa!
Agosto – 2019	Todos os estados brasileiros aderem ao <i>Convênio ICMS Nº 16/2015</i> e apóiam isenções de impostos estaduais para eletricidade com medição líquida de geração distribuída.
Outubro - 2019	A Solar PV participa pela primeira vez no leilão de Energia Nova A-6, resultando em 11 contratos de energia solar fotovoltaica de grande escala.
2020	A energia solar fotovoltaica distribuída atinge 4 GW de capacidade instalada cumulativa!

Fonte: ABSOLAR (2020); | IEA PVPS (2018-2020) e | IRENA (2020).

Para compreender o quanto o Brasil poderia melhorar e ampliar a utilização da energia fotovoltaica, é interessante analisar como os outros países estão, desde 2008, as instalações nos Estados Unidos cresceram dezessete vezes, de 1,2 gigawatts (GW) para cerca de 30 GW hoje, o suficiente para abastecer o equivalente a 5,7 milhões de lares americanos médios. Desde 2010, o custo médio dos painéis fotovoltaicos caiu mais de 60% e o custo de um sistema elétrico solar caiu cerca de 50%. A eletricidade solar é agora considerada economicamente competitiva com as fontes de energia convencionais em vários estados, incluindo Califórnia, Havaí, Texas e Minnesota.

A energia solar forneceu cerca de 2,3% do total da eletricidade dos EUA em 2020. A energia fotovoltaica (PV) e a energia solar térmica são os dois principais tipos de tecnologias de geração de eletricidade solar. A conversão fotovoltaica produz eletricidade diretamente da luz solar em uma célula fotovoltaica. A maioria dos sistemas de energia térmica solar usa turbinas a vapor para gerar eletricidade. Os Estados Unidos lidera o *ranking* de utilização da energia fotovoltaica como podemos ver exemplificado abaixo.

Figura 11 – Imagem ilustrativa sobre a ocupação do Brasil no ranking mundial



Fonte: ABSOLAR (2020); | IEA PVPS (2018-2020) e | IRENA (2020).

A expansão da eletricidade movida a energia solar nos EUA quebrou grandes recordes no ano passado, respondendo por quase 40% de toda a nova capacidade de geração. E a energia fotovoltaica (PV) instalada total deve mais do que dobrar nos próximos cinco anos, de acordo com um relatório anual divulgado hoje pela Solar Energy Industries Association e Wood Mackenzie, uma empresa global de pesquisa e consultoria em energia.

O crescimento dos EUA, um salto de 23% em relação a 2018, foi liderado pela Califórnia, onde a preocupação com incêndios florestais e requisitos de energia solar para casas recém-construídas aumentaram a demanda de PV. Foi seguido por um crescimento solar dramático no Nordeste e nos ensolarados Texas e Flórida.

As conversões para energia solar no setor de serviços públicos foram a “base” do crescimento nacional. A mudança foi parcialmente motivada por empresas que queriam se qualificar para um crédito fiscal de investimento federal para sistemas de energia solar antes que o crédito comece a diminuir e, em seguida, expire em 2022 para sistemas de propriedade do cliente.

O Brasil pode aprender muito com o modelo seguido principalmente nos Estados Unidos e China. O investimento chinês em energia limpa é o maior do mundo. Em 2019, a China injetou cerca de 83,4 bilhões de dólares americanos em pesquisa e desenvolvimento de energia limpa. Os Estados Unidos e o Japão tiveram o segundo e o terceiro maiores investimentos em energia limpa naquele ano, com 55,5 bilhões e 16,5 bilhões de dólares, respectivamente.

Todos os países selecionados combinados gastaram 219,2 bilhões de dólares americanos em tecnologias alternativas de energia. As três primeiras entradas responderam por cerca de 71 por cento do total de investimentos interesses velados, protecionismo e falta de empreendedorismo têm sufocado o desenvolvimento de uma indústria solar nacional no Brasil, um país com enorme potencial para gerar energia de outras fontes que não o petróleo e grandes hidrelétricas.

O Brasil está muito atrás de outras economias emergentes, China e Índia, no desenvolvimento de alternativas como a eólica e a solar. A concessão não competitiva de grandes contratos hidrelétricos pela estatal de energia Petrobras, conforme exposto pela vasta investigação anticorrupção lava jato (operação lavagem de carros), revelou um setor de energia vulnerável à corrupção, capturado por interesses estabelecidos e relutantes em investir em novas tecnologias.

As rígidas leis brasileiras sobre o uso de conteúdo fabricado localmente também não ajudam. Em áreas como a tecnologia solar, seus produtos não são competitivos globalmente, o que significa vendas fracas no exterior e implantação limitada de tecnologia solar importada no país.

Existem duas abordagens distintas para gerar energia solar no Brasil. Na primeira, conhecida como geração centralizada, a energia solar em escala de utilidade compete com outros tipos de geração para ganhar leilões de capacidade do governo. Na outra modalidade, conhecida como geração distribuída, as empresas negociam diretamente com os consumidores a instalação de painéis em suas propriedades, que essencialmente alugam. Qualquer energia excedente é vendida para a rede. No entanto, a recessão paralisante do Brasil tornou essa opção menos viável, uma vez que reduziu a demanda.

Os preços das energias renováveis estão caindo rapidamente em todo o mundo, aproximando-os cada vez mais do custo das tecnologias fósseis. Se a demanda no Brasil se recuperar, a energia solar barata pode atrair consumidores que procuram evitar preços elevados, e a microgeração começa a ser adotada em maior escala, ainda que a partir de uma base inferior. Esses esquemas também reduzem os desafios logísticos e ambientais de transmissão de eletricidade em um país tão grande como o Brasil. Um dos principais fatores que impedem o Brasil de usar fontes alternativas de energia é a estatal Petrobras, segundo Carlos Rittl, diretor do Observatório do Clima (Observatório do Clima). Desde a sua fundação em 1953, a empresa promove a extração de combustíveis fósseis e não tem vontade de mudar de rumo e promover as energias renováveis, apesar de ser uma empresa de energia e não de petróleo e gás, de acordo com seu estatuto. A descoberta de vastos depósitos de petróleo profundos na costa do Rio de Janeiro em 2008, conhecidos como 'pré-sal', apenas reforçou essa abordagem, disse Rittl a Diálogo Chino.

No entanto, os brasileiros estão aos poucos acordando para o fato de que o potencial de energia solar em qualquer região de seu país é cerca do dobro de um país como a Alemanha, que implantou quantidades significativas de energia solar, e que precisará reformar sua hidrelétrica e matriz energética de petróleo pesado, para atender aos compromissos de redução de emissões do Acordo de Paris sobre mudanças climáticas.

## **5 ESTUDO DE CASO**

### **5.1 Introdução**

Neste estudo de caso será analisada a implantação de um painel solar em uma residência localizada em Belo Horizonte, MG. Por questão de privacidade, alguns dados não serão citados. Estima-se que será produzida sua própria energia, tornando-se autossuficiente. Sendo responsável por 100% do consumo mensal.

O levantamento é feito, levando em conta o potencial de geração dos módulos fotovoltaicos, a quantidade média de horas anual que os raios solares incidem sobre a residência, inclinações e orientação ideais dos módulos.

### 5.1.2 Sistema on-grid

O sistema de energia solar *on-grid*, ou sistema fotovoltaico conectado à rede, é o sistema que permanece conectado em paralelo com a rede de distribuição, sendo assim, possível utilizar a energia da distribuidora quando não houver produção de energia solar além da possibilidade de converter o excedente de produção em créditos de energia. Diferentemente do sistema autônomo, o sistema conectado é empregado em locais já atendidos por energia elétrica.

O objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede é gerar eletricidade para o consumo local, fazendo com que o consumo da rede pública seja reduzido ou até mesmo eliminado, gerando um grande benefício econômico para o consumidor.

