



INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

HIGOR RODRIGUES SILVA COSTA

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Piumhi
2023

HIGOR RODRIGUES SILVA COSTA

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, ofertado pelo *campus* Piumhi do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo.

Coorientador: Professor Dr. Felipe da Silva Alves.

Piumhi

2023

C837i Costa, Higor Rodrigues Silva.
Impactos ambientais gerados por painéis fotovoltaicos
[manuscrito] / Higor Rodrigues Silva Costa. – 2023.
120 f. : il. color.

Orientador: Pedro Luiz Teixeira de Camargo.
Coorientador: Felipe da Silva Alves.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto
Federal Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*, 2023.

1. Matriz energética. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3.
Painéis fotovoltaicos. 4. Impactos ambientais. I. Camargo,
Pedro Luiz Teixeira de. II. Alves, Felipe da Silva. III. Instituto
Federal de Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*. IV.
Título.

CDD 333.794

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Piumhi
Diretoria de Ensino
Docentes Campus Avançado Piumhi
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi – MG
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

Higor Rodrigues Silva Costa

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15/02/2023 pela banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Thiago Pastre Pereira – IFMG

Prof. Me. Jeferson Monteiro de Andrade - IFMG

Prof. Dr. Felipe da Silva Alves – IFMG (Coorientador)

Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo - IFMG (Orientador)

Piumhi, 06 de março de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Luiz Teixeira de Camargo, Professor EBTT**, em 06/03/2023, às 14:46, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jeferson Monteiro de Andrade, Professor**, em 06/03/2023, às 15:29, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe da Silva Alves, Professor**, em 06/03/2023, às 17:00, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Pastre Pereira, Professor**, em 06/03/2023, às 17:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1478304** e o código CRC **A5B330F2**.

23715.000068/2023-32

1478304v1

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar toda a força necessária para seguir, dia após dia, com foco e determinação.

Agradeço imensamente aos meu pais que foram meu alicerce e base para a minha educação e caráter, por me apoiarem incondicionalmente e investirem em minha formação, possibilitando, assim, minha entrada na faculdade e a conclusão dela. Tenho certeza de que estão muitos felizes e orgulhosos com essa conquista.

A minha irmã, que sempre esteve ao meu lado, torcendo por mim.

Aos meus avós, que acreditaram em mim e, com certeza, estão muito orgulhosos.

Aos meus orientadores, Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo e Dr. Felipe da Silva Alves, que aceitaram me orientar com toda dedicação e empenho, que estiveram à disposição para me guiar e auxiliar ao longo dessa jornada extremamente importante.

A todos os demais professores do instituto, que colaboraram para minha formação, apoiaram e acreditaram em mim.

“O segredo para o sucesso é não perder nenhuma oportunidade”. (Bill Gates).

RESUMO

O crescimento econômico aliado ao aumento pela demanda de energia provocou alto crescimento nas taxas de emissão de gases do efeito estufa visto que as principais matrizes energéticas para geração de eletricidade são oriundas de combustíveis fósseis. Buscando a solução desses problemas, a geração de energia por meio de fontes renováveis ganhou ampla relevância no cenário mundial, possibilitando a matriz energética fotovoltaica que consiste na conversão direta da luz em eletricidade, possibilita alcançar posição de destaque em relação a outras fontes, atingindo altos níveis de instalação no país. A adoção desses sistemas por parte dos consumidores foi uma ótima alternativa para reduzir os custos com os gastos de tarifas de energia e ampliar o crescimento desse mercado. Os módulos fotovoltaicos têm vida útil entre 25 a 30 anos e possuem uma grande diversidade de materiais em sua composição, sendo alguns, elementos tóxicos. Além disso, a obtenção de eletricidade através desse processo é vista como uma alternativa limpa, entretanto, esse aspecto se refere à etapa de operação dos painéis. Sendo assim, realizou-se um estudo a respeito dos impactos ambientais causados pelos painéis fotovoltaicos. Seus dados foram provenientes de pesquisas bibliográficas feitas em livros, artigos científicos, dissertações, manuais e fichas técnicas em português e inglês, que relatam acerca do tema em questão ocasionados pela produção, instalação, operação e descarte inadequado de painéis fotovoltaicos. Após a coleta dos dados, foram desenvolvidas tabelas com a identificação e classificação dos impactos apontados pelos principais autores. Na fase de produção é necessária a realização de diversas atividades como a extração de matéria-prima, sendo responsável pela alteração do relevo local e deslocamento da vida selvagem, o transporte desse material para as indústrias, gerando risco de atropelamento e o seu beneficiamento que libera no meio ambiente elementos contaminantes. Já na etapa instalação foram encontrados impactos relacionados a geração de ruídos e de material pulverulento, enquanto na operação ocorre a contaminação da água devido o processo de limpeza dos módulos. Em relação ao fim de vida dos painéis solares fotovoltaicos, se os resíduos desses sistemas forem descartados de forma inadequada, podem causar diversos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana em decorrência da lixiviação do chumbo e do cádmio, perda de materiais convencionais e de metais raros. Os resultados obtidos mostraram que a

