



ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-GRID

Marcus Valério de Rezende Colares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Jandecy Cabral Leite

Belém

Março de 2022

**ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-GRID**

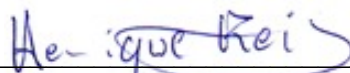
Marcus Valério de Rezende Colares

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

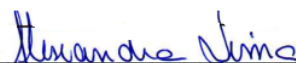
Examinada por:



Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. XXXXX, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Coorientador)



Prof. XXXXXX, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

MARÇO DE 2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Colares, Marcus Valério de Rezende, 1963-
Estudo da geração de energia elétrica através dos
sistemas fotovoltaicos Off-Grid / Marcus Valério de Rezende
Colares - 2022.

Orientador: Jandecy Cabral Leite

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2022.

1. Geração de energia elétrica 2. Sistemas fotovoltaicos
3. Off-Grid I. Título

CDD 670.42

*Dedico este trabalho a todos aqueles que
contribuíram para sua realização, em
especial A Deus, minha família, esposa e
filhas.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o prof. Dr. Jandecy Cabral Leite, pelo acompanhamento durante as pesquisas experimentais e pela assistência na elaboração desta dissertação.

Aos professores e colegas do PPGEF pelas aulas ministradas no Curso de Mestrado.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) pela honrosa contribuição nesta parceria na formação e qualificação de todos os alunos para o engrandecimento não do Amazonas, mas da Amazônia.

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz...”

(Bill Gates)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGE/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS OFF-GRID

Marcus Valério de Rezende Colares

Março/2022

Orientador: Jandecy Cabral Leite

Área de Concentração: Engenharia de Processos

O presente trabalho tem como objetivos o estudo da geração de energia elétrica por meio da fonte de energia solar e apresenta um estudo sobre os sistemas fotovoltaicos OFF-Grid, sistemas não conectados à rede elétrica, para tanto, este trabalho apresenta uma análise sobre os sistemas fotovoltaicos OFF-Grid em pequenas residências isoladas. Em termos de análises, cabe destacar que estas foram realizadas sob as perspectivas técnica e socioambiental, de modo que, avalia-se os próprios sistemas fotovoltaicos OFF-Grid. Na segunda, avalia-se a demanda de mercado, 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 do sistema supracitado. 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.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

STUDY OF ELECTRIC ENERGY GENERATION THROUGH OFF-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Marcus Valério de Rezende Colares

March/2022

Advisor: Jandecy Cabral Leite

Research Area: Process Engineering

The present work has as objectives the study of the generation of electric energy through the source of solar energy and presents a study on the photovoltaic systems OFF-Grid, systems not connected to the electric grid, respectively. Therefore, this work presents an analysis of OFF-Grid photovoltaic systems. In terms of analyses, it is worth noting that these were carried out from the technical and socio-environmental perspectives, so that, in the first, the OFF-Grid photovoltaic systems themselves are evaluated. In the second, the market demand, Brazilian potential for photovoltaic solar energy generation, the socio-environmental impact, sustainability, as well as the main incentives in Brazil regarding photovoltaic systems are evaluated.

The relevance of this work is therefore due to the fact that there is instability in the price of electricity tariffs and due to the high emissions of carbon dioxide, which affect the climate and ecosystems of the planet. In this context, it is necessary to use technologies for the benefit of society, such as photovoltaic solar energy, with the purpose of developing the 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 aforementioned system. Thus, the analyzes presented in this study show that the implementation of photovoltaic systems is a great alternative to reduce environmental impacts and diversify the energy matrix.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	5
1.2.1 - Objetivo geral.....	5
1.2.2 - Objetivos específicos.....	5
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	5
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	6
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	7
2.2 - PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO.....	10
2.2.1 - Mecanismos de incentivo à geração fotovoltaica no mundo.....	13
2.2.2 - Política e evolução dos incentivos.....	15
2.3 - MERCADO DE ENERGIAS LIMPAS E FOTOVOLTAICO NO MUNDO.....	21
2.4 - TECNOLOGIA E SEUS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO.....	26
2.5 - PRODUÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL.....	28
2.6 - ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL.....	30
2.6.1 - Potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica.....	33
2.7 - A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO NORTE DO BRASIL.....	35
2.8 - COMUNIDADES ISOLADAS NO AMAZONAS.....	36
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 - MATERIAIS.....	40
3.1.1 - Descrição dos equipamentos.....	40
3.1.2 - Local de instalação.....	44
3.2 - DETALHAMENTO DOS COMPONENTES DO EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO.....	45
3.2.1 - Pannel solar.....	45
3.2.2 - Acumulador de energia (Bateria).....	46
3.2.3 - Controlador de carga.....	47
3.2.4 - Inversor de frequência.....	47
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49

4.1 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA OFF-GRID.....	49
4.1.1 - Dimensionamento do Sistema solar Off Grid.....	49
4.2 - VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	54
4.2.1 - Vantagens do poste de iluminação solar fotovoltaica.....	56
4.2.2 - Desvantagens do poste de iluminação solar fotovoltaico.....	57
4.2.3 - Análises ambientais.....	57
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	59
5.1 - CONCLUSÕES.....	59
5.2 - SUGESTÕES.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Potencial solar fotovoltaico nos países Europeus.....	11
Figura 2.2	Abastecimento de água município de Barreirinha, AM.....	12
Figura 2.3	Capacidade instalada de energia solar global.....	13
Figura 2.4	Estados americanos que possuem RPS.....	16
Figura 2.5	Evolução dos incentivos no setor FV no Japão.....	18
Figura 2.6	Investimentos globais em energias limpas por região, 2004-2017.....	23
Figura 2.7	Investimentos globais em energias limpas por região, 2013-2016.....	24
Figura 2.8	Investimentos japoneses em energias limpas por setor 2004-2017.....	25
Figura 2.9	Investimentos globais em energias limpas por setor 2004-2017.....	25
Figura 2.10	Investimentos públicos e privados em energias renováveis 2013-2016.....	26
Figura 2.11	Segmentação das instalações de energia solar mundialmente 2006-2016.....	27
Figura 2.12	Decomposição dos custos da energia solar USD/WATT 2010-2017.....	27
Figura 2.13	Sistema energético nacional 2017.....	30
Figura 2.14	Produção de energia elétrica global e Brasil por tipo de fonte....	32
Figura 2.15	Mapa de radiação solar do Brasil.....	33
Figura 2.16	Estrutura de uma célula fotovoltaica.....	34
Figura 2.17	Composição de um painel fotovoltaico.....	34
Figura 2.18	Radiação solar global em destaque o Amazonas.....	36
Figura 2.19	Miniusinas fotovoltaicas no interior do estado do Amazonas....	38
Figura 3.1	Diagrama de sistema fotovoltaico em função da carga utilizada.	40
Figura 3.2	Equipamentos do sistema.....	41
Figura 3.3	Demonstrativo econômico.....	43
Figura 3.4	Sistema OFF-Grid em números – Orçamento.....	43
Figura 3.5	Placa solar.....	45

Figura 3.6	Vista geral da mine rede de uma comunidade no Amazonas.....	45
Figura 3.7	Bateria (acumulador de energia).....	46
Figura 3.8	Inversor de frequência.....	48
Figura 4.1	Esquema do dimensionamento energético: Componentes do mesmo.....	50
Figura 4.2	Média da produção diária para sistemas PV dimensionados para suprir os consumos nos diferentes períodos.....	53
Figura 4.3	Produção de eletricidade: Rede vs Sistema PV.....	54

NOMENCLATURA

BNEF	BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE
FV	FOTOVOLTAICA
GD	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
LRET	LARGE-SCALE RENEWABLE ENERGY TARGET
MRET	MANDATORY RENEWABLE ENERGY TARGETS
OECD	ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
PIM	POLO INDUSTRIAL DE MANAUS
RECs	RENEWABLE ENERGY CERTIFICATES
SFVCR	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE
SPV	SPECIAL PURPOSE VEHICLE
SRES	SMALLSCALE RENEWABLE ENERGY SCHEME
VRET	VICTORIA, O RENEWABLE ENERGY TARGETS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

Considerando o compromisso de ampliar a participação de fontes renováveis na matriz energética, principalmente a fonte solar, o presente estudo visa desenvolver uma metodologia da viabilidade econômica para projetos de microgeração Of-grid de energia fotovoltaica em comunidade isolada no Amazonas (SILVA, 2017).

No caso do efeito fotovoltaico, descoberto em 1839 por Edmond Becquerel, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica por meio do uso de células solares, o processo mais comum de geração de energia elétrica a partir da energia solar. Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício (DA SILVA, 2019).

Segundo (SILVA, 2018), cerca de 80% das células fotovoltaicas são fabricadas a partir do silício cristalino¹. A utilização da fonte solar para gerar energia elétrica proporciona diversos benefícios, citados por (ABSOLAR, 2018).

Tanto do ponto de vista elétrico como ambiental e socioeconômico. Do ponto de vista elétrico, contribui para diversificação da matriz, aumento da segurança no fornecimento, redução de perdas e alívio de transformadores e alimentadores. Sob o aspecto ambiental, há também a redução da emissão de gases do efeito estufa, da emissão de materiais particulados e do uso de água para geração de energia elétrica. Com relação a benefícios socioeconômicos, a geração de energia solar fotovoltaica contribui com a geração de empregos locais, o aumento da arrecadação e o aumento de investimentos (PROTOPAPADAKI, 2018).

De acordo com (PEREIRA *et al.*, 2006), a média anual de irradiação global apresenta uma boa uniformidade no Brasil, com médias relativamente altas em todo o território. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2.500) são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900-1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²), locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados.

A crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a busca pela diversificação da matriz elétrica, associado com o aumento na demanda por energia e desenvolvimento da indústria, impulsionou a geração de energia elétrica no mundo a partir de fontes renováveis, como a fonte solar. As fontes renováveis, embora inicialmente mais caras, tornam-se mais competitivas na medida em que se expandem, sendo a competitividade resultante da redução dos custos devido ao ganho de escala e dos avanços tecnológicos (SILVA, 2018).

O Brasil possui expressivo potencial para geração de energia elétrica a partir de fonte solar, contando com níveis de irradiação solar superiores aos de países onde projetos para aproveitamento de energia solar são amplamente disseminados, como Alemanha, França e Espanha. Apesar dos altos níveis de irradiação solar no território brasileiro, o uso da fonte para geração de energia elétrica não apresenta a mesma relevância que possui em outros países, nem o mesmo desenvolvimento de outras fontes renováveis, como eólica e biomassa, que já representam, respectivamente, 6,7% e 9,4% da capacidade de geração instalada no Brasil, contra apenas 0,05% da fonte solar.

A preocupação com a geração de energia por fontes renováveis tornou-se ainda maior com a celebração do Acordo de Paris, na COP 21, no ano de 2015. O Brasil assumiu compromisso de redução de emissões de gases de efeito estufa, em 2025 e 2030, respectivamente em 37% e 43% em relação aos níveis de 2005 (COSTODIO, 2018).

O trabalho se justifica pela preocupação com a demanda crescente de energia e a falta de investimento em outras fontes renováveis de energia. Com isso, é visto nas áreas onde existe temperatura climática muito intensa pode-se utilizar a energia solar como a fonte principal a ser trabalhada, pois, tem uma grande facilidade de montagem do sistema, é montado no próprio local de consumo, e também, já está na hora do Amazonas ingressar na era das fontes alternativas de energia, devido a vários fatores, como por exemplo, dificuldades para construção de novas centrais hidroelétricas e termelétricas, o carvão mineral e outras fontes de energia suja, ligadas ao petróleo, causam degradação ambiental e não são renováveis (GALBIATTI-SILVEIRA, 2018).

Segundo (OLIVEIRA, 2016), O Brasil é privilegiado no seu potencial energético solar, que é em torno de 2.500MW, cinco vezes maior que dos estados Unidos e, acentuadamente, maior que a maioria dos países do primeiro mundo. Assim, são amplas as possibilidades de aproveitamento energético do Sol, destacando-se o térmico e o fotovoltaico.

O Brasil possui uma matriz energética ampla de geração de energia elétrica, através de fontes de usinas termelétricas, termonucleares, eólicas, fotovoltaicas (que representa menos de 1% do total) e a hidráulica que ainda é a maior participação na geração de energia, conforme informações da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2018).

Para (SOARES, 2018) o termo energia renovável é utilizado quando a energia elétrica é produzida através de recursos naturais, tais como, chuva, sol, mares, vento e energia geotérmica, sendo estes recursos reabastecidos naturalmente, sem causar impactos ao meio ambiente.

Independentemente do setor, seja ele público ou privado, a análise econômica de projetos é essencial para se medir o retorno econômico dos investimentos, comparando custos e benefícios, ao mesmo tempo em que permite avaliar os impactos sociais (MENDES, 2019).

Já o aumento do consumo de energia está diretamente ligado ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Atualmente no Brasil há dois recursos naturais renováveis que vem sendo utilizados para a produção de energia elétrica, sendo eles, o vento e o sol (SILVA, 2019).

A energia solar é gerada a partir da radiação eletromagnética do Sol. Quando essa radiação passa pela atmosfera terrestre é possível captá-la e transformá-la em outras formas de energia que podem ser reaproveitadas pelo homem (MARTINIANO JUNIOR, 2017).

A integração da energia solar fotovoltaica à edificação é uma grande alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica, e o Brasil tem as condições necessárias para aproveitar tais tecnologias (DE OLIVEIRA REIS, 2018).

No Brasil, a geração da energia fotovoltaica integrada a edificações possui um alto potencial devido aos elevados índices de irradiação solar ao longo de todo o território nacional (4,25 kWh/m² a 6,30 kWh/m²) (MOTTA, 2021).

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.

Este tipo de tecnologia precisa ser mais empregado no Brasil e na Amazônia, fazendo com que, novas empresas do ramo se instalem na Zona Franca de Manaus, o

Polo Industrial de Manaus (PIM), gerando novas oportunidades de empregos e pesquisa científica para melhorar o processo da transformação e captação solar na região (MENDES, 2018).

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.

Nestes contextos, o tema escolhido será desenvolvido com base nos sistemas fotovoltaicos, os quais podem ser instalados de forma autônoma (OFF-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 se destaca o efeito fotovoltaico.

Além disso, os sistemas fotovoltaicos representam uma maneira eficiente, tanto para 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).

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.

Nesse mesmo ano, a Energia Solar Fotovoltaica fez um total de 1.2% da eletricidade gerada no Brasil, tendo este um papel fundamental na produção descentralizada de eletricidade. Os programas de micro e minigeração preveem a instalação de 250 MW de potência até 2023. Para além disso, os projetos de autoconsumo de energia PV irão aumentar a percentagem de penetração desta no *mix* energético brasileiro.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Um estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico OFF-Grid, para atender pequenas residências em comunidades isoladas do estado do Amazonas, com a conversão direta de energia solar em energia elétrica, criando uma sistemática de implantação em uma residência ribeirinha isolada padrão.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Desenvolver análises sobre o sistema fotovoltaico OFF-Grid, tanto do ponto de vista técnico e econômico;
- Desenvolver uma sistemática de análise e implantação para residências isoladas do sistema interligado à distribuidora de energia, com energia fotovoltaica OFF-Grid para que desta forma possa ser replicada em todas as residências isoladas de todo estado do Amazonas.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Os sistemas de energia renováveis em comunidades isoladas no Amazonas, fotovoltaicos não conectados à rede elétrica brasileira, bem como a microgeração fotovoltaica of grid, requer determinar metodologia de controle destes micros geradores de energia of grid com qualidade que permita segurança técnica e econômica para os empreendimentos futuros.

Com as crises do petróleo, a humanidade percebeu que poderia haver limites nos estoques, que se tratava de uma fonte esgotável e que essa dependência comprometeria o futuro energético do planeta. Muitos esforços foram dispensados em busca de soluções que economizassem energia substituindo-a por formas alternativas. Isso pode ser conseguido através de normas técnicas que garantem a qualidade da instalação e da conexão à rede, o que, em nível mundial, é uma realidade: além das normas internacionais da IEC, vários países possuem suas próprias normas.

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.

Já a segurança econômica também está relacionada ao retorno do investimento com o rendimento desejado, o que, por sua vez, está intimamente ligado à produção de energia fotovoltaica.

A presente pesquisa buscará pelas oportunidades energéticas disponíveis para a Amazônia, mais especificamente para estado do Amazonas, mostrando-se de excelente oportunidade para o campo de aproveitamento de energia solar, energia fotovoltaica, particularmente em áreas isoladas, sem acesso a rede nacional de energia elétrica.

Diante disso, a relevância deste trabalho, visa elaborar um processo de normatização através do desenvolvimento de procedimentos para comissionamento e caracterização da capacidade de produção de energia de um sistema fotovoltaico não conectado à rede, ajudando na propagação da tecnologia no país.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho é dividido em seis Capítulos com a introdução e conclusão, como é descrito abaixo:

No **Capítulo 1**, é composto por Introdução, onde é apresentado o contexto da pesquisa, as justificativas do estudo, os seus objetivos e a organização do trabalho e a metodologia aplicada na dissertação.

No **Capítulo 2** é feita uma rápida introdução aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com as principais definições, energia fotovoltaica no mundo, energia fotovoltaica no Brasil, energia fotovoltaica no Amazonas.

No **Capítulo 3** é apresentada a metodologia para calcular a energia produzida por sistemas fotovoltaicos não conectados à rede, são abordados os principais parâmetros de desempenho relacionados a sistemas fotovoltaicos on grid e of grid, com ênfase na produtividade final e no desempenho global do sistema OFF-Grid para as comunidades ribeirinhas isoladas no estado do Amazonas.

No **Capítulo 4** é apresentado uma Tabela modelo de especificações para a instalação elétrica de sistemas fotovoltaicos OFF-Grid, desconectados à rede em uma residência ribeirinha isolada padrão.

No **Capítulo 5** é apresentado as conclusões e sugestões.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Os termos sustentáveis, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, embora muito utilizados na literatura científica, no setor privado e nas políticas públicas, ainda não possuem um consenso em termos de conceito. Na literatura, existe uma vasta diversidade de conceitos, relacionada, de forma predominante, com o desenvolvimento sustentável (PINTO *et al.*, 2021).

Porém, os significados destes termos variam na literatura em virtude do número de perspectivas e vinculações ao contexto e ao campo de atuação (PINTO *et al.*, 2021).