### **Categorias de sistemas fotovoltaicos à rede**

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser centralizados ou descentralizados. Os sistemas centralizados são constituídos por usinas de geração de energia elétrica cuja potência é acima de 1MW, já o regime descentralizado é constituído por micro e minissistemas descentralizado de geração distribuída, podendo ser instalados para qualquer tipo de consumidor. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são classificados em três categorias de acordo com seu tamanho segundo as definições utilizadas da ANEEL. São elas:

- a) Microgeração: potência instalada até 100KW;
- b) Minigerção: potência instalada entre 100KW e 1MW;
- c) Usinas de eletricidade: potência acima de 1MW.

Em abril de 2012 a ANEEL publicou a Resolução número 482 permitindo que micro e minigeradores de eletricidade baseados em fontes renováveis tenham acesso às redes de distribuição.

As energias hidráulicas (na forma de pequenas centrais hidroelétricas) eólicas e da biomassa também foram contempladas pela resolução.

A supracitada resolução abriu a possibilidade para que usuários residenciais e empresas pudessem gerar a própria energia elétrica por meio de micro e minissistemas fotovoltaicos, porém a resolução não trata das usinas de energia solar, uma vez que as regras vigentes para as centrais geradoras construídas com o objetivo de comercializar energia já contemplam esse tipo de empreendimento.

### **Sistemas de minigeração fotovoltaica**

Os sistemas fotovoltaicos de minigeração são aqueles instalados em consumidores comerciais e industriais.

O objetivo desses sistemas de minigeração fotovoltaica é suprir parcial ou totalmente a demanda de energia elétrica desses consumidores fazendo com que a dependência da energia da rede pública seja reduzida além de propiciar uma grande economia na conta de energia elétrica.

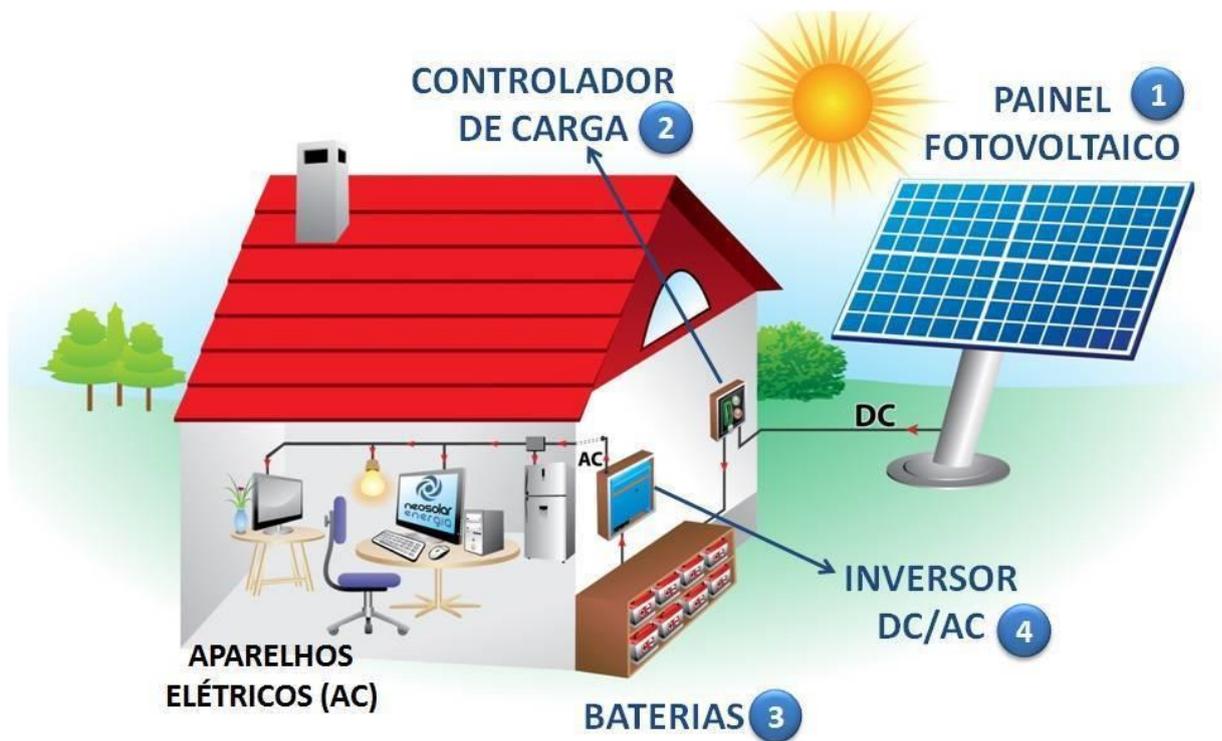
Muitas empresas adotam energia sustentável visando não apenas o benefício econômico, mas também com objetivo de conquistar uma parcela de consumidores que tem preferência por empresas que tem preocupação com a preservação do meio ambiente.

### **Sistemas de microgeração fotovoltaica**

Os sistemas de micro geração são pequenos sistemas instalados em locais onde o consumo de eletricidade é baixo. A potência gerada por esses sistemas é de até 100KW geralmente esses são os sistemas utilizados em telhados de residências, empresas e *shopping centers*. Os sistemas de microgeração fotovoltaica são capazes de suprir toda demanda de eletricidade nos locais em que são instalados, tornando os

consumidores autossuficientes em energia elétrica. Um sistema fotovoltaico típico de microgeração, conectado à rede elétrica de uma residência é composto de um conjunto de módulos fotovoltaicos: um inversor especial para a conexão à rede, quadros elétricos e um medidor de energia, conforme a imagem abaixo.

Figura 12 – Imagem ilustrativa de um sistema de microgeração fotovoltaico



Fonte: <https://www.neosolar.com.br> (2021)

A energia elétrica obtida dos módulos fotovoltaicos é consumida no próprio local e o excedente, se houver, é exportado para a concessionária local gerando créditos que podem ser descontados da conta de energia elétrica. Os módulos são conectados à rede elétrica da residência através de um inversor CC CA específico para a conexão à rede elétrica.

### **Inversores para a conexão à rede elétrica**

Os inversores para conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica têm função semelhante aos usados nos sistemas autônomos: converter em corrente alternada a eletricidade de corrente contínua coletada dos módulos fotovoltaicos. O inversor pode também alimentar cargas que necessitam de tensão e corrente CA. Caso ocorra uma falha no fornecimento de eletricidade da concessionária de energia, o inversor para a conexão à rede desliga-se por duas razões: não foi projetado para operar sem a rede elétrica e não deve em nenhuma hipótese continuar conectado à instalação elétrica, para a segurança de equipamentos que estão ligados à mesma rede ou de pessoas que possam estar fazendo alguma manutenção na instalação elétrica.

O inversor para conexão à rede possui basicamente a mesma estrutura encontrada no inversor autônomo, entretanto o inversor para conexão à rede possui um sistema eletrônico de controle sofisticado que o transforma em uma fonte de corrente. Uma das funções desse sistema de controle é fazer com que a corrente nos terminais de saída do inversor, ou seja, a corrente injetada pelo inversor na rede elétrica tenha o formato senoidal e esteja sincronizada com a tensão senoidal da rede.

Inversores para a conexão à rede elétrica estão disponíveis em diversas faixas de potência desde 250W para a conexão de apenas um módulo à rede elétrica até vários KW MW empregados em usinas de energia solar.

Normalmente os inversores empregados em micro e minigeração são monofásicos com potências tipicamente de até 5KW.

A constituição de sistemas trifásicos pode ser feita com a colocação de inversores monofásicos em conexão trifásico.

