



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia Elétrica



Trabalho de Conclusão de Curso

ENERGIA SOLAR: ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID

Marliana de Oliveira Lage Alves

João Monlevade, MG
2019

Marliana de Oliveira Lage Alves

**ENERGIA SOLAR: ESTUDO DA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
ON-GRID E OFF-GRID**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof. Dr. Savio Figueira Corrêa

Coorientador: Prof. Dr. Welbert Rodrigues Alves

**Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2019**

A474e

Alves, Marliana de Oliveira Lage.

Energia solar [manuscrito]: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid / Marliana de Oliveira Lage Alves. - 2019.

75f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Savio Figueira Corrêa.

Coorientador: Prof. Dr. Welbert Alves Rodrigues.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energia solar. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Geração distribuída de energia elétrica. 4. Sustentabilidade e meio ambiente. I. Corrêa, Savio Figueira . II. Rodrigues, Welbert Alves. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br CDU: 621.31



ATA DE DEFESA

Aos 02 dias do mês de agosto de 2019, às 14:00 horas, no bloco C, sala 102, deste instituto, foi realizada a defesa de monografia pela aluna **Marliana de Oliveira Lage Alves**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Savio Figueira Corrêa, Glauco Ferreira Gazel Yared e Edgard Gregory Torres Saraiva. A aluna apresentou o projeto de monografia intitulado: **Energia Solar: estudo da geração de energia através dos sistemas fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid**. A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela Aprovada da aluna, com a nota média 7,5, de acordo com a tabela 1. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela formanda.

Tabela 1 – Notas de avaliação da banca examinadora

Banca examinadora	Nota
Savio Figueira Corrêa	7,0
Glauco Ferreira Gazel Yared	7,5
Edgard Gregory Torres Saraiva	8,0
Média	7,5

João Monlevade, 02 de agosto de 2019.

Savio Figueira Corrêa
Savio Figueira Corrêa (Orientador)

Glauco Yared
Glauco Ferreira Gazel Yared (Convidado)

Edgard
Edgard Gregory Torres Saraiva (Convidado)

Marliana de Oliveira Lage Alves
Marliana de Oliveira Lage Alves (Aluna)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Elétrica



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 05 de agosto de 2019.

Marliana de Oliveira Lage Alves

Marliana de Oliveira Lage Alves

Primeiramente, dedico este trabalho a DEUS: luz e fortaleza diária em minha vida. A minha mãe, Vilma, pelo incentivo, pelas sábias palavras de apoio e, de modo complementar, por auxiliar-me de todas as maneiras. Ao meu pai, Honório, pelo carinho, por dar-me força e motivação constantes. A minha irmã, Patrícia, grande amiga e companheira, por ser e estar presente em minha vida. Dedico, também, ao meu noivo, Jonathan, pelo companheirismo, amor e dedicação oferecidos afetuosamente a mim.

*"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original."
(Albert Einstein)*

Sumário

1	CAPÍTULO I	14
1.1	INTRODUÇÃO	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Justificativa	16
2	CAPÍTULO II	18
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.2	Energia solar	20
2.3	Sistemas fotovoltaicos	24
3	CAPÍTULO III	27
3.1	METODOLOGIA	27
4	CAPÍTULO IV	29
4.1	ANÁLISES	29
4.1.1	Análise técnica	29
4.1.1.1	<i>Sistema ON-Grid</i>	34
4.1.1.2	<i>Sistema OFF-Grid</i>	39
4.1.1.3	<i>Sistema ON-Grid x Sistema OFF-Grid</i>	43
4.1.2	Análise socioambiental	46
4.1.2.1	<i>Demanda de mercado</i>	46
4.1.2.2	<i>Potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica</i>	53
4.1.2.3	<i>Impacto socioambiental</i>	59
4.1.2.4	<i>Sustentabilidade</i>	65
4.1.2.5	<i>Principais incentivos no Brasil</i>	67
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	71
	REFERÊNCIAS	72

Lista de ilustrações

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira.	19
Figura 2 – Movimentos de rotação e translação da Terra.	23
Figura 3 – Composição de uma célula fotovoltaica.	25
Figura 4 – Fluxograma: Análises relacionadas ao sistema fotovoltaico.	28
Figura 5 – Potência instalada (MW) e status da geração centralizada solar fotovoltaica por Estado.	30
Figura 6 – Participação de cada fonte na Geração Distribuída em 2018.	33
Figura 7 – Sistema conectado à rede.	36
Figura 8 – Sistema ON-Grid.	38
Figura 9 – Sistema ON-Grid em números - Orçamento.	38
Figura 10 – Sistema OFF-Grid.	40
Figura 11 – Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.	40
Figura 12 – Sistema OFF-Grid.	43
Figura 13 – Sistema OFF-Grid em números - Orçamento.	43
Figura 14 – Geração Elétrica (GWh).	49
Figura 15 – Mercado de eletricidade em 12 meses - GWh.	50
Figura 16 – 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), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixo e distribuição da população brasileira nas cidades.	54
Figura 17 – Localização dos empreendimentos solares fotovoltaicos contratados nos leilões de energia.	56
Figura 18 – Geração fotovoltaica distribuída.	58
Figura 19 – Volumes cumulativos estimados de resíduos de painéis fotovoltaicos no final de vida pelos cinco principais países em 2050, por cenário de perda antecipada e cenário de perda regular.	62
Figura 20 – Matriz de Geração Elétrica 2040.	64

Lista de tabelas

Tabela 1 – Capacidade instalada - Geração Distribuída (MW).	33
Tabela 2 – Proporção da população com acesso à energia elétrica (%).	48
Tabela 3 – Geração Elétrica (GWh).	49
Tabela 4 – Matriz de produção de energia elétrica no sistema interligado nacional.	51
Tabela 5 – Consumo de energia elétrica.	52
Tabela 6 – Regiões comparadas em nível de radiação.	55
Tabela 7 – Síntese das estimativas de investimentos.	58

Lista de abreviaturas e siglas

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CO ₂	Dióxido de carbono
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEPEA	Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo
GWp	Gigawatt-pico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
MME	Ministério de Minas e Energia
Mtep	Mega-tonelada equivalente de petróleo (aproximadamente 11.500 GWh)
MW	Megawatt
MWp	Megawatt-pico

nm	Nano-metro
OFF-Grid	Sistemas com armazenamentos independentes
ON-Grid	Sistemas conectados à rede elétrica de distribuição
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
THz	Tera-Hertz
TWh	Terawatt-hora
UCs	Unidades Consumidoras
UFV	Central Geradora Fotovoltaica

Resumo

O presente trabalho contextualiza a geração de energia elétrica por meio da fonte de energia solar e apresenta um estudo sobre os sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid, os quais são sistemas conectados e não conectados à rede elétrica, respectivamente. Para tanto, este trabalho apresenta duas análises sobre os sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid. Em termos de análises, cabe destacar que estas foram realizadas sob as perspectivas técnica e socioambiental, de modo que, na primeira, avalia-se os próprios sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid. Na segunda, avalia-se a demanda de mercado, o potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica, o impacto socioambiental, a sustentabilidade, bem como os principais incentivos no Brasil referentes aos sistemas fotovoltaicos. A relevância deste trabalho se dá, pois, pelo fato de haver instabilidade no preço das tarifas de energia elétrica e em razão das altas emissões de dióxido de carbono, que afetam o clima e os ecossistemas do planeta. Faz-se necessária, neste contexto, a utilização de tecnologias para o benefício da sociedade, tal como a energia solar fotovoltaica, com o propósito de desenvolver a economia por meio de uma energia limpa e renovável, através da implementação de práticas de sustentabilidade ambiental. Como análise, o estudo apresenta as vantagens e desvantagens dos dois sistemas supracitados. Assim, as análises apresentadas neste estudo evidenciam que a implantação de sistemas fotovoltaicos é uma ótima alternativa para reduzir os impactos ambientais e diversificar a matriz energética. Em termos complementares, o estudo destaca a importância do consumo consciente e sustentável, a fim de contribuir com a melhora da qualidade de vida das atuais e futuras gerações.

Palavras-chave: Energia solar. Sistemas de energia fotovoltaica. Sistemas ON-Grid. Sistemas OFF-Grid.

Abstract

The present work contextualizes an electric power generation through the solar energy source and presents a study about the ON-Grid and OFF-Grid photovoltaic systems, which are connected and not connected to the grid, respectively. To this end, the work unit has two sessions on the ON-Grid and OFF-Grid photovoltaic systems. In terms of analysis, the main characteristics that could be achieved under the technical and socio-environmental leadership, the first, the evaluation of ON-Grid and OFF-Grid photovoltaic systems. In the second, the market demand, the Brazilian potential of photovoltaic solar energy generation, the social and environmental impact, sustainability, as well as the main incentives in Brazil, regarding photovoltaic systems are evaluated. The basis of this type of work is therefore the fact that there is a priceless instability of the electricity tariffs and the reason for the high carbon emissions that affect the climate and the ecosystems of the planet. In this context, the use of technologies for the benefit of society, such as photovoltaic solar energy, is necessary in order to develop an economy through clean and renewable energy through the implementation of environmental sustainability practices. As an analysis, the study presents the advantages and disadvantages of the two systems mentioned above. Thus, as the latest analysis of the study is an application of photovoltaic systems, it is one of the most viable alternatives for decision making and diversifying the energy matrix. In complementary terms, the study highlights the ability to become conscious and sustainable in order to contribute to improving the quality of life and future generations.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic systems. ON-Grid Systems. OFF-Grid systems.

1 CAPÍTULO I

1.1 INTRODUÇÃO

No ano de 1950, a população mundial era estimada em cerca de 2,6 bilhões de pessoas, ao passo que no ano de 1987 a população chegou a 5 bilhões. Em 1999, o número de habitantes era de 6 bilhões e, após se passarem dez anos, a marca de 7 bilhões foi atingida. No ano de 2017, estimou-se cerca de 7,6 bilhões de habitantes no mundo. (ONU BRASIL, 2019)

A rápida expansão do número de habitantes no planeta Terra tem importantes implicações em muitos setores da vida. Algumas destas implicações podem ser citadas, tais quais: a saúde e o envelhecimento, a urbanização, a demanda por habitação, o abastecimento inadequado de alimentos, o acesso à água potável e à energia.

Dentre as questões supracitadas, a energia é destacada neste trabalho pelo fato de ser necessária para a vida do ser humano, a exemplo disso tem-se: acender a luz, bem como preparar refeições. Essa energia é fornecida por meio de um conjunto de fontes disponíveis para suprir a demanda de energia - matriz energética. No entanto, a matriz elétrica - conjunto de fontes disponíveis para a geração de energia elétrica no mundo - faz parte da matriz energética, a qual é composta por fontes não renováveis e renováveis.

As fontes de energia não renováveis utilizam reservas naturais limitadas, com lentos processos de formação e curta existência em comparação com o rápido consumo pelo ser humano. Tais fontes utilizam recursos naturais, os quais serão esgotados em curto período de tempo ou mesmo a longo prazo. Em contrapartida, as fontes de energia renováveis são inesgotáveis, devido à constante renovação ao serem utilizadas dentro de um intervalo de tempo significativo. Também, são consideradas limpas por emitir menos gases de efeito estufa - doravante GEE - se comparadas às fontes fósseis.

O presente trabalho visa, pois, fazer um estudo da energia renovável como forma de geração de energia elétrica de maneira sustentável, isto é, sem poluir ou prejudicar o ecossistema. Diante disso, a crescente busca por tecnologias e fontes que contribuam positivamente com o meio ambiente torna-se uma medida eficiente como forma de diminuir os impactos socioambientais e a poluição no mundo.

Para tanto, vale ressaltar que é necessário o desenvolvimento de políticas, programas governamentais, estudos econômicos e sociais, de maneira que se tenha um maior aproveitamento consciente das fontes renováveis. Além disso, segundo INPE (2017), é de suma importância inovar e desenvolver tecnologias, de maneira que se utilize e converta-se os recursos energéticos naturais disponíveis, a fim de que haja desenvolvimento e, conseqüentemente, redução em impactos socioambientais.

Deste modo, o marco regulatório importante para o desenvolvimento de fontes renováveis no Brasil iniciou-se com a Resolução Normativa 482/2012. A partir do mês de dezembro do ano de 2012, os sistemas de geração que utilizam fontes renováveis, a exemplo da solar, eólica, hídrica e biomassa puderam injetar energia em paralelismo com a rede elétrica das concessionárias de distribuição elétrica do país.

Em países de alta renda, o propósito inicial dos sistemas fotovoltaicos era fornecer energia elétrica de forma isolada da rede da concessionária de energia elétrica. Posteriormente, e, de maneira gradativa, estes sistemas também se interconectaram à rede elétrica.

Os sistemas fotovoltaicos são classificados de acordo com a metodologia utilizada para produzir energia elétrica por meio da energia solar. Tais sistemas tornaram-se importantes devido à maneira com que eles contribuem para uma sociedade mais sustentável, através de uma energia abundantemente renovável. No entanto, a fonte renovável solar fotovoltaica é considerada fonte intermitente de energia. Esse termo se dá em decorrência das altas variações temporais associadas às condições meteorológicas presentes no local da planta.

Nestes contextos, o tema escolhido será desenvolvido com base nos sistemas fotovoltaicos, os quais podem ser instalados de forma autônoma (OFF-Grid) ou conectados à rede de distribuição convencional (ON-Grid). A evolução desses tipos de sistemas se torna um dos fatores que justificam a necessidade de se realizar pesquisas mais abrangentes que se relacionem com o processo de geração de energia através de uma fonte limpa e renovável.

Assim sendo, são necessários estudos relacionados aos benefícios, ou não, gerados pela aplicação dos dois sistemas fotovoltaicos, que utilizam a conversão direta da energia solar em energia elétrica. Tal conversão é resultado dos efeitos de radiação sobre alguns materiais semicondutores, em que destaca-se o efeito fotovoltaico.

Além disso, os sistemas fotovoltaicos representam uma maneira eficiente, tanto para o consumidor utilizá-los conectados à rede de distribuição de energia elétrica (ON-Grid), como também enquanto uma solução para atender pequenas demandas de energia, em locais de difícil acesso (OFF-Grid).

1.2 Objetivos

Objetivo Geral

O principal foco deste trabalho é o estudo comparativo dos sistemas fotovoltaicos, que utilizam a conversão direta de energia solar em energia elétrica. Desta forma, este estudo objetiva apresentar e comparar a geração de energia elétrica por meio de dois principais tipos de sistemas fotovoltaicos, os quais serão abordados neste trabalho: o sistema ON-Grid e o sistema OFF-Grid.

Cabe ressaltar, também, que o enfoque teórico dado ao estudo é voltado para os três parâmetros: técnico, social e ambiental.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- desenvolver análises sobre o sistema fotovoltaico ON-Grid e sobre o sistema fotovoltaico OFF-Grid, tanto do ponto de vista técnico, quanto do ponto de vista socioambiental, tendo como propósito a sustentabilidade;
- comparar os dois sistemas fotovoltaicos, de modo a apresentar onde são mais utilizados;
- conscientizar os futuros leitores deste trabalho a respeito da importância do uso de fontes alternativas de energia renovável (neste caso, energia solar), a fim de se evitar maior poluição de resíduos e/ou gases poluentes geradores do efeito estufa e do aquecimento global.

1.3 Justificativa

A busca por novas fontes alternativas de energia está cada vez mais presente nos dias atuais, uma vez que as tecnologias convencionais de energia que utilizam os combustíveis fósseis causam negativos impactos socioambientais ao liberarem GEE na Terra e, por consequência, contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas.

O cenário brasileiro possui hidrelétricas como fonte principal de energia alternativa. No entanto, com o crescente aumento populacional, industrial e agrícola, o consumo de energia vem aumentando no país e, além disso, as frequentes estiagens acarretam crises hídricas, que prejudicam a oferta de energia no país, bem como o consumidor final. Um dos principais motivos é que em períodos de seca há diminuição dos reservatórios nas usinas hidrelétricas, responsáveis pela maior parte da produção de energia elétrica no país.

Com isso, a geração de energia elétrica fica prejudicada e as concessionárias precisam contratar energia mais cara, como as usinas termelétricas. Por consequência, os consumidores finais recebem cobranças adicionais na conta de luz e o valor é repassado para as companhias, a fim de se compensar os altos gastos nesses períodos.

Nesta perspectiva, faz-se necessária uma melhor diversificação da matriz energética brasileira, a fim de que as concessionárias de energia elétrica possam oferecer um serviço mais acessivo e de melhor qualidade à população.

Vale evidenciar que a utilização da energia vinda do sol tem ganhado mais força, no que diz respeito à geração de energia elétrica de forma sustentável. A principal forma de utilização da energia solar para geração de energia elétrica é através dos sistemas

fotovoltaicos. Esta importância se dá pelo fato de esses sistemas serem silenciosos, por não emitirem poluentes ao meio ambiente, além de não prejudicarem o ecossistema. Outra grande relevância em se utilizar os sistemas fotovoltaicos é a redução do custo de produção de energia e economia com a conta de luz, além de uma possível não dependência do fornecimento de energia elétrica pela distribuidora de energia elétrica - sistema OFF-Grid; o consumidor também ganha em autonomia energética.

O Brasil possui muita disponibilidade de recurso energético solar. Por este motivo, pensou-se na necessidade de se contribuir com o aumento da participação da fonte solar na matriz energética brasileira, por meio de análises do setor elétrico brasileiro.

A motivação para o estudo dos sistemas fotovoltaicos decorre, então, do interesse em apresentar as diferenças dos sistemas conectados e não conectados à rede elétrica, de maneira a conscientizar os leitores de que estes podem utilizar a energia renovável como forma de reduzir os impactos de aumento das tarifas de energia elétrica. Além disso, torná-los independentes destes aumentos, bem como reduzir o valor das contas de energia do consumidor ou, até mesmo, para que o consumidor possa deixar de ter uma conta de energia elétrica para pagar.

Neste sentido, fez-se uma reflexão sobre o quanto esses sistemas podem contribuir com o meio ambiente, a fim de se melhorar a qualidade de vida das pessoas.

2 CAPÍTULO II

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente, a sociedade utiliza a energia elétrica de maneira intensiva, principalmente nos países mais desenvolvidos. Isso se deve ao avanço de tecnologias, bem como ao crescimento populacional e industrial e, também, aos padrões de consumo da sociedade. Conseqüentemente, há o aumento de agentes poluentes no meio ambiente que são causadores de vários efeitos, tais como: desmatamento e desertificação, poluição do solo, do ar e das águas subterrâneas, aquecimento global, efeito estufa e chuva ácida, assim como esgotamento de recursos naturais não renováveis.

Há, então, a necessidade de se preservar o ambiente de maneira aliada ao desenvolvimento humano. Assim, através do desenvolvimento sustentável é possível melhorar a qualidade de vida do ser humano na Terra e respeitar a capacidade de produção dos ecossistemas. Cabe destacar a grande relevância do desenvolvimento sustentável - no que diz respeito à preservação do meio ambiente - e a importância da união de países, com o propósito de diminuir a emissão de poluentes no ambiente, a fim de amenizar os problemas causados no ambiente.

Neste contexto, entende-se que a importância de se amenizar a quantidade de poluentes no meio ambiente deve-se ao fato de que um dos principais riscos ambientais enfrentados até os dias atuais é o efeito estufa, que está associado à elevação do consumo de energia, ou seja, quando se utiliza fontes que emitem gases poluentes na atmosfera. Portanto, a relevância fundamental de se estudar os sistemas fotovoltaicos parte da preocupação com a presente utilização das fontes de energia, bem como com as futuras gerações.

Outra grande preocupação é com a escassez do petróleo, tendo em vista que a reserva de combustíveis fósseis está se esgotando. A energia que movimenta a atividade econômica é fornecida pela queima de combustíveis fósseis, que produz o dióxido de carbono (PIVA, 2010).

Dessa maneira, devido à escassez de recursos naturais não renováveis, a busca por fontes de energias renováveis e limpas é crescente.