fase de produção dos painéis fotovoltaicos compreende os maiores e mais severos impactos ambientais. Baseado nos tópicos discutidos ao longo do trabalho, concluiu-se que a energia fotovoltaica, apesar de seus conhecidos benefícios, apresenta impactos relevantes ao meio ambiente. Embora a tecnologia seja promissora, é importante que em seu desenvolvimento sejam adotadas práticas que amenizem os problemas elencados neste trabalho.

Palavras-chave: Matriz Energética. Geração de Energia Fotovoltaica. Painéis Fotovoltaicos. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Economic growth combined with increased energy demand has raised greenhouse gas emission rates, since the main energy matrices for electricity generation come from fossil fuels. Seeking a solution to this problem, the generation of energy through renewable sources has gained wide relevance on the world stage, enabling the photovoltaic energy matrix, which is the direct conversion of light into electricity, to reach a prominent position in relation to other sources, reaching high rates of installation in the country. The adoption of these systems by consumers was a great alternative to reduce costs with energy tariffs and expand the growth of this market. Photovoltaic modules have a useful life between 25 and 30 years and have a great diversity of materials in their composition, some of which are toxic elements. In addition, obtaining electrical energy through this process is seen as a clean alternative, but this aspect refers to the panel operation stage. Therefore, the present research carried out a study on the environmental impacts caused by photovoltaic panels. Its data came from bibliographic research in books, scientific articles, dissertations, manuals and technical sheets in Portuguese and English, which report on the subject in question derived from the production, installation, operation and inappropriate disposal of photovoltaic panels. After collecting the data, tables were produced, with the identification and classification of the impacts pointed out by the main authors. In the production phase, it is necessary carrying out various activities such as the extraction of raw material, responsible for altering the local relief and displacement of the fauna, the transport of this material to the industries, which generates the risk of running over and its processing, which releases contaminants into the environment. In the installation stage, impacts related to the generation of noise and powdery material were found, while in the operation, water contamination occurs due to the module cleaning process. Regarding the end of life of photovoltaic solar panels, if the waste from these systems is inappropriately discarded, it can cause several negative impacts on the environment and human health as a result of leaching of lead and cadmium, loss of conventional materials and rare metals. The results obtained showed that the production phase of photovoltaic panels comprises the largest and most severe environmental impacts. Based on the topics discussed in the present work, it was concluded that photovoltaic energy, despite its known benefits, has relevant impacts on the environment. Although the technology is

promising, it is important that practices are adopted in its development that mitigate the impacts listed in this work.

Keywords: Energy matrix. Photovoltaic energy generation. Photovoltaic panels. Environmental impacts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Irradiação solar anual média no Brasil.	22
Figura 2 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.	24
Figura 3 – Geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil por classe de consumo.	26
Figura 4 – Impactos ambientais do ciclo de vida de painéis fotovoltaicos.	27
Figura 5 – Matriz elétrica mundial 2019.	30
Figura 6 – Matriz elétrica brasileira 2020.	31
Figura 7 – Fontes renováveis e não renováveis de geração de energia elétrica no Brasil e no Mundo.	31
Figura 8 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do gás natural.	32
Figura 9 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do petróleo.	33
Figura 10 – Processo de produção de energia elétrica a partir do carvão mineral.	34
Figura 11 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir da usina nuclear.	35
Figura 12 – Processo de produção de energia elétrica a partir da usina hidrelétrica.	36
Figura 13 – Perfil esquemático de produção de energia elétrica a partir da usina geotérmica.	37
Figura 14 – Esquema de produção de energia elétrica a partir da biomassa.	38
Figura 15 – Energia elétrica produzidas pelas marés.	39
Figura 16 – Produção de energia elétrica através da energia cinética das ondas.	40
Figura 17 – Esquema de produção de energia elétrica a partir da energia eólica.	41
Figura 18 – Esquema de aquecimento de água.	42
Figura 19 – Esquema de produção de energia pelo processo heliotérmico.	42
Figura 20 – Espectro eletromagnético.	44
Figura 21 – Efeito fotovoltaico na junção pn.	46
Figura 22 – Sistema isolado (Off-Grid).	47
Figura 23 – Sistema híbrido.	48
Figura 24 – Sistema conectado à rede (Grid-Tie).	49
Figura 25 – Painéis fotovoltaicos.	50
Figura 26 – Camadas de um módulo fotovoltaico.	51