## **5.2 Dimensionamento do Sistema**

### *5.2.1 Análise Preliminar*

- a) Verificação do telhado: O telhado onde será instalado as placas fotovoltaicas se faz relevante, visto que a fixação é diferente para cada material da cobertura da residência. As melhores opções são telhas metálica e de barro/concreto. A contra indicação seria as telhas do tipo fibrocimento pois são frágeis para a instalação, o que faz com que o processo seja mais trabalhoso. Superfícies planas (como lajes ou telhas pré fabricadas em concreto), são ótimas superfícies para esse processo, sendo a opção que oferece mais flexibilidade na escolha do modo de fixação das placas fotovoltaicas;
- b) Interferências: Deve-se checar qualquer possível interferência no local da instalação dos painéis solares. Sendo a possibilidade de sombras o fator mais crítico a ser observado;
- c) Posição dos Módulos: O local de maior incidência de energia solar será a melhor opção para a instalação. Para uma instalação precisa, as placas fotovoltaicas deverão ser direcionadas para o norte. Isso porque o sol percorre o dia se inclinando ao norte até se pôr em Oeste quando visto do Brasil. Leste e Oeste também são opções para a captação de energia. Assim como as placas, a inclinação do telhado também é importantíssima. Preferencialmente a inclinação do telhado deve ser menor que a Latitude da cidade;
- d) Área de instalação: Alguns cálculos deverão ser feitos para estimar a quantidade de placas fotovoltaicas, o quanto o cliente pretende gastar, a porcentagem de economia, tudo dependendo do seu consumo de energia;
- e) Análise estrutural: É a parte onde se confere a estrutura. Há casos em que um reforço é necessário para a instalação;
- f) Local da instalação do inversor: O inversor quando instalados em residências, geralmente situa-se próximo ao quadro de luz, próximo ao sistema fotovoltaico. Já em indústrias é recomendável a disponibilidade de uma sala apenas para o inversor;
- g) Segurança: É essencial um ponto de aterramento no telhado em todos os sistemas fotovoltaicos.

Inicialmente no projeto, foram calculados: a média de consumo da energia da residência e a irradiação solar local.

É possível obter a irradiação solar usando a latitude e longitude do local, inserindo tais dados no *Google Maps* ou *Google Earth*. É importante identificar também qualquer

obstáculo que possa causar sombreamento na edificação. Neste caso específico, a existência de uma caixa d'água foi um obstáculo.

#### Dimensionamento do número de módulos

Sabendo o modelo de módulo que será utilizado, deve-se calcular a quantidade de energia produzida pelo painel na localidade em que será instalado. Como os sistemas conectados à rede dispõem de um sistema de rastreamento de potência máxima, o método adequado é aquele baseado na insolação diária, ou seja, no valor do quilowatt-hora por metro quadrado diário [KWh/m<sup>2</sup>/dia] disponível em uma determinada localidade.

Conhecendo a área e a eficiência do módulo, calcula-se a energia elétrica que ele produz diariamente. Uma vez calculada a energia produzida por um módulo e conhecendo o valor da energia que se deseja produzir determina-se a quantidade de módulos necessários no sistema fotovoltaico.

$$N_p = E_{\text{sistema}} / E_{\text{módulo}}$$

Em que:

$N_p$  = Número de módulos da instalação fotovoltaico.

$E_{\text{sistema}}$  = Energia produzida pelo sistema [KWh] no intervalo de tempo considerado

$E_{\text{módulo}}$  = Energia produzida por um módulo [KWh] no mesmo intervalo de tempo

Exemplo:

Queremos produzir 500KWh ao mês em uma residência localizada em Januária/MG, cuja a taxa de irradiação solar é 2.400 KWh. Nessas condições um painel fotovoltaico monocristalino de 240w da Bosch produz 14KWh ao mês.

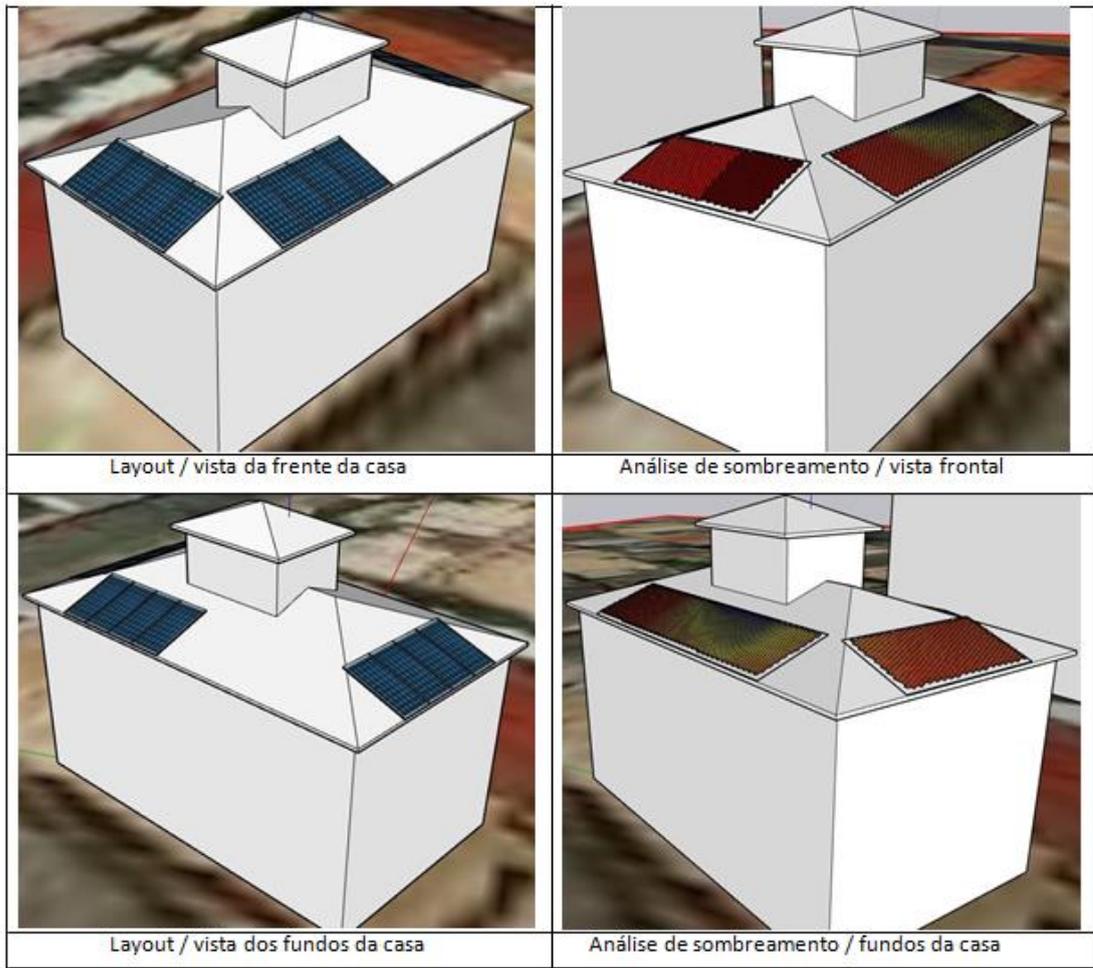
Cálculo da energia gerada por painel considerando 20% de perda

$$[240 \times 2,4 \times (1-20)] = 0,460\text{KWh}$$

$$\text{Consumo mensal: } 0,460 \times 30 = 14\text{KWh}$$

$$\text{Entao: } N_p = 500\text{KWh}/14\text{KWh} = 36 \text{ módulos}$$

Figura 13 – Análise de sombreamento



Fonte: OS AUTORES (2021).