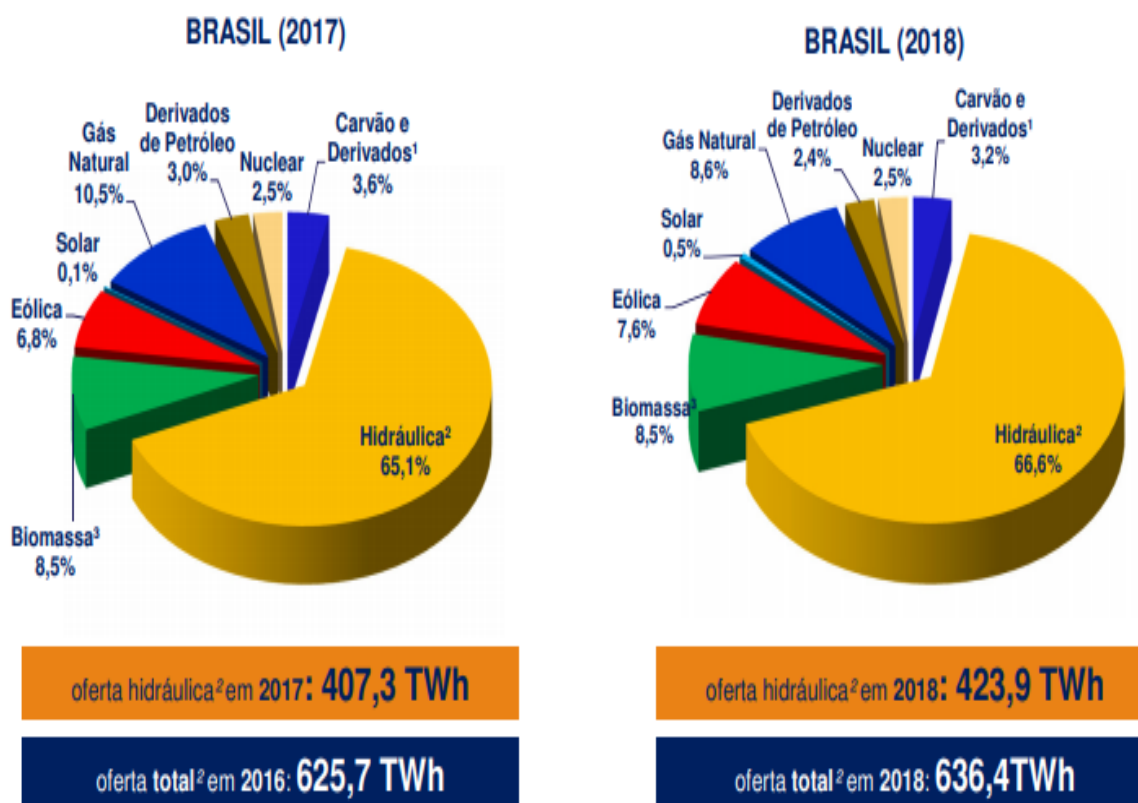
A energia renovável é considerada uma fonte de suprimento inesgotável a longo prazo e os elementos utilizados como matéria-prima podem ser recompostos na natureza. Em contrapartida, considera-se como fonte de energia não-renovável a utilização, por meio do sistema, de recursos que irão se esgotar na natureza (CEMIG, 2012).

No Brasil, a principal fonte de geração de energia vem das usinas hidrelétricas, visto que o país possui uma ótima disponibilidade hídrica. A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável (EPE, 2018a).

A matriz elétrica do Brasil é apresentada na figura 1 por meio de gráficos que mostram a oferta de energia das diversas fontes utilizadas no Brasil. A oferta total de energia, em 2018, foi de 636,4 TWh, em que 66,6% desse total de oferta energética refere-se à hidráulica, que representa 423,9 TWh.

Na figura 1, é possível perceber que o país possui como principal fonte as hidrelétricas. Os gráficos apresentam, ainda, a oferta de energia nos anos 2017 e 2018, respectivamente. Pode-se perceber, portanto, que a oferta hidráulica teve um aumento de 1,5%. Já a oferta de gás natural teve um decréscimo de 1,9%; a oferta de biomassa e nuclear mantiveram-se iguais ao ano de 2017; a oferta de energia eólica ganhou um aumento de 0,8%; a oferta de derivados do petróleo e carvão diminuiu 0,6% e 0,4%, respectivamente. Por fim, a oferta de energia solar, fonte estudada neste trabalho, teve um acréscimo de 0,4% entre um ano e outro.

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: BEN, 2019.

Entretanto, esta fonte de energia renovável, que provém das hidrelétricas, tem sido afetada devido ao grande aumento do consumo de energia elétrica e aos efeitos causados pela atividade humana no meio ambiente. Além disso, os impactos associados às mudanças climáticas e aos alagamentos das áreas onde as usinas hidrelétricas são instaladas ocasionam a perda da biodiversidade local e, muitas vezes, provocam o deslocamento de populações

residentes em localidades onde a usina será construída.

Segundo a ONU, a população mundial é de aproximadamente 7,6 bilhões de habitantes e, no decorrer dos anos, o número de habitantes tende a aumentar. Também de acordo com a ONU, até 2030 haverá um aumento de um bilhão de pessoas, o que resultará em 8,6 bilhões de habitantes no mundo. Já o Brasil, no ano de 2019, possui cerca de 210 milhões de habitantes e a projeção para o ano 2030 indica mais de 223 milhões de habitantes no país (IBGE, 2013).

Então, com o passar dos anos, houve uma elevação no número de habitantes e, como consequência, a demanda por consumo de energia elétrica cresceu de acordo com o desenvolvimento do país. No entanto, mesmo com o aumento populacional e a contínua dependência por energia, muitas vezes, falta conscientização por parte da sociedade em saber como essa energia elétrica é gerada e quais são os impactos socioambientais causados por ela e como economizá-la.

A maior parte da energia elétrica que a população brasileira consome é gerada em usinas hidrelétricas, consideradas fonte de energia renovável. Porém, com a utilização desta fonte de energia há a emissão de poucos GEE. Além disso, depende-se da chuva para movimentar as turbinas. Contudo, para que não falte energia em períodos de escassez, há a necessidade de se acionar termelétricas movidas a combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e derivados de petróleo). Diante disso, há o aumento de GEE emitidos no meio ambiente, bem como o aumento na conta de luz do consumidor.

Segundo dados divulgados pelo IBGE, em 2014 o total de energia demandada no Brasil foi de 305,6 Mtep, o que equivale a 3,1% de crescimento, sendo que o PIB nacional teve um crescimento de 0,1%. Cerca de 80% desse crescimento deu-se devido ao gás natural, petróleo e derivados. Desta forma, assim como a demanda de energia mundial tem uma tendência de crescimento, o desenvolvimento humano também deve ser maior, no que tange à qualidade de vida de uma população. Esse desenvolvimento se dá por meio de vários fatores que influenciam na qualidade de vida humana; dentre eles destacam-se a importância social, cultural e política.

Para tanto, é necessário o uso consciente da eletricidade, como forma de reduzir os efeitos negativos causados pelos seres humanos no planeta Terra.

Nesta perspectiva, a utilização de tecnologias mais limpas e eficientes, bem como a elaboração de planejamento de políticas energéticas tornam-se ferramentas importantes como forma de melhoria de qualidade de vida, principalmente, em países emergentes.

2.2 Energia solar

“As fontes primárias de energia são aquelas disponíveis tal como se encontram na natureza e que não sofreram ainda qualquer conversão” (CEMIG, 2012). Além desta

afirmação, ressalta-se que para a produção de energia útil, oito importantes fontes primárias são utilizadas, quais sejam:

1. Combustíveis fósseis
2. Radiação solar
3. Ventos
4. Recursos hídricos
5. Biomassa
6. Elementos radioativos
7. Geotermas
8. Oceanos

Com isso, constata-se que muitas são as fontes primárias de energia disponíveis. Entretanto, vale enfatizar que, neste trabalho, será abordada a energia solar, pelo fato de o sol ser a maior fonte primária de energia renovável do planeta, além de ser também responsável pelo desenvolvimento e pela vida na terra, devido à grande quantidade de calor e luz que são fornecidos por ele.

De acordo com INPE (2017), a energia solar é uma fonte inesgotável, uma vez que a escala de tempo da vida no planeta Terra deve ser considerada. O sol é uma estrela média que irradia energia devido às reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênios para formar Hélio e, por este motivo, o sol é uma das possibilidades energéticas mais vantajosas para a humanidade.

O IBGE (2019a) assegura que o Sol é o maior corpo do sistema solar, com massa de $1,989 \times 10^{30}$ kg, o que representa 99,8% da massa total do sistema solar (composto pelo Sol e todos os corpos celestes que orbitam ao redor dele). O Sol tem um raio de cerca 695 km e encontra-se a, aproximadamente, 150 milhões de km da Terra. Além disso, é composto principalmente por hidrogênio (91%) e hélio (8,9%). A temperatura no núcleo do Sol é de aproximadamente 15.000.000 °C e, na superfície, chega a 5.500 °C.

A origem da maioria das fontes de energia existentes vem desta estrela (o Sol) para a Terra, podendo ser citada a geração de hidroelétrica, que se dá por meio da evaporação, responsável pelo ciclo das águas e que possibilita, assim, o represamento de rios para a consequente geração. Já a energia eólica advém dos ventos, por meio da radiação solar que induz a circulação atmosférica em larga escala. Assim, também, a energia da biomassa (lenha, carvão vegetal, álcool, etc.) depende da radiação solar para o processo de fotossíntese, em que é diretamente absorvida e armazenada nas ligações químicas de moléculas orgânicas e que serve para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta.

Durante todo o ano, o Brasil apresenta grande potencial de aproveitamento de energia solar e em locais mais afastados dos centros urbanos podem utilizar essa energia para o próprio desenvolvimento da região.

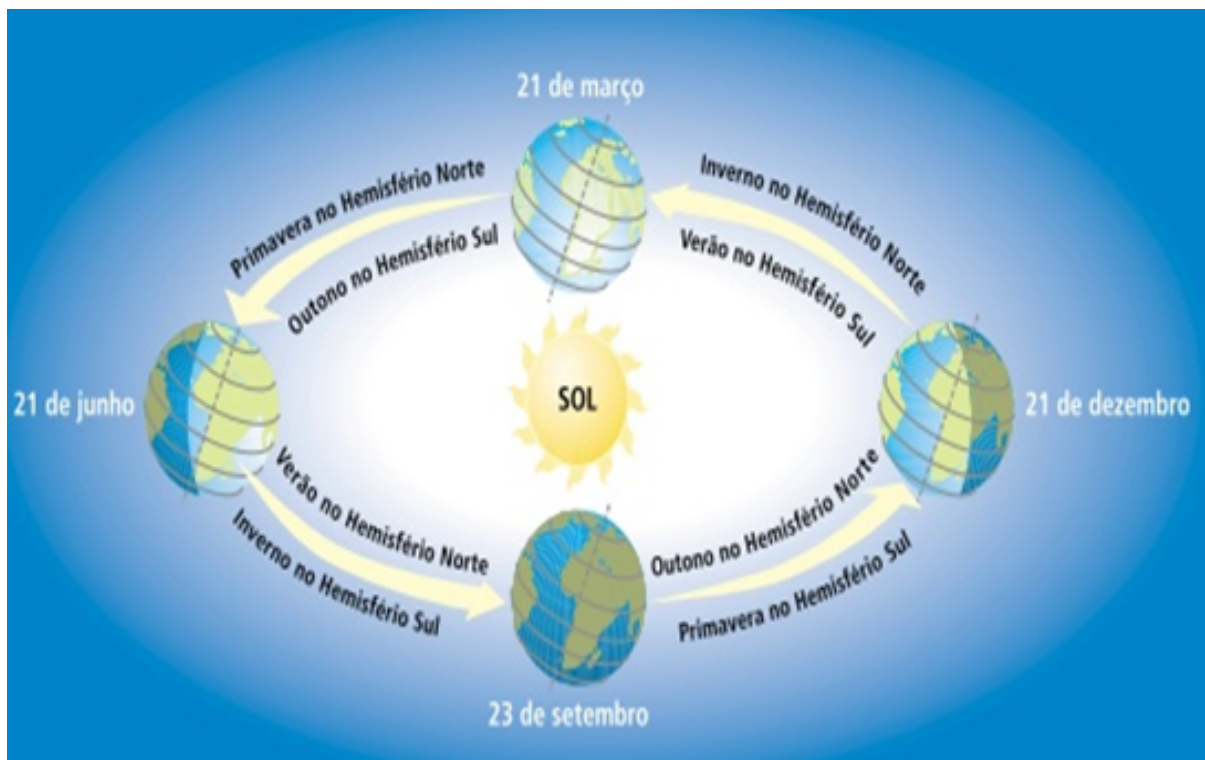
A atmosfera terrestre recebe, anualmente, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia do Sol. Isso indica que a radiação solar, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, também se constitui enquanto uma inesgotável fonte energética, em que há um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, a exemplo da térmica e da elétrica, dentre outras (CRESESB-CEPEL, 2008).

A energia do sol irradia na Terra o suficiente para atender dez mil vezes o consumo anual de energia do mundo e produz em torno de 1.700 kWh de energia elétrica por ano, para cada metro quadrado de área. Já a disponibilidade de radiação solar é dependente da latitude da região, uma vez que o movimento da Terra em torno do Sol é descrito por um plano inclinado de $23,5^\circ$ em relação ao plano do Equador (EPE, 2006-2007).

Há radiação em todas as regiões do espectro. Porém, os olhos humanos são sensíveis a menos de um oitavo dessa radiação, cerca de 400 a 750 THz (400 a 750 nm) - região visível, a qual é estreita. Contudo, o Sol possui 45% de toda a energia. Conhecida como constante solar, a densidade de potência da radiação solar tem valor de 1360 W m^{-2} , aproximadamente. Tal densidade indica o número de Watts por metro quadrado (fluxo de energia) e varia de acordo com a distância entre a Terra e o Sol (ROSA, 2015).

Vale destacar que a figura 2, a seguir, mostra o movimento de rotação e translação que a Terra faz em torno do Sol e a representação das estações, em que o primeiro movimento de rotação se refere ao movimento que a Terra realiza ao redor de seu próprio eixo imaginário e leva, aproximadamente, 24 horas para se completar (este período é chamado de dia). Durante este intervalo de tempo uma parte do planeta está iluminada enquanto outra está escura, o que origina os dias e as noites. O segundo movimento de translação se refere ao movimento que a Terra realiza ao redor do Sol e tem duração de, aproximadamente, 365 dias (esse período é chamado de ano).

Figura 2 – Movimentos de rotação e translação da Terra.



Fonte: Magnoli, D.; Scalzaretto. R. (apud ANEEL, 2002).

A energia total que incide sobre a Terra - radiação solar - depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano) e, portanto, estão relacionados com o movimento de rotação e de translação.

Muitas são as aplicações da fonte de energia solar provenientes dos raios solares. Pode-se destacar a geração direta (energia solar fotovoltaica) e indireta (energia heliotérmica, conversão de irradiação solar em calor para geração de energia elétrica) de eletricidade, além da energia solar térmica (geração de calor para aquecer fluidos, bem como secagem e aquecimento industrial). Todavia, neste trabalho, será dado um enfoque no estudo referente à energia solar fotovoltaica.

No efeito fotovoltaico é utilizado um material semicondutor adaptado para liberar elétrons - partículas que são carregadas negativamente e representam o pilar da eletricidade. As células fotovoltaicas possuem, no mínimo, duas camadas de silício (semicondutor mais comum) carregadas positivamente ou negativamente. Após o semicondutor ser atingido pela luz solar, por meio do campo elétrico entre a junção das duas camadas, inicia-se um fluxo de energia e, assim, gera-se a corrente contínua. O fluxo de eletricidade é maior quando há maior incidência de luz e depende da densidade das nuvens para gerar energia e, portanto, em dias nublados há geração de energia. Assim, os sistemas fotovoltaicos podem produzir mais energia em dias com menos nuvens, se comparados com dias totalmente claros, isso se dá por meio da reflexão da luz do sol.

2.3 Sistemas fotovoltaicos

Segundo Fadigas (2012), um dos pioneiros em pesquisas sobre o efeito fotovoltaico foi o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, que descobriu, em 1839, que a energia solar pode ser transformada em energia elétrica. Os experimentos foram realizados por ele por meio de eletrodos expostos à luz e mergulhados em um eletrólito.

Dessa maneira, Becquerel compreendeu o efeito fotovoltaico. Posteriormente, Adams e Day observaram o mesmo efeito no sólido selênio, no ano de 1877.

Em 1883, a célula fotovoltaica foi produzida com o selênio, porém, esta célula tinha eficiência de conversão de apenas 1%. Para que o efeito fotovoltaico se tornasse mais compreendido, foi necessário o estudo mais aprofundado com relação à junção do estado sólido, através dos físicos Lange, Grondahl e Schottky. No ano de 1941, Ohl obteve a primeira fotocélula feita de silício monocristalino. Em 1949, Billing e Plessnar realizaram medições relacionadas à eficiência das células de silício cristalino. Nesse momento, Shockley divulga a teoria da junção P-N. Todo esse impulso à geração fotovoltaica somente foi possível a partir da explicação sobre o efeito fotoelétrico dada por Albert Einstein.

De acordo com Matos (2006), a primeira célula fotovoltaica feita de silício monocristalino foi desenvolvida em 1954 com uma eficiência de 6%. Os pesquisadores: o químico Calvin Fuller, o físico Gerald L. Pearson e o engenheiro Daryl Chapin criaram essa tecnologia nos Estados Unidos e realizaram a primeira aplicação prática de células solares com esse tipo de material. No ano de 1959, um novo método de crescimento de cristais de silício foi desenvolvido, através de experimentos com células solares feitas de silício policristalino, que culminaria em menores custos relacionados à produção de células solares.

As células fotovoltaicas foram utilizadas, inicialmente, entre os anos 1960 e 1970, em satélites. Esse impulso se deu por meio da corrida espacial entre os EUA (Estados Unidos da América) e a URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas). Atualmente, os países que dominam a tecnologia espacial continuam a utilizar a energia fotovoltaica como fonte de suprimento energético.

Até os dias atuais são realizadas pesquisas voltadas para a confecção de células fotovoltaicas, com o propósito de garantir maior eficiência, sem agredir o meio ambiente. Com essa nova tecnologia, pode-se compreender a importância do sol como forma de calor, luz, vida, energia e, também, eletricidade.

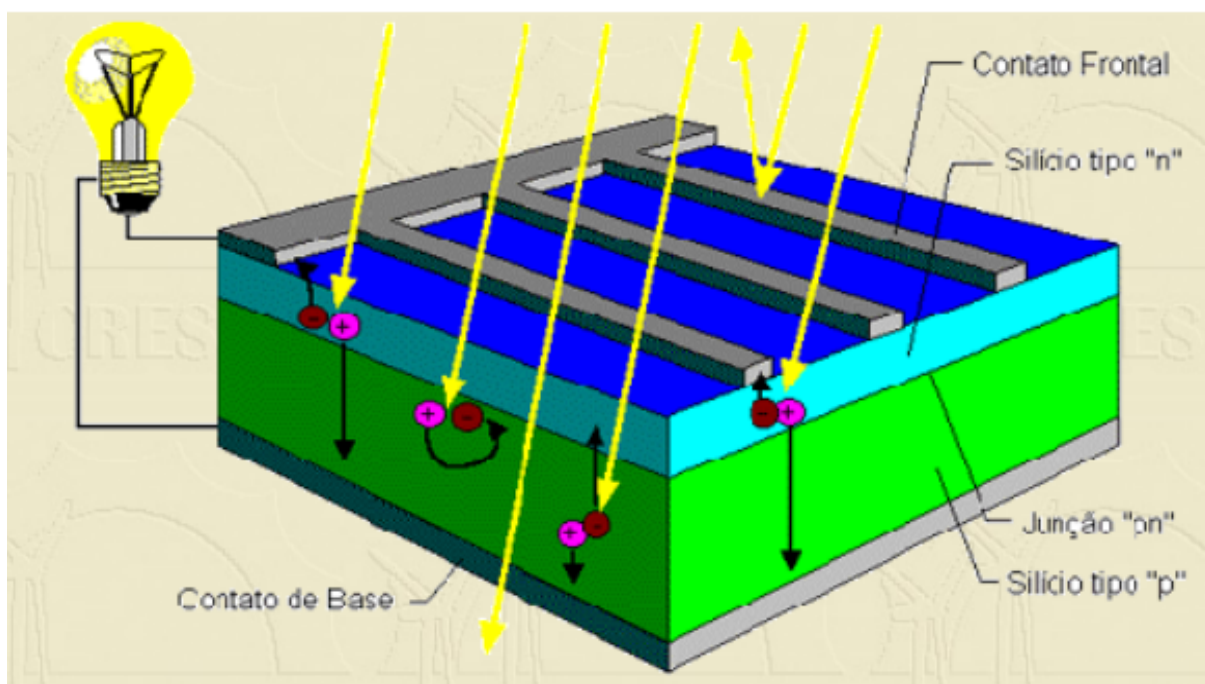
A energia é proveniente de uma fonte abundante (o Sol), além de ser considerada inesgotável em nosso planeta. Essa fonte de luz e vida produz energia renovável, limpa e silenciosa. E vale afirmar que o Sol é repleto de átomos que transformam massa em energia. O Sol transforma 657 milhões de toneladas de hidrogênio em 653 milhões de toneladas de hélio e os outros 4 milhões de toneladas se transformam em energia e se descarregam no espaço na forma de radiação solar. Porém, a energia eletromagnética que a Terra recebe é de apenas dois bilionésimos.