Figura 27 – Etapas de produção de uma célula fotovoltaica monocristalina.	53
Figura 28 – Etapas de produção de uma célula fotovoltaica policristalina.	54
Figura 29 – Células de silício amorfo em substrato de vidro, metal e plástico, respectivamente.	55
Figura 30 – Célula fotovoltaica de disseleneto de cobre (Gálio) e índio (CIS e CIGS).	55
Figura 31 – Células fotovoltaicas de telureto de cádmio.	56
Figura 32 – Células fotovoltaicas orgânicas (OPV).	58
Figura 33 – Célula DSSC.	59
Figura 34 - Sistema de compensação de energia elétrica.....	61
Figura 35 – Gráfico de expansão em capacidade de energia fotovoltaica.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais envolvidos na fabricação da tecnologia de filmes finos.	76
Quadro 2 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Produção.	78
Quadro 3 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Instalação.	89
Quadro 4 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Operação.	92
Quadro 5 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Descarte.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- a-Si – Silício amorfo
- BEN – Balanço Energético Nacional
- CA – Corrente alternada
- CBIE – Centro Brasileiro De Infraestrutura
- CC – Corrente contínua
- CdS – Sulfeto de cádmio
- CdTe - Telureto de cádmio
- CIGS – Célula de disseleneto de cobre, gálio e índio
- CIS – Célula de disseleneto de cobre e índio
- CO – Monóxido de carbono
- CO₂ – Dióxido de carbono
- CONAMA – Conselho Nacional Do Meio Ambiente
- CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
- c-Si – Silício Cristalino
- Cu(In, Ga)Se₂ – Disseleneto de cobre, índio e gálio
- DPS – Dispositivos de proteção de surto
- DSSC – Células sensibilizadas por corantes
- EIA – *Energy Information Administration*
- ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- EU – *European Union*
- EVA – Etil vinil acetato
- GW – Gigawatts
- H₂ – Hidrogênio
- HCI – Célula de heterojunção com uma camada fina intrínseca
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IEA – *International Energy Agency*
- IEC – *International Electrotechnical Commission*