Figura 14 – Conta de energia do proprietário anterior a instalação

**CEMIG**  
 Cemig Distribuição S.A. CNPJ: 06.981.180/0001-16 / Ins. Estadual: 082.302159.0087  
 Av. Barbacena, 1.206 - 17ª andar - Ala A1 - CEP: 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende  
 www.cemigatende.com.br  
 Fale com a Cemig 116 | Cemig Torpede 29810  
 Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela  
 Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

CATIA  BELO HORIZONTE, MG	Nº DO CLIENTE	Nº DA INSTALAÇÃO
	Referente a <b>JUN/2020</b>	Vencimento <b>04/07/2020</b>
	Valor a pagar (R\$) <b>402,24</b>	

**2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA**

Classe Residencial Bifásico	Subclasse Residencial	Modalidade Tarifária Convencional B1	Datas de Leitura Anterior: 13/05 Atual: 12/06 Próxima: 10/07	Data de Emissão 12/06/2020
-----------------------------------	--------------------------	---	---	-------------------------------

Tipo de Medição Energia kWh	Medição APC131016416	Leitura Anterior 33.547	Leitura Atual 33.945	Constante de Multiplicação 1	Consumo kWh 398
--------------------------------	-------------------------	----------------------------	-------------------------	---------------------------------	--------------------

<p><b>Informações Gerais</b>          Tarifa vigente conforme Res Anel nº 2.550, de 21/05/2019.          Considerar nota fiscal quitada após débito em sua c/c.          O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.          Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes          (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no          vencimento das mesmas.          É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre          atualizados e informar alterações da atividade          exercida no local.          Faça sua adesão para recebimento da conta de energia          por e-mail acessando <a href="http://www.cemig.com.br">www.cemig.com.br</a>          Leitura realizada conforme calendário de faturamento</p> <p>MAI/2020 Band. Verde - JUN/2020 Band. Verde</p>	<p><b>Valores Faturados</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td style="text-align: center;">398</td> <td style="text-align: center;">0,93491749</td> <td style="text-align: center;">372,07</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Encargos/Cobranças</b></td> </tr> <tr> <td>Contrib. Ilum. Pública Municipal</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">30,17</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Tarifas Aplicadas (sem impostos)</b></td> </tr> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,62833000</td> <td></td> </tr> </table>	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	398	0,93491749	372,07	<b>Encargos/Cobranças</b>				Contrib. Ilum. Pública Municipal			30,17	<b>Tarifas Aplicadas (sem impostos)</b>				Energia Elétrica kWh		0,62833000	
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)																						
Energia Elétrica kWh	398	0,93491749	372,07																						
<b>Encargos/Cobranças</b>																									
Contrib. Ilum. Pública Municipal			30,17																						
<b>Tarifas Aplicadas (sem impostos)</b>																									
Energia Elétrica kWh		0,62833000																							

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias
JUN/20	398	13,26	30
MAI/20	0	0,00	29
ABR/20	454	14,18	32
MAR/20	412	13,29	31
FEV/20	413	14,24	29
JAN/20	467	14,15	33
DEZ/19	417	14,37	29
NOV/19	458	14,31	32
OUT/19	403	13,89	29
SET/19	419	13,51	31
AGO/19	403	12,59	32
JUL/19	391	13,03	30
JUN/19	337	11,82	29

Reservado ao Fisco  
**SEM VALOR FISCAL**

	Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	-	-	-
FASEF	-	-	-
COFINS	-	-	-

Ouviria CEMIG: 0800 728 3536 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

Código de Débito Automático	Instalação	Vencimento <b>04/07/2020</b>	Total a pagar <b>R\$402,24</b> Junho/2020
-----------------------------	------------	---------------------------------	---

**ATENÇÃO:**  
**DÉBITO AUTOMÁTICO** Comprovante de Pagamento

Fonte: CEMIG (2020).

Observando a figura 1 podemos extrair as seguintes informações:

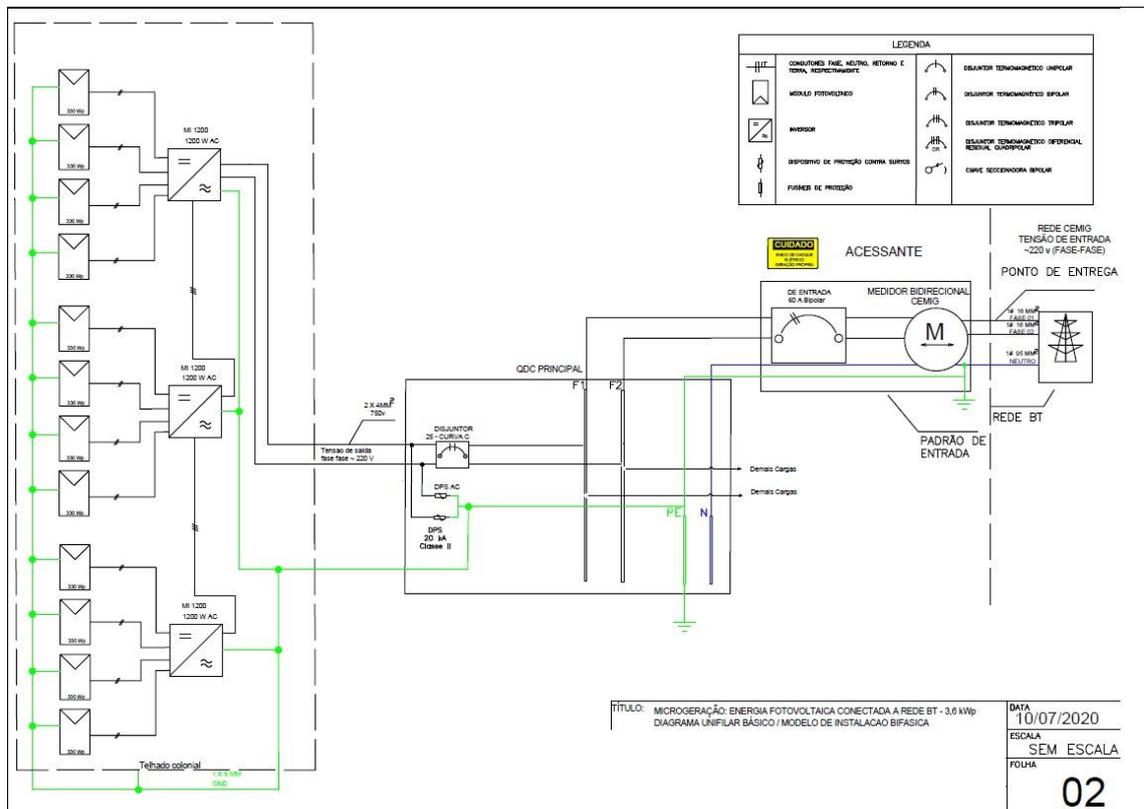
- a) Média anual de consumo de energia: 396 kWh;
- b) Valor da Tarifa do kWh: R\$ 0,934.

Será analisado também, o custo de investimento e prazo de pagamento e retorno de uma instalação de energia fotovoltaica em uma casa residencial localizada na cidade Belo Horizonte, MG.

De acordo com a média de consumo dos últimos 12 meses, a média mensal é de 396 KWh, gasto médio mensal R\$388,00 por mês de energia elétrica, R\$358,00 já descontando a taxa de iluminação pública no valor de 30,00. com tarifa de 0,93 KWh.

Para suprir a necessidade energética mensal foi calculada a necessidade de geração de 3,6KWp, com o uso de 12 painéis solares de 300W cada, ocupando uma área de 1,97m<sup>2</sup> por cada placa e 23,64m<sup>2</sup> somando as 12 placas. Para efeito de cálculo foi considerada as medidas 0,992 m de largura e 1,992m de comprimento.

Figura 15 – Projeto de instalação



Fonte: OS AUTORES (2021).