Um dos processos de aproveitamento da luz solar mais utilizado é o fotovoltaico. Com o propósito de gerar energia elétrica, esse processo se dá a partir da conversão direta da luz solar em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico. Esse tipo de conversão ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas, que são componentes optoeletrônicos que convertem a radiação solar em eletricidade de forma direta. Além disso, materiais semicondutores, como o silício, são fundamentais na construção dessas células.

O efeito fotovoltaico é produzido por essa incidência que, além de fazer circular uma corrente elétrica no material, cria a energia elétrica. Através do efeito fotovoltaico há o desenvolvimento da diferença de potencial entre os dois eletrodos, devido à transferência de elétrons gerados entre as bandas diferentes do material (CEMIG, 2012, p. 16).

A figura 3 mostra como a energia é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico.

Figura 3 – Composição de uma célula fotovoltaica.



Fonte: GEPEA.

A maneira com que o semicondutor se transforma em uma célula fotovoltaica é através de etapas como purificação e dopagem, de forma que, esta última, consiste na adição de alguns elementos químicos, tais como o boro e o fósforo, com o propósito de alterar as propriedades elétricas. Dessa maneira, duas camadas na célula são criadas: camada tipo p (excesso de cargas positivas) e tipo n (excesso de cargas negativas), relativas ao silício puro.

Assim, para que se produza energia elétrica, é necessária a incidência de luz solar nos módulos que são compostos por células fotovoltaicas. Essa conversão direta de raios

solares em energia elétrica se dá a partir dessas células, as quais são compostas por elementos semicondutores, em que geralmente se utiliza o silício. Essa luz solar atua como um fluxo de partículas (fótons). Quando a junção N-P é iluminada ocorre o fenômeno de absorção dos fótons por parte dos elétrons (efeito fotoelétrico) e, assim, alguns passam da banda de valência para a banda de condução.

Desta maneira, os elétrons que atingem a banda de condução vagueiam pelo semicondutor até o momento em que são puxados pelo campo elétrico que existe na região de junção. Por meio de uma ligação externa, os elétrons são levados para fora da célula para que sejam utilizados. Cada elétron que deixa a célula é substituído por outro que retorna da carga. Assim, essa energia é convertida em energia elétrica, através de painéis fotovoltaicos e concentradores de radiação elétrica.

3 CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGIA

O procedimento metodológico utilizado para a coleta de informações a respeito do tema em questão caracteriza-se enquanto pesquisa bibliográfica. Tal atribuição dar-se-á por meio da utilização de publicações realizadas por agentes dos setores energéticos e de energia solar, bem como análises realizadas com base em documentos, artigos acadêmicos, além de pesquisas relacionadas à legislação brasileira.

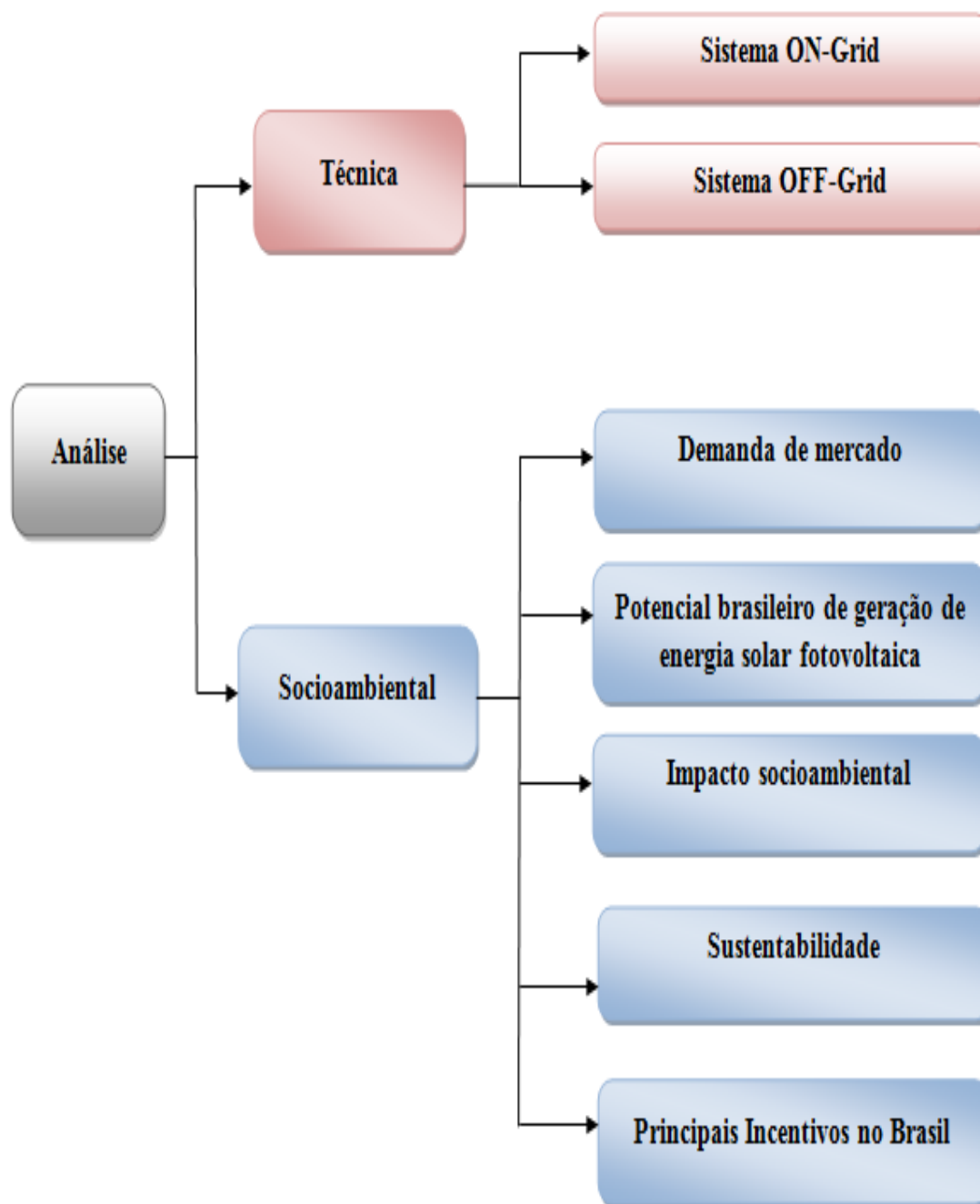
Para tal, o presente estudo foi elaborado a partir de uma revisão da literatura científica relacionada aos sistemas fotovoltaicos, em que visa-se analisar os dois tipos de sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid e, de forma complementar, comparar de maneira técnica estes dois sistemas. A comparação técnica se dará por meio do estudo relacionado aos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos.

Neste contexto, os critérios metodológicos para desenvolver a análise crítica, relacionada aos sistemas fotovoltaicos, estão organizados na forma de um fluxograma, mostrado na figura 4. Tal método possibilita analisar e compreender, de maneira teórica e intuitiva, cada etapa do desenvolvimento deste trabalho.

Com base no referido fluxograma, o trabalho apresenta duas análises, quais sejam:

- **Análise técnica:** descreve os sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid, com base nas tecnologias utilizadas, bem como a importância de cada um para as diferentes situações em que os sistemas são utilizados. Além disso, apresenta as principais vantagens dos sistemas fotovoltaicos, bem como um exemplo de simulação financeira para cada um dos referidos sistemas. Tal simulação foi realizada por meio de uma empresa do setor de energia solar.
- **Análise socioambiental:** descreve a demanda de mercado, o potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica, os impactos socioambientais, a sustentabilidade, bem como os principais incentivos dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.

Figura 4 – Fluxograma: Análises relacionadas ao sistema fotovoltaico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CAPÍTULO IV

4.1 ANÁLISES

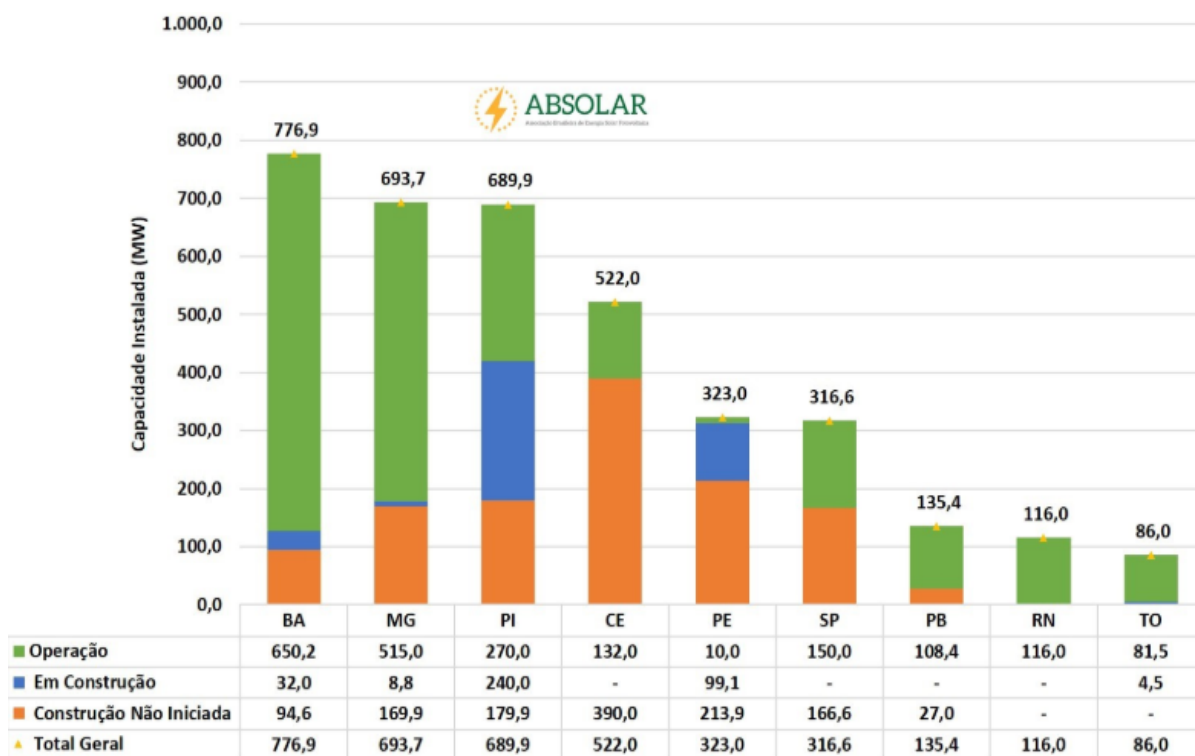
4.1.1 Análise técnica

Geração Centralizada

Segundo INPE (2017), as usinas de grande porte são instaladas em solo sobre estruturas metálicas inclinadas e fixas ou com seguimento da trajetória aparente do sol em um eixo. Elas estão sendo locadas, principalmente, nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Outras regiões passarão a ser competitivas, na medida em que se saturarem as áreas e os sistemas de transmissão de energia ou, ainda, necessitarem de maiores investimentos para acomodar capacidades instaladas crescentes, assim como as regiões Sul e Sudeste, uma vez que possuem menores distâncias dos grandes centros; há grande concentração de carga do Sistema Interligado Nacional (SIN); não são necessárias novas linhas de transmissão, já que há maior disponibilidade de pontos de conexão à rede. Desta maneira, a geração fotovoltaica centralizada poderá se espalhar por todo país.

A figura 5 abaixo apresenta os nove estados das regiões Nordeste, Sudeste e Norte do Brasil, com usinas solares fotovoltaicas em operação, construção e, também, construção não iniciada, através da capacidade instalada em cada estado. Assim, os estados Bahia, Minas Gerais e Piauí destacam-se em termos de maiores valores de capacidade instalada, com 776,9 MW, 693,7 MW e 689,9 MW, respectivamente.

Figura 5 – Potência instalada (MW) e status da geração centralizada solar fotovoltaica por Estado.



Fonte: CCEE/ABSOLAR, 2019.

A geração centralizada solar fotovoltaica, composta por projetos de usinas de grande porte, assim como tantas outras aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Brasil, tem se consolidado cada vez mais como uma fonte renovável de geração de energia elétrica com alto valor agregado à sociedade brasileira.

A geração centralizada solar fotovoltaica é e deverá continuar sendo um dos principais pilares para o crescimento da fonte no país, com a participação do setor em leilões de energia elétrica organizados pelo governo federal, por meio dos quais já foram contratados os 2.000 MW que estão em operação no Brasil.

Geração Distribuída

A geração distribuída é considerada a geração de energia elétrica no próprio estabelecimento consumidor ou nas proximidades do local de consumo. Dessa forma, compreende-se por geração distribuída, a usina que conecta-se diretamente à rede da distribuidora de energia, em que o consumidor pode injetar potência na rede (quando não está utilizando-a) ou, então, receber potência da rede quando houver a necessidade de consumir mais energia elétrica.

Além da grande relevância em converter a energia solar (recurso de grande abundância) em eletricidade, cabe ressaltar que a geração distribuída se utiliza de fontes renováveis e é localizada próxima ao centro de consumo de energia elétrica. Pelo fato de a energia solar fotovoltaica ter grande potencial no Brasil, será estudada a geração distribuída, bem como as principais normas que a regem.

A ANEEL aprovou a Resolução Normativa nº 482/2012, em que se estabelece condições para a minigeração e microgeração de energia elétrica, por meio de fontes renováveis de energia. Além dos conceitos de Mini e Microgeração, a ANEEL estabeleceu o funcionamento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, como também os critérios para conexão das usinas às distribuidoras.

De acordo com o regulamento da ANEEL, a microgeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, composta por potência instalada menor ou igual a 75 kW. Esta deve utilizar a cogeração ou as fontes renováveis de energia elétrica, além de ser conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (REN ANEEL 687, 2015).

Já a minigeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, com uma maior potência instalada. Esta potência deve ser superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, como também utilizar a cogeração ou fontes renováveis de energia elétrica, conectadas na rede de distribuição, por meio de instalações de unidades consumidoras (REN ANEEL 786, 2017).

Portanto, a geração distribuída refere-se ao total de energia elétrica injetada na rede por meio da geração distribuída existente na área de concessão das distribuidoras, em que pode ser dividida em:

- própria: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) de todas as usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica e não despachadas centralizadamente pelo ONS, conforme Resoluções Normativas ANEEL nº 414 de 09 de setembro de 2010 e nº 687 de 24 de novembro de 2015;
- adquirida de outros: total da geração distribuída (hidráulica, térmica, eólica e fotovoltaica) das usinas conectadas ao sistema das concessionárias de distribuição de energia elétrica, não despachadas centralizadamente pelo ONS e de propriedade de outros agentes, conforme Resoluções Normativas ANEEL nº 414 de 09 de setembro de 2010 e nº 687 de 24 de novembro de 2015;

A resolução estabelece, ainda, o sistema de compensação de energia elétrica, em que a energia ativa injetada por unidade consumidora, com microgeração ou minigeração distribuída, é cedida à distribuidora local de energia elétrica, através de empréstimo gratuito à distribuidora local. Esse empréstimo gera créditos que devem ser abatidos da conta de luz, por meio do consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou

de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados. Para isso, a unidade consumidora deve possuir o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda (ANEEL, 2015b).

Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora:

- com microgeração ou minigeração distribuída (mesma titularidade);
- integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras: como em condomínios horizontais ou verticais, em que os consumidores de energia elétrica se unem para instalar um micro ou minigerador central. Dessa forma, a energia gerada pode ser compartilhada entre eles, bem como alimentar as áreas de uso coletivo. Para isso, as unidades consumidoras devem estar localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades próximas (diferentes titularidades);
- caracterizada como geração compartilhada: quando mais de um consumidor - sobre a mesma área de concessão da distribuidora, instala e compartilha dos créditos gerados por um micro ou minigerador (diferentes titularidades);
- caracterizada como autoconsumo remoto: permissão para que o consumidor possa instalar o próprio sistema gerador em local diferente do local de consumo. Porém, ambos os locais devem estar em nome do mesmo titular e dentro da área de concessão da mesma distribuidora (mesma titularidade).

Assim, a unidade consumidora que injetar gratuitamente a energia ativa no sistema de distribuição terá um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de sessenta meses.

Portanto, diferentemente da geração centralizada, a geração distribuída consiste em um tipo de geração elétrica, por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, ou seja, mais próximo ao centro de carga, com a opção de interagir com a rede na forma de compra ou venda.

Com a entrada em vigor da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor pode gerar a própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e pode, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição do local.

Segundo o relatório síntese, a capacidade total instalada de energia no Brasil, referente à geração distribuída, é de 669,6 MW. Essa capacidade instalada é representada pelo somatório das potências instaladas, concedidas ou autorizadas, das usinas de geração de energia elétrica em operação localizadas no sistema (EPE, 2019a).

A energia solar compõe, aproximadamente, 84% da capacidade disponível no ano de 2018, o que corresponde a 562,3 MW, como pode ser visualizado na tabela 1:

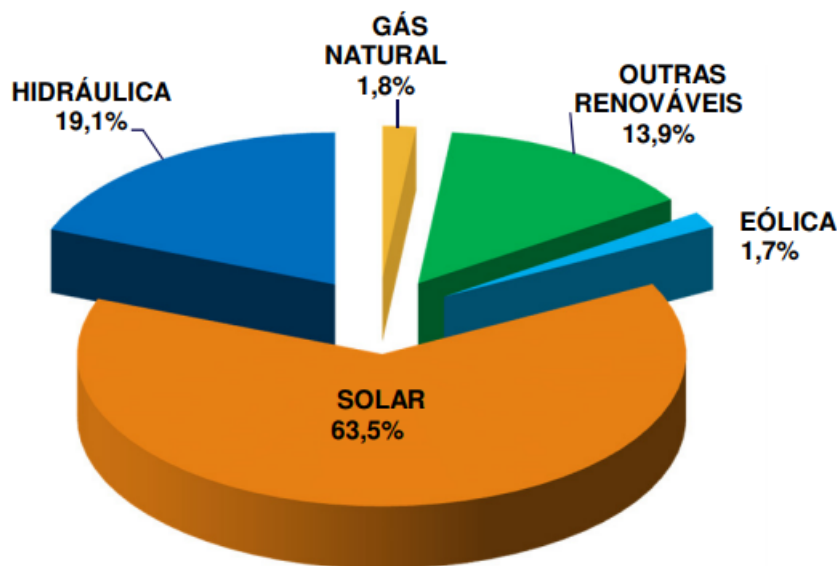
Tabela 1 – Capacidade instalada - Geração Distribuída (MW).

Fonte	2017	2018
Hidráulica	37,3	58,9
Térmica	24,0	38,1
Eólica	10,3	10,3
Solar	174,5	562,3
Capacidade disponível	246,1	669,6

Fonte: EPE, 2019.

Pode-se perceber na figura 6, logo abaixo, que a fonte solar teve maior participação na geração distribuída, apresentando 63,5% do total. Em seguida, a energia hidráulica representa a segunda posição com 19,1% em 2018. A participação das fontes energéticas representadas no gráfico correspondem a um total de 828 GWh, o que equivale a 131% de aumento, se comparado ao ano de 2017.

Figura 6 – Participação de cada fonte na Geração Distribuída em 2018.



Fonte: EPE, 2019.

A geração distribuída possui como benefícios predominantes: incentivar a utilização de energias renováveis em pequena escala, reduzir perdas e investimentos em rede de energia elétrica, além de elevar a segurança energética através do uso de diversas fontes de geração.

Segundo a ANEEL (2018), os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, está o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

Neste sentido, há dois tipos de operações descritas neste trabalho: os sistemas ON-Grid e OFF-Grid, os quais serão explicados pormenorizadamente abaixo.

4.1.1.1 *Sistema ON-Grid*

Os sistemas ON-Grid, também conhecidos como sistemas conectados à rede elétrica, possuem um crescimento exponencial no mercado fotovoltaico em países desenvolvidos. São, portanto, considerados uma fonte complementar ao sistema elétrico e empregados em locais já atendidos por energia elétrica. Esse sistema de energia solar fotovoltaico utiliza a luz do sol para gerar a energia elétrica. A rede da concessionária funciona como uma bateria que recebe todo excedente de energia gerado pelo sistema.