IEMA – Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídrico

IP – Internet Protocol

IRENA – *International Renewable Energy Agency*

kg – Quilograma

Kw – *Quilowatts*

MME – Ministério de Minas e Energia

m-Si – Silício monocristalino

MW – *Megawatts*

NBR – Norma Brasileira

nº - Número

NO₂ – Dióxido de nitrogênio

NR – Norma Regulamentadora

°C – Graus celsius

ONU – Organização Das Nações Unidas

OPV – Células fotovoltaicas orgânicas

p. – Página

PECVD – Processo de deposição de vapor químico aprimorado por plasma

PET – Politereftalato de Etileno

pH – Potencial hidrogeniônico

PRODIST – Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

p-Si – Silício policristalino

SCIELO – *Scientific Electronic Library Online*

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

SiH₄ – Gás silano

SO₂ – Dióxido de enxofre

TCO – Óxido condutor transparente

TUE – Tomadas de uso especial

TUG – Tomadas de uso geral

UE – União Europeia

USGS – *United States Geological Survey*

Wh/m² – Watt por hora por metro quadrado

ZnO:Al – Óxido de zinco dopado com alumínio

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	JUSTIFICATIVA	26
3	OBJETIVOS	29
3.1	Objetivo Geral	29
3.2	Objetivos Específicos	29
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	30
4.1	Panorama Energético Mundial/Nacional	30
4.2	Fontes de Energias Não-Renováveis	31
4.2.1	Energia Elétrica Proveniente do Gás Natural	32
4.2.2	Energia Elétrica Proveniente do Petróleo	33
4.2.3	Energia Elétrica Proveniente do Carvão Mineral	33
4.2.4	Energia Elétrica Proveniente da Energia Nuclear	34
4.3	Fontes de Energia Renováveis	35
4.3.1	Energia Hidráulica	36
4.3.2	Energia Geotérmica	37
4.3.3	Biomassa	37
4.3.4	Energia das Ondas e Marés	39
4.3.5	Energia Eólica	40
4.3.6	Energia Solar	41
4.4	Energia Solar Fotovoltaica	43
4.4.1	Radiação Solar	43
4.4.2	Efeito Fotovoltaico	44
4.5	Sistema Fotovoltaico	46
4.5.1	Sistemas Off-Grid (Isolado da Rede)	46
4.5.2	Sistemas Híbridos	48
4.5.3	Sistemas Grid-Tie (Conectado à Rede)	48
4.6	Elementos do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	49
4.6.1	Painéis Fotovoltaicos	50
4.6.2	Módulos Fotovoltaicos	50
4.6.3	Células Fotovoltaicas	51
4.6.3.1	Célula Fotovoltaica de 1ª Geração – Silício Cristalino (c-Si)	52
4.6.3.1.1	Célula Fotovoltaica de Silício Monocristalino (m-Si)	52
4.6.3.1.2	Célula Fotovoltaica de Silício Policristalino (p-Si)	53

4.6.3.2	Célula Fotovoltaica de 2ª Geração – Filme Fino	54
4.6.3.2.1	Célula Fotovoltaica de Silício Amorfo (a-Si).....	54
4.6.3.2.2	Célula Fotovoltaica de Disseleneto de Cobre (Gálio) e Índio (CIS e CIGS)	55
4.6.3.2.3	Célula Fotovoltaica de Telureto de Cádmio (CdTe)	56
4.6.3.3	Células Fotovoltaicas de 3ª Geração	57
4.6.3.3.1	Célula Fotovoltaica Orgânica (OPV)	57
4.6.3.3.2	Célula Fotovoltaica Sensibilizada por Corante (DSSC)	58
4.6.3.3.3	Célula Fotovoltaica Híbrida	59
4.6.4	Inversor	60
4.6.5	Quadro Elétrico.....	60
4.6.6	Medidor Bidirecional	60
4.6.7	Cabeamento Solar e Conectores	61
4.6.8	String Box	62
4.6.9	Dispositivo de Proteção de Corrente Contínua	62
4.6.10	Dispositivo de Proteção de Corrente Alternada.....	62
4.6.11	Caixas de Junção	63
4.6.12	Diodo de Bloqueio	63
4.6.13	Aterramento.....	63
4.6.14	Estruturas de Fixação.....	64
4.7	Manutenção	64
4.8	Impactos Ambientais	65
5	METODOLOGIA.....	67
5.1	Classificação da Pesquisa	67
5.2	Delimitação do Tema	68
5.3	Etapas da Pesquisa	70
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
6.1	Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Produção	74
6.2	Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Instalação.. ..	87
6.3	Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Operação	91
6.4	Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Descarte . ..	93
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	102
REFERÊNCIAS.....	103

1 INTRODUÇÃO

A demanda global por energia elétrica cresceu exponencialmente nos últimos 50 anos devido ao processo de industrialização e uma extraordinária expansão demográfica, acompanhada do rápido aumento da taxa de urbanização. Para os próximos anos, a previsão é que países em desenvolvimento experimentarão crescente aumento populacional e consumo energético. Esse crescimento tende a ser superior à oferta de energia (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2008).