### 5.3 Resultados

O custo total do projeto foi de R\$ 19.990.

Cálculo de tempo gasto para pagar o investimento:  $19.990 / 358 = 55,83 / 12 = 4,65$  anos

Considerando o valor gasto com energia elétrica, e a estimativa de vida do painel fotovoltaico de 25 anos, o investimento se paga em de 4 anos e meio.

A diferença entre a produção média anual estimada e o consumo médio anual é de 394 kWh. De acordo com a Resolução normativa 687, o prazo para consumo dos créditos energéticos é de 60 meses.

Considerando o gasto médio mensal de R\$ 388,00 e desconsiderando os reajustes na tarifa energética pelos próximos 25 anos, a economia nos próximos 21 anos e meio seria de R\$ 100.104,00.

Figura 16 – Conta de luz após a instalação

**CEMIG**  
 Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.891.100/0001-16 | INSC. Estadual 082.020191-0007  
 Av. Brasiliana, 1.306 - 17º andar - Av. A1 - CEP 30189-031 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende  
 www.cemigatende.com.br  
 Fale com a Cemig 116 | Cemig Torpedão 28910  
 Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE Em vigor pela Lei nº 17.438, de 20 de abril de 2022

CATA		Nº DO CLIENTE		Nº DA INSTALAÇÃO	
BELO HORIZONTE, MG					
2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA		Referente a	Vencimento	Valor a pagar (R\$)	
		MAI/2021	04/06/2021	87,41	

Classe	Subclasse	Modalidade Tarifária	Datas de Leitura			Data de Emissão
Residencial Básico	Residencial	Convencional B1	Anterior	Atual	Próxima	13/05/2021
			14/04	12/05	11/06	

Tipo de Medição	Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia kWh	ARL203102754	2.632	2.983	1	351
Energia Injetada	ARL203102754	2.292	2.552	1	260

Informações Gerais		Valores Faturados			
SALDO ATUAL DE RESERVAÇÃO: 0,00 kWh. Tarifa vigente conforme Res Anel nº 2.757, de 18/08/2020. Considerar nota fiscal quitada após débito em sua oc. Unidade faz parte de sistema de compensação de energia. O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas. É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre atualizados e informar alterações da atividade exercida no local. Faça sua adesão para recebimento da conta de energia por e-mail acessando www.cemig.com.br Leitura realizada conforme calendário de faturamento ABR/2021 Band. Amarela - MAI/2021 Band. Verm. P1		Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
		Energia Elétrica kWh	58	0,98650584	54,10
		En comp. kWh ISENTA	295	0,64366143	189,88
		Energia injetada kWh HFP	295	0,64366143	-189,88
		<b>Encargos/Cobranças</b>			
		Contrib. Ilum. Pública Municipal			33,31
		<b>Tarifas Aplicadas (sem impostos)</b>			
		Energia Elétrica kWh		0,64366143	
		En comp. kWh ISENTA		0,64366143	
		<b>Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar</b>			
		Bandeira Vermelha			1,49
		Bandeira Amarela			0,63

Para pagar esta fatura pelo PIX:



MES/ANO	CONSUMO kWh	MEDIA ANUAL	Dia
MAI/21	351	12,63	28
ABR/21	414	12,54	33
MAR/21	333	11,10	30
FEV/21	249	8,89	28
JAN/21	369	11,18	33
DEZ/20	304	10,49	29
NOV/20	340	11,66	30
OUT/20	396	11,53	32
SET/20	387	12,60	30
AGO/20	593	17,06	33
JUL/20	468	16,64	29
JUN/20	398	13,26	30
MAI/20	0	0,00	29

Reservado ao Fisco		
SEM VALOR FISCAL		
Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	-	-
PASEP	-	-
COFINS	-	-

Outros dados CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis

Código de Débito Automático	Instalação	Vencimento	Total a pagar
		04/06/2021	R\$87,41
			Maio/2021

ATENÇÃO: DÉBITO AUTOMÁTICO



Fonte: CEMIG (2021).

Figura 17 – Estimativa de economia



Fonte: OS AUTORES (2021).

Figura 18 – Comparação entre a energia gerada e consumida em um ano



ATENÇÃO: Essa é uma estimativa de geração de energia baseada na radiação solar da região, medida pelo instituto CRESESB, que tem média anual de 5,13 hsp. Fatores como inclinação dos painéis fotovoltaicos, sombras, rede local, inclinação do telhado ou outro tipo de interferência influencia nesta geração estimada.

Fonte: OS AUTORES (2021).

Essa é uma estimativa de geração de energia baseada na radiação solar da região, medida pelo instituto CRESESB, que tem média anual de 5,13hsp. Fatores como inclinação dos painéis fotovoltaicos, sombras, rede local, inclinação do telhado ou outro tipo de interferência influencia nesta geração estimada.

Conforme estabelece a Resolução Normativa N° 482, quanto ao saldo (excesso de energia gerada) não haverá reembolso ao consumidor, mas existirá a geração de créditos que poderão ser abatidos nos meses seguintes. Os créditos tem validade de 60 meses, por exemplo, a energia que for gerada em maio de 2021 que não foi utilizada, poderá ser consumida até maio de 2026.

Considera-se a residência autossuficiente quando a geração de energia é maior que o consumo.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A pesquisa foi de grande valia ao contexto fotovoltaico brasileiro, a partir da análise dos materiais bibliográficos foi possível concluir que o meio ambiente está ameaçado. A quantidade de dióxido de carbono na atmosfera está crescendo e se queremos realmente evitar o pior das mudanças climáticas, é extremamente importante que reduzamos rapidamente as emissões de carbono, e a energia fotovoltaica é uma das alternativas encontradas para melhorar as condições ambientais.

Além da questão ambiental, no Brasil, a descentralização da distribuição de energia e o aproveitamento de fontes de energia renovável é a única forma de entregar eletricidade para bilhões de pessoas que ainda não tem acesso a essa comodidade. Dado o fato do Brasil possuir grande extensão territorial e a demanda local ser relativamente baixa, faz com que os custos de transmissão e distribuição sejam inviáveis.

Por exemplo, a maior parte da região Amazônica não está conectada ao sistema de distribuição de eletricidade. Há centenas de pequenas redes operadas por produtores independentes, concessionárias ou pelas próprias comunidades. Estas redes isoladas cobrem cerca de 45% da área, mas fornecem energia à somente 3% da população. A maioria dos locais não é facilmente acessível, aumentando os custos e diminuindo a

confiabilidade do fornecimento de energia. Os operadores registrados, no entanto, fazem uso de um subsídio do governo federal chamada Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, que paga 100% do combustível.

O potencial de uso de sistemas solares fotovoltaicos é imenso, e pode ser estimado em dezenas a centenas de MWp somente na região amazônica, mesmo se somente uma parcela das aproximadamente 300 centrais de geração diesel das concessionárias com capacidade de 620MWA, além dos milhares de redes comunitárias. Hoje, a tecnologia solar já é uma das alternativas mais viáveis de energia renovável atualmente disponível para atender a demanda da região. A economia de combustível fóssil e a redução de emissão de gases do efeito estufa são exemplos dos benefícios.

Embora os painéis solares tenham uma pegada de carbono, ela é significativamente menor do que outros métodos de produção de energia. Os painéis solares usam células fotovoltaicas para capturar a energia do sol. É uma fonte de energia renovável e não produz mais emissões de carbono. Painéis solares fotovoltaicos são, sem dúvida, o que vem à mente das pessoas quando se fala em energia solar. Considerando que, em uma hora, o sol irradia energia solar o suficiente para cobrir o consumo de energia humana por um ano, então tornar-se ecológico com painéis fotovoltaicos é talvez a direção certa! No entanto, com a tecnologia dos sistemas de energia solar, ainda estamos atrasados na captura dessa vasta quantidade de energia fornecida pela natureza de forma gratuita e natural.