Este tipo de sistema utiliza a geração distribuída e pode ser classificado de acordo com a potência gerada. Em um sistema fotovoltaico de microgeração, geralmente, a unidade consumidora - local onde a microgeração ou minigeração distribuída se encontra instalada - está em residências ou em lotes próximos ao local de consumo da energia gerada por este tipo sistema. Já os tipos de unidades consumidoras que utilizam um sistema fotovoltaico de minigeração são, em sua maioria, prédios comerciais.

Os países desenvolvidos apresentam maior crescimento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e há grande potencial para que tais sistemas sejam aplicados em áreas urbanas ensolaradas em todo o mundo, uma vez que, se há um pico de demanda no período diurno, esses sistemas conseguem contribuir para a máxima capacidade de uma rede. E, além disso, quando a demanda por energia elétrica é maior no verão e - se comparado com o período de inverno - aumenta-se a possibilidade de a carga coincidir com a disponibilidade de recurso solar.

Os países desenvolvidos possuem a maior parte do crescimento do mercado fotovoltaico com instalações ON-Grid e, cabe evidenciar, que há um imenso potencial para que esses sistemas sejam aplicados em áreas ensolaradas no mundo. A grande disponibilidade de energia solar no Brasil faz com que o país se destaque. Assim, se no período diurno há pico de demanda, os sistemas fotovoltaicos conseguem contribuir para a máxima capacidade de uma rede, a exemplo de regiões comerciais com altas cargas de ar condicionado durante o dia.

Deste modo, se os valores de pico de carga no verão e no inverno forem confrontados, percebe-se que quanto maior é a demanda no verão, a possibilidade aumenta de a carga coincidir com a disponibilidade de energia solar; comportamento típico da maioria das capitais brasileiras.

Os dados de consumo das áreas urbanas do Brasil mostram diferença entre as regiões onde prédios comerciais dominam e regiões residenciais, de forma que a primeira apresenta picos de demanda no período diurno, ao passo que a segunda apresenta valores de pico de demanda ao anoitecer (INPE, 2017).

Este tipo de sistema funciona por meio do painel fotovoltaico, doravante FV, que tem a função de gerar energia elétrica em corrente contínua (CC), convertê-la em corrente alternada (CA) e injetá-la na rede de energia elétrica. A interface entre o painel e a rede elétrica se dá através do inversor de frequência.

Assim, os módulos FV são montados diretamente em edificações residenciais ou comerciais, em coberturas de estacionamento ou, ainda, em áreas livres e fachadas.

Um importante componente do sistema fotovoltaico ON-Grid é o gerador fotovoltaico, que é composto por módulos que produzem eletricidade em corrente contínua e que, posteriormente, é convertida em corrente alternada. Os referidos módulos são compostos por células fotovoltaicas fabricadas com materiais semicondutores conectados em série (para aumentar a tensão) e em paralelo (para aumentar a corrente do sistema). Após essa conversão, a energia advinda do sol pode ser utilizada no local de consumo ou pode, ainda, ser transferida para a rede elétrica.

A estrutura de montagem e instalação é baseada na montagem de estruturas metálicas de suporte de módulos fotovoltaicos em telhado, que são fabricados em alumínio e aço e, portanto, são resistentes às tempestades do ambiente, além de que possuem *design* inovador, simplificando a instalação do painel solar.

O inversor trata-se de um equipamento responsável por mudar a energia que vem do gerador fotovoltaico a ser utilizado na rede elétrica. Tal equipamento converte a CC, gerada por módulos fotovoltaicos, em CA. Assim, a eletricidade fica no mesmo padrão usado por diversos equipamentos elétricos. Como o inversor permite que a energia gerada pelo painel solar seja conectada à rede, então, a tensão gerada deve ter a mesma amplitude, frequência e fase da rede.

Na figura 7, é apresentado o sistema ON-Grid, o qual utiliza basicamente vários painéis fotovoltaicos conectados ao inversor e, posteriormente, à rede de energia elétrica. Esse sistema não armazena energia. Portanto, a energia gerada que não é utilizada pelo consumidor/gerador é entregue diretamente à rede elétrica.

Figura 7 – Sistema conectado à rede.



Fonte: PORTAL SOLAR.

1. PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel solar fotovoltaico converte a radiação solar em energia elétrica, em corrente contínua. Cada painel é composto por células fotovoltaicas. O arranjo de vários painéis fotovoltaicos pode compor iluminação pública, além de telhados e fachadas residenciais, comerciais, industriais, entre outras unidades consumidoras.

2. INVERSOR

O inversor fotovoltaico transforma a energia em CC para CA, pois a maioria dos aparelhos eletrônicos utilizam CA, para que essa energia possa ser usada em unidades consumidoras residenciais ou mesmo comerciais. Esse equipamento é capaz de deixar a tensão e a frequência compatíveis com a rede elétrica da concessionária, ao qual o sistema está interligado.

Conforme INMETRO (2011), os inversores para serem aplicados em sistemas fotovoltaicos devem apresentar forma de onda senoidal pura; eficiência superior a 85% na faixa entre 50% e 100% da potência nominal e distorção harmônica total (DHT) menor que 5%, em qualquer potência de operação.

Os inversores também devem possuir as demais características (CRESESB-CEPEL, 2014):

- alta confiabilidade e baixa manutenção;
- operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- boa regulação na tensão da saída;

- baixa emissão de interferência eletromagnética e de ruído audível;
- tolerância aos surtos de partida das cargas a serem alimentadas;
- segurança para pessoas e instalações;
- grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- garantia de fábrica de pelo menos dois anos.

3. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

A energia elétrica produzida pelas células fotovoltaicas nos painéis e, posteriormente, transformada pelo inversor é conduzida ao quadro de distribuição do local - no qual o sistema está sendo implantado - para que, assim, a energia seja distribuída para ser utilizada.

4. APARELHOS ELÉTRICOS

A energia produzida pelo sistema ON-Grid chega aos aparelhos elétricos e eletrônicos conectados na tomada e, automaticamente, esses aparelhos usarão a energia fotovoltaica para o próprio funcionamento.

5. MEDIDOR DE ENERGIA BIDIRECIONAL

O medidor bidirecional tem a função de monitorar a energia consumida da rede, bem como a energia injetada na rede. Por isso, se o sistema produzir menos energia elétrica do que o consumido no momento, a rede pública fornece, automaticamente, o necessário para que não falte energia para o consumidor. De maneira contrária e complementar, o sistema, ao produzir mais energia do que o necessário no momento, faz com que essa energia excedente seja injetada na rede elétrica da concessionária. E, portanto, nesse caso, o medidor bidirecional irá contabilizar esta energia e o consumidor/gerador ficará como um saldo positivo na conta de energia mensal. Este saldo será automaticamente deduzido quando o cliente precisar usar a energia da rede novamente. Portanto, o medidor de energia bidirecional registra a energia consumida e excedente gerada para compensação de créditos no fim do mês. Desta forma, o consumidor pode fazer a troca com a rede elétrica e reduzir a conta de energia elétrica, pois o excedente de energia gerado e não consumido é injetado na rede, gerando créditos e economia no fim do mês.

Além dos componentes supracitados, também são utilizados os componentes de integração do sistema (*Balance of System* - BOS), que são compostos por estruturas de fixação dos módulos fotovoltaicos e os componentes elétricos de proteção.

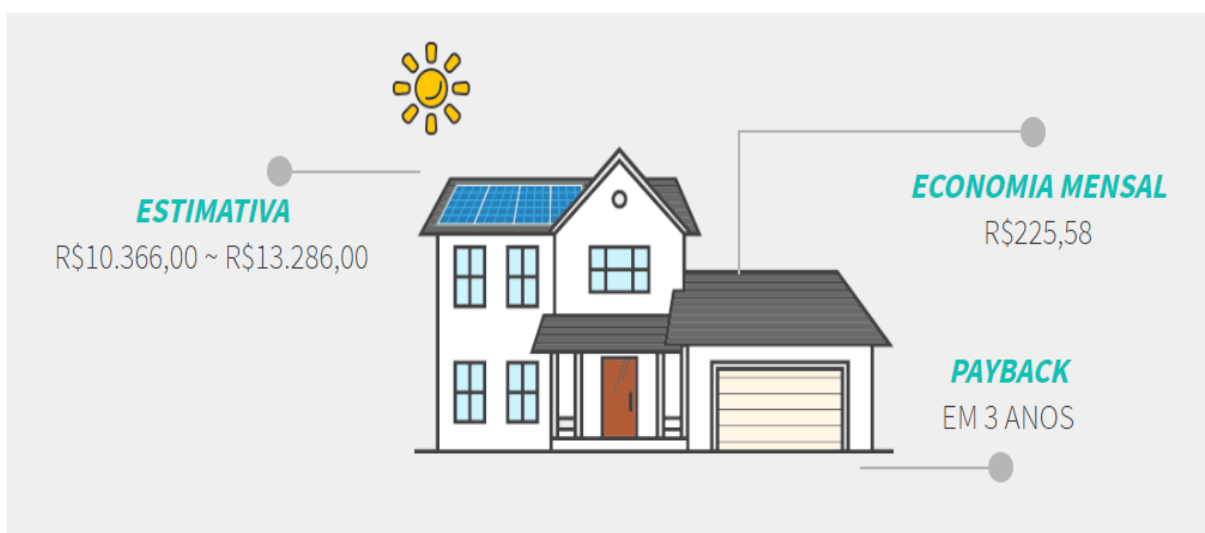
Realizou-se, então, uma pesquisa através da Blue Sol, empresa do setor de energia solar. Tal pesquisa teve como propósito analisar o tempo de retorno do investimento em energia solar - *payback* - de uma residência composta por quatro consumidores de energia

elétrica, com um consumo médio mensal de R\$ 250,00, em que a tarifa cobrada pela concessionária de energia elétrica é de R\$ 0,97 para cada kWh de energia consumida.

A figura 8 apresenta o valor à vista deste sistema na referida empresa, sendo este valor equivalente à R\$ 10.366,00, uma economia mensal para os consumidores dessa unidade consumidora de R\$ 225,58 e o *payback* é em três anos.

E, pode-se perceber, por meio da figura 9, que o sistema solar fotovoltaico para a referida UC produz uma energia mensal estimada de 232 kWh de geração. Tal energia é gerada através de cinco módulos fotovoltaicos - os quais, diga-se de passagem, tem vida útil de 25 a 30 anos e potência de pico de 1.825 kWp.

Figura 8 – Sistema ON-Grid.



Fonte: Blue Sol.

Figura 9 – Sistema ON-Grid em números - Orçamento.



Fonte: Blue Sol.

4.1.1.2 Sistema OFF-Grid

Os sistemas OFF-Grid são conhecidos como sistemas isolados ou, também, conhecidos como sistemas não conectados à rede elétrica. Estes sistemas trabalham de forma autônoma, isto é, não trabalham em paralelo com a rede elétrica convencional.

Conforme Decreto (2010):

- sistemas isolados: trata-se de sistemas elétricos de serviço público de distribuição de energia elétrica que, em sua configuração normal, não estejam eletricamente conectados ao Sistema Interligado Nacional - SIN, por razões técnicas ou econômicas;
- regiões remotas: pequenos grupamentos de consumidores situados em sistema isolado, afastados das sedes municipais e caracterizados pela ausência de economias de escala ou de densidade.

Atualmente, mais de 800 milhões de pessoas no mundo não utilizam energia elétrica. Esses números mostram a importância e a necessidade de que toda a população mundial tenha acesso a uma qualidade de vida adequada. Em vista disso, a descentralização da distribuição de energia e o aproveitamento de fontes renováveis de energia são maneiras de minimizar ou até mesmo extinguir essa triste situação.

Os habitantes mais afastados das principais fontes de geração percebem o quanto difícil é ter energia elétrica. O principal motivo dessa dificuldade está relacionado aos altos custos de distribuição e transmissão, como também à baixa demanda dessas localidades se comparadas aos grandes centros de consumo, uma vez que é necessária uma extensa rede de transmissão em alta tensão para o atendimento desses consumidores. E, portanto, torna-se inviável para as concessionárias de energia por razões econômicas e técnicas.

Portanto, os sistemas OFF-Grid podem ser utilizados em regiões remotas, carentes de rede de distribuição elétrica ou que possuam um abastecimento precário de energia elétrica. Como exemplo de aplicação destes sistemas tem-se as zonas rurais, fazendas, sítios, estacionamentos e praias.

Nestes contextos, os sistemas OFF-Grid são sistemas desconectados ou isolados. Portanto, não dependem da rede da concessionária para gerar energia elétrica em períodos como a noite, em que os sistemas não produzem energia. Para isso, eles possuem um sistema de armazenamento de energia, por meio da utilização de baterias.

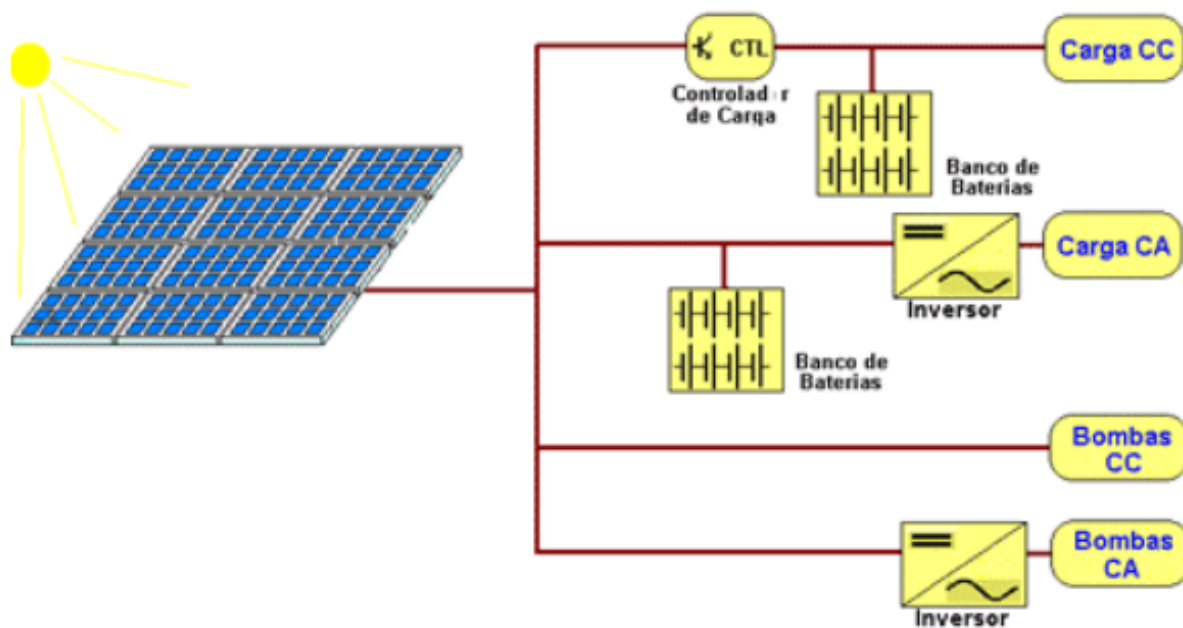
As figuras 10 e 11 adiante, representam um modelo de sistema OFF-Grid e o seu diagrama em função da carga utilizada, respectivamente.

Figura 10 – Sistema OFF-Grid.



Fonte: FPME.

Figura 11 – Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.



Fonte: CRESESB, 2006.

Na figura 10, pode-se perceber a utilização de quatro equipamentos para compor o sistema fotovoltaico OFF-Grid. São eles:

1. PAINEL FOTOVOLTAICO

Como nos sistemas ON-Grid.

2. CONTROLADORES DE CARGA

Os controladores protegem a bateria ou o banco de bateria contra sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos, em que os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC). Em sistemas isolados, esses controladores de carga não devem falhar, pois podem haver danos irreversíveis. Além disso, eles devem ser projetados de acordo com as características dos variados tipos de bateria. Quando a bateria atinge plena carga, os controladores devem desconectar o gerador fotovoltaico e interromper o fornecimento de energia se o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança. Assim, há o aumento de vida útil das baterias. O ajuste dos parâmetros, bem como a escolha do método de controle devem ser adequados aos diferentes tipos de baterias.

3. BATERIAS

Nos sistemas isolados há a utilização de alguma forma de armazenamento de energia, em que se pode realizar por meio de baterias, a fim de que o consumidor possa utilizar aparelhos elétricos ou, ainda, na forma de energia gravitacional, ao se bombear água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação, onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocada em reservatórios.

Atualmente, são vários os tipos de baterias existentes no mercado, porém, por motivos econômicos, as baterias chumbo ácidas ainda são as mais empregadas para fins fotovoltaicos, ainda que outros tipos apresentem maior eficiência e vida útil, a exemplo do Níquel-Cádmio, do íon de Lítio, etc.

4. INVERSOR

Como nos sistemas ON-Grid.

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência, necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

Os sistemas isolados, conforme o próprio nome sugere, não estão conectados a rede elétrica de distribuição convencional. Estes sistemas podem atender cargas CC sem

armazenamento, cargas CC com armazenamento, cargas CA sem armazenamento e cargas CA com armazenamento.

A figura 11 apresenta cargas do tipo CC e do tipo CA conectadas ao sistema fotovoltaico isolado.

- Carga CC sem armazenamento

Para sistemas com carga CC sem armazenamento, a energia elétrica é usada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua. Um exemplo deste uso é um sistema de bombeamento de água com bombas com motor de corrente contínua.

- Carga CC com armazenamento

Este é o caso em que se deseja usar equipamentos elétricos, em corrente contínua, independentemente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea. Para que isto seja possível, a energia elétrica deve ser armazenada em baterias; usa-se também um dispositivo para controlar a carga e descarga na bateria. Tal equipamento chama-se controlador de carga, que tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda.

- Carga CA sem armazenamento

Em cargas CA sem armazenamento, o princípio de funcionamento é semelhante para cargas CC. Porém, o diferencial é que a carga é alimentada em energia CA, devendo, portanto, ser utilizado um inversor entre o gerador fotovoltaico e a carga. Um exemplo deste uso é quando se deseja utilizar bombas com motores convencionais em sistemas fotovoltaicos.

- Carga CA com armazenamento

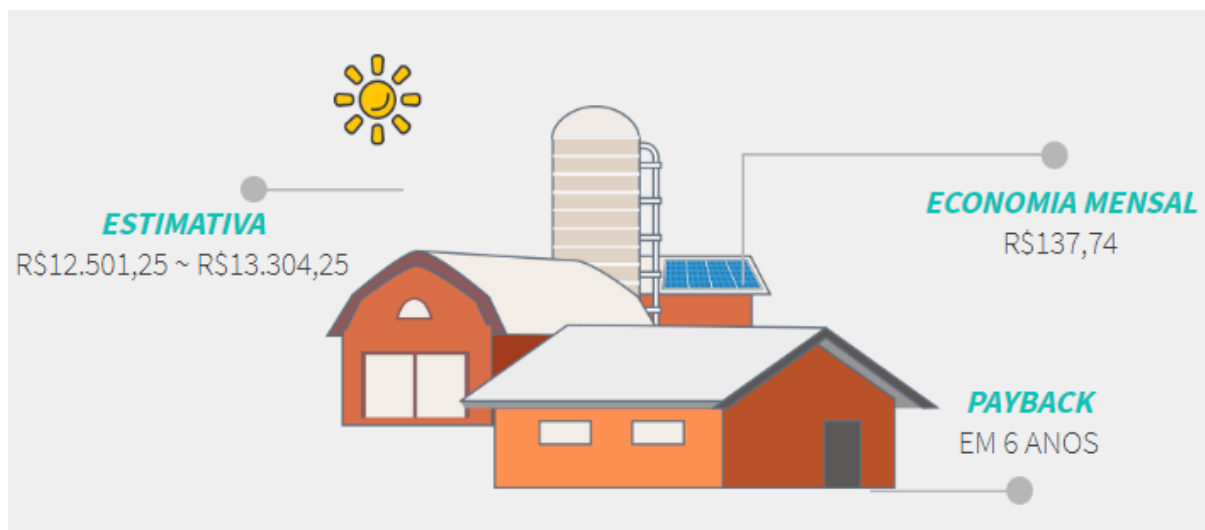
Para alimentação de equipamentos de corrente alternada é necessário um inversor. Este dispositivo tem a função de transformar a corrente contínua em corrente alternada, transformar a tensão, por exemplo, de 12 V em corrente contínua, para 127 V em corrente alternada.