Essa diversidade de conceitos é explicada pela falta de clareza dos termos, o que também ocasiona um ponto de convergência das várias áreas epistemológicas (MORAES, 2018).

Esses autores complementam que a definição é difícil e, mais ainda, a aplicação de sua prática, o que tem gerado discussões consistentes na literatura (FEIL, 2017).

LAZARETTI (2019) salienta que a inviabilidade de traduzir o discurso de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável se dá em razão da polissemia do termo, o que tem prejudicado a sua credibilidade. Assim, os estudos sobre esses termos devem reconhecer a existência de várias formas de sua utilização, sendo esta dependente da orientação cognitiva (DOS ANJOS FURTADO, 2020).

O termo desenvolvimento sustentável foi popularizado e amplamente utilizado nas décadas de 1980 e 1990 (LARA, 2017). Sua inauguração mundial ocorreu em 1987, por meio do relatório da Comissão de Brundtland (CARVALHO, 2019), que incitou, no início da década de 1990, uma enorme expansão da qualidade e do volume de legislações ambientais, bem como de acordos internacionais que, além de mapearem o perfil das alterações ambientais, também impulsionaram a mudança da política global (COSTA, 2021).

ZANELLA *et al.* (2019), destaca que a Rio 92 estabelece uma série de iniciativas para promover a aceitação da ideia de desenvolvimento sustentável. Na percepção de (REIGOTA, 2017), na Rio 92 houve um esforço para reconhecer e compartilhar as responsabilidades, com o intuito de alterar as tendências dos impactos

negativos sobre os recursos naturais. As conferências realizadas em 2002 (Rio +10) e 2012 (Rio +20) centraram-se em reforçar as discussões e os compromissos assumidos frente à questão da sustentabilidade pelos setores privado e público; e o direcionamento voltava-se à pobreza, à justiça social e ao crescimento e desenvolvimento econômico.

O entendimento do termo sustentável é propenso a diversos significados em razão das diferentes perspectivas, motivações e aspirações dos pesquisadores ou grupos sociais sobre o tema (ZANELLA, 2019), defendem que o termo é sobrecarregado de ideias potencialmente conflitantes, tentando, assim, explicar os diversos significados.

CÂMARA *et al.* (2020), destacam que a sustentabilidade não é apenas uma “moda ou tendência” valorizada por condições circunstanciais, mas sua importância vincula-se à ética que orienta a conduta humana; nesse sentido, reflete os valores de coragem, prudência e esperança.

DE BENEDICTO *et al.* (2020), sobre esse assunto, defendem que os valores, as políticas e a compreensão do planeta e do sistema natural humano evoluem, e as noções do que é sustentável não serão estáticas. A ideia de sustentável caracteriza-se como um princípio aplicável a sistemas, envolvendo uma interação de sistemas dinâmicos que mudam constantemente (PINTO JUNIOR *et al.*, 2018).

Segundo SOUZA (2019), sustentável origina-se da viabilidade e da capacidade adaptativa dos sistemas e envolve limites na capacidade dos recursos naturais de absorverem o impacto causado pelo ser humano, e no contexto de abrangência de desenvolvimento.

SOUTO (2019) destaca que é improvável que as gerações futuras venham a ser iguais às gerações presentes em aspectos como necessidades, culturas, comportamentos, entre outros.

REITER (2020), afirma que a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável ocorrem por meio da sucessão de diversos estados, em oposição à preservação do status quo. Nesse sentido, as necessidades das gerações atuais não são um problema, porém estimar as necessidades das gerações futuras seria quase impossível (MORRIS, 2012).

O termo sustentável originou-se da expressão em idioma alemão “Nachhaltend” ou “Nachhaltig” (longevidade) do livro *Lyra*, de CARLOWITZ, em 1713, em francês “durabilité” (durável) e em holandês *duurzaamheid* e *Duurzaam* (sustentável) (HOFER, 2009).

Nesse contexto, o termo reflete uma solução à escassez de recursos naturais desde a antiguidade, consolidando-se ao longo do tempo na cultura humana, em busca

da utilização desses recursos de forma contínua e perpétua. Essa reflexão corrobora a afirmação de (BEGA, 2021), sobre a ideia de sustentabilidade não como um movimento ambientalista moderno, mas como forma de pensar e de agir enraizada nas culturas das sociedades, que vem amadurecendo durante três séculos. As forças motrizes do surgimento da ideia de sustentabilidade, segundo SCHLÖR *et al.* (2012), foram essencialmente às crises do sistema energético desde a antiguidade.

BOLIS *et al.* (2014) complementam que tal surgimento vincula- -se à melhoria dos aspectos ambientais com impactos negativos, apresentando reflexos positivos na economia e na sociedade.

O entendimento de sustentabilidade, por BELL e MORSE (2008), MOLDAN *et al.* (2012) e SARTORI *et al.* (2014), consiste na capacidade de o sistema global, contendo a integração do ambiental humano como um sistema indissociável, manter sua qualidade e/ou propriedade em um nível próximo, igual ou superior à sua média histórica, considerando-se as alterações dinâmicas provocadas pelas variáveis ao longo do tempo.

DEMANBORO (2021) destacam que a sustentabilidade é a reunião de três tipos de interesses simultâneos e em equilíbrio, compreendendo o aspecto ambiental, econômico e social.

ALVES e DA SILVA (2021) defendem que a sustentabilidade compreende um equilíbrio e as interações mútuas entre o objeto e seu ambiente de apoio, sem efeitos prejudiciais a ambos.

A expressão sustentabilidade foi utilizada no contexto de desenvolvimento, pela primeira vez, em 1974, em uma série de conferências sobre questões florestais. (KIDD, 1992). Porém, BARBOSA *et al.* (2014), salientam que a origem e o conceito de sustentabilidade nesse contexto são desconhecidos. Apontam, no entanto, que uma das primeiras definições surgiu na Primeira Guerra Mundial, conforme descrições de Lester Brown em meados de 1980.

STRASBURG *et al.* (2021), salientam que o desenvolvimento sustentável como definição possui suas raízes na publicação de *Silent Spring*, de CARSON (1962). Portanto, a ideia de desenvolvimento sustentável foi entendida inicialmente da seguinte forma: “[...] uma sociedade sustentável é aquela que pode satisfazer as suas necessidades sem comprometer as chances de sobrevivência das gerações futuras” (OSTROVSKI e PASSOS, 2012).

A definição de desenvolvimento sustentável não se refere a salvar a natureza, mas à internalização de estratégias, agregando, assim, novos recursos para permitir o crescimento econômico e a prosperidade compartilhada por todos. Esse termo, desenvolvimento sustentável, refere-se a uma série de processos e práticas, envolvendo ação, e tem como foco melhorar a qualidade da vida humana. (FEIL, 2017), fornecendo uma visão de longo prazo “[...] para erradicar a pobreza, reduzir a desigualdade e tornar o crescimento inclusivo, e produção e consumo mais sustentável” (DA SILVA, 2018).

2.2 - PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO MUNDO

Atualmente, a capacidade do planeta de suportar os impactos ambientais associados às atividades produtivas é que passa a ser percebida como um grande entrave ao desenvolvimento sustentável.

BOYLE (2012), *apud* (CABRAL *et al.*, 2015), em seu texto sobre energias renováveis, onde foi indicado que mantidas as atuais tendências a população mundial deverá ter um aumento em torno de 50%, o que por si só já levanta um grito de alerta, mas que pelo menos já é consenso pelo mundo que as fontes de energia devem gerar impactos nas mudanças climáticas irrisórios.

Em uma série denominada “Sustentabilidade”, manifesta-se de várias formas que a demanda energética mundial ainda continua sendo o petróleo, mesmo com todas as inversas opiniões sobre sua utilização e a solar ocupando o singelo 9º lugar participando com 11% dessa demanda e afirmar categoricamente que o governo é omissor em um assunto de tamanha importância.

“Abaixo na Figura 2.1”, demonstra o potencial da Europa, para utilização de energia renovável, energia fotovoltaica onde é mostrado o potencial da energia solar nos países europeus.

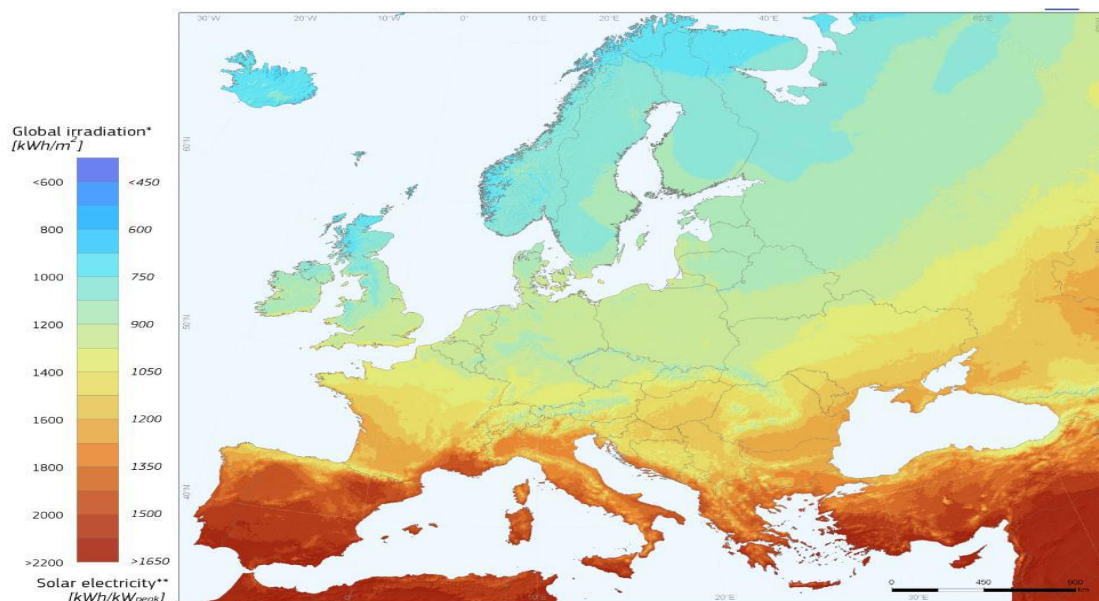


Figura 2.1 - Potencial solar fotovoltaico nos países Europeus.
 Fonte: INSTITUTO OF ENERGY AND TRANSPORT – EUROPEAN COMMISSION (2018).

Dentre as energias renováveis que vem apresentando um efetivo crescimento mundial nas últimas décadas, está a energia solar fotovoltaica, por possibilitar a geração de energia elétrica de forma distribuída, não necessitando, portanto, de extensas linhas de transmissão e distribuição, por ser uma fonte silenciosa, que possibilita a instalação de sistemas de diferentes potências e ainda por integrar-se às edificações no meio urbano, sem necessitar de áreas extras para sua instalação (DOS SANTOS, 2020).

O uso desta fonte tem sido incentivado principalmente em países pertencentes à União Europeia, através da adoção de programas governamentais, lançados com o propósito de estimular o aumento no número de instalações, criando assim ganhos de escala, que consequentemente reduzem os custos e contribuem para o aumento da competitividade da indústria fotovoltaica em relação às fontes de energia convencionais. Nestes países, o crescimento da capacidade instalada se dá principalmente em sistemas conectados à rede elétrica.

As tendências atuais continuarem, a população mundial deverá aumentar a demanda de energia primária mundial poderá aumentar em torno de 50%, o que representa para os envolvidos com a questão energética. Pelo menos, agora existe um amplo consenso de que o mundo deve mudar para fontes de energia de baixa emissão, ou zero carbono, para que os impactos das mudanças climáticas sejam mitigados (LAYRARGUES, 2017).



Figura 2.2 - Abastecimento de água município de Barreirinha, AM.
Fonte - ANEEL (2021).

Os incentivos por diferentes economias mundiais têm sido expressivos na busca por energia vinda de fontes renováveis, com o firme propósito de reduzir o uso do carvão, petróleo e outras fontes finitas e poluentes. Os países com economias mais desenvolvidas estão à frente nesta questão, como será apresentado ao longo do trabalho (OLAH *et al.*, 2018).

Mesmo durante as grandes crises econômicas, o mercado fotovoltaico (FV) cresceu notavelmente ao longo da última década e está no caminho para se tornar uma importante fonte de geração de energia do mundo. Entre os anos 2006 e 2016 apresentou uma Taxa Composta Anual de Crescimento de 48%. Depois de ter atingido um recorde de crescimento de 30 GW em 2011, comparativamente ao ano de 2010; em 2016, “como mostra a Figura 2.3”, o total global de instalações fotovoltaicas atingiu o marco de 303 GW, sendo adicionado 75GW em capacidade quando comparado a 2015. Estima-se que atualmente se tenha mais de 400 GW instalados no mundo inteiro (SOLARIN *et al.*, 2018).

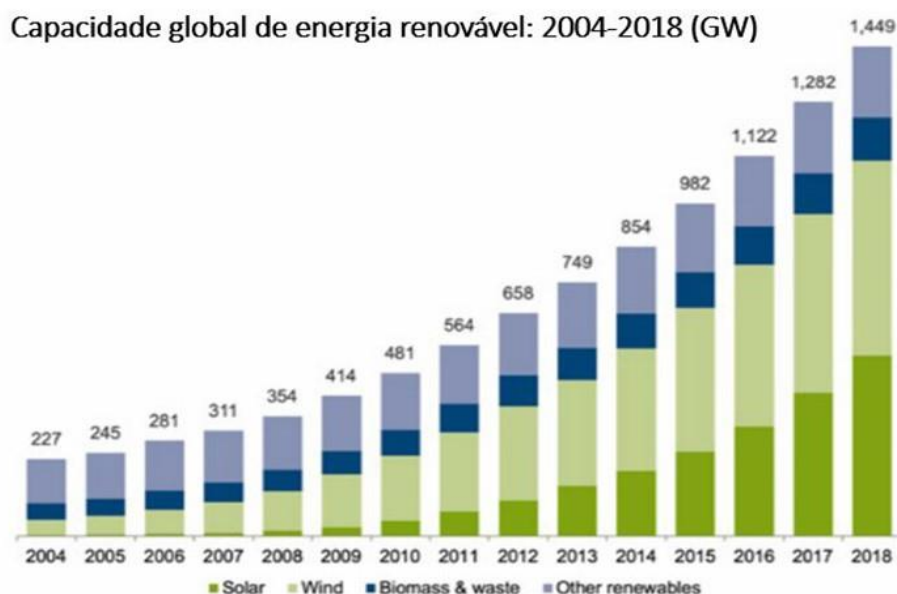


Figura 2.3 - Capacidade instalada de energia solar global.
Fonte: RENDI (2018).

Na próxima seção os mecanismos de incentivo no mundo, a partir dos países em que a energia solar teve e está tendo uma rápida evolução, em especial a China, EUA, Alemanha, Japão e Austrália, verificando as condições que propiciaram esta rápida expansão (KALUZINAS e ARTURAS, 2018).

2.1.1 - Mecanismos de incentivo à geração fotovoltaica no mundo

A Feed-in Tariff é um mecanismo utilizado por políticas públicas, destinadas a acelerar o investimento em fontes renováveis por meio da criação de uma legislação que obrigue as concessionárias regionais e nacionais a comprarem a eletricidade gerada em valores acima do mercado, estabelecidos pelo governo. Isto se dá por meio da oferta de contratos de longo prazo aos produtores de energias renováveis, normalmente com base no custo de geração de cada tecnologia (SCHMIDT e SEWERIN, 2018).

O Renewable Portfolio Standards (RPS) é um regulamento que exige o aumento da produção de energia a partir de fontes de energia renováveis, como energia eólica, solar, biomassa e geotérmica.

O mecanismo RPS obriga as empresas de fornecimento de eletricidade a produzir uma fração especificada de sua eletricidade a partir de fontes de energia renováveis. Os produtores de energia renovável obtêm certificados para cada unidade de eletricidade que produzem e podem vendê-los juntamente com a sua eletricidade para

suprir às empresas. As empresas, por sua vez, passam os certificados a um órgão regulador para demonstrar sua conformidade com suas obrigações regulatórias, NCSL (CARLEY, 2018).

A implementação de RPS no mercado resulta em concorrência, eficiência e inovação fornecendo energia renovável ao menor custo possível, permitindo que as 5 energias renováveis compitam com fontes de energia de combustíveis fósseis mais baratas (AWEA, 2018).

Os mecanismos de RPS foram adotados em vários países, incluindo o Reino Unido, Itália, Polônia, Suécia, Bélgica e Chile, bem como em 29 dos 50 estados dos EUA e o Distrito de Columbia. Já os Renewable Energy Certificates (RECs), também conhecidos como certificados de energia verde ou certificados renováveis negociáveis, é um instrumento baseado no mercado que representa os direitos de propriedade sobre os atributos ambientais, sociais e outros não-poderes da geração de eletricidade renovável. As RECs são emitidas quando 1 MW/h de eletricidade é gerado e entregue à rede elétrica a partir de um recurso de energia renovável (CARLEY, 2018).

Também é possível receber um desconto em dinheiro do estado, município, empresa de serviços públicos ou outra organização que queira promover a energia solar. Os reembolsos geralmente estão disponíveis por um tempo limitado e terminam uma vez que uma certa quantidade de energia solar tenha sido instalada. Os descontos, rebates, podem ajudar a reduzir ainda mais os custos do sistema de 10 a 20% (ENERGYSAGE, 2018).

Outro mecanismo que merece destaque é o leilão incentivado, em inglês *tendering*, este mecanismo busca promover o desenvolvimento efetivo das energias renováveis ao fornecer um esquema de alocação não discriminatório e transparente que diminui o suporte público. Como resultado, as propostas que participam dos leilões buscam reduzir o custo da sociedade limitando os subsídios do governo às plantas com melhor desempenho. Para atingir essas promessas, o design apropriado das propostas, desde os critérios de pré-qualificação e execução até a regulação final é fundamental (SOLARPOWER EUROPE, 2017), *apud* (MAIA, 2018).

Embora os RECs tenham sido fundamentais na implantação de renováveis em certos países, como alguns europeus e Austrália, eles permanecem o instrumento menos adotado globalmente. A fim de aumentar o uso de renováveis nas matrizes energéticas, além de reduzir as barreiras para consumidores e aumentar a lucratividade, novas formas de incentivos e modelos de negócios estão ganhando apoio dos formuladores de

políticas, por exemplo: esquemas de licitação, a medição líquida ou as políticas de cobrança líquida, os bancos verdes e as obrigações verdes (ANDREWS e SPEED, 2019).