Os painéis fotovoltaicos fornecem energia limpa e verde. Durante a geração de eletricidade com painéis fotovoltaicos, não há emissões prejudiciais de gases do efeito estufa, portanto, o fotovoltaico solar é ecologicamente correto. A energia solar é a energia fornecida pela natureza - portanto, é gratuita e abundante; A energia solar pode ser disponibilizada em quase qualquer lugar onde haja luz solar; A energia solar é especialmente apropriada para redes de energia inteligentes com geração de energia distribuída - DPG é de fato a estrutura de rede de energia da próxima geração.

O custo dos painéis solares está atualmente em um caminho de redução rápida e espera-se que continue reduzindo nos próximos anos - conseqüentemente, os painéis

solares fotovoltaicos têm de fato um futuro altamente promissor tanto para a viabilidade econômica quanto para a sustentabilidade ambiental. Os painéis fotovoltaicos, por meio do fenômeno fotoelétrico, produzem eletricidade de forma direta; Os custos de operação e manutenção para painéis fotovoltaicos são considerados baixos, quase insignificantes, em comparação com os custos de outros sistemas de energia renovável; Os painéis fotovoltaicos não possuem partes móveis mecanicamente, exceto em casos de bases mecânicas de rastreamento solar; conseqüentemente, eles têm muito menos quebras ou exigem menos manutenção do que outros sistemas de energia renovável (por exemplo, turbinas eólicas).

Os painéis fotovoltaicos são totalmente silenciosos, não produzindo nenhum ruído; conseqüentemente, eles são uma solução perfeita para áreas urbanas e para aplicações residenciais (ver painéis solares para casa ). Como a energia solar coincide com as necessidades de energia para resfriamento, os painéis fotovoltaicos podem fornecer uma solução eficaz para picos de demanda de energia - especialmente nos meses quentes de verão, onde a demanda de energia é alta; Embora os preços dos painéis de energia solar tenham sofrido uma redução drástica nos últimos anos, e ainda estejam caindo, os painéis solares fotovoltaicos são um dos principais sistemas de energia renovável promovidos por meio de subsídios governamentais (FITs, créditos fiscais, etc.); assim, o incentivo financeiro para painéis fotovoltaicos torna os painéis de energia solar uma alternativa atraente de investimento; Os painéis solares residenciais são fáceis de instalar em telhados ou no solo, sem qualquer interferência no estilo de vida residencial.

A maior usina de geração de energia do mundo está localizada entre o Brasil e o Paraguai, chamada de Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional, com capacidade instalada de 14.000 MW, fornecendo cerca de 15% da energia consumida no Brasil e 75% da energia consumida no Paraguai.

Os impactos decorrentes da construção e formação do Reservatório Itaipu Binacional geraram deslocamento da população, perda do patrimônio natural com a enchente da Cachoeira Salto das Sete Quedas e efeitos negativos sobre a fauna e a flora. O reservatório possui 1.350 km<sup>2</sup> com 20 unidades geradoras em operação. Em 2016

ultrapassou a Usina das Três Gargantas na China, voltando a ser a maior usina elétrica do mundo, produzindo mais de 98,8 milhões de megawatts / hora.

Apesar de todos os impactos que os reservatórios causam, esta usina difere das demais citadas, pois foi capaz de trazer vantagens para a população local, melhorando a qualidade de vida e, em geral, beneficiando Brasil e Paraguai. O tamanho da área alagada para obtenção do reservatório geralmente ocupa muitos quilômetros (km), porém, mais importante que a área, são as terras férteis que abrigam diversos ecossistemas que ficarão submersos, destruindo habitats naturais de inúmeras espécies. Muitas dessas espécies da fauna e até da flora não sobrevivem em outros ambientes.

Uma opção renovável para a geração de energia é por meio da radiação solar. Ao contrário da energia hidrelétrica, a fotovoltaica pode ser instalada em edifícios existentes, como telhados e fachadas.

Um dos problemas para o desenvolvimento da energia fotovoltaica em larga escala no Brasil são os altos custos dos equipamentos de implantação, já que a maioria deles é obtida por meio de importação; a falta de consciência das melhorias que uma fonte limpa e renovável proporciona e a falta de políticas públicas que promovam a integração da energia gerada pelos clientes nas distribuidoras de energia elétrica. Sistemas fotovoltaicos apresentam um alto custo de investimento inicial, mas um preço mais ameno de manutenção. O alto preço de investimento é devido à importação do principal componente do sistema: os módulos fotovoltaicos, e dependendo muitas vezes também dos inversores.

O Brasil possui o quinto maior potencial de energia solar de todos os países do mundo, pois recebem excelentes níveis de insolação ao longo do ano, desde áreas menos ensolaradas do Sul até as mais ensolaradas do Nordeste. Essa qualidade gera um fator de capacidade de 19% a 24%, que é 2x maior do que a média da Alemanha, um dos atuais líderes mundiais no uso de energia fotovoltaica.

Vários estudos como mencionado ao decorrer da pesquisa avaliaram os principais fatores subjacentes ao sucesso da energia solar geração fotovoltaica. A economia

global atratividade de energia solar de telhado para edifícios residenciais em combinações geográficas, fatores tecnológicos e econômicos. Eles descobriram que a irradiação, os preços da eletricidade, custos de investimento e a parcela alcançável de autoconsumo (ou seja, o uso de energia fotovoltaica produzida localmente para atender à própria demanda de energia) estão entre as influências mais importantes fatores ao avaliar as perspectivas econômicas de painéis telhado em uma área.

O fotovoltaico de telhado já pode hoje ser um investimento atraente, mesmo na ausência de subsídios. Segundo a análise deles, o Brasil é um dos países com alto investimento atratividade. Por esse motivo, mesmo em regiões com alto potencial solar, a localização de unidades fotovoltaicas pode ser inferior ao ideal.

O papel da tarifa de eletricidade na expansão dos sistemas fotovoltaicos é discutido por autores diferentes. Para residencial e comercial geração distribuída, deve-se considerar os preços de varejo da eletricidade ao avaliar a rentabilidade da energia solar. Isso ocorre principalmente porque a competitividade dos sistemas fotovoltaicos é muito influenciada pelos altos preços da eletricidade.

Para o Brasil, a área de cobertura disponível para instalação fotovoltaica, além da radiação solar, será determinar diretamente a capacidade de geração de energia em uma determinada área. Regiões com populações mais altas têm maior potencial de geração, uma vez que têm mais famílias e, portanto, mais área de cobertura. O estudo mostra que na maioria dos municípios do Brasil a o tamanho da população compensa os níveis de radiação mais baixos.

Como os autores da pesquisa apontam, no entanto, nenhum fator regional por si só pode garantir ou impedir Desempenho econômico. O potencial fisiográfico, portanto, não pode ser exclusivamente determinar a eficácia desta fonte. Mesmo que a implantação de sistemas fotovoltaicos seja fortemente influenciada pela radiação solar, os autores mostram que outros fatores, como o PIB incentivos per capita e governamentais, desempenham um papel importante na evolução da energia fotovoltaica mercados.

No Setor Elétrico Brasileiro, que é um sistema hidrotérmico centralizado, as

termelétricas devem operar de forma complementar. Usinas termelétricas são acionadas apenas quando os níveis de água do reservatório estão baixos. De 2012 a 2015, no entanto, as usinas termelétricas foram ativadas continuamente. O aumento do uso do gás natural para geração termelétrica impulsionou o número de fontes não renováveis na Matriz energética brasileira. Atualmente, há um esforço para ampliar a participação de fontes renováveis alternativas (solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas) na área de energia matriz.