Como nos sistemas ON-Grid, também serão apresentados dados de uma simulação financeira através da base de cálculos estipulados pela empresa Blue Sol. Tal pesquisa teve como propósito analisar o tempo de retorno do investimento em energia solar de uma unidade consumidora, que deixa de comprar energia elétrica da concessionária, a fim de tornar-se independente da distribuidora de energia elétrica para gerar sua própria energia. Tal UC é composta por quatro consumidores de energia elétrica, com um consumo médio mensal de R\$ 250,00, quando ainda era conectada à rede da concessionária de energia.

Pode-se perceber, por meio da figura 12, que o valor à vista deste sistema na referida empresa é de R\$ 12.501,25. A economia mensal para os consumidores dessa

unidade consumidora é de R\$ 137,74 e o *payback* é em seis anos. Neste caso, o sistema solar fotovoltaico é composto por cinco módulos fotovoltaicos, com uma potência de pico de 1.825 kWp e com uma produção de energia mensal estimada de 232 kWh, conforme mostra a figura 13.

Figura 12 – Sistema OFF-Grid.



Fonte: Blue Sol.

Figura 13 – Sistema OFF-Grid em números - Orçamento.



Fonte: Blue Sol.

4.1.1.3 Sistema ON-Grid x Sistema OFF-Grid

Os sistemas FV (fotovoltaicos) podem contribuir para a capacidade máxima de uma rede quando o pico de demanda ocorre no período diurno. A maioria das capitais brasileiras

tem esse comportamento e, quanto maior é a demanda no verão, em comparação com o período de inverno, maior é a possibilidade de a carga coincidir com a disponibilidade do recurso solar.

Algumas importantes contribuições da geração fotovoltaica, no caso da geração distribuída, são:

- fácil instalação, já que é necessário um curto tempo para a execução dos projetos;
- redução da demanda de transmissão de energia elétrica por longas distâncias, uma vez que há uma proximidade com os centros de carga;
- redução das perdas elétricas, impactos socioambientais negativos e minimização dos custos.

Os sistemas FV são compostos por equipamentos que transformam a energia do sol em energia elétrica, por meio de painéis solares compostos por células fotovoltaicas. As duas categorias de sistemas fotovoltaicos, ON-Grid e OFF-Grid, possuem uma configuração básica composta por módulos, unidade de controle de potência, além de possuir ou não unidade de armazenamento.

Os sistemas fotovoltaicos ON-Grid são sistemas conectados à rede de distribuição elétrica que, além de abastecer a própria demanda, são, também, capazes de abastecer a rede elétrica com energia, que pode ser utilizada por qualquer consumidor da rede. Por isso, são também definidos como sistemas de compartilhamento de energia.

Os sistemas conectados tem uma grande vantagem, no que tange aos sistemas isolados, por não utilizarem baterias e controladores de carga, o que os torna cerca de 30% mais eficientes, bem como garantem que toda a energia seja utilizada, localmente ou em outro ponto da rede. Sistemas ON-Grid podem ser utilizados tanto para abastecer um imóvel ou simplesmente para produzir e injetar a energia na rede elétrica, assim como uma usina hidrelétrica ou térmica.

Portanto, quando o proprietário do sistema produz mais energia do que consome, a energia produzida fará com que o sistema fotovoltaico injete energia na rede elétrica. Quando produzir menos do que consome, a rede elétrica injetará energia elétrica no local de consumo em que o sistema foi instalado. O medidor bidirecional contabilizará o fluxo de energia nos dois sentidos de fluxo de potência.

Do ponto de vista dos componentes, um sistema fotovoltaico conectado à rede é composto basicamente por painéis solares e inversores. Os inversores, além de transformar a corrente contínua em corrente alternada, sincronizam o sistema com a rede pública.

Algumas das vantagens dos sistemas conectados à rede são descritas abaixo:

- a energia é produzida em proximidade com a carga, resultando em menores perdas nas redes de distribuição e transmissão;

- o espaço em que é produzida a energia elétrica já está integrado à edificação;
- o consumo de energia elétrica, principalmente de prédios comerciais, tem maior valor quando ocorre em horário de maior produção de energia pelos módulos fotovoltaicos.
- o consumidor que aumentar a carga da edificação e já possuir o sistema instalado precisa de espaço extra para ampliar o sistema na edificação. Portanto, o sistema ON-Grid possui modularidade, além de diminuir a dependência por energia elétrica da concessionária.
- os materiais de revestimento e de cobertura da edificação podem ser substituídos pela montagem do sistema ON-Grid. Além disso, este sistema vem se destacando nos projetos arquitetônicos e na construção civil, já que o empreendimento pode receber certificação ambiental, por meio de critérios de sustentabilidade ambiental, a exemplo de menor consumo de energia elétrica.

A maior vantagem da geração distribuída de energia para o consumidor é a economia na conta de energia ao instalar um micro ou minigerador. A economia pode ser de até 95% na conta de energia, pelo fato de o consumidor ter de pagar uma taxa de disponibilidade à concessionária de energia, por estar conectado à rede e esta precisar de manutenção. Além disso, o sistema fotovoltaico pode alimentar até 100% do consumo de energia do local onde o sistema está inserido (casa, empresa, etc.). Portanto, o consumidor que gera a própria energia torna-se independente energeticamente e livre das altas tarifas das distribuidoras de energia e da contínua inflação (INPE, 2006).

Já os sistemas OFF-Grid atendem a um propósito específico e local, diferentemente dos sistemas ON-Grid. O propósito principal dos sistemas isolados é atender localidades em áreas remotas. Por isso, o fornecimento de energia pela rede elétrica convencional torna-se inviável, devido às dificuldades de acesso e aos altos custos para construção de subestações e de longos circuitos de transmissão e distribuição, para atender a uma pequena demanda pontual ou algumas poucas unidades consumidoras.

Algumas vantagens dos sistemas fotovoltaicos isolados estão apresentadas abaixo:

- aumento da taxa de autoconsumo;
- resiliência às flutuações da rede elétrica;
- autonomia diante da interrupção do fornecimento de energia elétrica.

O uso de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas são uma boa alternativa do ponto de vista econômico, social e ambiental, tendo em vista que, geralmente, estas comunidades são constituídas por moradores de baixa renda ou baixo nível de educação, os quais nem sempre tem acesso à informação e a serviços de saneamento básico e outros que aumentam e muito a vulnerabilidade desta população.

Neste sentido, a instalação de pequenos sistemas de energia solar fotovoltaica muda muito a vida dessas comunidades e pessoas de forma positiva. Como exemplo, tem-se os pequenos e médios sistemas de bombeamento de água limpa, a refrigeração de alimentos e medicamentos (vacinas), a iluminação, a comunicação, entre outras aplicações. Sistemas simples e de relativo baixo custo que são capazes de salvar vidas, modificar a forma de viver e levar informação, inclusão e a melhoria da qualidade de vida de comunidades isoladas, as quais poderão receber informação e desenvolvimento, por meio de sinal de internet, TV e telefonia, além da luz.

Assim, faz-se necessária a utilização de alternativas energéticas viáveis para o consumidor, concessionárias de energia e meio ambiente. Portanto, um dos sistemas mais indicados para aproveitar esta energia é o fotovoltaico, uma vez que possibilita a geração distribuída de eletricidade em plantas de pequenas e médias escalas - residências ou comércios.

Portanto, ao comparar as simulações financeiras, referentes aos dois tipos de sistemas fotovoltaicos abordados neste trabalho, realizadas por meio da empresa Blue Sol, pode-se concluir que para um consumo médio mensal de R\$ 250,00 seria necessário uma produção de energia mensal estimada em 232 kWh, através de cinco módulos fotovoltaicos, com a potência de pico do sistema equivalente à R\$ 1.825 kWp.

Entretanto, pode-se perceber que o sistema fotovoltaico ON-Grid tem um custo financeiro inferior, se comparado ao sistema fotovoltaico OFF-Grid, tendo em vista que os sistemas isolados utilizam controlador de carga e baterias como equipamentos para controle e armazenamento de energia e, por isso, houve um acréscimo no valor destes sistemas.

Desta forma, a energia elétrica proveniente dos sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid é de suma importância para os consumidores que preocupam-se com o desenvolvimento de um mundo mais sustentável. Portanto, o tipo de sistema fotovoltaico deve ser escolhido de acordo com a necessidade do consumidor.

4.1.2 Análise socioambiental

4.1.2.1 *Demanda de mercado*

As secas que provocam crises de energia no setor elétrico brasileiro são recorrentes. Porém, a principal fonte de energia no país vem das hidrelétricas. Dessa maneira, pelo fato de esta fonte renovável de energia estar sujeita aos fatores climáticos, como os períodos de seca ou menor incidência de chuva, os níveis de água dos reservatórios podem atingir valores críticos e ocasionar insegurança energética. Assim, a oferta de energia diminui e, conseqüentemente, os preços da energia aumentam no país, devido às condições de geração.

Neste sentido, o risco hidrológico e o preço da energia estão diretamente relacionados

com o cálculo para acionamento das bandeiras tarifárias, em que parte dos valores pagos pelos consumidores, através da conta de energia, são repassados para compensar os custos extras de produção de energia em períodos de seca. Então, a diversificação da matriz energética no país torna-se essencial para suprir a presente e futura demanda por energia elétrica, além de reduzir os elevados ajustes tarifários.

Há que se ressaltar que o desenvolvimento e as relações da espécie humana deram-se por meio do uso de energia. Inicialmente, a humanidade, devido às suas necessidades, valia-se de formas mais simples de energias encontradas na natureza, tal como a força motriz dos ventos, rios, o uso de lenha, etc. Se por um lado a grande abundância na natureza de energias fósseis e seu preço inicialmente reduzido possibilitou ao homem um salto desenvolvimentista antes nunca visto, por outro lado, a crescente demanda por essas formas de energia também fez com que o preço subisse de forma avassaladora e as reservas fossem se esgotando, em virtude das necessidades de países industrializados em consumir energia em larga escala.

As crises energéticas no mundo decorreram, principalmente, devido ao crescimento demográfico da população mundial, bem como ao ritmo de progresso material da atualidade. Deve-se observar, porém, que o excessivo consumo de energia só pode ser mantido enquanto a oferta for capaz de atender a demanda.

A tabela 2 apresenta a proporção da população com acesso à energia elétrica no Brasil em domicílios, desde o ano de 2011 e esse acesso apresenta importantes questões críticas em todos os âmbitos do desenvolvimento sustentável, envolvendo uma ampla gama de impactos sociais e econômicos, incluindo a facilitação do desenvolvimento de atividades geradoras de renda baseadas no domicílio e o alívio da carga das tarefas domésticas.

A fórmula de cálculo utilizada pelo IBGE para encontrar a proporção da população com acesso à energia elétrica, em porcentagem, é:

$$[(\text{populacao que possui acesso à energia elétrica}) / (\text{total de população})] \times 100$$

Tabela 2 – Proporção da população com acesso à energia elétrica (%).

Brasil e Grande Região	Ano							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Brasil	99,3	99,5	99,6	99,7	99,7	99,0	99,0	99,0
Norte	98,2	98,0	98,0	98,0
Nordeste	99,6	99,0	99,0	99,0
Sudeste	100,0	99,0	100,0	99,0
Sul	99,9	99,0	100,0	99,0
Centro-Oeste	99,9	99,0	99,0	99,0

Fonte: IBGE, 2019.

Conforme BRASIL (2018), a população brasileira em 2018 foi estimada em, aproximadamente, 208 milhões de habitantes.

Portanto, de acordo com a tabela, em 2018, o Brasil apresentou 1% da população sem acesso à energia elétrica, cerca de 2 milhões de habitantes, o que indica que muitos brasileiros ainda não possuem uma qualidade de vida adequada.

A tabela 3 e a figura 14 mostram como a geração elétrica, por meio da fonte solar fotovoltaica, se destacou no ano de 2018, se comparada ao ano de 2017.

Tabela 3 – Geração Elétrica (GWh).

Fonte	2017	2018	Δ 18/17
Hidrelétrica	370.906	388.971	4,9%
Gás Natural	65.593	54.622	-16,7%
Biomassa ²	51.023	52.267	2,4%
Derivados do Petróleo ³	12.458	9.293	-25,4%
Nuclear	15.739	15.674	-0,4%
Carvão Vapor	16.257	14.204	-12,6%
Eólica	42.373	48.475	14,4%
Solar Fotovoltaica	832	3.461	316,1%
Outras ⁴	14.146	14.429	2,0%
Geração Total	589.327	601.396	2,0%

¹ Inclui geração distribuída

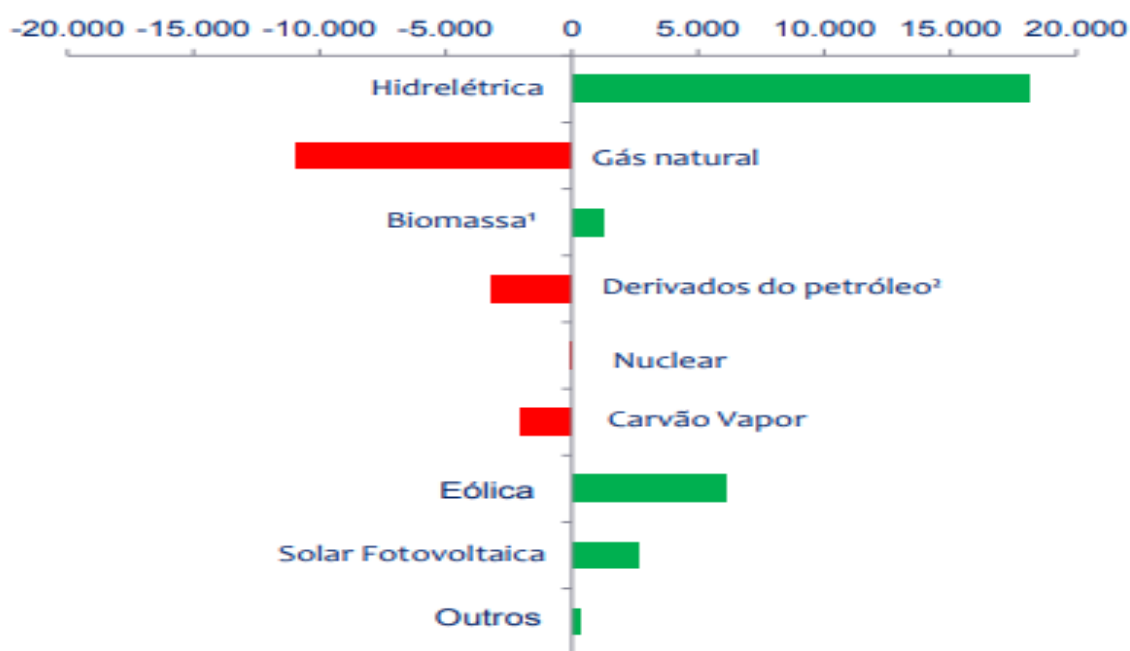
² Inclui lenha, bagaço de cana, biodiesel e lixo

³ Inclui óleo diesel e óleo combustível

⁴ Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

Fonte: BEN, 2019.

Figura 14 – Geração Elétrica (GWh).



Fonte: BEN, 2019.

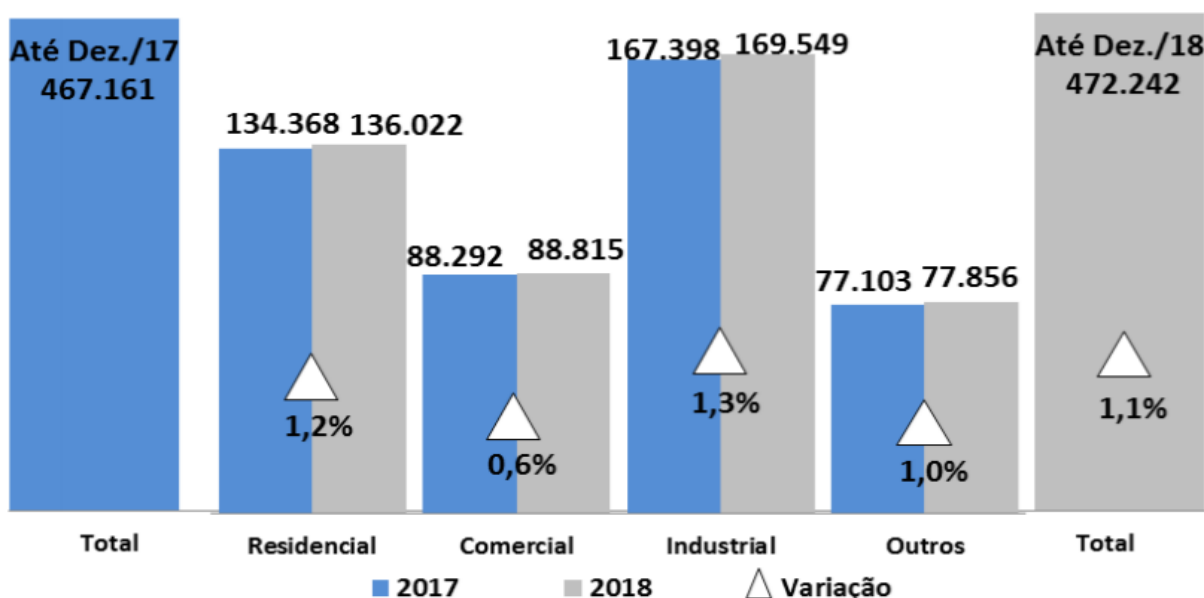
O expressivo aumento de geração solar fotovoltaica, apresentado nas figuras, foi de aproximadamente 316 %. Esse resultado revela que o Brasil está cada vez mais interessado em diversificar a matriz energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, a fim de preservar o meio ambiente. Mostra, principalmente, que a energia fotovoltaica está conquistando um lugar importante no setor energético do país. E, o total de geração elétrica no ano de 2018 foi de 601.396 GWh, representando um aumento de 2%, se comparado com o ano de 2017.

De acordo com as figuras 3 e 14, o ano de 2018 teve um forte recuo na oferta de derivados do petróleo, recuo na geração hidráulica e consequente aumento na geração térmica de eletricidade, bem como pequenos aumentos para produtos intensivos em energia e consumo de energia elétrica. Para todo o ano de 2018, a oferta total cresceu 2%. A participação de fontes renováveis deve continuar aumentando. A eólica teve um aumento de 14,4% na geração de energia elétrica. A energia solar está em um processo de forte incremento na matriz de oferta energética com 316,1%.

Pode-se perceber que, de modo geral, a demanda por energia elétrica vem aumentando no decorrer dos anos, principalmente, por meio de fontes de energias renováveis.

A figura 15 representa o mercado de eletricidade entre os anos de 2017 e 2018. O mercado de energia elétrica é apresentado no gráfico, no qual estão incluídos os consumos residencial, comercial, industrial e outros. É possível verificar que, no ano de 2017, o mercado de eletricidade teve um total de 467.161 GWh, enquanto que no ano de 2018 houve um aumento de 1,1%, o equivalente à 472.242 GWh. É perceptível, também, que todas as classes: residencial, industrial, comercial e outros apresentaram um acréscimo de 1,2%, 0,6%, 1,3% e 1,0%, respectivamente, em relação ao ano de 2017.

Figura 15 – Mercado de eletricidade em 12 meses - GWh.



Fonte: EPE - Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, 2019.

A matriz de produção de energia elétrica no sistema interligado nacional (SIN), dos anos 2017 e 2018, é apresentada na tabela 4, a qual mostra a evolução mensal e anual, bem como o valor acumulado nesses doze meses. É possível perceber que a fonte solar teve a maior evolução entre os anos 2017 e 2018, apresentando 184,1%. Os valores de produção incluem geração em teste e os dados foram contabilizados até dezembro de 2018.

O maior valor acumulado entre os meses de janeiro e dezembro de 2018 foi por meio da geração hidráulica, que correspondeu a 401.576 GWh do total gerado no país, valor 4,1% superior ao verificado no ano anterior. A participação da geração por fonte térmica na matriz de produção de energia elétrica do Brasil teve um valor acumulado em 13,3% inferior que o ano de 2017. Já a participação de usinas eólicas na matriz de produção de energia elétrica representou 14,3% de aumento no ano de 2018.

Tabela 4 – Matriz de produção de energia elétrica no sistema interligado nacional.