2.1.2 - Política e evolução dos incentivos

A China, país que atualmente lidera os investimentos em energias renováveis, investiu aproximadamente USD 785 bilhões no setor fotovoltaico num período compreendido entre 2004 e 2017, 73% a mais que os EUA que até então era o maior investidor neste setor (BLOOMBERG, 2018).

Devido as favoráveis mudanças no ambiente político e econômico que fomentam as fontes de energias renováveis no país, o setor FV vem crescendo cada vez mais e, por esse rápido crescimento, a China vem enfrentando problemas de congestionamento da rede elétrica e atrasos de interconexão. Para enfrentar estes desafios o governo chinês priorizou e aumentou a transmissão de energias renováveis, fato que atraiu mais indústrias voltadas ao setor energético para aumentar o consumo local, além de incentivar a incorporação de grandes usinas (BLANCO *et al.*, 2018).

Na China, o setor residencial é o setor que paga as tarifas mais baixas, em comparação ao comercial e industrial, além disso, o proprietário do projeto recebe da empresa de transmissão e distribuição de energia incentivo financeiro direto de cerca de 0,07 USD/kWh pelo excedente de geração de energia de seu projeto no mês de referência, sendo o subsídio das FiTs (LI *et al.*, 2018). Com esses incentivos houve uma remodelação da indústria local e as circunstâncias de mercado interno auxiliaram os produtores nacionais da cadeia de energia fotovoltaica a ganhar vantagens quando comparadas a seus competidores internacionais. Atualmente dentre os 10 maiores produtores de painéis fotovoltaicos no mundo em 2017 sete são empresas chinesas, responsáveis pela produção de 72% dos módulos instalados no mundo em 2017 (BLOOMBERG, 2018).

Atualmente os EUA se destacam não somente por ser um dos países líderes em geração de energia FV, mas sim por ter um mercado de energia solar que tem trazido contribuições relevantes à expansão desta fonte em todo mundo. Isto é possível, principalmente, por cada estado representar um mercado de energia separado, abrindo espaço para diferentes modelos regulatórios, políticas públicas regionais e consequentemente novos modelos de negócio.

Enquanto a energia solar foi por muito tempo vista como uma escolha ambientalmente responsável, agora é também vista pelas empresas como uma escolha fiscal inteligente. As companhias provaram a viabilidade da tecnologia solar, mostrando que é possível geração de energia de baixo custo em larga escala como a energia fotovoltaica. Hoje a energia solar desempenha um papel importante na economia dos Estados Unidos, sendo responsável diretamente pela geração de mais de 130 mil empregos. Só no terceiro trimestre do ano de 2015, os Estados Unidos instalaram 1.361 MW de energia solar fotovoltaica, sendo o marco do oitavo trimestre consecutivo em que o EUA instalou mais que um GW de capacidade FV (GREEN e MARTIN, 2018).

Como resultado de todos os incentivos oferecidos, em 2015 a capacidade instalada do setor FV no Japão cresceu em 11GW, levando a sua capacidade instalada total para 34,4 GW. A energia solar fotovoltaica foi responsável por mais de 10% da demanda de eletricidade nos dias com maior incidência de raios solares e representou 3% do total de geração de eletricidade no país (AHMAD, 2019).

Para incentivar ainda mais o uso de energias renováveis, o governo japonês lançou o seu próprio programa de FiT em 2012, determinando que os serviços públicos sejam obrigados a comprar 100% da energia gerada a partir de instalações solares de mais de 10 KW por um período de 20 anos. Além disso, o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão planeja conceder empréstimos a juros incentivados, para que as empresas passem a alugar os painéis FV para telhados residenciais para instalação de sistemas de pequeno porte. Neste modelo de negócio os proprietários receberão um aluguel pelo uso de seus telhados, enquanto as empresas de energia solar irão vender a produção dos sistemas à rede nacional de energia elétrica (BHATT e NEGI, 2018).

A Figura 2.5 ilustra, em resumo, os incentivos e medidas oferecidos pelo governo ao longo dos anos no setor fotovoltaico.

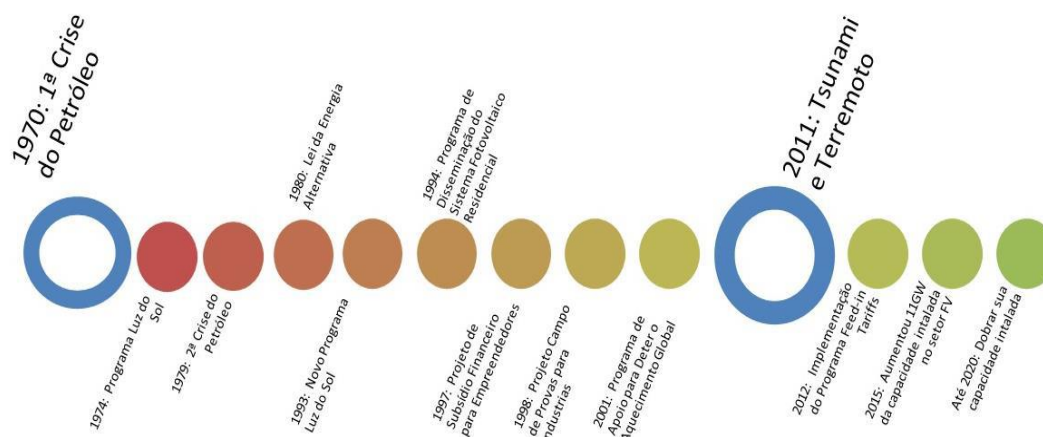


Figura 2.5 - Evolução dos incentivos no setor FV no Japão.
Fonte: MAIA (2018).

Até o final de 2015, pelo menos 22 países alcançaram a marca de 1 GW ou mais de capacidade instalada. Os líderes de energia FV por habitante foram: Alemanha, Itália, Bélgica e Grécia. Um dos principais incentivos a adoção de energia solar foi o acordo da União Europeia, Europa 2020 assinado em 2010 que tem como objetivo a redução de emissões dos gases de efeito de estufa em 20% relativamente aos níveis de 1990, ou em 30%, se as condições o permitirem; incremento em 20% da quota de utilização de energias renováveis no consumo final energético; e incremento de 20% em eficiência energética. Além do acordo, a expansão do setor FV foi resultado da redução dos custos de implantação e de novas tecnologias, do interesse dos investidores e do apoio político, aliado ao fato de que mais de 70% das novas instalações foram financiadas por pequenas e médias empresas. A demanda por instalações solares atingiu seu pico no continente em 2011 e depois, por 3 anos consecutivos, declinou.

De acordo com a estimativa da SUNPOWER EUROPE (2016), entre 2005 e 2015, a capacidade de geração de energia solar fotovoltaica na UE aumentou de 1,9 GW/h para 95,4 GW/h. Esse crescimento foi liderado principalmente pela Alemanha e Itália, onde estavam localizadas 80% das instalações fotovoltaicas Europeias, no período de 2004 a 2010.

A súbita expansão da energia fotovoltaica foi possível através de políticas governamentais favoráveis, conjugada com a acentuada e continuada queda no preço dos equipamentos instalados, em resultado da concorrência Chinesa. Em 2012 a Europa era responsável por 75% da produção mundial de energia fotovoltaica.

Como consequência, as empresas insolventes no setor atingiram o auge na Europa entre 2011 e 2012. Não caso da França o número de insolvências quase triplicou (COFACE, 2015).

O expressivo aproveitamento da fonte solar na Alemanha foi resultado da decisão estratégica de inserção de energia renovável em sua matriz energética, reduzindo a participação da energia nuclear. Como foi falado anteriormente, a Alemanha era líder mundial de capacidade de geração fotovoltaica instalada, sendo oficialmente ultrapassada pela China em 2015. A primeira política de incentivo de energia renovável implantada pela Alemanha ocorreu em 1990, quando foi adotada a Electricity Feed-in Law, que iniciou o sistema de preços para remuneração de geração distribuída a partir de fontes renováveis (THE GERMAN ENERGIEWENDE, 2014).

Através do programa “Iniciativa 1.000 Telhados Solares” que a fonte solar se tornou significativa. A energia solar fotovoltaica teve seu marco na Alemanha a partir do ano 2000, ao substituir a lei de 1990 pela Renewable Energy Sources Act, que introduziu novas tarifas fixadas, tornando a implantação de painéis solares atrativas. Com essa nova política, a pessoa física que instalasse o painel fotovoltaico em sua residência tinha a garantia de vender a energia gerada ao sistema por um valor mais alto que a média do mercado. Os incentivos ao setor eram pagos pelos consumidores finais na forma de sobretaxa, um aumento chegando a 380%, destinada a subsidiar o desenvolvimento da energia renovável como um todo.

Na União Europeia, as condições de mercado quase triplicaram (COFACE, 2015). Na União Europeia, as condições de mercado para FV variam substancialmente de país para país. Os motivos para isso são as diferentes políticas energéticas e programas de apoio público para energias renováveis, especialmente FV, bem como os diferentes graus de liberalização dos mercados domésticos de eletricidade, além da diferença de intensidade de irradiação em cada região do continente.

Como resultado do rápido aumento da geração incentivada, o governo reduziu os incentivos e modificou esse modelo: estabeleceu-se um limite anual para compra de eletricidade por esse sistema. A energia alemã estava sendo comercializada por valores próximos ao dobro do que era praticado nos EUA, por exemplo. Desde maio de 2012, o FiT é ajustado mensalmente dependendo da instalação real do trimestre anterior. A revisão da Lei das Fontes de Energia Renováveis alemã em 2014 alterou o tamanho do sistema para novos sistemas elegíveis para uma feed-in tariffe níveis introduzidos de imposições sobre o autoconsumo, demonstrado por (ARANTEGUI, 2017).

A Austrália está situada numa região com alto índice de irradiação solar MME (2017), e por meio de tratados políticos nos últimos anos tem se consolidado como uma referência em geração de energias limpas, chegando a compor 17,2% de sua matriz energética em 2017.

Ainda em 2001, o governo vigente, junto com os países da Common wealth assinou o Mandatory renewable energy targets (MRET). O objetivo é expandir a participação das renováveis em 20% da matriz energética até 2020. Para garantir isso o Governo Federal ajustou a meta de 9,500 GW/h para 33, 000 GW/h até o ano de 2020 (ALKEAID, 2018).

Em 2016 o país anunciou a geração de 17,500 GW/h, se aproximando da meta. A política nacional RET é um incentivo para a indústria, voltada para acelerar novos projetos na Austrália. Mesmo com a recente queda dos custos da energia eólica e solar nos últimos anos, esse tipo de energia ainda concorre com fontes como carvão e gás, desenvolvidas durante anos por diferentes administrações públicas. A função do RET é a redução dessa desigualdade e para isso usa a estratégia de Large-scale Renewable Energy Target (LRET) e Smallscale Renewable Energy Scheme (SRES) (ALKEAID, 2018).

O primeiro é voltado para a instalação em residências, que foge do escopo do trabalho, e o segundo tem como meta a geração de 33,000 GW/h por usinas solares até 2020. Inicialmente era esperado que a meta do Large-scale Renewable Energy Target (LRET) fosse atingida com energia eólica, porém a energia solar em grande escala teve rapidamente os seus custos reduzidos durante os últimos anos. Outra vantagem para essa modalidade é a capacidade de ser financiado e instalado rapidamente, podendo entrar em operação antes do vencimento da meta em 2020. O RET funciona emitindo certificados para cada MW/h produzido (HARTMANN *et al.*, 2016).

Os certificados são então adquiridos pelas distribuidoras de energia e submetidos para a agência responsável pela regulamentação de energias renováveis (Clean Energy Regulator) para avaliar o compromisso da distribuidora perante o RET. Essa forma de comercialização cria um mercado que incentiva ambas as partes interessadas. O efeito das políticas de incentivo do país é o aumento da atratividade financeira. Atualmente a energia solar já consegue competir com a energia eólica, e é mais competitiva do que gás e carvão (NEWTON, 2016).

A adoção de energias renováveis no país não é homogênea. Em algumas regiões onde a presença de energias renováveis é mais incipiente, o seu desenvolvimento está

sendo incentivado por meio de leilões, especialmente nos estados de Victoria e Queensland. Segundo o corpo especialista em renováveis do governo australiano os leilões têm como missão o desenvolvimento da região e economia como um todo, e não somente redução de preços.

O primeiro é o preço definindo o valor por MW/h dos projetos de energia eólica e solar: USD 44,11 / MW/h para eólica; USD 41, 42 / MW/h para PV solar e USD 44,40 / MW/h para PV solar com rastreamento. O segundo é o mecanismo conhecido como contrato de diferença. Se o preço praticado pelas distribuidoras for maior do que esses valores (e foi quase o dobro do que em Victoria durante a maior parte deste ano), o proprietário do parque eólico retorna a diferença para o governo. É um mecanismo interessante para incentivar o mercado, impondo limites para a rentabilidade das Integradoras e criando um mercado mais sustentável.

A parte interessante virá enquanto os integradores de usinas eólicas e solares precisam para torná-los viáveis. A tendência é isso ser decidido por uma proposta competitiva do componente de preço fixo (valor base) do negócio, um custo por ano por MW instalado. A região de Queensland também realizou leilões para a contratação de 400MW de energia renováveis, onde foram recebidas 115 propostas de 79 diferentes companhias participantes.

Das propostas, 2,2 GW são de eólica e 6,4 GW de solar. O leilão faz parte de um pacote para incentivos, que inclui a meta do estado de Queensland de atingir 50% de sua matriz em renováveis até 2030. O cenário da Austrália é de uma série de incentivos pontuais iniciados em 2012, e busca se beneficiar da alta irradiação do continente e atratividade econômica da renováveis, além da redução de emissão de carbono no país, seguindo a tendência mundial. o próximo capítulo apresentará um panorama do mercado global e quantificará os investimentos em energia fotovoltaica nos países desenvolvidos, em várias partes do mundo.

2.3 - MERCADO DE ENERGIAS LIMPAS E FOTOVOLTAICO NO MUNDO

Muitas empresas incluindo desenvolvedores e integradores, companhias de investimento e grandes bancos, entraram no mercado de financiamento de energia solar. A maioria das estruturas para desenvolvimento dos projetos envolvem dois componentes chaves:

- Capital próprio de um ou mais investidores aplicado diretamente ou para o desenvolvedor do projeto Special Purpose Vehicle (SPV), também conhecido como “companhia de projeto”.
- Empréstimo limitado para um ou mais credores, assegurados contra os ativos possuídos pelo SPV, conforme publicação (IRENA, (2015).

O mercado fotovoltaico (FV) tem se mostrado um modelo de geração de energia versátil e conservador. Isso fica claro com a crescente adoção mundial do novo modelo, mesmo em cenários de crise global. Segundo as informações da Bloomberg New Energy Finance -BNEF, o investimento mundial em energias limpas totalizou USD 333,5 bilhões em 2017, um aumento de 3% em relação ao ano anterior, que foi de USD 324,6 bilhões. O ano de 2017 foi importante para a energia solar, pois consolidou a queda do valor da energia contratada. Sistemas típicos de médio e grande porte em 2017 ofereceram a mesma quantidade de MW com redução de seus valores em 25% quando comparados aos dois últimos anos (BNEF, 2017).

Mesmo com redução significativa de seus custos, a energia solar representou a maior parte dos investimentos em renováveis, totalizando USD 161 bilhões, um aumento de 18% em relação a 2016. Um pouco mais da metade desses investimentos, USD 86,5 bilhões, foram investidos na China, investimento esse, duas vezes maior que 2016, integrante do grupo econômico que compreende Ásia – Pacífico e Austrália (APAC) (BNEF, 2017).

A China superou a previsão de capacidade instalada em 20 GW, principalmente por dois motivos:

- Os responsáveis pela regulamentação do mercado cederam à pressão da indústria, oferecendo subsídios para além do orçado, que se concretizarão nos próximos anos dos empreendimentos;
- Com os ganhos de escala da indústria a tecnologia se tornou popular no país, com a instalação de projetos descentralizados e centralizados, atendendo consumidores residenciais e industriais.

O país se destacou pelo investimento de USD 132,6 bilhões em energias limpas, valor que representa 40% do investimento global na área (BNEF, 2017).

Esse aumento expressivo da China tira a atenção para mudanças também interessantes, como o aumento em 150% dos investimentos em energias renováveis na Austrália,

Movimentando USD 9 bilhões em 2017. Na Europa, o mercado mais desenvolvido, investiu USD 57,4 bilhões com uma queda de 26% quando comparado ao ano de 2016. A Figura 2.6, apresenta a variação dos investimentos, que após serem concentrados na Europa estão tendo destaque na Ásia (BNEF, 2017).

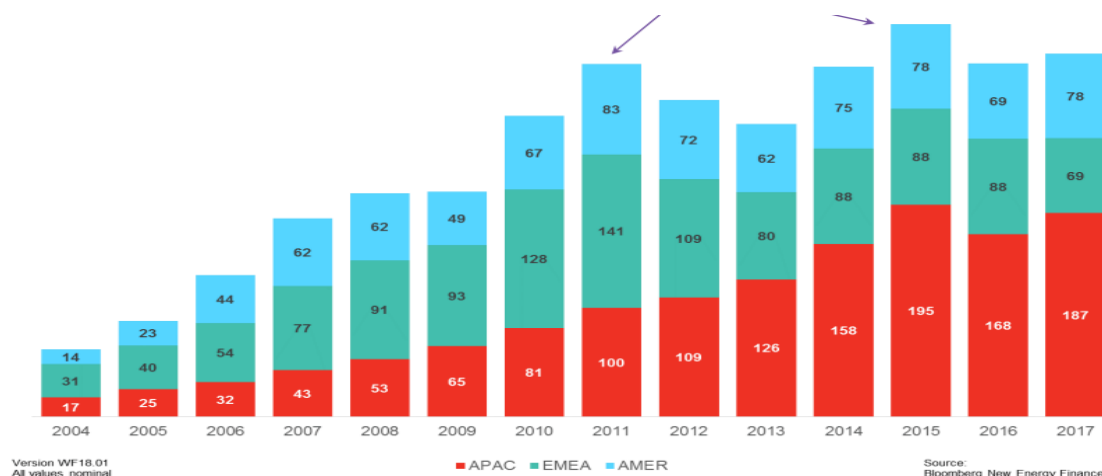


Figura 2.6 - Investimentos globais em energias limpas por região, 2004-2017.
Fonte: BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (2018).