No entanto, essas tecnologias de geração renovável são inerentemente intermitentes e, portanto, não podem ser fornecidos em um sentido despachável. A principal barreira para a dependência dessas fontes de energia é sua produção imprevisível, que pode variar de acordo com as condições climáticas e tecnológicas. Por esse motivo, o sistema os operadores devem combinar o uso de geradores despacháveis e intermitentes tecnologias para equilibrar a oferta e a procura. Com isso em mente, distribuído geração vem como alternativa complementar à geração centralizada de energia sistema, reduzindo a necessidade de construção de grandes centrais elétricas e linhas de transmissão.

Sistemas de energia centralizados e descentralizados. O sistema centralizado inclui ambas as fontes renováveis e não renováveis. A expansão solar fotovoltaica ainda está em seus estágios iniciais representando apenas 0,1% da capacidade total da geração centralizada. No por outro lado, existe um grande potencial para a integração da energia solar fotovoltaica no sistema descentralizado. Fonte solar fotovoltaica representa 69% da capacidade total e 99% do número total de unidades. Atualmente, porém, o número total de unidades consumidoras a geração de eletricidade é extremamente baixa e representa apenas 0,014% do total de consumidores em Brasil. Existe, portanto, uma baixa penetração da energia solar no Brasil, tanto de forma centralizada e de forma descentralizada.

Nossos resultados mostram que os fatores do lado da demanda desempenharam um papel crucial na penetração de energia fotovoltaica, aumentando assim a participação não-hidro renovável na matriz energética brasileira, como bem como conter as emissões de gases de efeito estufa. Este efeito é tão relevante que a radiação solar está negativamente correlacionada com a adoção de painéis fotovoltaicos. Esta é a razão pela qual mais da metade das unidades fotovoltaicas no Brasil está localizada

na Região Sudeste, que é mais rica, mais populosa e possui uma tarifa média mais elevada do que outras regiões do Brasil.

A radiação solar só aparece como positivamente correlacionada com a adoção de painéis fotovoltaicos quando comparando municípios dentro da mesma área de concessão e, portanto, a área comercial política dessas empresas de distribuição de energia elétrica. Considerando as características do distribuidor e a renda do município e o tamanho da população, a radiação tem, em média, um efeito positivo no número de unidades de painéis.

Os distribuidores afetam o número de unidades fotovoltaicas não apenas através da tarifa de eletricidade, mas também fornecendo incentivos para a entrada de unidades de geração distribuída em sua área de concessão. Nossas descobertas geram implicações políticas importantes. Primeiro, o design de energias renováveis políticas voltadas para a mitigação de riscos climáticos deve visar fatores do lado da demanda, além de disponibilidade de recursos naturais do lado da oferta. Em particular, os atritos causados dentro do sistema de tarifas podem ter consequências importantes para a penetração do PV. Além disso, a abundância do potencial físico pode ser usada para fins econômicos específicos estratégias de desenvolvimento, pois é possível estimular o desenvolvimento econômico sustentável investindo em instalação fotovoltaica. A proliferação da geração distribuída transforma o fornecimento de eletricidade serviços e o uso e gerenciamento de sistemas de distribuição em muitas jurisdições.

A geração distribuída introduz fluxos de energia bidirecionais e, em níveis de penetração, acarreta mudanças profundas na operação de distribuição em tempo real sistemas. As empresas de distribuição podem precisar fazer investimentos substanciais para acomodar o aumento da penetração da geração distribuída. Esses investimentos aumentam os benefícios da geração distribuída, como otimização de recursos, aumento da eficiência, e trazendo novas possibilidades de disponibilização de serviços ao consumidor.

As fontes de origem solar apresentam processo de geração de eletricidade mais simples do que a obtenção de energia através de combustíveis fósseis ou nucleares. A sua utilização de forma distribuída apresenta as vantagens de redução de gastos com

os sistemas de transmissão e distribuição, além de permitir desenvolvimento social para localidades não que não são beneficiadas com energia elétrica.

O paradigma atual de que o fornecimento de energia deve ocorrer através de linhas de transmissão e distribuição gera uma incoerência, pois existem projetos que visam concentrar a energia solar, naturalmente dispersa, para depois distribuí-la por um sistema interligado, deixando assim de aproveitar seus benefícios.

O preço da energia solar é comparado com o valor pago pelos consumidores em suas residências, uma vez que a energia final consumida chega a ser 5 vezes mais cara que o valor cobrado pela usina convencional. O custo de implantação de um sistema solar isolado pode chegar a ser 50 vezes o valor de uma pequena central hidrelétrica de mesma capacidade, entretanto, fazendo o cálculo considerando a energia gerada durante a vida útil do equipamento solar de aproximadamente 30 anos, é obtido o valor correspondente à 10 vezes o custo da energia entregue ao consumidor. Ao considerar um sistema interligado à rede, a relação passa de 10 para 3. Ao serem agregados os impostos, custos ambientais e sociais, a energia solar fotovoltaica passa a ser, em um futuro breve, economicamente competitivo.

A energia solar no Brasil ainda é pouco utilizada como geração de energia através de painéis fotovoltaicos. Em território nacional esse método de geração de energia está mais adiantado no Nordeste, com placas fotovoltaicas instaladas em cima de escolas, casas e prédios comerciais, mas nada comparado a outros lugares, por exemplo, o Parque Fotovoltaico de Olmedilla, na Espanha, o maior do mundo atualmente, cuja potência instalada hoje chega a 60.000KW. A maior estrutura fotovoltaica brasileira, localizada na cidade de Nova Mamoré em Rondônia, é muito menor: possui potência instalada de 20,4 kW. Na comparação entre ambas fica nítido o quanto o Brasil ainda tem a evoluir neste item, que além da pequena margem com painéis fotovoltaicos, também utiliza o sol para geração de energia indiretamente, usando seu calor em usinas termelétricas. Embora algumas tecnologias de geração de energia solar sejam sensivelmente mais caras, como a fotovoltaica, os possíveis benefícios socioambientais trazidos por essa fonte de energia, como o alcance de áreas isoladas, a geração de empregos, a não emissão de gases de efeito estufa e, de modo geral, a redução de impactos ao meio ambiente, compensam o seu custo. O Brasil é um país beneficiado

pela larga radiação solar durante o ano. Entretanto a energia solar não tem ocupado espaço expressivo na matriz energética brasileira, sendo necessários maiores investimentos para ampliação do setor.

Dessa forma, além de incentivos nacionais, é fundamental o fortalecimento de laços internacionais para disseminação de fontes renováveis benéficas ao meio ambiente, de modo que as ações voltadas para o desenvolvimento sustentável não sejam centralizadas, mas atuem dentro de um contexto mundial. Com a utilização de energias renováveis, o potencial energético do Brasil seria aproximadamente 26,4 vezes maior que o atual, A tabela 1 mostra o percentual de responsabilidade de cada fonte energética nessa taxa de crescimento.

Existem alguns exemplos de uso de painéis solares para aproveitamento da energia solar no Brasil, muitos deles iniciativas do Governo para levar luz às comunidades isoladas, sem precisar arcar com a construção de uma imensa rede elétrica que atenderia um número muito limitado de pessoas. Exemplo disso é o projeto Ribeirinho, da Eletrobrás, que leva painéis solares fotovoltaicos para comunidades às margens dos rios da Amazônia para onde simplesmente não há condições de se estender a rede elétrica.

O potencial do país é enorme e, se conseguirmos entregá-lo, será extremamente transformador para o Brasil: garantirá energia barata, permitindo que nossa economia seja globalmente competitiva e possibilitando um progresso econômico cada vez mais acelerado. Esse desenvolvimento ajudará a baratear o produto brasileiro e, conseqüentemente, aumentar a prosperidade nacional. O custo de um sistema interligado é da ordem de 3 vezes o preço da energia convencional sem os impostos, os quais são responsáveis por cerca de 30% deste valor. Ao incluir os custos ambientais, os valores podem se igualar. Com a queda acentuada no preço dos sistemas solares, esta fonte de energia tem possibilidade de tornar-se viável algum dia.