Fonte	Valor mensal					Acumulado 12 meses		
	Dez/17 (GWh)	Nov/18 (GWh)	Dez/18 (GWh)	Evolução mensal (Dez/18 / Nov/18)	Evolução anual (Dez/18 / Dez/17)	Jan/17-Dez/17 (GWh)	Jan/18-Dez/18 (GWh)	Evolução
Hidráulica	33.922	35.018	38.656	10,4%	14,0%	385.881	401.576	4,1%
Térmica	9.306	5.820	5.189	-10,8%	-44,2%	117.391	101.807	-13,3%
Gás	4.652	1.874	1.417	-24,4%	-69,5%	50.502	38.879	-23,0%
Carvão	1.280	359	454	26,6%	-64,5%	13.206	11.217	-15,1%
Petróleo *	519	395	627	58,6%	20,7%	10.609	7.905	-25,5%
Nuclear	1.239	905	1.275	41,0%	2,9%	14.475	14.406	-0,5%
Outros	238	178	183	2,7%	-23,0%	3.141	3.005	-4,3%
Biomassa	1.378	2.108	1.231	-41,6%	-10,6%	25.458	26.393	3,7%
Eólica	3.636	5.079	3.718	-26,8%	2,2%	40.960	46.819	14,3%
Solar	208	270	337	24,6%	61,9%	1.099	3.121	184,1%
TOTAL	47.072	46.186	47.899	3,7%	1,8%	545.330	553.322	1,5%

Fonte: EPE - Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, 2019.

A tabela 5 complementa a figura anterior, através dos dados de dezembro de 2017 e 2018 e dos doze meses entre esses anos. Além disso, apresenta o consumo total de energia elétrica por subsistema. Portanto, o subsistema Sudeste/Centro-Oeste foi o que mais consumiu energia elétrica, com 1,7% de aumento, se forem comparados os anos 2017 e 2018.

Tabela 5 – Consumo de energia elétrica.

REGIÃO/CLASSE	EM DEZEMBRO			ATÉ DEZEMBRO			12 MESES		
	2018	2017	%	2018	2017	%	2018	2017	%
BRASIL	39.771	39.577	0,5	472.242	467.161	1,1	472.242	467.161	1,1
RESIDENCIAL	11.519	11.441	0,7	136.022	134.368	1,2	136.022	134.368	1,2
INDUSTRIAL	14.001	14.124	-0,9	169.549	167.398	1,3	169.549	167.398	1,3
COMERCIAL	7.696	7.620	1,0	88.815	88.292	0,6	88.815	88.292	0,6
OUTROS	6.555	6.391	2,6	77.856	77.103	1,0	77.856	77.103	1,0
CONSUMO TOTAL POR SUBSISTEMA									
SISTEMAS ISOLADOS	237	249	-5,1	2.914	2.893	0,7	2.914	2.893	0,7
NORTE	2.669	2.987	-10,6	32.939	34.843	-5,5	32.939	34.843	-5,5
NORDESTE	6.262	6.274	-0,2	73.792	72.809	1,4	73.792	72.809	1,4
SUDESTE/C.OESTE	23.318	22.938	1,7	276.194	271.619	1,7	276.194	271.619	1,7
SUL	7.285	7.129	2,2	86.405	84.997	1,7	86.405	84.997	1,7

Fonte: EPE - Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, 2019.

Ainda, de acordo com a figura 5, o consumo de eletricidade industrial, entre um ano e outro, foi maior em 1,3%. Em seguida, a classe residencial teve um aumento de 1,2%, chegando ao valor de 136.022 GWh.

Em janeiro de 2019, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) registrou quatro recordes consecutivos de demanda por energia elétrica no país. Anterior a esses recordes, no ano de 2014, a demanda máxima chegou a 85.708 MW. Já no último recorde de 2019, a carga atingiu 90.525 MW. Esses altos valores de demanda devem-se às altas temperaturas registradas no país. Assim, com o intenso calor no país, faz com que haja um aumento do uso de chuveiros e aparelhos de ar condicionado. Porém, devido ao baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas e ao aumento do consumo de eletricidade, o sistema operou com restrições, devido às indisponibilidades de algumas usinas.

Com isso, eleva-se a complexidade da operação do sistema elétrico, que passa a depender de um número maior de termoeletricas em atividade e de grandes quantidades de energia sendo transferidas de uma região para a outra do país, a longas distâncias, devido aos baixos níveis dos reservatórios que continuam abaixo do esperado. Assim, se há uma queda em uma linha, fica difícil de suprir com outra que já esteja sendo totalmente usada. Por isso, o sistema energético brasileiro fica mais vulnerável a ter faltas e apagões, além de tornar-se mais complexo.

Neste sentido, os brasileiros estão cada vez mais buscando informações sobre energias alternativas, uma vez que o consumo de energia elétrica vem aumentando no Brasil. Assim sendo, uma solução para tais problemas está na diversificação da matriz energética brasileira. Recomenda-se o uso dos sistemas fotovoltaicos, principalmente por utilizarem a fonte renovável solar e, também, por produzirem muita energia nos horários de alta incidência solar, horários como os que houve maiores registros de demanda máxima.

Segundo a ANEEL (2019a) e de acordo com os dados atualizados até o momento da pesquisa, por meio de 87.306 Centrais Geradoras Fotovoltaicas (UFV), 109.088 Unidades Consumidoras (UCs) com geração distribuída receberam créditos. O total de potência instalada é de 925.355,28 kW.

Uma quantidade de 12.402 usinas, na modalidade autoconsumo remoto, fez com que 44.018 UCs recebessem os créditos, um total de 240.985,22 kW de potência instalada. Na modalidade geração compartilhada, uma quantidade de 284 usinas fez com que 1.215 UCs recebessem os créditos, um total de 24.627,71 kW de potência instalada.

Já na modalidade geração na própria UC, uma quantidade de 74.905 usinas fizeram com que 74.905 UCs recebessem os créditos, um total de 801.764,04 kW de potência instalada.

E, por fim, na modalidade múltiplas UC, uma quantidade de 730 usinas fez com que 201 UCs recebessem os créditos, um total de 628,17 kW de potência instalada (ANEEL, 2019b).

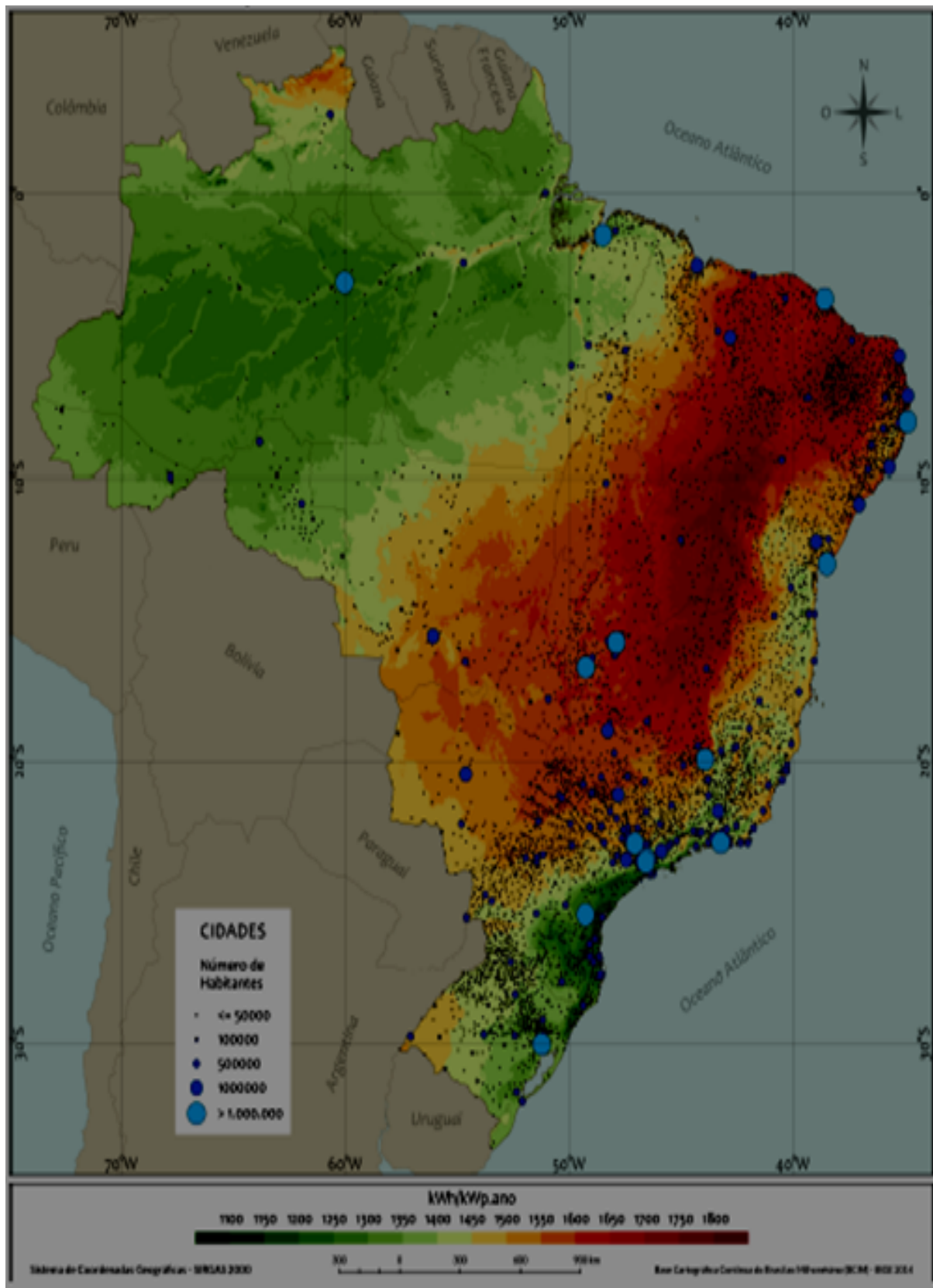
4.1.2.2 *Potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica*

Segundo o INPE (2017), o Brasil possui um grande potencial no que diz respeito à geração fotovoltaica de energia elétrica, conforme será mostrado no mapa da Figura 16. A título de exemplo, no local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha.

O mapa exibe o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano, para cada kWp de potência fotovoltaica instalada em todo o território brasileiro), referentes às usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, e à geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações.

Foi adotada uma taxa de desempenho médio anual de 80%, que representa o desempenho de um gerador fotovoltaico bem projetado e instalado com equipamentos de boa qualidade e etiquetado pelo INMETRO. A concentração populacional brasileira é também mostrada através dos círculos azuis espalhados pelo território nacional, conforme se verá a seguir:

Figura 16 – 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), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixo e distribuição da população brasileira nas cidades.



Segundo CRESESB-CEPEL (2008), as regiões desérticas são as mais providas de radiação solar, podendo ser citadas o deserto arábico, no Sudão, e o Deserto de Mojave, Califórnia, Estados Unidos. O Brasil pode ser comparado com tais regiões devido ao fato de os valores de radiação solar diária, médias mensais, máximas, mínimas e anuais se aproximarem uns dos outros. Na tabela 6, as áreas localizadas no Nordeste do Brasil se comparam com as melhores regiões do mundo, no que diz respeito aos valores de radiação solar diária, mensal e anual.

Tabela 6 – Regiões comparadas em nível de radiação.

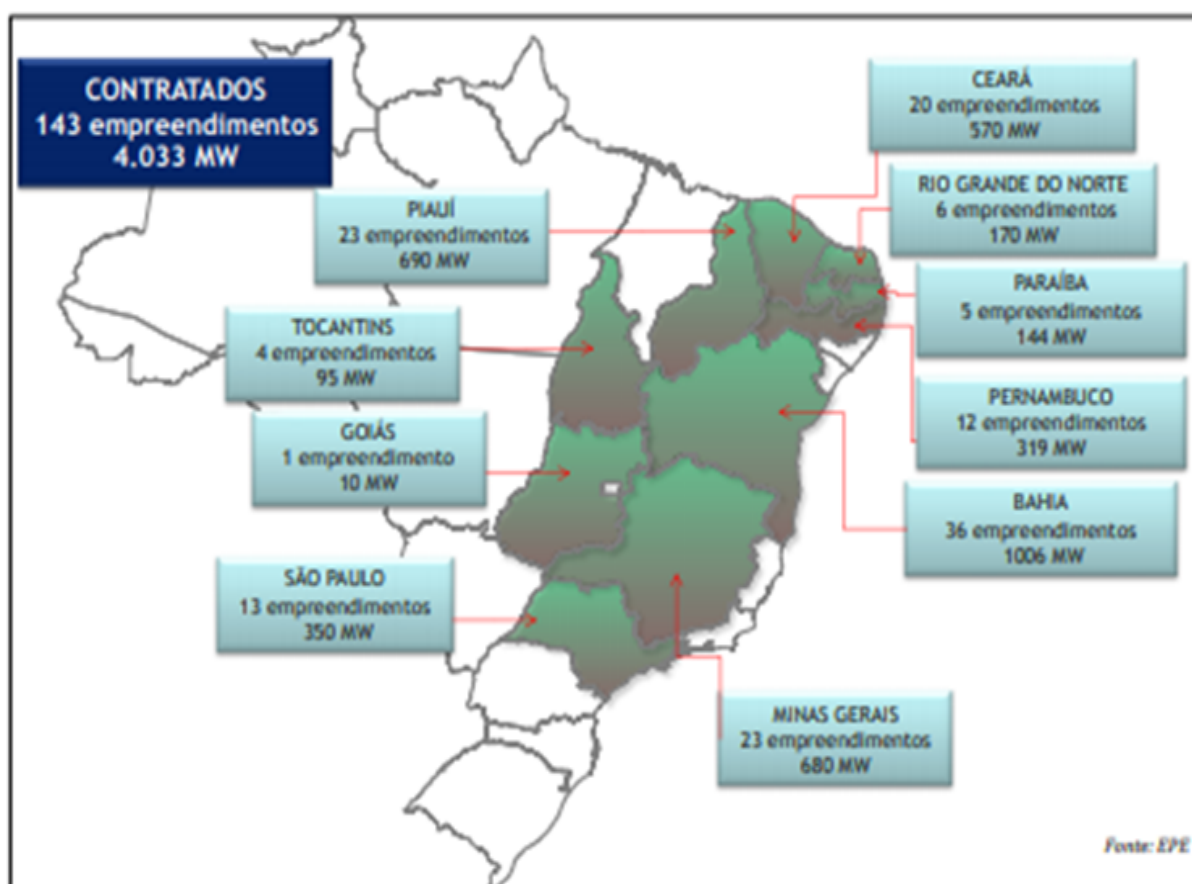
Localidade	Latitude	$H_{h(\text{mínimo})}$ (MJ/m ²)	$H_{h(\text{máximo})}$ (MJ/m ²)	$H_{h(\text{anual})}$ (MJ/m ²)	$H_{h(\text{max.})}/H_{h(\text{min.})}$
<i>Dongola-Sudão</i>	19°10'	19,1(Dez)	27,7(Mai)	23,8	1,4
<i>Dagget - USA</i>	34°52'	7,8(Dez)	31,3(Jun)	20,9	4,0
<i>Belém-PA-Brasil</i>	1°27'	14,2(Fev)	19,9(Ago)	17,5	1,4
<i>Florianópolis-PI-Brasil</i>	6°46'	17,0(Fev)	22,5(Set)	19,7	1,3
<i>Petrolina-PE-Brasil</i>	9°23'	16,2(Jun)	22,7(Out)	19,7	1,4
<i>B. J. da Lapa -BA-</i>	13°15'	15,9(Jun)	21,1(Out)	19,7	1,3
<i>Cuiabá-MT-Brasil</i>	15°33'	14,7(Jun)	20,2(Out)	18,0	1,4
<i>B. Horizonte-MG-Brasil</i>	19°56'	13,8(Jun)	18,6(Out)	16,4	1,3
<i>Curitiba-PR-Brasil</i>	25°26'	9,7(Jun)	19,4(Jan)	14,2	2,0
<i>P. Alegre-RS-Brasil</i>	30°1'	8,3(Jun)	22,1(Dez)	15,0	2,7

Fonte: CRESESB - CEPEL.

Com o intuito de atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, muitos empreendimentos são contratados por meio de leilões de energia, em que as contratações iniciaram-se nos leilões de energia e reserva de 2014. A figura 17 mostra que, até o ano de 2018, 143 empreendimentos foram contratados e a capacidade instalada desse conjunto de usinas é 4.033 MW, localizadas principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil.

De acordo com estimativas, em média, o Nordeste representa 75% do total de usinas registradas, em que a Bahia possui o maior número de projetos cadastrados (EPE, 2018c).

Figura 17 – Localização dos empreendimentos solares fotovoltaicos contratados nos leilões de energia.



Fonte: EPE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2027.

Até 2030, o programa ProGD pode movimentar mais de 100 bilhões em investimentos, em que 2,7 milhões de UCs poderão gerar a própria energia, seja em residências, comércios, indústrias, bem como no setor agrícola. O resultado poderá ser: 23.500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da usina hidrelétrica de Itaipu. Com isso, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera.

Conforme a ANEEL, até 2024, aproximadamente um milhão e duzentos mil geradores de energia solar serão instalados em casas e empresas do Brasil. Esse número representa 15% da matriz energética brasileira. Além disso, até o ano de 2030, o mercado de energia fotovoltaica deverá movimentar cerca de R\$ 100 bilhões.

O Brasil, muitas vezes, possui um potencial de energia solar fotovoltaica mais elevado que o consumo total de energia elétrica do país. Este potencial pode ser comparado com a usina hidrelétrica de Itaipu, que contribui com cerca de 25% da energia elétrica consumida no país. Como exemplo, ao cobrir toda a parte alagada de Itaipu (lago artificial de 1350 km² localizado na fronteira Brasil-Paraguai) com módulos solares fotovoltaicos,

seria possível gerar o dobro da energia gerada por Itaipu, o que equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil.

Portanto, o potencial de energia disponível em um país está relacionado ao crescimento econômico e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de uma sociedade. Dessa maneira, a matriz energética deve ser diversificada com recursos naturais renováveis, já que em um país em que há predominância de uma fonte é possível que haja maior dependência por esta fonte. Por este motivo, é necessário ampliar a oferta de energias renováveis.

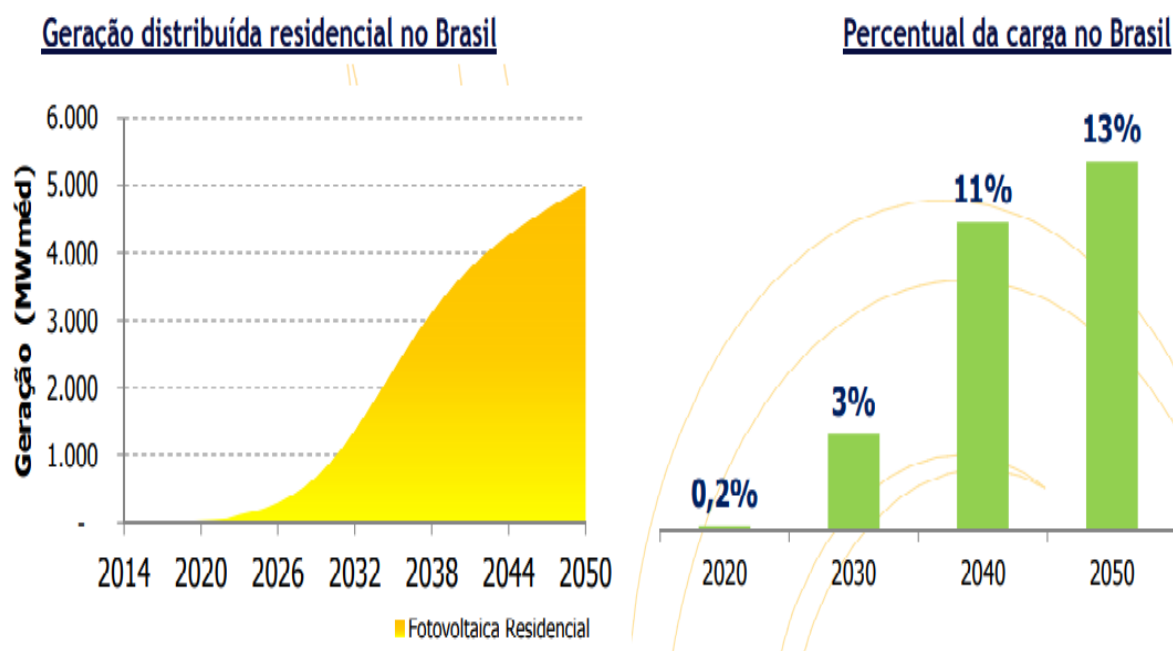
Conforme a pesquisa Ibope Inteligência de 2018, 89% dos brasileiros quer gerar energia renovável em casa e, de acordo com a pesquisa DataFolha de 2016, 79% dos brasileiros quer instalar energia solar fotovoltaica em casa, caso se tenha financiamento disponível. Para isso, as empresas devem adaptar-se à nova realidade e às expectativas do consumidor.

Vale afirmar que na Austrália e nos Estados Unidos são mais de 2 milhões de sistemas de geração distribuída solar fotovoltaica junto aos consumidores. Na Austrália, uma em cada cinco residências gera energia elétrica limpa, renovável e barata no próprio telhado, através do sol, havendo, assim, maior avanço da democratização da geração solar fotovoltaica distribuída.