Além da Ascensão dos países asiáticos, nota-se o crescimento do mercado das Américas. Após a China, o segundo país com mais investimentos são os EUA, responsável por USD 56,9 bilhões de investimentos, representando 1% de aumento em relação ao ano anterior, mesmo que a administração vigente do país não valorizar os investimentos em renováveis (BLOOMBERG, 2018).

Já o grupo econômico que compreende a Europa, África e os Emirados Árabes Unidos (EMEA) se manteve relativamente estável, quando se leva em consideração a redução do mercado Europeu. Isso é justificado pelo desenvolvimento do mercado de países do Oriente Médio, que diferente de outros mercados, concentra sua capacidade instalada em projetos de grande escala.

Os dois maiores projetos a serem comercializados no ano de 2017 estão no país:

- A usina solar Marubeni Jinko Solare Adwea Sweihan com 1,2 GW tendo um investimento de USD 899 milhões e,
- A usina solar Sheikh Mohammed Bin Rashid Al Maktoum III, uma instalação com 800 MW com investimentos de aproximadamente USD 968 milhões., segundo os dados de (BLOOMBERG, 2018).

Neste mesmo contexto, a Figura 2.7 apresenta a proporção dos investimentos em energia fotovoltaica por região.

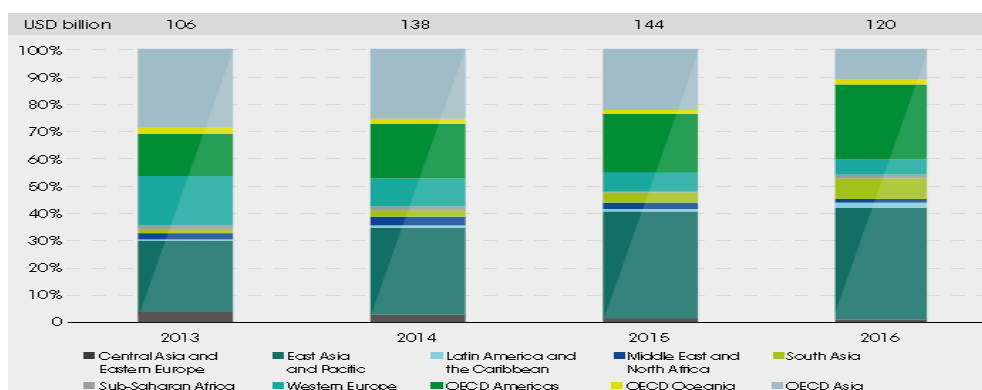


Figura 2.7 - Investimentos globais em energias limpas por região, 2013-2016.
Fonte: BLOOBERG NEW ENERGY FINANCE (2018).

A região da Ásia se destaca, com aumento de 75% nos investimentos, passando de USD 28 bilhões em 2013 para USD 49 bilhões em 2016. Os maiores investimentos vieram da China, dado principalmente pelas incorporadoras que aceleraram seus projetos no país, para que estes não fossem atingidos pela redução das Feed-in tariffs (IRENA, 2018).

Para projetos anunciados em 2017, os integradores serão beneficiados com as antigas feed-in tariffs somente se completarem a usina até 20 de junho de 2018, justificando os grandes investimentos na área no curto período (IRENA, 2018).

Nas Américas o crescimento de USD 16 bilhões em 2013 para USD 32 bilhões é justificado pelo crescimento constante nos EUA, aumentando de USD 13 bilhões para USD 31 bilhões em 2016, um crescimento anual composto de 30% (IRENA,2018).

Nos países membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) da Ásia os investimentos foram estáveis de 2013 a 2015, com média de USD 33 bilhões anuais até 2016, quando reduziram para USD 13 bilhões. Isso ocorreu principalmente pelo Japão, onde os investimentos passaram de em média USD 31 bilhões entre 2013 a 2015 antes de cair para 12 bilhões em 2016, quando as tarifas Feed-in foram reduzidas (IRENA, 2018).

A Figura 2.8, busca ilustrar as políticas japonesas apresentadas anteriormente.

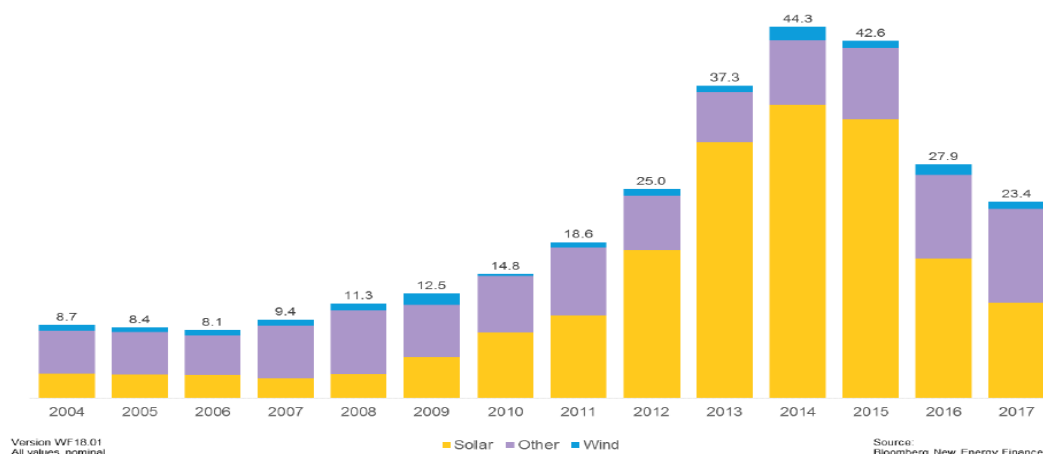


Figura 2.8 - Investimentos japoneses em energias limpas por setor 2004-2017.
Fonte: BLOOBERG NEW ENERGY FINANCE (2018).

Diferente do Mercado europeu, o Japão demandou mais tempo para atingir a sua quantidade máxima de investimentos, devido principalmente aos acontecimentos que levaram a energia solar a ser pauta no país, como foi mencionado no capítulo anterior. As quedas na região da Europa Ocidental também são justificadas pela redução das feed-in tariffs, principalmente no Reino Unido onde houve uma redução de mais de 50% entre 2015 e 2016, IRENA (2018). Na região da Ásia também existe uma parcela do crescimento da Índia, onde em 2016 chegou a ser investido USD 8 bilhões em energia solar.

A Figura 2.9, ilustra o crescimento dos investimentos em energia solar, comparando-os com os investimentos em outras energias limpas.

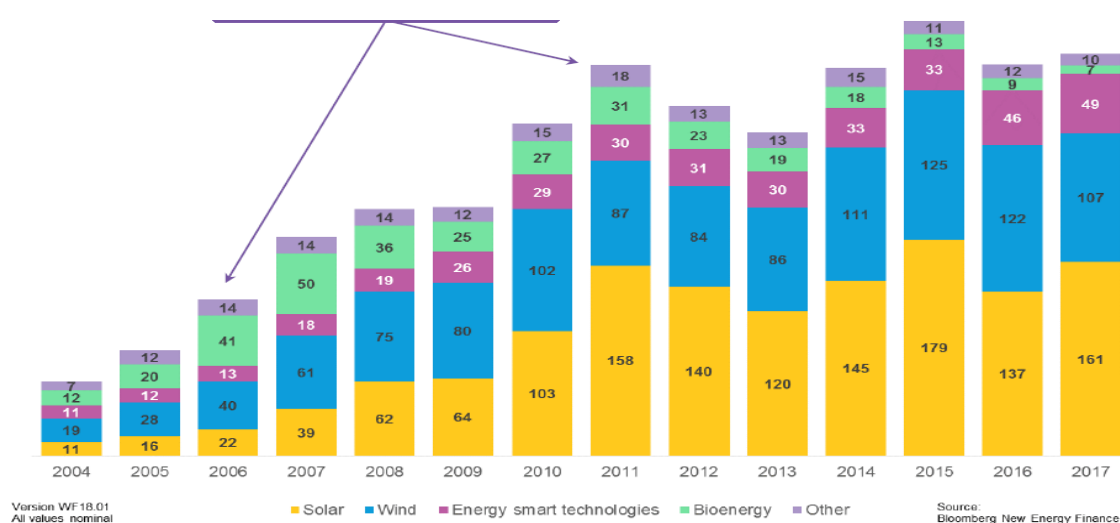


Figura 2.9 - Investimentos globais em energias limpas por setor 2004-2017.
Fonte: BLOOBERG NEW ENERGY FINANCE (2018).

Nota-se que os maiores investimentos em 2006 eram em energia eólica, bioenergia, estando a energia solar em terceiro lugar. A partir de 2010 os maiores investimentos globais em energia limpa se concentram na energia solar, sendo 50,4% maiores em 2017 que a energia eólica (BLOOMBERG, 2018).

Entre 2013 e 2016 investimentos privados corresponderam a 87% dos investimentos em energias renováveis, chegando a USD 300 bilhões em 2015. Já a participação de investimentos públicos varia de 12% a 16% entre 2013 e 2015, com uma média de USD 40 bilhões, antes de reduzir para USD 21 bilhões em 2016 (IRENA, 2016).

Mesmo parecendo pouco, os investimentos públicos são essenciais para incentivar a adoção de novos modelos de negócios, incluindo instrumentos regulatórios e incentivos fiscais. No total 147 países tinham em vigor algum tipo de incentivo a energias renováveis no ano de 2016 como apresentado no capítulo anterior (REN21, 2017).

A Figura 2.10, apresenta o aumento dos investimentos privados, que ilustra o amadurecimento do mercado em comparação aos investimentos públicos.

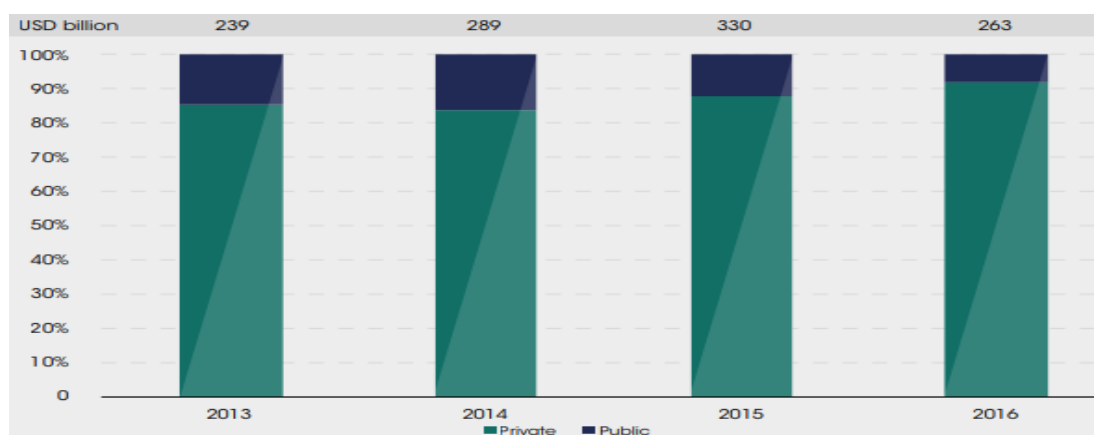


Figura 2.10 - Investimentos públicos e privados em energias renováveis 2013-2016.
Fonte: IRENA (2018).

2.4 - TECNOLOGIA E SEUS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

A energia solar possui diferentes modalidades, sendo dividida em três classes:

- Geração centralizada ligada à distribuidora: São conhecidas como Usinas ou Utility Scale. Recebem essa classificação os projetos a partir de 1 MW, descentralizados, ou seja, não conectados diretamente ao lugar de consumo da energia.

- Geração descentralizada ligada à distribuidora: É conhecido como Geração Distribuída no Brasil e engloba os sistemas residenciais e menores que 1 MW.
- Geração Off-Grid: Geração em sistemas remotos, onde a energia sobressalente é armazenada em baterias. Devido a atratividade econômica e a grande proporção dos projetos, que será apresentada a seguir, a geração solar centralizada está claramente em tendência de crescimento.

A Figura 2.11 ilustra a grande proporção das usinas solares frente geração Off-Grid e distribuída no mundo.

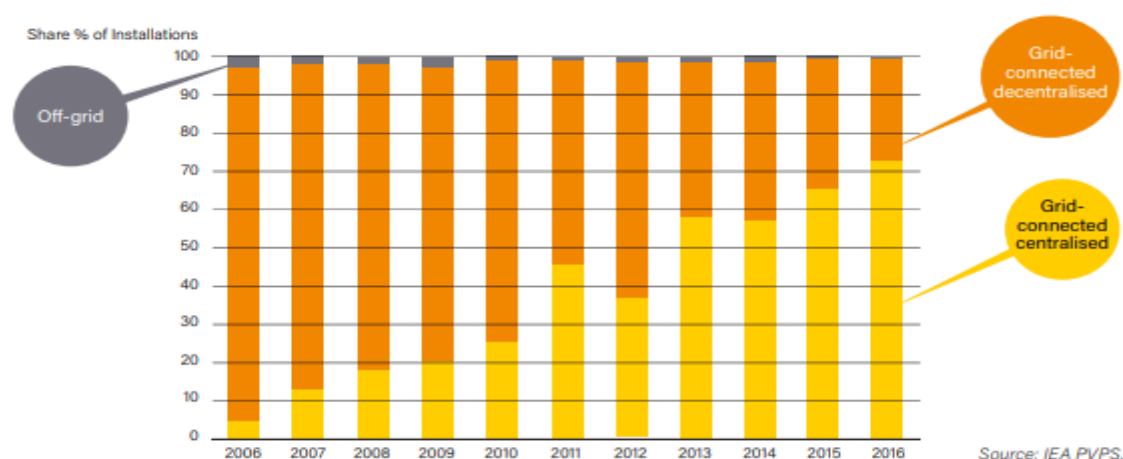


Figura 2.11 - Segmentação das instalações de energia solar mundialmente 2006-2016.
Fonte: IEA PVPS (2018).

Além da tendência de crescimento dos projetos de Usinas, temos também a redução nos seus custos, como mostra a Figura 2.12.

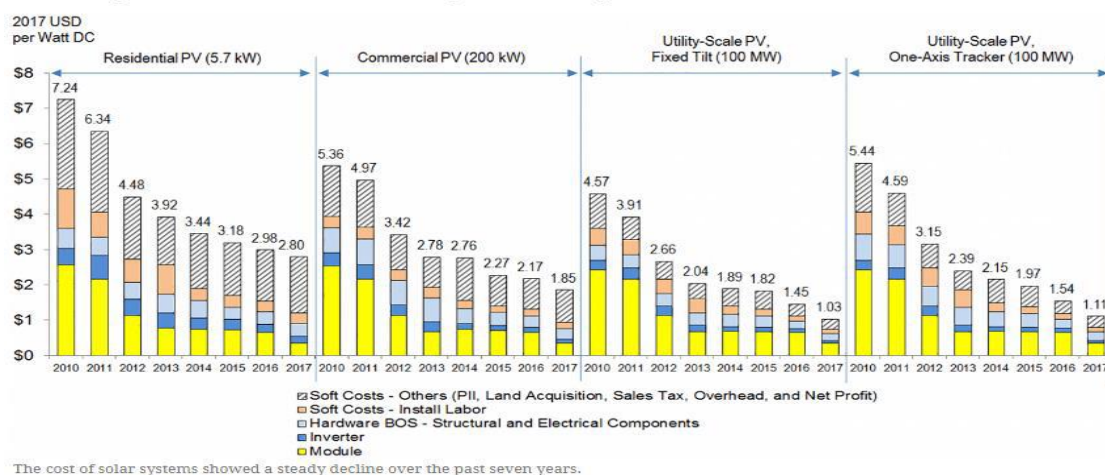


Figura 2.12 - Decomposição dos custos da energia solar USD/WATT 2010-2017.
Fonte: NREL (2017).

Mudanças em grande escala do sistema energético global definiram os novos cenários futuros, a rápida implantação e a queda dos custos das tecnologias de energia limpa foram variáveis importantes; desde 2010, os custos da nova energia solar fotovoltaica caíram 70%, a energia eólica em 25% e, os custos de baterias em 40%. Em 2016, os gastos dos consumidores mundiais com eletricidade aproximaram-se dos valores dos gastos com produtos de petróleo, segundo a (WORLD ENERGY OUTLOOK, 2017).

2.5 - PRODUÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

A radiação solar que incide na Terra em um ano é 10.000 vezes maior que a demanda energética neste mesmo período, podendo ser considerada uma fonte inesgotável. No Brasil, o processo de urbanização está tendo consequências desastrosas e descontroladas, uma vez que a demanda de serviços, equipamentos públicos, transportes, comércio, tecnologia, tem causado uma série de transtornos na dinâmica das cidades. A energia é um ponto chave na sociedade moderna, onde se faz necessário o aporte adequado de energia para o seu desenvolvimento pleno, puzante, se faz necessário para o desenvolvimento, sempre alinhado com a responsabilidade ambiental, dando preferência a energia limpa, renovável.

O governo brasileiro reconheceu a eletricidade como sendo um direito do cidadão, fomentando o acesso a quase 15 milhões de pessoas desde o ano de 2003, no âmbito do programa "Luz para Todos". No entanto, partes consideráveis do país, incluindo parte da região amazônica, ainda não têm acesso aos serviços de energia elétrica, notadamente devido às longas distâncias e aspectos geográficos desafiadores.

De acordo com o relatório anual e de sustentabilidade do setor elétrico brasileiro referente ao ano de 2020 (ELETROBRAS, 2020), e com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2018 o Brasil possuía uma população total de 203.610 milhões de habitantes. O consumo total de eletricidade no referido ano atingiu 475.432 GWh, o número de consumidores foi de 77.171 mil, dos quais 69.007 mil eram clientes residenciais que consumiam, em média, 167kWh por mês (IBGE, 2018).

No Brasil, utiliza-se a energia termelétrica de forma estratégica, pois esta pode ser produzida em uma quantidade constante durante o ano inteiro, apesar da grande emissão de carbono na atmosfera, diferentemente das hidrelétricas, as quais possuem a produção dependente do nível de rios.