Com um vasto território e riqueza natural incomensurável, o país tem a plena condição de alcançar uma alta eficiência energética em relação as chamadas fontes de energia sustentáveis, principalmente na fotovoltaica. Sua localização geográfica tropical privilegiada o capacita para um abundante uso deste recurso. Investir em tecnologia

fotovoltaica desmonopolizaria o sistema atual. Com uma radiação solar abundante é completamente viável uma implantação em larga escala de usinas solares, seja de grande, médio ou pequeno porte. Com usinas espalhadas em diversas regiões do país, principalmente aquelas mais remotas, resultaria em um impacto ambiental mínimo e uma economia considerável de energia, já que grande parte é perdida nas linhas de transmissão. Traria, também, um desenvolvimento para as regiões e para a população, pois demandaria um pessoal qualificado para a manutenção e instalação de equipamentos do ramo, bem como um incentivo para que empresas do ramo ampliem seus produtos e serviços.

Sistemas fotovoltaicos apresentam um processo de geração mais simples e limpo do que os processos envolvendo combustíveis fósseis. Porém seu custo de implementação é muito alto, tendendo a não atrair investimentos no presente e implicando num preço alto de energia vendida ao consumidor final. Este cenário pode mudar daqui a alguns anos pois os preços dos painéis fotovoltaicos, que são importados, vêm apresentando uma diminuição a cada ano. E isso se reflete no crescimento de seu uso. O Brasil tem um grande potencial quanto à energia solar incidente estando no segundo lugar a nível mundial porém este potencial não é bem aproveitado devido a seu potencial hidroelétrico e os custos de um sistema fotovoltaico. Sistemas fotovoltaicos possuem uma vida útil de cerca de 30 anos e seu custo de manutenção é muito baixo, possuindo somente custos fixos.

Considerando o potencial do Brasil, as diversas vantagens de um sistema fotovoltaico e sua vida útil, um aumento dos incentivos fiscais poderia implicar em um aumento considerável da utilização deste tipo de energia, e a energia solar tende a ser cada vez mais utilizada ao decorrer do tempo devido a pesquisas em tecnologia que procuram viabilizar seu custo para que ela possa oferecer preços competitivos no mercado

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Energia fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ACADEMIA DO SOL. **O efeito fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <http://academiadosol.com.br/blog/como-o-painel-solar-fotovoltaico-funciona>. Acesso

em: 19 set. 2020.

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2. ed. 2017. Disponível em: [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html). Acesso em: 19 set. 2020.

BEUREN, Ilse Maria (org.). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade**: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

BLUESOL. Energia solar: como funciona? – o efeito fotovoltaico, 2018. **Revista científica Science**, 2018.

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica**: fundamentos e aplicações. 2015. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BRUTON, TM. **Tendências gerais sobre fotovoltaicos baseados em silício cristalino**. Materiais de energia solar e células solares. Ed. Move Engenharia, 2019.

CAMARGO, Carlos. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

CEMIG/PETREL ENGENHARIA. **Relatório Final Usina de Marmelos-Zero**, 1988.

EGLI, B. Steffen e TS Schmidt. Uma análise dinâmica das condições de financiamento para tecnologias de energia renovável. **Nature Energy**, v. 3, n. 12, p. 1084–1092, 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**: o que é pesquisa bibliográfica ?. São Paulo: Atlas, 1996.

KAMMEN e DA Sunter. Energia renovável integrada na cidade para a sustentabilidade urbana, v. 352, n. 6288, p. 922–928, **Revista científica Science**, 2016.

KEMPENER, P. Komor A. Hoke. **Redes inteligentes e energias renováveis**: um guia para implantação eficaz Int. Ed. Renovar Agência de Energia, novembro, 2015.

LEWIS. Oportunidades de pesquisa para o avanço da utilização da energia solar, **Science**, v. 351, n. 6271, 2016.

MACEDO, Neusa Dias de. **O que vem ser uma Pesquisa Bibliográfica**: iniciação a pesquisa bibliográfica. 2. ed. São Paulo: Loyola, 1994.

MENDES, I. dos S. **Avaliação de Desempenho do Sistema de Minigeração Fotovoltaica da Faculdade de Ciências**. 2017. Dissertação. Lisboa – Universidade de Lisboa; 2017.

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. São Paulo: Atlas, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional - BEN**. Brasília: MME, 2019.

NASCIMENTO, C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2016. Mestrado (Dissertação apresentada à Escola de Engenharia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

OGBOMO, OO et al. **Uma revisão das tecnologias de módulos fotovoltaicos para maior desempenho em climas tropicais: avaliações de energia renovável e sustentável da Elsevier**. Ed. Engenharia Elétrica, 2016.

ORIOLO, AD Gangil. **Incompatibilidade de carga de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: revisão dos efeitos e análise em um contexto urbano renováveis e a energia sustentável Comentários**. Ed. Constante, 2015.

PAIVA, P. T. A.; WAJNMAN, S. Das causas às consequências econômicas da transição demográfica no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v. 22, n. 2, p. 303-322, jul./dez. 2018.

PARIDA, S. Iniyam , R. Goic. **Uma revisão das tecnologias solares fotovoltaicas Renováveis ea energia sustentável Comentários**. Ed. SP, 2016.

PLESS, S .; Deru, M .; Torcellini, P .; Hayter, S. **Procedimento para medir e relatar o desempenho de sistemas fotovoltaicos em edifícios**. Colorado (Estados Unidos): NREL; Ed. Apolo, 2017.

PORTAL SOLAR. **Conheça a usina flutuante**. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/conheca-a-usina-solar-flutuante-do-brasil.html>. Acesso em: 19 set. 2020.

REIS, Pedro. **Guia prático para comprar painéis solares fotovoltaicos**. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/guia-pratico-comprar-paineis-solares-fotovoltaicos>. Acesso em: 19 set. 2020.

RÜTHER, R., Braun, P., Zomer, C. D., 2006. **O potencial da energia fotovoltaica em aeroportos**. 21º solar fotovoltaico europeu conferência de energia, Dresden, Alemanha, pp. 345-348.

SCHUCH, L. et al. **Sistemas autônomo de iluminação pública de alta eficiência baseado em energia solar e leds**. Eletrôn Potên. Ed. Campinas, v. 16, n. 1, p.17-. 2019.

SEC POWER. **Sistemas fotovoltaicos**. 2020. Disponível em: <https://secpower.com.br/energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 19 set. 2020.

TARTUCE, T. J. A. **Métodos de pesquisa**. Fortaleza: UNICE – Ensino Superior, 2006. Apostila.

TRILHOS ENERGICOS. 2020. Disponível em: <http://trilhosenergeticos.pt/diferencas-inversores>. Acesso em: 19 set. 2020.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

VILELA, O. C. **Caracterização, simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água**. 2016. Tese. (Doutorado apresentado ao Departamento de Energia Nuclear) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

VILLALVA, Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

VILLALVA, Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2012.

WOYTE, A .; RICHTER, M .; moser, D .; MAU, S .; REICH, N .; JAHN, U.  
**Monitoramento de sistemas fotovoltaicos: boas práticas e análise sistemática**. 28ª Conferência e Exposição Europeia de Energia Solar PV. Ed. Nova Engenharia 2018.

ZAHEDI. Uma revisão das motivações, benefícios e desafios na integração de fontes de energia renováveis na rede elétrica renováveis ea energia sustentável  
Comentário. **Revista Engenharia renovável**, 2015.