No Brasil, de acordo com EPE (2014), até 2050, devem ser instalados mais de 33 GWp no setor residencial, cerca de 13% da carga do setor. São cerca de 15 milhões de domicílios ou 18% do total potencial, como mostra a figura 18.

A tabela 7 mostra uma estimativa de investimentos no setor de eletricidade no período 2018-2027. A oferta de eletricidade por meio da geração centralizada terá investimento de 226 bilhões de reais, ao passo que a geração distribuída terá 60 bilhões de reais investidos na transmissão. Porém, o maior investimento ainda será em petróleo e gás natural, com um valor de 1.382 bilhões de reais em investimento.

Figura 18 – Geração fotovoltaica distribuída.



Fonte: EPE - PNE 2050.

Tabela 7 – Síntese das estimativas de investimentos.

	R\$ bilhões	
	Período 2018-2027	%
Oferta de Energia Elétrica	393	21,7%
Geração Centralizada ⁽¹⁾	226	12,4%
Geração Distribuída (Micro e Minigeração)	60	3,3%
Transmissão ⁽²⁾	108	5,9%
Petróleo e Gás Natural	1.382	76,1%
Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural	1.340	73,8%
Oferta de Derivados de Petróleo	34	1,8%
Oferta de Gás Natural	8	0,4%
Oferta de Biocombustíveis Líquidos	41	2,3%
Etanol – Usinas de produção	34	1,9%
Etanol – Infraestrutura dutoviária e portuária	4	0,2%
Biodiesel – Usinas de produção	3	0,2%
TOTAL	1.816	100%

Notas: (1) Inclui estimativas de investimentos em usinas já concedidas e autorizadas, entre elas, as usinas com contratos assinados nos leilões de energia nova.

(2) Inclui instalações já licitadas que entrarão em operação no período decenal.

(3) Taxa de câmbio referencial: R\$ 3,31 / US\$ (comercial – fim de período, média de compra e venda, dezembro/2017).

Fonte: EPE, 2018.

4.1.2.3 *Impacto socioambiental*

Atualmente, muitas mudanças no meio ambiente são vivenciadas pelos seres humanos, a exemplo de variações naturais como terremotos, inundações, furacões e queimadas. Essas mudanças, causadas também pela ação do homem, estão relacionadas à má utilização dos recursos naturais, principalmente os energéticos, que são mais evidenciados em países industrializados, bem como ao aumento populacional.

As crises de petróleo são exemplos do quão é importante diversificar a matriz energética. Na década de 70, o crescente consumo de petróleo e seus derivados por grande parte do mundo fez com que países compradores e dependentes dessa energia, vinda principalmente de países árabes, tivessem que comprar petróleo com o preço 400% mais elevado. A partir dessa crise, os países dependentes dessa fonte começaram a mudar as políticas energéticas, para que crises como essa não ocorressem novamente.

De acordo com o relatório divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), as emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) aumentaram novamente em 2017 após um hiato de três anos, destacando o imperativo dos países em cumprir o histórico Acordo de Paris para manter o aquecimento global abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais.

O gás de CO_2 que retém o calor na atmosfera é amplamente responsável pelo aumento das temperaturas globais. No ano de 2016, o setor de energia foi responsável pela emissão de 423,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e), o que correspondeu a 19% do total anual de emissões no Brasil. Já o setor de Processos Industriais e Uso de Produtos foi responsável por 4% das emissões brasileiras, o que equivale a 95,6 milhões de toneladas de CO_2e .

Atualmente, a realização do planejamento energético conta com a preocupação com o meio ambiente, assim como em minimizar os impactos socioambientais. Devido à grande participação de fontes renováveis na matriz energética, as emissões de GEE por unidade de energia consumida no Brasil são pequenas, se comparadas com a de outros países. Contudo, o país ainda tem um caminho longo a percorrer para atingir padrões socioeconômicos comparáveis aos de países desenvolvidos.

Por esse motivo, o consumo de energia *per capita* deverá aumentar consideravelmente até 2030 e não é esperada tendência de redução das emissões do setor de energia. As emissões do setor serão crescentes, mesmo contando com ampla participação de fontes renováveis.

O Brasil se destaca por já possuir, atualmente, uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis, realidade verificada em poucos países no mundo. Isso significa que as emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia consumida no Brasil são pequenas, se comparadas com outros países.

Segundo o EPE (2006-2007), até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão gerar a própria energia, o que pode resultar em 23.500 MW (48 TWh produzidos)

de energia limpa e renovável, o que representa a metade da geração da usina hidrelétrica de Itaipu.

Desse modo, o Brasil pode evitar que 29 milhões de toneladas de CO_2 sejam emitidos na atmosfera. Assim sendo, entende-se que fontes mais poluentes, como térmicas a combustíveis fósseis, deixarão de ser utilizadas.

Os impactos socioambientais referentes à produção de energia elétrica estão sendo discutidos mundialmente. Isso deve-se ao fato de grandes concentrações de GEE impactarem, negativamente, na vida dos seres vivos (GOLDEMBERG; LUCON, 2011).

Segundo a nota técnica da EPE (2017a) sobre a análise socioambiental das fontes energéticas do Planejamento e Desenvolvimento Energético (PDE) 2026, a utilização da energia solar fotovoltaica não traz malefícios para o meio ambiente, uma vez que não há emissão de poluentes NO_x , SO_2 , CO , bem como gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O e outros).

Ainda, de acordo com a nota técnica supracitada, no processo de fabricação dos sistemas fotovoltaicos, a criação de empregos impacta positivamente na população. De maneira contrária, há impactos negativos, como os associados à indústria de transformação e de extração mineral, que podem ser intensificados com o crescimento na demanda de fabricação de células fotovoltaicas.

Porém, alguns impactos da geração fotovoltaica - relacionados ao uso e ocupação do solo - estão associados à construção das usinas, movimentação de terra, bem como implantação de vias de acesso. De maneira complementar, cabe ressaltar que podem ocorrer algumas interferências sobre a fauna e a flora, se as usinas demandarem uma supressão vegetal significativa, bem como gerar impactos negativos na paisagem. Outro aspecto importante é o local de instalação das usinas, uma vez que o excesso de poeira e vento haverá a necessidade de uma limpeza diferenciada dos painéis, por meio da adoção de novas tecnologias e processos ou de maior consumo de água.

Com o progresso da industrialização ao longo dos anos, de maneira cada vez mais intensa, a tecnologia atualiza-se e contribui, devido ao consumismo infrene, para que se gere mais resíduos no meio ambiente. Vale salientar, pois, sobre o descarte de painéis solares, tendo em vista o impacto ambiental que os componentes de tais painéis podem causar. O sistema de geração de energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas é uma tendência de crescimento mundial. Neste sentido, aumentará gradativamente o lançamento de resíduos no ambiente, o que provavelmente acarretará um sério problema ambiental.

O rápido crescimento dos sistemas fotovoltaicos estabelece preocupações no sentido do impacto que esses sistemas possam gerar ao meio ambiente. Um desses impactos está relacionado ao ciclo de vida de um sistema fotovoltaico causado durante e após a vida útil do produto, em que envolve a quantidade de energia demandada pelo produto e a quantidade de material, além da quantidade de poluentes e resíduos emitidos durante o uso, bem como após a validade desses sistemas - geralmente, em torno de 25 anos. Por

isso, a importância de se estudar os impactos socioambientais referentes ao futuro descarte desses materiais fotovoltaicos no meio ambiente.

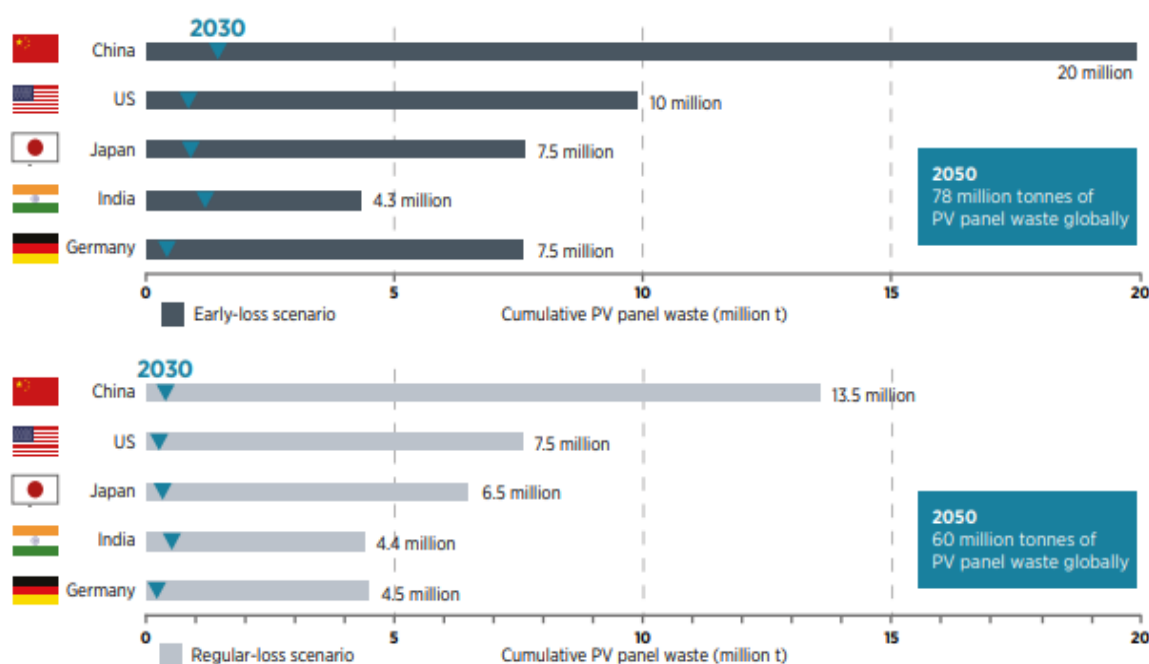
Brouwer et. al. afirmam que a energia solar apresenta a oportunidade de gerar eletricidade limpa, o que pode levar a um estilo de vida sustentável. Contudo, processos de fabricação estabelecidos na indústria eletrônica estão criando quantidades alarmantes de resíduos perigosos no fim do ciclo de vida de seus produtos.

Sob o ponto de vista da produção de células fotovoltaicas, cabe afirmar que é necessária a utilização de diversos gases e químicos para a sua produção. Atualmente, o controle de produção das células é alto e estas são produzidas em um ambiente controlado e todos os resíduos são tratados. Desta forma, nos tempos atuais, o impacto ambiental das células é muito baixo.

Entretanto, de acordo com IRENA (2016), no cenário de perda regular, o desperdício de painéis fotovoltaicos corresponde a 43.500 toneladas no final de 2016 com um aumento projetado para 1,7 milhão de toneladas em 2030. Uma subida drástica esperada até 2050 de, aproximadamente, 60 milhões de toneladas, conforme mostra a figura 19.

Já a projeção do cenário de perda antecipada, estima maiores fluxos de resíduos fotovoltaicos totais com 250.000 toneladas até o final de 2016. Esta estimativa aumentaria para 8 milhões de toneladas em 2030 e 78 milhões de toneladas em 2050. Isso ocorre porque o cenário de perda antecipada pressupõe maior porcentagem de falhas no painel FV se comparado ao cenário de perda regular.

Figura 19 – Volumes cumulativos estimados de resíduos de painéis fotovoltaicos no final de vida pelos cinco principais países em 2050, por cenário de perda antecipada e cenário de perda regular.



Fonte: IRENA, 2016.

Ainda, de acordo com IRENA (2016), sobre o aumento do volume de resíduos em 2030-2050: o aumento mundial na implantação de FV e as taxas médias de vida e falha para painéis, volumes de resíduos certamente aumentarão mais rapidamente até 2030. Considerando-se que em 2030 os três principais fabricantes de painéis fotovoltaicos devem incluir a China, a Alemanha e o Japão. Pois, então, a China ainda está prevista para ter acumulado a maior quantidade de resíduos (13,5-20 milhões de toneladas).

No entanto, a Alemanha é ultrapassada pelos EUA (7,5-10 milhões de toneladas), o Japão é o próximo (6,5-7,5 milhões toneladas) e a Índia segue (4,4-7,5 milhões toneladas). A perda regular e estimativas de resíduos com perda precoce pelos cinco principais países em 2030 e 2050.

A responsabilidade pela gestão de resíduos no final da vida com atividades a jusante (geração de resíduos, coleta, transporte, tratamento e eliminação) são tipicamente abrangidos pelas três principais partes interessadas apresentadas abaixo:

- sociedade: o gerenciamento do final de vida desses componentes dos sistemas FV deve ser realizado por sociedade em conjunto com organizações governamentais, a fim de controlar a gestão de operações, financiadas por impostos. Isso poderia gerar receita para os municípios e eliminar os custos fixos de construir uma nova infra-estrutura, proporcionando benefícios de economia em escala. Os inconvenientes podem incluir a falta de concorrência e otimização de custos mais lenta.

- consumidores: consumidor que produz a própria energia elétrica por meio de painéis e o lixo é responsável pela gestão do fim da vida desses componentes, incluindo o tratamento e eliminação apropriados de painéis. O consumidor pode tentar minimizar custos, o que pode ter um efeito negativo sobre o desenvolvimento de uma boa coleta de resíduos e tratamento. Esta abordagem permanece atualmente a estrutura dominante na maioria dos países para o gerenciamento do painel fotovoltaico no fim da vida.
- produtores: o gerenciamento do final de vida é baseado na responsabilidade do produtor ampliado. Isso mantém os produtores fisicamente e financeiramente responsáveis pelo impacto de seus produtos no meio ambiente até o final da vida útil e fornece incentivos para o desenvolvimento de produtos com menores impactos ambientais. Este princípio também pode ser usado para criar fundos para financiar coleta, tratamento e reciclagem adequados e sistemas de eliminação.

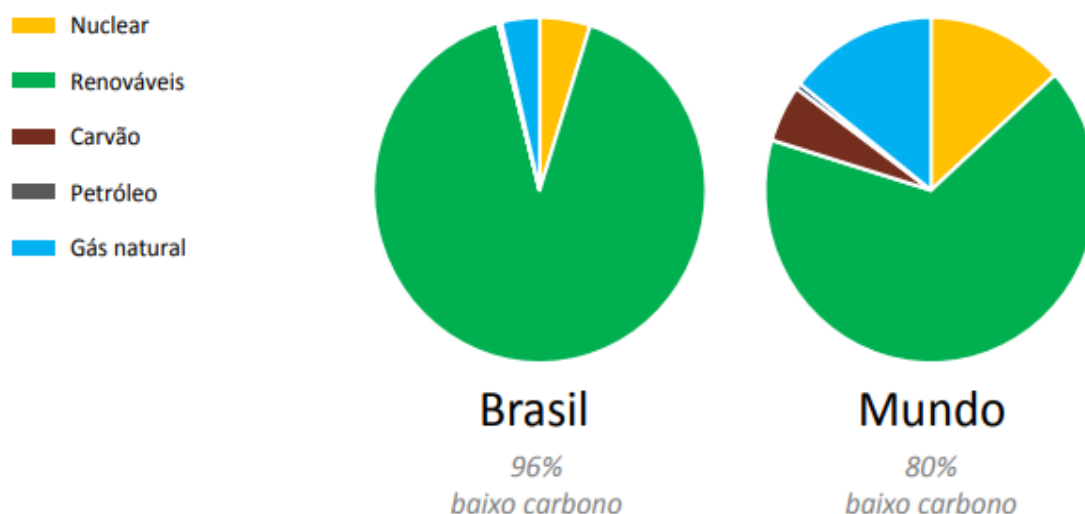
Portanto, a eliminação segura de painéis solares sugere o desmantelamento de painéis solares de uma maneira que nenhum material nocivo seja liberado para o meio ambiente. Então, em termos de solução, cabe ressaltar que as empresas deverão comprometer-se a descartar tais resíduos de maneira pertinente, tendo-se em vista que os equipamentos são danosos ao meio ambiente, por isso a importância de se reciclar esses materiais.

Com o propósito de se reduzir as poluições faz-se necessária, portanto, a diversificação da matriz energética, através de pesquisas ou investimentos em tecnologias que utilizem recursos naturais renováveis, bem como estudos ambientais realizados na fase de licenciamento ambiental do projeto. Para tanto, é de fundamental importância a valorização em relação aos baixos impactos - baixa emissão de GEE - causados pelo sistema fotovoltaico.

Além disso, a geração de energia solar limpa e renovável é importante para que o país atinja as metas assumidas na COP21. No acordo assinado no final de 2015, o país se comprometeu a expandir o uso doméstico de energia gerada por fontes renováveis, além da energia hídrica, para ao menos 23% da matriz elétrica até o ano de 2030.

De acordo com a figura 20, as energias de baixo carbono - renováveis e nuclear - aumentarão a participação na matriz de geração elétrica brasileira até o ano de 2040. O Brasil terá 96% de energias de baixo carbono, visto que a maior área apresentada no gráfico é de energias renováveis. Em contrapartida, o mundo terá 80% de energias de baixo carbono.

Figura 20 – Matriz de Geração Elétrica 2040.



Fonte: EPE, 2019.

No entanto, a natureza, fonte de recursos primários do sistema energético, se explorada, provoca impactos socioambientais que, para serem amenizados, são necessárias práticas sustentáveis no setor energético, uma vez que as mudanças climáticas caracterizam ameaças para a humanidade e para o planeta. Assim, é importante a participação de todos os países com o propósito de reduzir, cada vez mais, as emissões globais de gases de efeito estufa.

Alguns dos benefícios da energia solar fotovoltaica para o Brasil são:

- geração de energia limpa, renovável e sustentável;
- contribuição para as metas de redução de emissões do país;
- a não emissão de gases, líquidos ou sólidos durante a operação;
- a não geração de ruídos.

Portanto, a energia elétrica por meio da fonte solar não é apenas limpa e renovável, mas também mais competitiva, ampliando a diversificação do suprimento elétrico brasileiro, uma vez que o país é muito dependente de hidrelétricas e termelétricas fósseis. Por isso, os sistemas fotovoltaicos são um alívio para os reservatórios hídricos, além de reduzir a pressão para outros usos estratégicos, como suprimento humano, agricultura, irrigação e processos industriais. De forma complementar, reduz o acionamento de termelétricas fósseis, mais caras e poluentes, além de ajudar a diminuir os altos custos de energia elétrica para os consumidores e de colaborar na mitigação dos impactos do aquecimento global.

4.1.2.4 *Sustentabilidade*

O processo em que se avalia e reavalia as relações entre a sociedade e o meio ambiente ou, ainda, o desenvolvimento que atenda as necessidades do presente, sem que se comprometam as próprias necessidades das gerações futuras são conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável. Em 1987, o termo desenvolvimento sustentável surgiu no relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - Relatório Brundtland.

No ano de 1992, o termo foi exposto na II Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento humano - RIO 92 - e, posteriormente, o termo foi disseminado com o propósito de regulamentar o desenvolvimento sustentável e inserir o conceito globalmente. Além das supracitadas iniciativas, o Protocolo de Kyoto, criado em 1997, derivou-se da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Conferência das Partes III. O Protocolo de Kyoto é compreendido enquanto um tratado internacional, o qual tem como objetivo estabilizar as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

A fonte de energia que vem do sol complementa outras fontes renováveis de energia e traz benefícios ambientais, tais como: menor poluição, contribuição para redução de emissões, benefícios econômicos (investimentos, diversificação setorial, forte impacto na indústria, comércio e serviços), além de benefícios sociais (geração de empregos de boa qualificação e de renda). Trata-se de indústria avançada tecnologicamente e com estreita relação com outros segmentos (eletrônico, químico, vidros, etc.).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a partir de dados internacionais, a energia solar fotovoltaica é a maior geradora de empregos renováveis no mundo: de 25 a 30 empregos diretos para cada MW instalado por ano, nas áreas de instalação, fabricação, vendas e distribuição, desenvolvimento de projetos e outros (ABSOLAR, 2017).

O uso de recursos naturais é essencial para o crescimento e, também, para o progresso de um país. Deste modo, este desenvolvimento está atrelado à inovação e às tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais. Neste sentido, o desenvolvimento sustentável está totalmete associado ao setor energético, uma vez que a energia é essencial para os desenvolvimentos socioeconômico e ambiental.