A geração de energia por Motor Gerador é estratégica, porém, com um elevado custo de implantação e manutenção. O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 74,5% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável, as demais fontes somadas representam 25,5%. Atualmente, há uma autoprodução de energia elétrica injetada à rede pública, cuja nomenclatura on grid ou grid tie, denominação oriunda do próprio inversor utilizado (ELETROBRAS, 2018).

A ANEEL a partir de abril de 2012 protocolou uma resolução normativa de número 482, na qual estabelece condições gerais para acesso de microgeração e de minigeração de energia elétrica e cria maneiras para compensar essa produção. Hoje, qualquer pessoa ou empresa pode gerar sua própria energia para consumo.

O sistema adotado no Brasil é conhecido internacionalmente como net-metering. Assim, o consumidor-produtor de energia paga em sua conta de energia apenas a diferença entre o seu consumo e a sua produção.

O excedente de produção (se houver) é convertido em créditos que serão abatidos da sua conta dentro do próprio mês ou em até 36 meses, garantido à adequação as sazonalidades de produção e consumo. Os créditos excedentes podem ser utilizados em outras unidades consumidoras desde que atendidas pela mesma distribuidora de energia e sob mesmo nome do titular que recebeu o crédito. Essa pesquisa ficara pautada na microgeração de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas on grid, desligada do sistema nacional de energia elétrica. Sistema Energético Nacional, demonstrado na Figura 2.12 (ANEEL, 2017).

O potencial de aproveitamento da energia solar no Brasil é muito grande, pois a maior parte do território nacional está localizada na região intertropical, o que resulta em altos índices de radiação. No entanto, a utilização desta energia na matriz elétrica brasileira ainda é incipiente, sendo poucos os sistemas conectados à rede, voltados principalmente à projetos de pesquisa desenvolvidos por instituições acadêmicas. As principais aplicações da tecnologia fotovoltaica no país são relativas a sistemas autônomos, ou seja, não conectados à rede e dependentes de um acumulador de energia (baterias), voltados principalmente à telecomunicação, à eletrificação rural e ao bombeamento de água em regiões isoladas.

O Brasil, conforme MME (2017), possuía, ao final de 2016, 81 MW de energia solar fotovoltaica instalados, o que representa cerca de 0,05% da capacidade instalada total no país. Do total de 81 MW existentes em 2016, 24 MW correspondiam à geração centralizada e 57 MW à geração distribuída. A baixa utilização da energia solar no Brasil chama mais atenção quando verificamos as condições favoráveis ao desenvolvimento da fonte no país. O Brasil, de acordo com EPE (2012), possui altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos esses de alto valor agregado.

De acordo com o Operador Nacional de Sistemas (ONS) em 26/10/2017, os níveis dos reservatórios são os mais baixos já registrados, menores ainda que os de 2001 que levaram a um racionamento de energia elétrica no Brasil. O nível na Região Sudeste / Centro-Oeste, a maior responsável pela geração de energia elétrica no país, está em 17,96% de sua capacidade, na Região Sul 44,79%, na Região Nordeste 6,61% (sendo Sobradinho apenas 3,14%) e na Região Norte com 22,49% ONS (2017).

Sem ter outra alternativa, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), realizou audiência pública e publicou nota onde altera os valores cobrados pelas bandeiras tarifárias: a bandeira Amarela passa de R\$ 2,00 para R\$ 1,00 a cada 100kWh consumidos, a Bandeira Vermelha Patamar 1 continua R\$ 3,00 a cada 100kWh consumidos e a Bandeira Vermelha Patamar 2 passa de R\$3,50 para R\$5,00 a cada 100kWh consumidos, aumento neste último de 42,86% (todos os valores sem impostos), o que dá uma indicação da gravidade em que se encontra o sistema elétrico e a sua atual dependência das fontes hidrotérmicas (ANEEL, 2017).

Entretanto, o repasse destes valores para o consumidor final não resolve o problema da geração, apenas indica a forma como ela tem ocorrido e repassa os custos extras ocorridos pela geração termoelétrica às tarifas de energia elétrica. Estes fatores contribuem para a mudança do modelo hidrotérmico adotado pelo governo federal, onde se evidencia ainda mais a necessidade quanto a utilização de outras fontes de geração de energia elétrica como a eólica e a solar.

Sob o aspecto de planejamento energético de longo prazo, estima-se que o Brasil necessitará em 2050 algo em torno de 1.605 TW/h/ano, um acréscimo de aproximadamente 1.000 TW/h/ano entre 2015 e 2050 MME (2016b). Diante desta visão e das barreiras e limitações de cada fonte, torna-se ainda mais necessária a

diversificação da matriz elétrica brasileira em todas as regiões do Brasil de forma a atender as demandas futuras (ANEEL, 2017).

Este cenário tem também favorecido a geração distribuída (GD), que fornece energia elétrica próxima ao ponto de consumo, contribuindo também na diminuição das perdas de energia, que em 2016 foram de aproximadamente 16%, o equivalente a toda energia elétrica gerada por Itaipu ao longo de um ano (TIEPOLO *et al.*, 2012), MME (2017). A participação das fontes energéticas na produção de energia elétrica na matriz elétrica brasileira e global é mostrada na Figura 2.14.

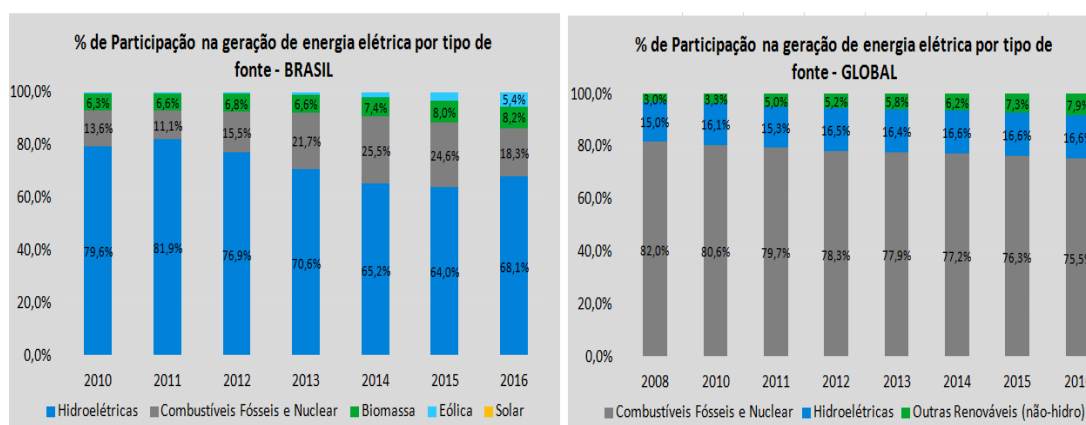


Figura 2.14 - Produção de energia elétrica global e Brasil por tipo de fonte.
Fonte: Adaptado REN21(2010-2017) e MME (2012-2017).

A maior participação da fonte hidráulica na matriz elétrica brasileira leva a uma tarifa de energia elétrica não tão elevada por esta possuir um custo de produção mais baixo quando comparada as demais fontes utilizadas. Mas quando associada às precipitações abaixo das médias históricas que têm ocorrido em grande parte do território, notadamente a partir de 2012, e consequentemente ao maior despacho das termoeletricas utilizadas para suportar o déficit de geração, gera como consequência um maior custo médio da energia e indica a necessidade de se repensar no modelo de geração de energia elétrica adotado no país. Conforme abordado por TIEPOLO *et al.* 2012; e o relatório do (MME,2017).

Apesar deste grande potencial hídrico, a expansão de hidroelétricas na matriz elétrica brasileira e paranaense encontra-se em declínio devido à dificuldade de explorar o potencial ainda não utilizado, e devido às pressões da sociedade e entidades públicas e ambientais, necessitando o estado de pesquisas através de outras fontes de energia complementares, principalmente através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede – SFVCR (TIEPOLO, 2016).

Fatores restritivos à implantação de SFVCR, como os custos dos componentes, possuem cada vez menos influência quanto à decisão de se instalar estes sistemas, visto que os valores têm continuamente diminuído no mercado internacional, aliado ao aumento do custo da energia elétrica no Brasil, com uma forte tendência de reajustes acima da inflação nos próximos anos (TIEPOLO, 2016).

2.6.1 - Potencial brasileiro de geração de energia solar fotovoltaica

De acordo com (PEREIRA *et al.*, 2006), a média anual de irradiação global apresenta uma boa uniformidade no Brasil, com médias relativamente altas em todo o território. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2.500) são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900-1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²), locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados, conforme mostrado nas Figuras 2.1 e 2.16.

Segundo (PIETZCKER *et al.*, 2014) a energia fotovoltaica (FV) apresentou um crescimento substancial nos últimos anos ao mesmo tempo em que obteve reduções consideráveis de custos, aumentando-se assim o desafio em se estabelecerem modelos de matrizes energéticas integradas combinando diferentes fontes energéticas e, vislumbrando o fato da energia solar ser um modelo dominante a longo prazo.

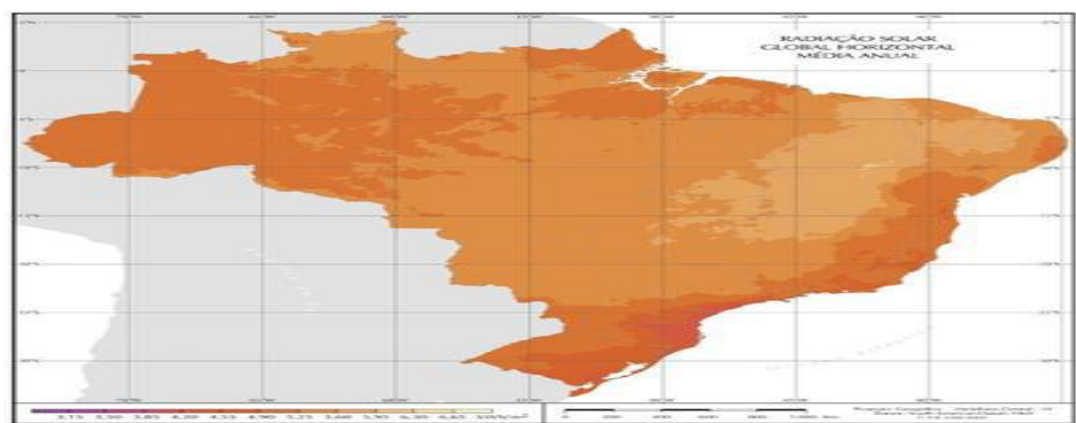


Figura 2.15 - Mapa de radiação solar do Brasil.

Fonte: ELETROBRAS:ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR 2017.

A energia do sol pode ser utilizada para produzir eletricidade através do efeito fotovoltaico, que consiste no surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor exposto a uma luz visível. Desta forma, é possível converter radiação

solar em corrente elétrica através de uma célula fotovoltaica, composta por duas camadas de material semicondutor dos tipos P e N, uma grade superior de coletores metálicos e uma base metálica interior, que são os terminais elétricos que no fim fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação dos fótons, que energizam os elétrons das duas camadas, uma inicialmente com excesso e a outra com falta de elétrons.

A Figura 2.16, ilustra esta estrutura da célula com o efeito fotovoltaico e uma placa comercial (BLUE SOL, 2011).

A energia fotovoltaica, ou energia solar, é considerada a mais limpa, ecológica e abundante, podendo ser produzida mesmo em dias nublados e chuvosos. Quanto maior a radiação solar maior será a quantidade de eletricidade produzida. Para a produção desse tipo de energia são utilizados os módulos fotovoltaicos, mostrados na Figura 2.16 e 2.17, que são compostos por células fotovoltaicas normalmente feitas de silício ou outros materiais semicondutores, quando a radiação solar atinge o painel há a circulação de elétrons devido ao material semicondutor constituinte, e então se gera uma corrente elétrica.

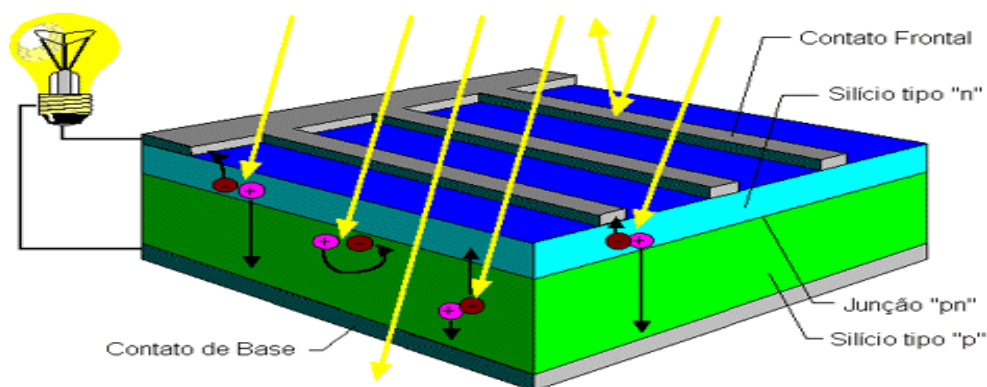


Figura 2.16 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.
Fonte: BLUE SOL (2019).



Figura 2.17 - Composição de um painel fotovoltaico.
Fonte: BLUE SOL (2019).

A partir da geração da corrente elétrica ocorrida nas células fotovoltaicas, são utilizados inversores de frequência, que tem a função de converter a corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada, sincronizando a frequência e adequando os níveis de tensão com a rede da concessionária local, possibilitando a injeção na mesma. Através da alteração do medidor convencional unidirecional pelo medidor bidirecional é possível mensurar e faturar o saldo energético, controlando assim o consumo e geração de energia independente, isso quando conectado a rede de distribuição elétrica, que serve como exemplo, e não faz parte do esquema a ser discutido nessa dissertação (BLUE SOL, 2011).

2.7 - A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO NORTE DO BRASIL

Ambientalmente falando o Amazonas está na vanguarda de uma economia que comumente chamada de verde, ou seja, sustentável, e ainda tem como contribuir para garantir que as mudanças climáticas globais sejam minimizadas e garantam assim, manutenção da qualidade de vida no planeta. Os temas discutidos na Rio+20 giraram em torno de dois eixos. Um sendo o do desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza, E o segundo em governança ambiental (GUTEMBERG, 2014), torna explícito o que já era oficiosamente conhecido, o governo brasileiro ainda não apoia de forma clara a mudança da matriz energética para fontes mais limpas, por estar equivocado em ver somente o primeiro dos eixos mencionados da Rio+20 e segundo, o ambiental que este sim irá refletir indubitavelmente quando desenvolvido na erradicação da pobreza.

Na Figura 2.18, demonstra o potencial da Região Norte, em especial o estado do Amazonas, objeto do nosso estudo, com um grande potencial para a utilização em larga escala da energia fotovoltaica, conforme a figura citada.



Figura 2.18 - Radiação solar global em destaque o Amazonas.
Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA ELÉTRICA ANEEL (2017).

2.8 - COMUNIDADES ISOLADAS NO AMAZONAS

Sendo o estado do Amazonas a maior região do Brasil possui uma proporção de comunidades isoladas, sem acessibilidade à energia elétrica.

No Estado do Amazonas, de aproximadamente 4.600 comunidades contabilizadas, apenas (0,7%) são supridas com energia elétrica da concessionária local, a Amazonas Energia, este é um dos Estados brasileiros com o maior índice de propriedades rurais não eletrificadas, 73%, ou cerca de 75 mil domicílios, com base em dados do MME (Ministério das Minas e Energia).

A distribuição da região norte é feita de forma separada, onde se acompanham a calha de rios que permitem a locomoção e o suprir dos habitantes. Assim, a dispersão e a baixa demanda por energia fazem com que o atendimento por extensão de rede se torne muito pouco atrativo, para as concessionárias de energia, e em muitos casos acaba por inviabilizar o atendimento, devido ao elevado custo da linha de transmissão para transportar a energia (ANEEL, 2017).

Para atender algumas comunidades isoladas, a Amazonas Energia, concessionária do Estado do Amazonas, utiliza a energia térmica que tem como principal combustível o óleo combustível. Entretanto, para o transporte de combustível até essas comunidades, por via fluvial que é feito através de embarcações, leva-se em média 45 dias, muitas vezes interrompendo o fornecimento da energia elétrica antes que as térmicas sejam abastecidas (ANEEL, 2017).

Dessa forma, optou-se pelo atendimento via geração descentralizada, preferencialmente através de fontes de energia renováveis.

Foi a partir da criação do PROINFA, em 2002 (Lei n 10.438/2002, alterada pela Lei nº 10.762/2003) que o Estado passou a ser responsável pela eletrificação das comunidades excluídas do sistema de energia elétrica. O artigo 15 da lei 10.438/2002 introduz a possibilidade de universalização ser realizada mediante o uso de fontes alternativas de energia, como a eólica, a solar, a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas: “Art. 15 - Visando a universalização do serviço público de energia elétrica, a ANEEL poderá promover licitações para outorga de permissões de serviço público de energia elétrica, em áreas já concedidas cujos contratos não contenham cláusula de exclusividade.

A Amazonas Energia fez solicitações formais ao agente financiador do Programa “Luz para Todos”, ELETROBRÁS, e encaminhou os documentos necessários, obtendo em novembro de 2009 a aprovação de financiamento. Naquele mesmo período a ELETROBRÁS obteve na ANEEL através da Resolução Autorizativa nº 2.150/2009, autorização para implantação em caráter piloto de atendimento as 13 comunidades isoladas com a adoção de faturamento tipo pré-pagamento de mini redes solares de energia elétrica.

22 “Art. 1º Autorizar a Amazonas Energia a implantar projeto piloto, conforme os prazos e condições estabelecidas nesta Resolução. Parágrafo único. A autorização de que trata esta Resolução aplica-se somente ao atendimento das comunidades de:

São Sebastião do Rio Preto, no Município de Autazes; Democracia, no Município de Barcelos; Terra Nova, no Município de Barcelos; Nossa Senhora do Carmo, no Município de Beruri; Mourão, no Município de Eirunepé; Santo Antônio, no Município de Eirunepé; Nossa Senhora de Nazaré, no Município de Maués; Santa Luzia, no Município de Maués; Santa Maria, no Município de Maués; São José, no Município de Maués; Aracari, no Município de Novo Airão; Bom Jesus do Puduari, no Município de Novo Airão; Sobrado, no Município de Novo Airão.

Das doze minis usinas fotovoltaicas que fazem parte do projeto, dez já estão em operação, mas ainda falta serem atendidas as Comunidades de Mourão e Santo Antônio no município de Eirunepé (ELETROBRAS, 2010).

Na Figura 2.19, mostra uma Minis-usinas Fotovoltaicas no interior do Estado do Amazonas.



Figura 2.19 - Mini-usinas fotovoltaicas no interior do estado do Amazonas.
Fonte: AMAZONAS ENERGIA (2020).

A expectativa é que o novo sistema represente uma melhoria importante na qualidade de vida das populações beneficiadas, na medida em que oferecerá aperfeiçoamento nas condições dos serviços de utilidade pública, como o funcionamento das escolas no período noturno e a melhoria no atendimento em postos de saúde, entre outros benefícios (WALLIS, 2019). Com a instalação das minis redes de energia solar, houve significativa melhora no IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) local. As famílias beneficiadas pelo projeto são agora mais um grupo de pessoas incluídas socialmente. O projeto trouxe diversos benefícios, tanto para as comunidades quanto para o comércio local, pois possibilitou que seus moradores pudessem adquirir equipamentos eletrônicos e consequentemente aumentar a atividade econômica dos municípios onde estão situadas (MANDELLI *et al.*, 2016).

O fornecimento de energia trouxe muitos outros benefícios às comunidades isoladas. Recentemente, a comunidade São João do Ipecaçu, na Reserva Amanã – Amazonas inaugurou o “Energia Solar para Inclusão Digital”, um projeto que tem como objetivo oferecer conhecimentos em informática, energias renováveis e de preparação de jovens para o mercado de trabalho. A partir do projeto realizado com as placas solares, os jovens puderam ter acesso a diversas disciplinas, entre elas informática, manutenção de computadores e assuntos específicos sobre placas fotovoltaicas (ANAEEL, 2017).

Os sistemas solares fotovoltaicos isolados (off-grid), foram a melhor opção para atendimento das comunidades isoladas na região do Amazonas, porque além de ecologicamente corretos, custaram menos que os sistemas convencionais, sendo, desta forma economicamente viáveis (JÚNIOR, 2019).

Logo, os projetos diminuem a necessidade de o governo investir na construção de usinas e cabos de distribuição, uma vez que a energia é produzida mais perto do consumidor. Além das vantagens ecológicas, pois grandes obras como linhas de transmissão que cruzam a Amazônia, podem ser reduzidas ou evitadas. Um grande auxílio ao desenvolvimento de muitas comunidades locais e à preservação de nossas florestas.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS

3.1.1 - Descrição dos equipamentos

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.

A Figura 3.1 apresenta cargas do tipo CC e do tipo CA conectadas ao sistema fotovoltaico isolado. Os sistemas isolados, conforme o próprio nome sugere, não estão conectados à 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.



Figura 3.1 - Diagrama de sistema fotovoltaico em função da carga utilizada.
Fonte: FPME, (2019).

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 3.1 e 3.2, representam um modelo de sistema OFF-Grid e o seu diagrama em função da carga utilizada, respectivamente.

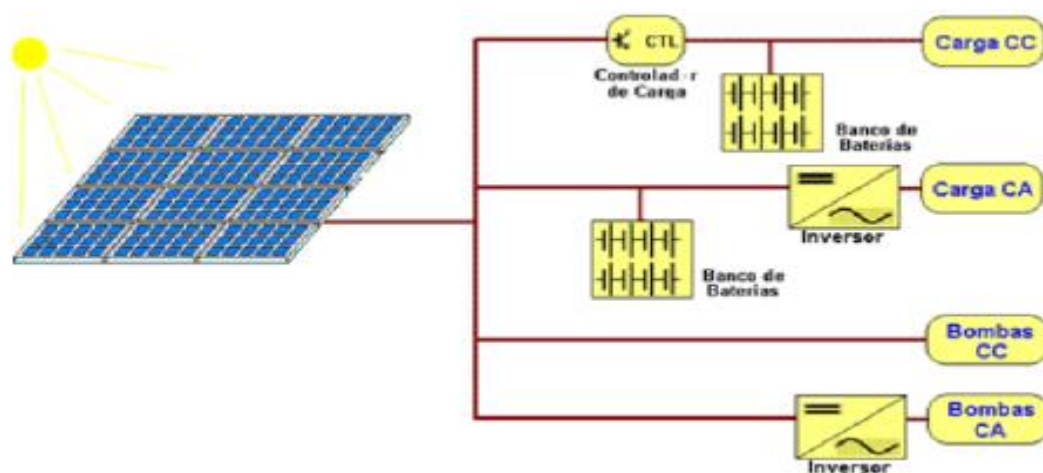


Figura 3.2 - Equipamentos do sistema.
Fonte: CRESESB, 2006.

Descrição dos equipamentos:

1. PAINEL FOTOVOLTAICO

A célula solar é um dispositivo eletrônico semicondutor, que utiliza o efeito fotovoltaico para produzir a eletricidade a partir da energia solar. O silício é o material mais utilizado ultimamente na fabricação das células.

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 pode haver dados 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

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.

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 3.3, 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 3.3.

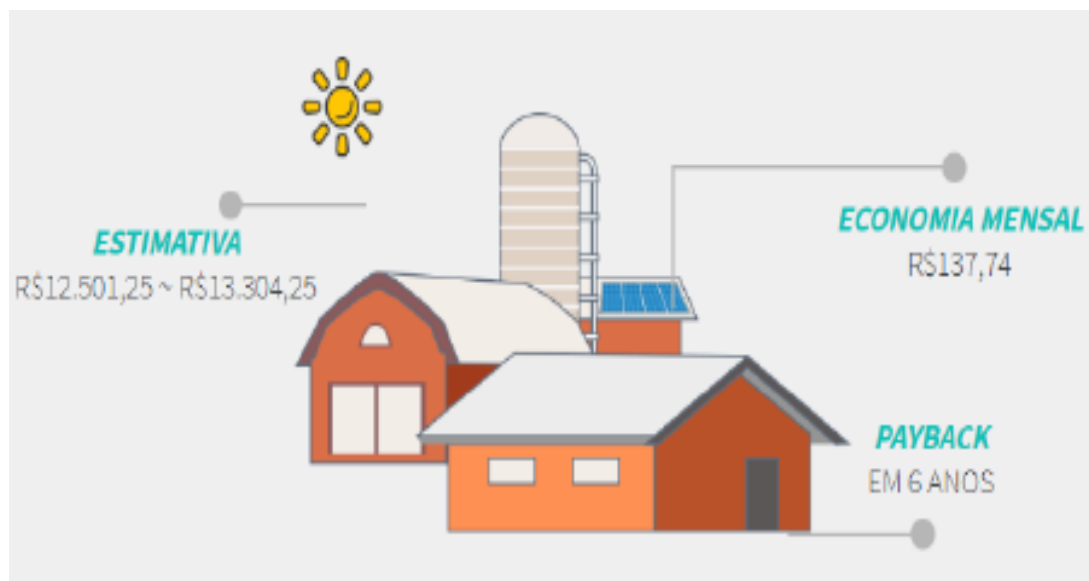


Figura 3.3 - Demonstrativo econômico.
Fonte: SOFTWARE BLUE INTELBRAS, (2020).



Figura 3.4 - Sistema OFF-Grid em números – Orçamento.
Fonte: SOFTWARE BLUE INTELBRAS, (2020).

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.

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 o 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.

3.1.2 - Local de instalação

Os critérios de seleção para instalação de energia fotovoltaica em pequenas comunidades isoladas:

- Carência de fornecimento de energia elétrica;
- Realidade socioeconômica da população local;
- Aprovação da prefeitura;
- Aceitação da comunidade local;
- Incidência de radiação solar.

3.2 - DETALHAMENTO DOS COMPONENTES DO EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO

3.2.1 - Painel solar

Os painéis solares fotovoltaicos são os responsáveis por transformar a energia do sol em energia elétrica. São constituídos por células fotovoltaicas (células foto eletroquímicas) ou simplesmente "células solares". Os painéis PV são construídos para fornecer potência elétrica através de corrente contínua (CC). Os módulos podem ser conectados em série ou em paralelo, conforme ilustra a Figura 3.5 e Figura 3.6:



Figura 3.5 - Placa solar.
Fonte: ABSOLAR (2019).



Figura 3.6 - Vista geral da mini rede em uma comunidade no Amazonas.
Fonte: AMAZONAS ENERGIA (2020)

3.2.2 - Acumulador de energia (Bateria)

As Baterias são acumuladores energia elétrica, destinada a fornecer energia em caso de picos de consumo ou em caso de falha no sistema de retificação e/ou na falta de energia primária, que trabalham em local fixo. A Figura 3.7 ilustra uma bateria tipo estacionaria.



Figura 3.7 - Bateria (acumulador de energia).
Fonte: GROWATT (2022).

A bateria utilizada leva em consideração a potência da luminária, estimando o tempo de uso em 10 h. A tensão da luminária é de 12V e o consumo total do equipamento é de 300Wh, sendo assim, a capacidade da bateria é de 125Ah.

As baterias de ciclo profundo são projetadas para suportar um número maior de ciclo de carga e descarga, além de poderem descarregar-se mais do que as convencionais. As baterias de chumbo ácido estacionarias são consideradas de ciclo profundo, enquanto as baterias automotivas não podem sofrer mais do que 20% de descarga, as estacionárias de ciclo profundo podem descarregar-se até 50% ou 80% sem perder sua capacidade de recarga. O termo estacionária e de ciclo profundo normalmente se confundem quando nos referimos as baterias de chumbo ácido que possuem essas características. Embora essas denominações tenham significados diferentes, uma bateria estacionária de chumbo ácido quase sempre é também uma bateria que aceita descargas profundas, recebendo classificação de bateria de ciclo profundo.

A vida útil de uma bateria também é permanentemente reduzida pelo seu envelhecimento, que está diretamente relacionada com a temperatura de operação ou de armazenamento.

A vida útil de uma bateria estacionária de chumbo ácido com eletrólitos líquido também está relacionada a profundidade de descarga da seguinte forma:

- 2500 ciclos: descarga de 10%;
- 1500 ciclos: descarga de 20%;
- 500 ciclos: descarga de 50%.

O procedimento que contribui para o aumento da vida útil da bateria é a manutenção do estado de carga em baterias de chumbo ácido através do procedimento da flutuação (manutenção da carga quando não está em uso), a operação em ambientes de temperatura controlada e o uso de controlador de carga para evitar sobrecargas e descargas muito profundas (FOSTER *et al.*, 2009).

3.2.3 - Controlador de carga

O controlador de carga é um dos principais componentes de um sistema fotovoltaico, tem a função de proteger as baterias contra descargas profundas e excesso de carga. Dessa forma, aumenta sua vida útil e assim garante que toda energia produzida pelos painéis solares seja armazenada com maior eficiência nas baterias. A Figura 3.4, ilustra um controlador de carga. O controlador de carga é responsável por monitorar o valor da tensão nos terminais da bateria e impedir que continue sendo carregada quando a tensão de carga é atingida. Para evitar a sobrecarga, o controlador de carga desconecta o painel solar do sistema quando a bateria atinge seu nível máximo. A proteção de descarga excessiva, também chamada de função de desconexão com baixa tensão, é o recurso do controlador de carga que faz com que o consumo de energia do sistema fotovoltaico seja interrompido quando a bateria atinge um nível crítico de carga. Esse nível tipicamente ocorre quando a tensão da bateria está próxima de 10,5V na bateria de chumbo ácido estacionária.

3.2.4 - Inversor de frequência

O inversor de frequência tem a função de transformar energia de corrente contínua (CC) para corrente alternada (AC). O inversor deve dissipar o mínimo de potência, de modo a evitar perdas e produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos. Inversores isolados comumente operam com tensões de entrada de 12, 24, 48 ou 120

Volts (CC) que geralmente são convertidos em 120 ou 240 Volts (CA), na frequência de 60 ou 50 Hertz. A Figura 3.8 ilustra este tipo de inversor.



Figura 3.8 - Inversor de frequência.
Fonte: GROWATT (2022).

- **Consumo Residencial Previsto**

O sistema suporta o uso de 3 lâmpadas fluorescentes de 9W por 4 horas cada, recomendado das 19h as 22h; um refrigerador com capacidade máxima de 200 lts, com potência de 64 W e consumo máximo de 24 kWh/mês de uso contínuo, 1 TV de no máximo 21 polegadas, 1 rádio, 1 antena parabólica, durante 6 horas por dia em horários diversos.

Neste sistema não é possível utilizar: forno de micro-ondas, ferro de passar roupas, secador e alisador de cabelos, ferramentas elétricas em geral, lâmpadas incandescentes, freezers, micro system, chuveiro elétrico, sanduicheira, máquina de lavar roupas.

- **Distribuição da Energia Elétrica**

A energia elétrica gerada é distribuída para as unidades consumidoras através de rede de distribuição na tensão de 127 V, monofásica, com cabos de alumínio nu, sustentados por postes em madeira.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA OFF-GRID

O projeto de viabilidade da implantação do sistema de iluminação pública utilizando o sistema OFF-GRID, se obteve como resultado o dimensionamento do sistema de iluminação pública de acordo com as normas da NBR5101.

Inicialmente, foi definido o provável local do sistema de iluminação OFF-GRID, e em seguida, foi elaborado o projeto de dimensionamento para suprir a necessidade de iluminação do respectivo local. Por fim, foi feito o cálculo do tempo para que todo o sistema seja pago, ou melhor, o cálculo de paybeck do projeto.

4.1.1 - Dimensionamento do Sistema solar Off Grid

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.

Dimensionamento Técnico:

De modo a dimensionar corretamente o sistema a instalar, torna-se necessário que o aproveitamento da energia solar seja ajustado à procura energética. Uma vez que a energia produzida não corresponde, na maior parte das vezes, à procura pontual de energia de um consumidor concreto, torna-se necessário considerar um sistema de armazenamento.

Conhecendo a carga diária consumida pela casa é possível calcular, essencialmente, os seguintes pontos, para cada um dos intervalos estudados, no caso de um sistema autossuficiente:

1. Determinar qual o consumo a alimentar;
2. Quanta energia deverá produzir o sistema PV por dia, de forma a colmatar o consumo;
3. Potência de pico a instalar;
4. Dimensionamento energético do banco de baterias.

Os passos 2. e 3. são feitos de forma diferente para os intervalos considerados de inverno e os de verão (note-se que no seguinte capítulo será feita uma explicação mais detalhada desta disparidade). A justificação para a diferença anterior reside no facto de, no inverno, o objetivo principal do sistema instalado ser a acumulação de energia ao longo de 4 dias seguidos (de segunda-feira a quinta-feira). Deste modo, procura-se garantir que exista produção de energia suficiente para ser armazenada e utilizada no fim de semana (de sexta-feira a domingo), no caso de não existir radiação solar suficiente para que o sistema instalado supra as necessidades energéticas.

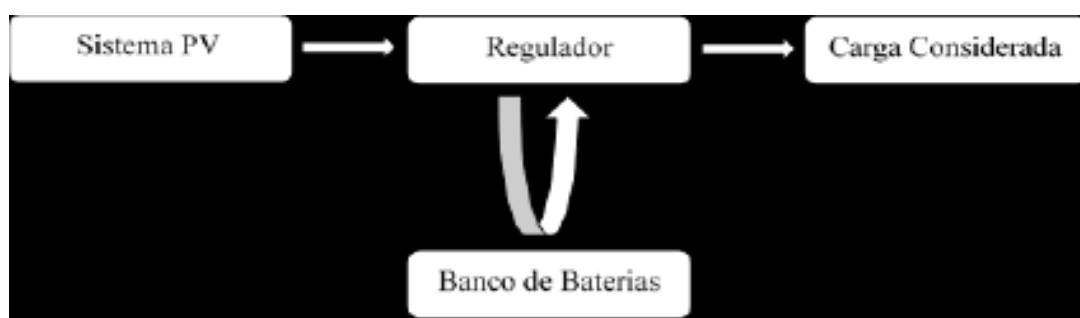


Figura 4.1 - Esquema do dimensionamento energético: Componentes do mesmo.

A energia produzida pelos módulos PV é encaminhada para um regulador de carga, de forma a garantir que não existam sobrecargas ou descargas no sistema. Esta energia é, então, retida em baterias. A corrente gerada pelos módulos é contínua (DC) e tanto o regulador como as baterias funcionam com este tipo de corrente. A colocação de um inversor adequado permite o consumo da energia produzida pelo sistema PV, uma vez que este faz a conversão de corrente DC para corrente alternada (AC).

- Cálculo da potência a instalar

O sistema proposto a instalar terá que satisfazer a Carga a considerar (seja esta diária, semanal ou mesmo mensal). Para, além disso, a potência necessária de painéis solares a instalar depende da eficiência total do sistema a considerar.

$$\eta_{\text{sistema}} [\%] = \eta_{\text{cabos}} \times \eta_{\text{reg}} \times \eta_{\text{bat}} \times \eta_{\text{inv}} \quad (4.1)$$

Assim, pode-se calcular a potência dos painéis solares:

$$PPV[kWh] = \text{Carga} / \eta_{\text{sistema}} \quad (4.2)$$

Em seguida, é feito o cálculo da potência de pico P_p , importante para o dimensionamento da matriz fotovoltaica. Este é o valor mínimo a instalar de painéis fotovoltaicos.

$$P_p[kW] = PPV / PSH \quad (4.3)$$

A designação PSH refere-se a “Peak Solar Hours” (horas solares de pico) e corresponde ao número de horas existentes em que a radiação solar é constante e com o valor 1 kW m⁻² num determinado local.

- **Módulos fotovoltaicos a utilizar:**

Nesta parte, é necessário a escolha da tensão em corrente contínua (VDC) para a qual o sistema vai operar. De forma geral, é recomendado que a tensão de funcionamento do sistema aumente com o aumento de carga diária consumida. Para cargas pequenas (até 1kWh diários) pode utilizar-se 12V como valor de VDC. Já para cargas intermédias (3 a 4 kWh por dia), recomenda-se os 24V. Para cargas diárias maiores (acima de 4 kWh diários), deverá adotar-se VDC de 48V. Esta escolha leva a uma diminuição de perdas pelo sistema (Sustainable Energy Industry Association of the PACIFIC ISLANDS, 2012).