Diante disso, a inserção de fontes renováveis de energia tornou-se um meio sustentável para a diminuição de impactos no meio ambiente. Contudo, segundo SACHS, I. (1986), o crescimento econômico, bem como o ritmo de produção e inserção de matérias-primas, responsáveis pelos desequilíbrios ambientais, deve ser bem distribuído para que o desenvolvimento sustentável seja progressivo. Nesse contexto, Sachs define os principais aspectos para direcionar o desenvolvimento, quais sejam:

- satisfação das necessidades básicas;

- pensamento e solidariedade com as gerações futuras;
- participação da população envolvida;
- preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral;
- elaboração de emprego garantido, segurança social e respeito cultural;
- programas de educação.

Portanto, para satisfazer as necessidades básicas são indispensáveis medidas que combatam as rápidas mudanças climáticas. Essas mudanças estão atreladas ao desenvolvimento, tendo em vista que todo ser humano depende de recursos naturais para existir. Por isso, a preocupação com a qualidade de vida se torna tão importante nos dias de hoje, uma vez que ainda há um alto consumo de energia e de recursos naturais finitos e, para aproveitá-los, é preciso erradicar a extrema pobreza e melhorar a saúde e o bem-estar das pessoas, por meio de ações mais eficientes que facilitem a vida das pessoas, sempre respeitando o meio ambiente.

Para isso, é necessário haver pensamentos e, por conseguinte, ações solidárias com as gerações futuras, além de se reconhecer que a mudança climática é uma preocupação comum da humanidade, isto é, deve haver, principalmente, harmonia entre a natureza e os seres humanos.

É de suma importância a utilização de fontes renováveis como forma de garantir a sobrevivência das gerações futuras, a fim de não colocar em risco a saúde na Terra. Sob esta ótica, compreende-se que o cidadão que consome produtos e serviços, de forma consciente e sustentável, contribui com o meio ambiente sem prejudicar a geração atual e as futuras (CEMIG, 2012).

É de grande relevância, pois, a participação da população, incluindo a sociedade civil, o setor privado, as instituições financeiras, as cidades e outras autoridades subnacionais, as comunidades locais e os povos indígenas, a fim de se defender e promover o desenvolvimento sustentável e a diminuição de GEE no meio ambiente.

E, vale afirmar que, para a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, em geral, são necessários modelos de desenvolvimento, a fim de que sejam reestruturados os estilos de vida das ricas nações, bem como a economia mundial. Além disso, o apoio governamental para ações de desenvolvimento sustentável é crucial.

O desenvolvimento sustentável proporciona geração de empregos, segurança social e respeito cultural, uma vez que há a promoção do crescimento econômico. Neste contexto, a geração distribuída utiliza fontes alternativas e de energia limpa; devido a isso, a matriz energética torna-se mais diversificada, o que proporciona geração de empregos para o desenvolvimento de um novo mercado e de cadeias produtivas industriais para atender à demanda por equipamentos, tais como instalação e manutenção de geradores solares.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a cada 1 MW de energia solar fotovoltaica instalada, seja centralizada ou distribuída, são proporcionados 25 a 30 empregos diretos, e a expansão da Geração Distribuída poderá contribuir para dinamizar e aquecer as economias de municípios, Estados e a União.

De acordo com um levantamento da ABSOLAR, a partir de dados oficiais, atualmente, são mais de 2.000 MW em usinas de geração centralizada solar fotovoltaica em operação no Brasil. O número representa mais de R\$ 10 bilhões em investimentos privados atraídos ao Brasil desde 2014, que viabilizaram a geração de mais de 50 mil novos empregos locais qualificados pelo setor nas regiões onde os projetos foram implantados.

Nestes contextos, programas educacionais são importantes para que haja desenvolvimento sustentável, uma vez que a participação da população para que esse desenvolvimento seja atingido é uma maneira direta e funcional, a fim de que seja possível preservar os recursos naturais.

Atualmente, a fonte apresenta um dos preços mais competitivos para a geração de energia limpa e renovável no mercado elétrico brasileiro e, além disso, promove o alívio financeiro das famílias e o aumento da competitividade do setor produtivo no país.

Sob tal perspectiva, a produção de energia renovável tem como propósito: a sustentabilidade, a geração de emprego e a renda nas comunidades, a segurança energética, além do maior controle sobre o insumo energia (qualidade, quantidade no tempo certo e preço conhecido). Além disso, a produção de energia renovável tem como objetivo ter um diferencial competitivo, promover a inclusão e a democratização energética.

4.1.2.5 *Principais incentivos no Brasil*

O Brasil é um país rico em fontes renováveis. Entretanto, para que o país se desenvolva, no que concerne ao aumento da utilização dessas fontes, são necessários incentivos regulatórios como forma de estimular o uso de fontes limpas, a exemplo de programas governamentais, de normas técnicas, bem como de incentivos financeiros e/ou fiscais. Esses incentivos proporcionam ao país fontes alternativas mais baratas de energia limpa, tal como a energia fotovoltaica que utiliza o recurso solar.

De acordo com a ANEEL (2015a), no mercado atual ainda não há muitos estímulos para que haja uma competição direta entre as empresas. Para que isso ocorra, a inovação e a eficiência em setores regulados devem ser promovidas através do desenvolvimento de parcerias estratégicas.

Afirma-se, também, que uma importante ferramenta na formulação de políticas públicas é a convergência de interesses e estratégias acerca de produtos e soluções que atendam a interesses específicos do setor energético, sem desconsiderar as demandas e as necessidades dos consumidores e da sociedade.

Neste sentido, compreende-se que a ANEEL tem firmado acordos de cooperação ou, ainda, utilizado algum instrumento similar ou equivalente a vários órgãos do governo e

instituições nacionais, por meio de parcerias estratégicas. E, portanto, acredita-se que o esforço conjunto entre empresas de energia elétrica, indústria e academia são ferramentas importantes para o desenvolvimento.

Neste contexto, o acordo de cooperação técnica entre a ANEEL e o MMA, representado pela Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental (SMCQ/MMA), tem como propósito reduzir as emissões de gases de efeito estufa, por meio da promoção da eficiência energética e das energias renováveis.

O principal tema previsto no acordo é o projeto de eficiência energética na sede da ANEEL. Um dos projetos abrange os sistemas de iluminação e ar condicionado e planta de geração de energia solar fotovoltaica. Assim, este projeto pode ser utilizado como referência para instituições públicas e privadas, como boas práticas para combater o desperdício de energia e, ainda, servir de exemplo de implantação de central geradora de energia solar fotovoltaica.

Já o plano de ação conjunta inova energia tem como finalidade coordenar ações de desenvolvimento em inovação e aprimorar a integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pelo BNDES, ANEEL e, também, pela FINEP, com os propósitos de se fomentar o seguinte:

- apoio ao desenvolvimento e ao aumento de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (*smart grids*), no Brasil;
- apoio às empresas brasileiras, referente ao desenvolvimento e ao domínio tecnológico das cadeias produtivas de energias renováveis alternativas, quais sejam: solar fotovoltaica e eólica, para geração de energia elétrica;
- apoio às iniciativas de promoção do desenvolvimento de integradores e adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos elétricos e híbridos a etanol, assim como melhoria de eficiência energética de veículos automotores no país;
- aumento da coordenação das ações de fomento e aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis.

Vários programas de incentivo à aquisição de tecnologia são fomentados nos dias de hoje e, com isso, são oferecidas diversas condições facilitadas para indústrias e pessoas físicas, que tem o propósito de adquirir sistemas de captação de energia solar.

Neste sentido, o Prêmio ECO, um dos mais importantes do país na área de sustentabilidade empresarial, promovido pela Câmara Americana de Comércio para o Brasil (AMCHAM), premiou em duas categorias: ‘Sustentabilidade em Processos’ e ‘Sustentabilidade em Produtos ou Serviços’. A CELESC venceu na categoria Produtos - Empresas de Grande Porte com o Projeto Bônus Fotovoltaico, que faz parte do Programa Eficiência Energética CELESC e foi operacionalizado pela ENGIE, Geração de Energia Fotovoltaica.

O objetivo deste projeto foi incentivar a geração residencial de energia solar, por meio da instalação de sistemas completos de produção de energia solar fotovoltaica em até mil residências. Os participantes beneficiaram-se com bônus de 60% na aquisição de um sistema fotovoltaico e cinco lâmpadas de LED.

Em 2015, o MME lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), a fim de estimular os consumidores a gerar energia por meio de fontes renováveis (em especial a solar fotovoltaica), além de reduzir gastos com a eletricidade.

Outro importante incentivo no Brasil é através de leilões de energia renovável, que tem como propósito viabilizar a regulamentação do mercado de energia renovável para inserir fontes de energia renováveis no mercado de energia elétrica do país. Empresas privadas participam dos leilões, com o intuito de conseguir licitação para vender projetos que permitam utilizar os recursos naturais nos sistemas energéticos.

De acordo com a EPE, a realização de leilões para expansão da oferta de energia elétrica foi um mecanismo introduzido na reforma do setor elétrico e consolidado com a efetiva participação de várias instituições do Setor Elétrico Brasileiro. Esses leilões foram introduzidos em 2004 e possuem como objetivo o aumento de competitividade entre os empreendedores, além de minimizar os custos do sistema elétrico.

Nos anos 2014 e 2015, a realização de leilões de energia de reserva (LER) proporcionou mais de 3 GW leiloados/contratados. Com isso, criou-se uma demanda inicial para o estabelecimento e desenvolvimento de uma cadeia produtiva do setor no Brasil. Em 2017, foi realizado um leilão de energia nova (LEN), que contratou mais 574 MW em energia fotovoltaica. No Leilão A-4, dezessete distribuidoras contrataram 298,7 MW médios, o que corresponde a uma capacidade instalada de 1.024,5 MW. Esses contratos são provenientes de quatro empreendimentos hidrelétricos (19,7 MW médios), dois empreendimentos termelétricos movidos à biomassa de cana de açúcar (17,1 MW médios), quatro eólicos (33,4 MW médios) e 29 fotovoltaicos (228,5 MW médios / 1.032,55 MWp).

Projetos de energia solar demandam um alto capital inicial. Para facilitar a realização de sistemas fotovoltaicos, o Brasil conta com o BNDES, uma importante empresa de financiamento. O Finame (financiamento de máquinas e equipamentos) é realizado pelo BNDES e tem como objetivo financiar as aquisições e comercializações de sistemas de geração de energia solar e eólica e aquecedores solares. Além disso, inclui o serviço de instalação e capital de giro associado.

Apresenta-se, logo abaixo, quem pode financiar:

- empresas sediadas no país;
- administração pública;
- empresários individuais e microempreendedores;

- produtores rurais;
- transportadores autônomos de carga;
- fundações, associações e cooperativas sediadas no país;
- pessoas físicas residentes e domiciliadas no país;
- condomínios.

São financiáveis os seguintes itens, segundo BNDES (2018):

- sistemas geradores fotovoltaicos de até 375 kW - geração de energia solar;
- aerogeradores de até 100 kW - geração de energia eólica;
- aquecedores/coletores solares - aquecimento d'água;
- serviços de instalação dos itens acima;
- capital de giro associado aos itens acima, apenas para micro, pequenas e médias empresas - limitado a 30% do valor financiado.

Além do financiamento, o país conta com alguns incentivos fiscais que facilitam o investimento em usinas. Alguns desses incentivos são:

- isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica - Convênio CONFAZ 101/97);
- Concessão pelos Estados de incentivos de ICMS para micro e minigeração – para usuários residenciais, comerciais e industriais - Convênio CONFAZ 16/2015;

O Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS) foi criado em 2007 e trata-se de um conjunto de incentivos fiscais federais, estabelecido com o objetivo de contribuir para a atração de investimentos nas áreas de semicondutores e *displays*, sendo estes usados como insumo para produtos eletrônicos.

O país conta com a Lei nº 13.169/2015, que proporciona a isenção de PIS/COFINS para micro e minigeração - destinado a consumidores residenciais, comerciais e industriais que produzam a própria energia, de acordo com os termos das resoluções 482/2012 e 687/2015 da ANEEL.

Já o Programa Brasileiro de etiquetagem (PBE) Fotovoltaico/INMETRO proporciona qualidade, segurança e eficiência energética, tanto para produtos nacionais, quanto para produtos importados.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Diante de todo o conteúdo exposto ao longo do texto, é perceptível que a produção de energia elétrica por conversão da radiação solar é uma promissora tecnologia, limpa e renovável para produzir a eletricidade. O Brasil oferece condições exemplares para a geração de energia solar, uma vez que o país conta com excelente potencial de energia solar. Como consequência da utilização desta energia, o presente trabalho apresentou os sistemas fotovoltaicos, que geram energia elétrica de forma sustentável. Além disso, mostrou as diferenças dos sistemas conectados e isolados da rede elétrica e apontou as características e finalidades de cada um.

Portanto, a utilização dos sistemas ON-Grid são mais recomendados em áreas urbanas, pelo fato de estarem conectados à rede da concessionária de energia elétrica. Em contrapartida, os sistemas OFF-Grid não são conectados à rede elétrica e são mais utilizados em regiões remotas, longe dos grandes centros urbanos, uma vez que não dependem da energia elétrica da distribuidora de energia para funcionarem.

O propósito de se utilizar estes tipos de sistemas é reduzir ou eliminar a fatura energética mensal, bem como amenizar as emissões de gases de efeito estufa no meio ambiente, além de contribuir para diversificar a matriz elétrica brasileira, através de energias renováveis.

A geração solar fotovoltaica tem vários benefícios econômicos, sociais e ambientais. Dentre os quais, os principais são: maior liberdade de escolha aos consumidores, que passam a gerar e controlar melhor os próprios gastos com energia elétrica; a geração de muitos empregos locais e de qualidade; o baixo impacto ambiental e a contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Porém, o crescente aumento da fabricação de componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos gera maior preocupação com relação ao correto descarte destes componentes. Neste sentido, devem ser desenvolvidos produtos com menores impactos ambientais. Ainda, faz-se necessária a utilização de coletas, tratamento e reciclagem adequados, a fim de que materiais nocivos não sejam liberados no meio ambiente.

Este trabalho teve, pois, como propósito, o estudo dos sistemas fotovoltaicos ON-Grid e OFF-Grid. No entanto, não fez parte do escopo de pesquisa abordar os sistemas híbridos. Estes sistemas são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia, resultantes da combinação de duas ou mais das seguintes fontes primárias de energia: solar, eólica, biomassa, hídrica e/ou diesel. Tais questões poderão, pois, ser aprofundadas em estudos posteriores, a fim de conscientizar os consumidores de energia elétrica a respeito das diversas formas de se utilizar energias renováveis.

Referências

ABSOLAR. *Seminário Desafios da Geração de Energia Elétrica no Brasil*. Brasília – DF, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>>.

_____. *Perspectivas para a geração centralizada solar fotovoltaica no Brasil*. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/artigo-perspectivas-para-a-geracao-centralizada-solar-fotovoltaica-no-brasil.html>>.

ANEEL. *Energia solar*. [S.l.]. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>.

_____. *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. [S.l.]. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>>.

_____. *Parcerias Estratégicas*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/parcerias-estrategicas>>.

_____. *Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.

_____. *Parcerias Estratégicas. Parceria com o MMA*. [S.l.], 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/parcerias-estrategicas/-/asset_publisher/4GVtDJRNtqAB/content/parceria-com-o-mma/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fparcerias-estrategicas%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_4GVtDJRNtqAB%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>.

_____. *Geração Distribuída. Micro e minigeração distribuídas*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>.

_____. *Geração Distribuída: Unidades consumidoras com geração distribuída*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>.

_____. *Geração Distribuída. Unidades consumidoras com geração distribuída*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Modalidade.asp>.

BLUE SOL. *Soluções Completas em Energia Solar Fotovoltaica*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://bluesol.com.br>>.

BNDES. *Finame Energia Renovável*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-energia-renovavel>>.

BRASIL. *Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior - Secretaria De Desenvolvimento E Competitividade Industrial - Departamento De Competitividade Industrial*. Relatório final grupo de trabalho solar fotovoltaico. [S.l.], 05 Dez. 2017 a

05 Mar. 2018. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/2018-Relatorio-GTFotovoltaico-Camex.pdf>>.

_____. *Ministério de Minas e Energia*. Brasil lança programa de geração distribuída com destaque para energia solar. [S.l.], 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>.

_____. *Resolução Nº 2, de 28 de agosto de 2018*. [S.l.], 2018. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/38727425/do1-2018-08-29-resolucao-n-2-de-28-de-agosto-de-2018-38727285>.

CELESC. *Projeto bônus fotovoltaico*. [S.l.]. Disponível em: <<http://bonusfotovoltaico.celesc.com.br/>>.

CEMIG. *Alternativas Energéticas*. [S.l.], 2012. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Alternativas%20Energeticas.pdf>.

CRESESB-CEPEL. *Energia solar - Princípios e aplicações*. [S.l.], 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>.

_____. *Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301>.

_____. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>.

DECRETO: Nº 7.246, de 28 de julho de 2010. Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7246.htm>.

EPE. *Leilões*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes>>.

_____. *Ministério de Minas e Energia*. Plano nacional de energia 2030. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, 2006–2007. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Outras%20Fontes.pdf>>.

_____. *Plano Nacional de Energia 2050.: Cenário sócio-econômico e demanda de energia*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/10745/PNE_2050_workshop_eco_dem_vf.pdf/4203881d-d70b-4050-910e-d4dab0c6600e>.

_____. *Nota técnica DEA 015/17: Análise socioambiental das fontes energéticas do pde 2026*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-76/NT%20DEA%20015_17.pdf>.

_____. *Projeção da demanda de energia elétrica 2017-2026*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%20C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF\[1\].pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%20C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf)>.

_____. *Balanco Energético Nacional*. 2^a. ed. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>.

_____. *Leilões de Energia Elétrica de 2018*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20Leil%C3%B5es%202018_Final.pdf>.

_____. *Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2027: Perspectivas energéticas globais a longo prazo*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20EPE%20-%20PDE%202027.pdf>>.

_____. *Balanco Energético Nacional, Ano Base 2018*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>.

_____. *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro*. Ministério de minas e energia. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/epe-publica-nota-tecnica-de-metodologia-de-demanda-de-eletricidade>>.

_____. *Nota Técnica de Metodologia de Demanda de Eletricidade. Modelo de Projeção da Demanda de Eletricidade*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/epe-publica-nota-tecnica-de-metodologia-de-demanda-de-eletricidade>>.

_____. *World Energy Outlook 2018: Perspectivas energéticas globais a longo prazo*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/12%20April%20_%20EPE%20WEO%20launch_Clean%20\(002\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/12%20April%20_%20EPE%20WEO%20launch_Clean%20(002).pdf)>.

FADIGAS, E. A. F. A. *Energia Solar Fotovoltaica : Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica*. GEPEA - Grupo de Energia Escola Politécnica, 2012.

FAPESP. *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho*. Academia brasileira de ciências. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>.

FPME. *Energia Solar Fotovoltaica*. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.fpme.com.br/energia-solar-fotovoltaica>>.

GALDINO, M. A. E. et al. *O Contexto das Energias Renováveis no Brasil*. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>>.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo, 2011.

IBGE. *Projeção da população do Brasil por sexo e idade para o período 2000-2060*. Diretoria de pesquisas, coordenação de população e indicadores sociais. [S.l.], 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2013/nota_metodologica_2013.pdf>.

_____. *Atlas Geográfico Escolar*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://atlasescolar.ibge.gov.br/a-terra/nosso-planeta-no-universo>>.

- _____. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Percentagem da população com acesso à eletricidade*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6590>>.
- INMETRO. *Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior*. Brasil. [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001652.pdf>>.
- INPE. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 1^a. ed. São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>.
- _____. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2^a. ed. São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>.
- IRENA. *End - of - life management - Solar photovoltaic panels*: International renewable energy agency. [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_ieapvps_end-of-life_solar_pv_panels_2016.pdf>.
- MATOS, F. B. *Modelamento computacional do comportamento de células fotovoltaicas baseado nas propriedades físicas dos materiais*. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Universidade Federal de Uberlândia-Faculdade em Engenharia Elétrica-Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia-MG, 2006.
- ONU BRASIL. *A ONU e a população mundial*. 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>>.
- ORIGEM - energia eficiente: Investimento na área de energia solar. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.origemenergia.com.br/>>.
- PIVA, R. B. *Economia ambiental sustentável: Os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas*. [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26107/000755427.pdf>>.
- PORTAL SOLAR. *Célula Fotovoltaica*. São Paulo. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>.
- ROSA, A. V. da. *Processos de energias renováveis*. Elsevier, Rio de Janeiro, v. 317, 2015.
- SACHS, I. *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*. Vértice. São Paulo, 1986.
- SILVA, R. M. *Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios*: Núcleo de estudos e pesquisas/conleg/senado. Vértice. Brasília, 2015. Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>.