É possível calcular o número de módulos por string⁷ (N_p) e o número de strings (N_s), assumindo que a configuração será de um número de painéis em série (correspondente a uma fileira – string), em paralelo com outra fileira de painéis.

$$N_s = VDC / V_{mmp} \quad (4.4)$$

$$N_p = P_p / P_m \times N_s \quad (4.5)$$

Para as duas equações anteriores, considere-se que:

- P_m corresponde à potência nominal do painel escolhido;
- V_{mmp} corresponde à tensão no ponto de potência máxima do painel a considerar, informação que se encontra disponível na ficha técnica dele.

Desta forma, o número total de módulos (N) é dado por:

$$N = N_s \times N_p \quad (4.6)$$

- **Banco de baterias e respetiva capacidade:**

O banco de baterias deverá ter uma determinada capacidade de armazenamento C_M , em Amperes-hora (Ah), que depende no número de dias de autonomia pretendido, n . Para, além disso, há que considerar a energia que é perdida através dos cabos e a profundidade de descarga (DoD) das baterias.

$$C_M[Ah] = \frac{\eta \times \left(\frac{(Carga\ Diária\ Total \times \eta_{cabos})}{V_{dc}} \right)}{DoD} \quad (4.7)$$

O passo seguinte consiste no cálculo do número de baterias. Para tal, no caso de a capacidade do sistema ser maior que a capacidade da bateria fornecida pelo fabricante, é feita a determinação de qual o número de baterias a colocar em paralelo através da expressão seguinte.

$$N_{p,bat} = \frac{C_M}{C_b} \quad (4.8)$$

Na Eq. (4.8), C_b diz respeito à capacidade unitária de cada bateria escolhida para o banco de armazenamento (feito posteriormente). Se a tensão do sistema for maior que a tensão da bateria selecionada, então o número de baterias a colocar em série vai ser igual ao valor resultante da expressão seguinte:

$$N_{s,bat} = \frac{V_{DC}}{V_{mmp}} \quad (4.9)$$

Por fim, pode calcular-se o número total de baterias.

$$N_{bat} = N_{s,bat} \times N_{p,bat} \quad (4.10)$$

- **Consumo energético**

De modo a que se consiga fazer um correto dimensionamento do sistema a implementar, torna-se necessário conhecer o perfil de consumo da habitação. Para tal, é importante determinar quais os equipamentos que consomem energia, quais as suas potências e quando são ligados, com o objetivo final de traçar o perfil do consumidor. Para tal, foram disponibilizados dois tipos de dados pelo cliente:

1. Faturas de eletricidade – de abril a outubro;
2. Leituras retiradas pessoalmente pelo próprio no período compreendido entre 7 de setembro e 13 de novembro. De acordo com o proprietário, foram todas retiradas à mesma hora do dia, entre as 19h e as 20h.

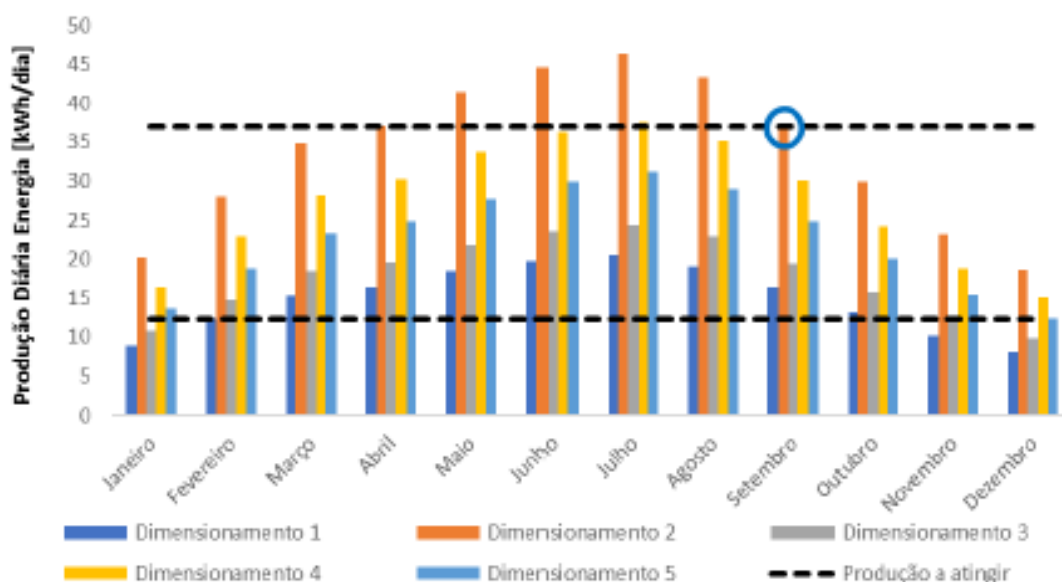


Figura 4.2 - Média da produção diária para sistemas PV dimensionados para suprir os consumos nos diferentes períodos.

De forma a que o sistema PV consiga alimentar por completo a carga diária da habitação, a produção diária de eletricidade deverá variar entre os seguintes valores/alturas do ano, assinalados nas linhas a tracejado na figura anterior:

- a) 37.1 kWh/dia para o mês de setembro;
- b) 12.3 kWh/dia para o mês de dezembro.

É possível observar que, em dezembro, existem dois dimensionamentos nos quais a *PP* proposta para instalação conseguem atingir a produção diária necessária (períodos 2 e 4). No entanto, apenas uma destas propostas de sistema PV consegue, em setembro, produzir o valor referenciado em a), proposta esse referente ao período 2. Assim sendo, podem finalmente explicitar-se quais os casos limitantes para a presente concepção de sistema energético, tendo em conta os dados disponibilizados pelo cliente e os requisitos dele:

- Verão: por ser a altura de maior utilização da habitação, como já referido, é a altura de maior procura energética e, consequentemente, é nestes períodos que se impõe calcular a potência a instalar de módulos fotovoltaicos;
- Inverno: impõe o número de baterias a instalar.

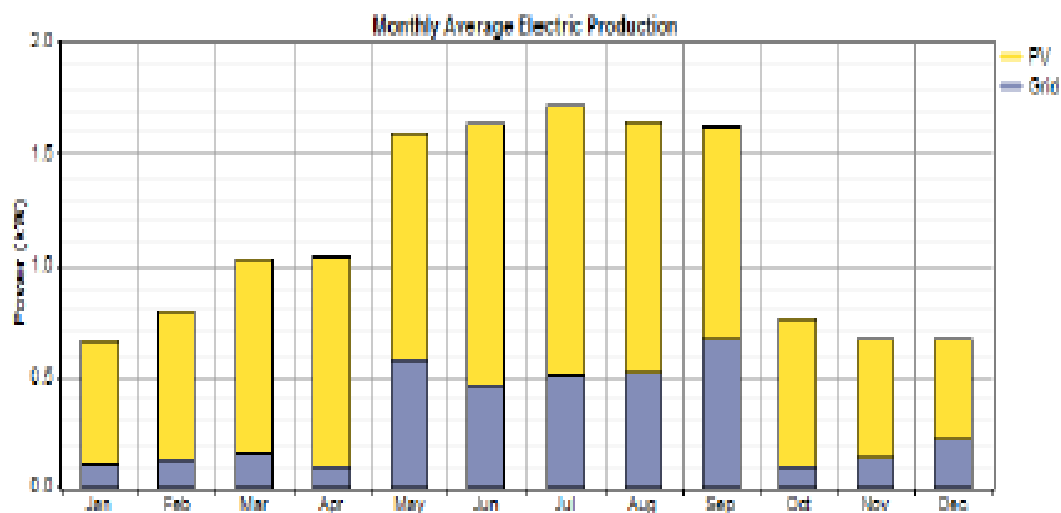


Figura 4.3 - Produção de eletricidade: Rede vs Sistema PV.

Posto isto, a fração da fonte de energia renovável para esta proposta é de 0.75, ou seja, a penetração de energia solar é 75%. Desta forma, verifica-se que a rede elétrica é apenas usada para suprir aproximadamente 25% do consumo energético.

4.2 - VANTAGENS E DESVANTAGENS E ANILISE ECONOMICA

Ao falar de energia fotovoltaica, deve-se analisar a viabilidade tanto do investimento quanto o retorno esperado. Quando analisado pelo aspecto econômico, há grandes vantagens, porém ao ser avaliado financeiramente, deve-se realizar diversos cálculos a fim de saber o custo do investimento inicial e em quanto tempo poderá ter o retorno desse investimento.

Para o cálculo do consumo elétrico usado no sistema, realizou-se uma coleta de dados mensais de energia consumida pelas casas do conjunto, totalizando uma média diária de 4,366 kWh por cada casa do projeto, é necessário ter a média de consumo em horas de cada dia. Por meio de entrevistas com moradores do assentamento foi coletado informações de uso de aparelhos domésticos, para que assim ser realizada a curva de carga.

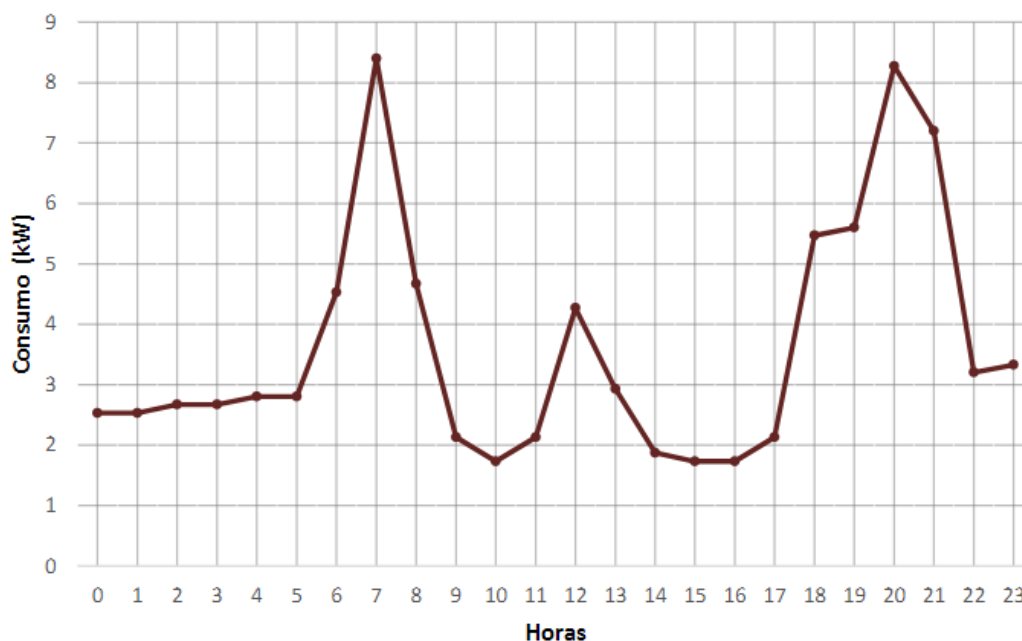


Figura 4.4 - Curva de carga referente às 10 casas do projeto.

O modelo proposto para o projeto é uma comunidade localizada no assentamento, composta por 10 casas sendo obtido no total, uma carga média diária de 87,32 kWh, com um pico de carga de 8,4 kW.

- Pesquisa de mercado e especificações técnicas

Para o cálculo de preços dos equipamentos utilizados no sistema, foi realizado uma pesquisa de mercado entre os fornecedores nacionais dos componentes. Para os painéis fotovoltaicos obteve-se uma média de preço por cada 550W de painéis, também, foi realizado uma média de preço para o inversor.

Os resultados mostram que para sistemas off-grid o sistema híbrido apresenta-se como a solução viável diante dos sistemas propostos. O resultado é visto por meio dos custos do NPC, COE e pelos custos dos equipamentos. A maior redução em comparação aos outros sistemas foi referente a quantidade de baterias, de 24,7% em relação ao sistema somente solar e 69,27% em relação ao sistema eólico, além de que o acoplamento do aerogerador resultou em uma redução de 11% em custos de placas fotovoltaicas, mostrando que a complementariedade dos sistemas fotovoltaicos e eólicos na região estudada reduz o uso de baterias e aumenta a eficiência da produção elétrica produzindo mais energia com menos equipamentos.

Ainda assim, em comparação à sistemas conectados à rede elétrica, o sistema híbrido proposto se torna menos atrativo devido ao seu alto custo. Sistemas conectados à rede elétrica não necessitam do uso de baterias para armazenar o excedente elétrico, visto que ele é enviado a rede elétrica da concessionária e é retornado ao cliente quando o sistema híbrido não é capaz de suprir a demanda elétrica, os custos totais das baterias representam 45,21% do custo total do projeto. Este valor significativo é resultado vida útil de 4 anos das baterias estacionárias de chumbo-ácido. Entretanto, os sistemas off-grid podem ser viáveis em locais isolados, onde o custo para levar energia elétrica por meio de concessionárias se tornam altos e inviáveis à companhia elétrica.

Espera-se que em um futuro próximo, sistemas híbridos off-grid possa ser mais viáveis economicamente, pois, conforme o avanço da tecnologia é esperada a redução dos custos de produção dos equipamentos utilizados além do aumento da eficiência dos mesmos e também o desenvolvimento e utilização de outros sistemas de armazenamentos mais eficientes.

4.2.1 - Vantagens do poste de iluminação solar fotovoltaica

- Viabilidade – Por ser uma estrutura estática, é muito utilizada em locais isolados e requer pouca manutenção;
- Fácil Portabilidade – Como os módulos são muito adaptáveis, isto permite que as montagens sejam muito simples e adaptáveis as mais diversas necessidades de geração de energia. Os sistemas podem ser dimensionados para utilizações onde são necessários desde alguns mili-watts até alguns kW;
- Custo Operacional Reduzido – Nota-se que pelo fato de não precisar praticamente de manutenção e por ser uma estrutura estática sem a necessidade de qualquer intervenção humana, além do fato de não utilizar qualquer combustível, estas características fazem dos Painéis Fotovoltaicos uma fonte de energia barata sob o ponto de vista operacional;
- Energia Limpa e Renovável – Uma das mais reconhecidas qualidades da tecnologia fotovoltaica está relacionada à ecologia. Essa é uma energia cujo produto é livre de poluição e obviamente não afeta o meio ambiente.

4.2.2 - Desvantagens do poste de iluminação solar fotovoltaica

- A alta tecnologia necessária para a fabricação das células fotovoltaicas requer investimentos elevados;
- Baixo rendimento operacional, pois a conversão da energia solar em energia elétrica fica em no máximo de 28% de eficiência conseguidos em condições ideais de laboratório. Porém, sabe-se que na prática, o que é visto são painéis fotovoltaicos com conversão inferior correspondendo a 10% de eficiência;
- A energia gerada por painéis solares é muito menos competitiva em termos de custos que a energia gerada por geradores à gasóleo (diesel). Porém, como já foi dito anteriormente, por ser uma energia limpa muitas vezes é a única opção válida devido ao fato de o gasóleo ser muito poluente;
- Quando é preciso montar um sistema de armazenamento de energia sob a forma de baterias, o custo deste sistema pode se tornar ainda mais elevado.

4.2.3 - Análises ambientais

O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante sua operação, é muito promissor como uma alternativa energética sustentável. Entretanto gera impactos ambientais a serem considerados. O impacto ambiental mais significativo do sistema fotovoltaico para geração de energia solar é gerado durante a fabricação de seus materiais e construção. Fato esse relacionado a questões de área de implantação.

Segundo TOLMASQUIM (2004), de forma geral o sistema fotovoltaico apresenta os seguintes impactos ambientais negativos. Emissões e outros impactos associados à produção de energia necessária para os seguintes processos de fabricação: transporte, instalação, operação, manutenção e descomissionamento do sistema.

Emissões de produtos tóxicos durante o processo da matéria-prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como: ácidos e produtos cancerígenos, além de CO₂, SO₂, NO₂ e particulados.

Ocupação de área para implementação do projeto e possível perda de habitat (crítico apenas em áreas especiais) – no entanto, sistemas fotovoltaicos podem utilizar áreas e estruturas já existentes como: telhados, fachadas entre outros.

Impactos visuais que podem ser minimizados em função da escolha de áreas não-sensíveis; Riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes: ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo).

Necessidade de se dispor e reciclar corretamente as baterias (geralmente do tipo chumbo-ácido, e com vida média de quatro a cinco anos) e outros materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos. A vida útil dos componentes corresponde em média 20 e 30 anos.

A quantificação dos impactos ambientais em função da obtenção de Energia Solar podem estar relacionadas à: Gases poluentes não emitidos na atmosfera, comparando-se a emissão de poluentes por energia gerada com o recurso solar e a gerada pela queima de derivados de petróleo – massa de poluente emitido x (kWh); Área ocupada x produção de energia (GWh/ha) – aplicável às térmicas solares concentradas e estações centrais fotovoltaicas, riscos de acidentes em manutenções por (kWh); Riscos de incêndio x produção de energia; Ciclo de vida dos componentes dos sistemas.

Emissão de poluentes no processo de fabricação dos componentes dos sistemas; Emissão de poluentes x riscos de acidentes e outros.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

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.

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.

A iluminação de vias públicas pode ser uma ferramenta de grande relevância para devolver à uma determinada população a segurança e liberdade para transitar e ocupar o ambiente urbano que é dela por direito.

A aplicação de tecnologias sustentável como os postes alimentados por energia solar pretende ser uma opção viável. 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. A ideia base do projeto é de que ele seja replicável, portanto, mesmo depois de ser finalizada a primeira edição, ele poderá ser expandido para outras localidades, além de o trabalho ser contínuo, impactando positivamente cada vez mais pessoas das mais variadas formas.

5.2 - SUGESTÕES

Como recomendações para empreendimentos e pesquisas a serem executadas as quais terão linha de raciocínio relacionadas com este trabalho, relacionamos algumas sugestões:

- Aplicação dessa mesma metodologia para outros tipos de processos. No caso desse projeto ser reproduzido em outras unidades de processos que enfrentem os desafios geográficos e de isolamento da Região Norte;
- Mais benefícios fiscais para equipamentos fotovoltaicos utilizados na geração de energia para clientes da região amazônica;
- Busca por equipamentos com tecnologia mais avançada dos que usamos no período da pesquisa, com preços mais rentáveis baixando assim o custo-benefício do equipamento;
- Buscar maior abrangência territorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, J. **A Unified Approach to Maximum Power Point Tracking and IV Curve Determination of Photovoltaic Arrays from Real-time Measurements.** 2019.

ALKEAID, M. M. G. **Study of NEOM city renewable energy mix and balance problem.** 2018.

ALVES, M. F.; DA SILVA, M. E. Elementos de Sustentabilidade na Cadeia de Suprimento: Um Estudo no Setor de Energia Solar. **Revista Ciências Administrativas**, 2021, 27.2.

ANDREWS-SPEED, Philip. **China as a Global Clean Energy Champion.** Springer, 2019.

ANEEL - **Agência nacional de energia elétrica.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>> Acesso em: 10 de setembro de 2017.

ANEEL - Agência nacional de energia elétrica. **Atlas de Energia.** 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 13 de setembro de 2017.

ANEEL - Agência nacional de energia elétrica. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. **Resolução Normativa nº 414**, 9 de setembro de 2010. [Brasília], p. 127. 2010.

ANEEL - Agência nacional de energia elétrica. **Mapa de Micro e Mini geradores no Brasil.** Google My Maps, 2014a. Disponível em: <https://mapsengine.google.com/map/viewer?authuser=0&hl=pt-BR&mid=zenET-an72kw.k_lUgAxwv4h4>. Acesso em: 16 de novembro de 2017.

ARANTEGUI, 2017. **“Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement”.** Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: 28 de fevereiro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** LCA Consultores, PSR Soluções e Consultoria em Energia. [São Paulo], p. 176. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Distribuição em Destaque. **ABRADEE**, 2014. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/abradee/distribuicao-em-destaque>>. Acesso em: 02 de novembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Mercado FV Brasileiro: Características e Destaques. In: **INTERSOLAR SOUTH AMERICA**, São Paulo, p. 21, 2014. Disponível em: <https://onetypo.mpcnet.de/fileadmin/Intersolar-Global/3_Visitor_Material_2014/Webinar_Files/Mercado_FV_Brasileiro_Caracteristicas_e_Destaques_-_Dr._Rodrigo_Lopes_Sauaia_-_Portuguese_-_14.07.2014.pdf>. Acesso em: 01 de setembro de 2017.

AWEA, 2018. “**American Wind Energy Association**” Disponível em: <<https://www.awea.org/index.aspx>> Acesso em: 03 de março de 2018.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Atas do Copom** - 188ª Reunião - 20 e 21/1/2015. Banco Central do Brasil, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOM188>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2017.

BEGA, J. M. M. *et al.* **Avaliação da Sustentabilidade dos Indicadores de Saneamento do Plano das Bacias PCJ 2020-2035.** *Ambiente & Sociedade*, 2021, 24.

BHATT, B.; NEGI, A. Analysis of Rooftop Solar Photovoltaic System Across the Indian States: Learnings for Sustainable Infrastructure. In: **Sustainable Development Research in the Asia-Pacific Region**. Springer, Cham, 2018. p. 393-419.

BIRDSALL-JONES, C. Enforcing “Normality”: A Case Study of the Role of the “Three-Strikes” Housing Policy Model in **Australian Indigenous Homelessness**. *Indigenous Homelessness: Perspectives from Canada, Australia, and New Zealand*, 2016.

BLANCO, H. *et al.* Potential for hydrogen and Power-to-Liquid in a low-carbon EU energy system using cost optimization. **Applied Energy**, v. 232, p. 617-639, 2018.

BLOOMBERG, 2018. “**China’s Solar Boom Boosts Clean Energy Funding Near Record**”. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-01-16/chinas-hunger-for-solar-boosts-clean-energy-funding-near-record>> Acesso em: 08 de fevereiro de 2018.

BNDES, 2016. **BNDES divulga novas condições de financiamento à energia elétrica.** Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.

BOLINGER, M.; SEEL, J. **Utility-Scale Solar: Empirical Trends in Project Technology, Cost, Performance, and PPA Pricing in the United States–2018 Edition.** 2018.

BLUE SOL. Energia Solar: Como Funciona? – O Efeito Fotovoltaico. **Blue Sol Educacional**, 2011. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>>. Acesso em: 5 de dezembro de 2017.

CABRAL, R.; CESAR, M.; LEITE, J. C. / **ITEGAM-JETIA** Vol.01, No 01, pp. 19-28. Março, 2015.

CABRERA, L. C. Afinal, o que é sustentabilidade?. **Revista Você S/A**, 05/2009. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento>>. Acesso em: 05 de setembro de 2017.

CÂMARA, R. de J. B.; REIS, R. R.; LIMA, R. N. Turismo sustentável: perspectiva socioambiental como geração de valor em empreendimentos hoteleiros de Barreirinhas (MA). **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, 2020, 13.1.

CAMARILLO, C. **Solar World solar panels power largest U.S. solar-equipped affordable housing project.** Solar World, 2011. Disponível em: <<http://www.solarworld-usa.com/newsroom/news-releases/news/2011/Santa-Barbara-housing>>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

CARLEY, S. *et al.* **Empirical evaluation of the stringency and design of renewable portfolio standards.** Development, 2018, 8: 13.

CARVALHO, G. O. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma visão contemporânea. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 2019, 8.1: 789-792.

CASARIN, A. A. **ANEEL aprova regulamentação para energia solar fotovoltaica**, 2012. Disponível em: <<http://www.htforum.com/forum/threads/aneel-aprovaregulamentacao-para-energia-solar-fotovoltaica.189676/>> Acesso em: 15 de outubro de 2017.

CERQUEIRA, G. A. *et al.* A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: **Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado**, abril/2015 (Boletim Legislativo nº 27, de 2015). Disponível em: < www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 17 de novembro de 2017.

CHERP, A. *et al.* Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. **Energy Research & Social Science**, 2018, 37: 175-190.

COSTA, R. *et al.* Marketing verde—A importância do consumo sustentável para as empresas. **Research, Society and Development**, 2021, 10.7: e26310716812-e26310716812.

CRESESB- **Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito**. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br> Acesso em: 12 de setembro de 2017.

CUSTÓDIO, I. P. *et al.* Critérios e soluções adotados em projeto de estacionamento solar de 1 MWP em Florianópolis-sc. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018.

DANTAS, B. **A regulação e a situação do sistema de microgeração e minigeração de energia e o sistema de compensação de energia elétrica (net metering) no Brasil**. Buzaglo Dantas Advogados, 2014. Disponível em: <<http://buzaglodantas.adv.br/2014/01/a-regulacao-e-a-situacao-do-sistema-de-microgeracao-e-minigeracao-de-energia-e-o-sistema-de-compensacao-de-energia-elétrica-net-metering-no-brasil/>>. Acesso em: 16 de novembro de 2017.

DA SILVA, A. *et al.* **Energia fotovoltaica no brasil: Uma revisão de literatura**. PI-Pesquisa e Inovação 1.1 (2019): 100-115.

DA SILVA NASCIMENTO, L.; DE SOUSA JÚNIOR, J. H. **Relacionando capital intelectual, gestão do conhecimento e sustentabilidade: um modelo conceitual**. *Navus-Revista de Gestão e Tecnologia*, 2019, 9.2: 92-104.

DEMANBORO, A. C.; BERGAMASCHI, A. C. **O conceito de soberania e suas implicações sobre o aquecimento global antrópico**. *REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA*, 2021, 1.14: 103-118.

DE BENEDICTO, S. C. *et al.* Sustentabilidade: um fenômeno multifacetário que requer um diálogo interdisciplinar. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, 2020, 1: 1-24.

EPE, 2018 (a). **“Leilão de Energia”** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-107/20131112_1.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

EPIA, 2014. **“Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018”**. Disponível em: <http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2014_-2018_lr_v23.pdf>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2018.

FALSIROLI, 2015. **“Energia Fotovoltaica Sob o Prisma da EPE”**. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/energia-fotovoltaica-sob-o-prisma-da-epe-carlos-falsiroli>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2018.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. **Sostenibilidad y desarrollo sostenible: desvelando las superposiciones y alcances de sus significados**. *Cadernos EBAPE. BR*, 2017, 15.3: 667-681.

FURTADO, B. dos A.; SAMPAIO, D. de O. Cosméticos sustentáveis: quais fatores influenciam o consumo destes produtos. **International Journal of Business Marketing**, 2020, 5.1: 36-54.

GALBIATTI-SILVEIRA, P. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinión Jurídica**, 2018, 17.33: 123-147.

GIRARD, 2015. **“Mudança climática pode reduzir capacidade hidrelétrica em até 20%”**. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/pode-reduzir-capacidade-hidreletrica-em-ate-20,1788407>>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2018.

GOMEZ-EXPOSITO, A.; CONEJO, A. J.; CANIZARES, C. Sistemas de energia elétrica: análise e operação. **CRC press**, 2018.

GÓMEZ, M. F.; SILVEIRA, S. A última milha na Amazônia brasileira - um caminho potencial para o acesso universal à eletricidade. **Política Energética**, v. 82, p. 23-37, 2015.

GREEN, J.; MARTIN, D.; COJOCAR, M. The Untouched Market: Distributed Renewable Energy in Multitenanted Buildings and Communities. In: *Urban Energy Transition*. **Elsevier**, 2018. p. 401-418.

HALL, C. A.; KLITGAARD, K. Twentieth Century: Growth and the Hydrocarbon Economy. In: *Energy and the Wealth of Nations*. **Springer**, Cham, 2018. p. 227-257.

HARTMANN, H. M. *et al.* **Understanding emerging impacts and requirements related to utility-scale solar development**. Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States), 2016.

IEA PVPS, 2018. **International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programms**. Disponível em: <<http://www.iea-pvps.org/index.php?id=3>> Acesso em: 03 de março de 2018.

IRENA, 2016. **“Rethinking Energy, 2017”**. Disponível em: <<http://www.irena.org/publicationsearch>> Acesso em: 02 de março de 2018.

IRENA, 2017. **Global Landscape of Renewable Energy Finances**. Disponível em: <<http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2018.

KYOCERA SOLAR. **Loja virtual**. 2015. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2017.

JÚNIOR, R. G. C., *et al.* Sustainable Groundwater Exploitation Aiming at the Reduction of Water Vulnerability in the Brazilian Semi-Arid Region. **Energies**, 2019, 12.5: 1-20.

KALUZINAS, A. **Espacialización inteligente e indústrias creativas: cómo las políticas de la UE pueden ayudar a desarrollar un sector económico**. 2018. PhD Thesis.

LARA, L. G. A. de; OLIVEIRA, S. A. de. **A ideologia do crescimento econômico e o discurso empresarial do desenvolvimento sustentável**. *Cadernos Ebape. br*, 2017, 15: 326-348.

LAZARETTI, K. *et al.* Building sustainability and innovation in organizations. **Benchmarking: An International Journal**, 2019.

LI, X.; CHALVATZIS, K.; STEPHANIDES, P. Innovative Energy Islands: Life-Cycle Cost-Benefit Analysis for Battery Energy Storage. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3371, 2018.

LOBO, M. P. D. S.; PILOTO, B. A. D. M. **Energia Solar - Novo Cenário, Novas Expectativas**. Pinheiro Neto Advogados. Rio de Janeiro, 2014.

MAGUIRE, K.; MUNASIB, A. Electricity price increase in Texas: What is the role of RPS?. **Environmental and resource economics**, v. 69, n. 2, p. 293-316, 2018.

MAIA, R. S. **energia solar: o desenvolvimento de um novo mercado**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

MANDELLI, S. *et al.* Sistemas fora da rede para eletrificação rural em países em desenvolvimento: Definições, classificação e uma revisão abrangente da literatura. **Revisões de Energia Renovável e Sustentável**, v. 58, p. 1621-1646, 2016.

MARTINIANO JUNIOR, J. R.; OLIVEIRA, L. H. C. de. **Viabilidade da micro e minigeração de energia fotovoltaica no Brasil**. 2017.

MENDES, A. M. D.; LONGRAS, A. **Análise custo-benefício do Clube Infante de Sagres: projeto de reabilitação das infraestruturas**. 2019. PhD Thesis.

MENDES, E. F. C. *et al.* **Geografia econômica de Itacoatiara: da inserção no processo de globalização às mudanças na vida urbana a partir do consumo de motocicletas**. 2018.

MINHA CASA SOLAR, **Loja virtual**, 2015. Disponível em: <<http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>>. Acesso em: 29 de outubro de 2018.

MMA, 2015. “Meio Ambiente”. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 01 de março de 2018.

MME, 2016. **“Resenha Energética Brasileira”**.

MONTENEGRO, A. de A. **Fontes não-convencionais de energias: as tecnologias solar**, 2000.

MORAES, M. C. Transdisciplinaridade, criatividade e educação: fundamentos ontológicos e epistemológicos. **Papirus Editora**, 2018.

MOTTA, M. F. B. *et al.* Estudo do Investimento Ideal para Geração de Energia Fotovoltaica em Unidades Habitacionais em Guaratinguetá–SP Study of the Ideal Investment for Photovoltaic Power Generation in Housing Units in Guaratinguetá–SP. **Brazilian Journal of Development**, 2021, 7.10: 99609-99636.

NERINI, F.; HOWELLS, M.; BAZILIAN, M. e GOMEZ, M. F. Rural electrification options in the Brazilian Amazon: A multi-criteria analysis. *Energy for Sustainable Development*, 20, 36-48. (2014).

NEOSOLAR ENERGIA, **Loja virtual**, 2015. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais>>. Acesso em: 08 de outubro de 2018.

NEWTON LOWRY, M.; WOOLF, T. Performance-Based Regulation In **A High Distributed Energy Resources Future**. 2016.

OLAH, G. A.; GOEPPERT, A.; PRAKASH, GK S. **Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy**. John Wiley & Sons, 2018.

OLIVEIRA, F. de. **Projeto de um subsistema para a transferência de carga para usinas de microgeração fotovoltaica**. 2016.

OSTROVSKI, D.; PASSOS, M. M. dos. Indicadores Do Desenvolvimento Sustentável. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, 2012, 1.5: 50-55.

PINTO, R. C. *et al.* **Os desafios e vantagens da sustentabilidade empresarial**. 2021.

PINTO JUNIOR, V. M. *et al.* Sustentabilidade agropecuária de produtores rurais em municípios do sertão da Paraíba. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, 2018, 12.3.

PROTOPAPADAKI, C. A probabilistic framework towards metamodeling the impact of residential heat pumps and PV on low-voltage grids. **Science (PhD)**, 2018.

REIGOTA, M. O que é educação ambiental. **Brasiliense**, 2017.

REIS, B. A. de O.; JOTA, P. R da S. Integração de fontes renováveis em edificações - Estudo de caso. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

REITER, I. de B. **Indicadores de gestão com base nas ISOS 9001, 14001 e 26001 aderentes às micro e pequenas empresas**. 2020. Master's Thesis.

REN21, 2017. “**Energias Renováveis 2016**”. Disponível em: 2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_po_01.pdf>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2018.

RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 482 de 2012, ANEEL. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acessado: 11/02/2018.

RESOLUÇÃO NORMATIVA nº 687 de 2015, ANEEL. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2018.

REUTERS, 2017. “**China mais que dobra capacidade instalada em energia solar em 2016**”. Disponível em: <<https://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKBN15J0TK>>. Acesso em: 05 de março de 2018.

SALES, C. J. D. Incentivos e barreiras à geração distribuída. **Valor Econômico**, São Paulo, 21 fevereiro 2014.

SCHMIDT, T. S.; SEWERIN, Sebastian. Measuring the temporal dynamics of policy mixes—An empirical analysis of renewable energy policy mixes’ balance and design features in nine countries. **Research Policy**, 2018.

SHAHEEN, S. E.; GINLEY, D. S.; JABBOUR, G. E. Organic-based photovoltaics: toward low-cost power generation. **MRS bulletin**, 2005, 30.1: 10-19.

SILVA, J. V. O impacto das energias renováveis na economia. **Ciências Econômicas-Unisul Virtual**, 2019.

SILVA, R. M. D. Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios (Texto para Discussão nº 166). Brasília: **Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado**, 2015. Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.

SOARES, V. **Alimentação elétrica da dessalinizadora de Preguiça São Nicolau, com recurso a energias renováveis**. 2018. Bachelor's Thesis. Universidade do Mindelo.

SOLAR POWER EUROPE, 2017. **“Tenders for solar projects”**. Disponível em: <http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Policy_Papers/Tenders_for_solar_FINAL_VERSION__004_.pdf>. Acesso em: 02 de março de 2018.

SOLARIN, S. A. *et al.* The impact of biomass energy consumption on pollution: evidence from 80 developed and developing countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 23, p. 22641-22657, 2018.

SOLATIO, 2016. **“USINA SOLAR PIRAPORA”**. Disponível em: <http://cdn.iic.org/sites/default/files/disclosures/pirapora_1>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

SOUSA, T. M. P. de. **Estudo sobre ações de desenvolvimento sustentável na indústria de confecção do Distrito Federal**. 2019.

STRASBURG, V. J. *et al.* Environmental impacts of the water footprint and waste generation from inputs used in the meals of workers in a Brazilian public hospital. **Research, Society and Development**, 2021, 10.3: e22510313129-e22510313129.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. eólica e de biomassa. 3. ed. Brasil: Ed. UFSC, 2000.

TIEPOLO, G. M. **“Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná”**, Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, E. B.; PEREIRA, S. V.; ALVES, A. R. **“Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná – Resultados Parciais”**. CBENS, Belo Horizonte, 2016.

TIEPOLO, G. M. *et al.* atlas de energia solar do estado do paraná-resultados. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS** 2018.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro**. Brasília: Synergia, 2011. 21-66 p. ISBN 978-85-61325-59-6.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0416-2.

WIND POWER PROGRAM. Smaller wind turbines. The Evance R9000, Bergey Excel-10, Skystream and Honeywell RT6500. **Wind Power Program**, 2013. Disponível em: <http://www.wind-power-program.com/small_turbines.htm>. Acesso em: 27 Janeiro 2018.

WALLIS, R. **The elementary forms of the new religious life**. Routledge, 2019.

ZANELLA, C.; KRÜGER, S. D.; BARICHELLO, R. Sustentabilidade: uma abordagem das percepções de professores do ensino superior. **Revista de Administração IMED**, 2019, 9.2: 73-93.

ZOMER, C. D. (2012). Megawatt Solar: **geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica**. Estudo de caso: Edifício Sede da Eletrosul, Florianópolis-Santa Catarina.