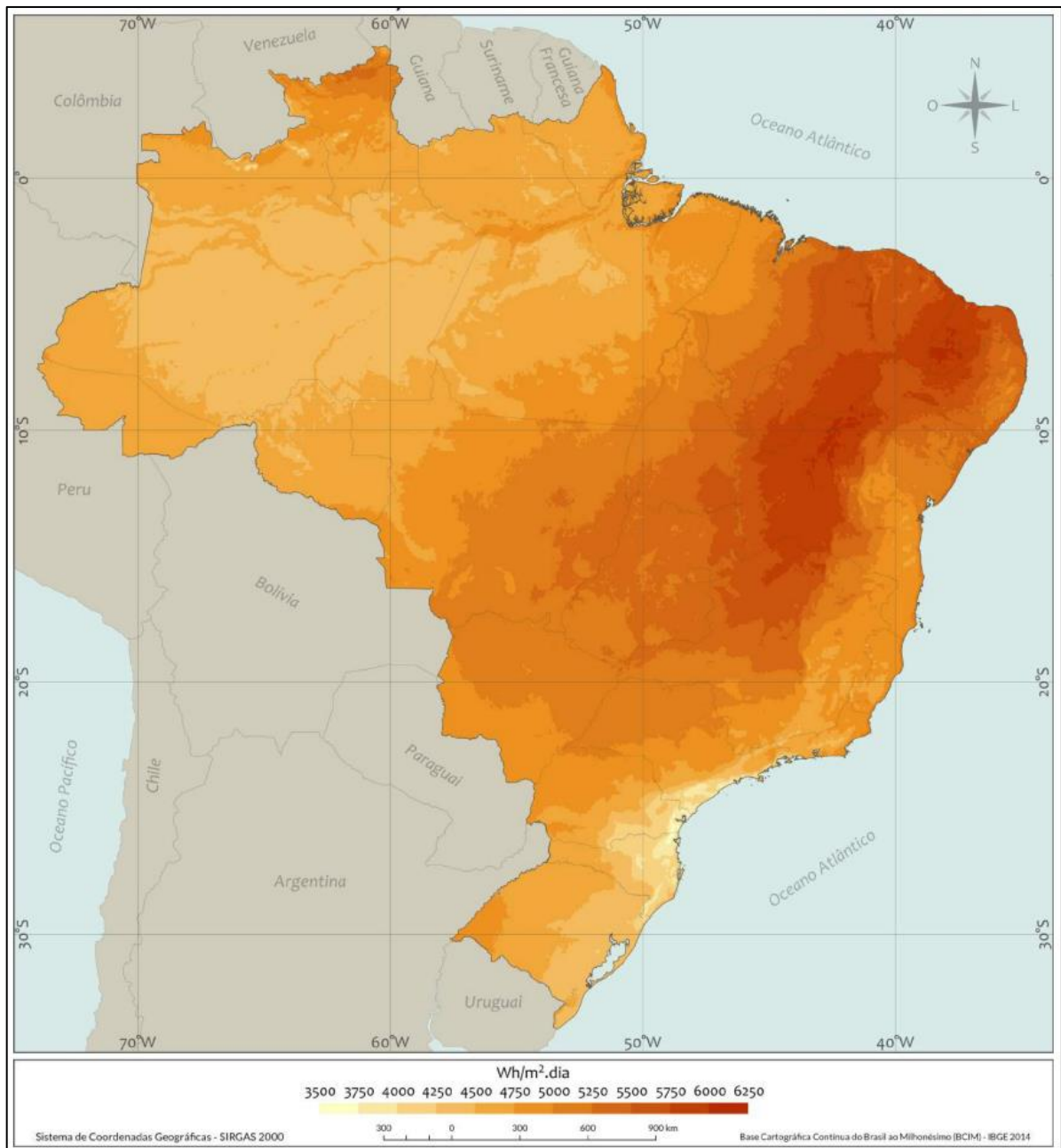
De acordo com a *International Energy Agency* - IEA (2021), as principais matrizes energéticas mundiais para geração de energia elétrica são provenientes de combustíveis fósseis como petróleo, carvão mineral e gás natural. O seu uso proporciona o aumento do acúmulo de gases do efeito estufa, mudanças climáticas, bem com o esgotamento desses elementos, visto que estes são recursos finitos.

Já no Brasil, a principal matriz energética é provinda de recursos hídricos, entretanto, no período de 2012 a 2017 o país atravessou um grave quadro de estiagem, o que ocasionou a queda da capacidade de geração nas usinas hidrelétricas, e obrigou o Operador Nacional do Sistema Elétrico a ligar as usinas térmicas para atender à necessidade de energia, promovendo consecutivos aumentos nas tarifas de energia (RELLA, 2017).

Diante desse cenário, pesquisas e investimentos em tecnologias estão buscando alternativas para a diversificação da matriz energética, o que tem aumentado o conhecimento sobre a energia solar fotovoltaica e proporcionado sua ampliação no mercado econômico.

Pereira *et al.* (2017) abordam, no Atlas Brasileiro de Energia Solar, que a irradiação solar anual média no território brasileiro varia entre 3500 a 6250 Wh/m² (watt por hora por metro quadrado). Como mostra a Figura 1, essa ampla incidência de radiação solar sugere que a implementação de sistemas fotovoltaicos se apresenta como uma interessante alternativa para geração de energia elétrica. Segundo Simioni (2017), o aproveitamento desse tipo de energia pode ser realizado, mesmo que nem sempre de maneira exclusiva, em todo o território nacional.

Figura 1 – Irradiação solar anual média no Brasil.



Fonte: PEREIRA *et al.* (2017).

Em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482, determinando as condições gerais para a admissão de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de eletricidade. A vigência desse regulamento permitiu a muitos consumidores gerarem sua própria energia.

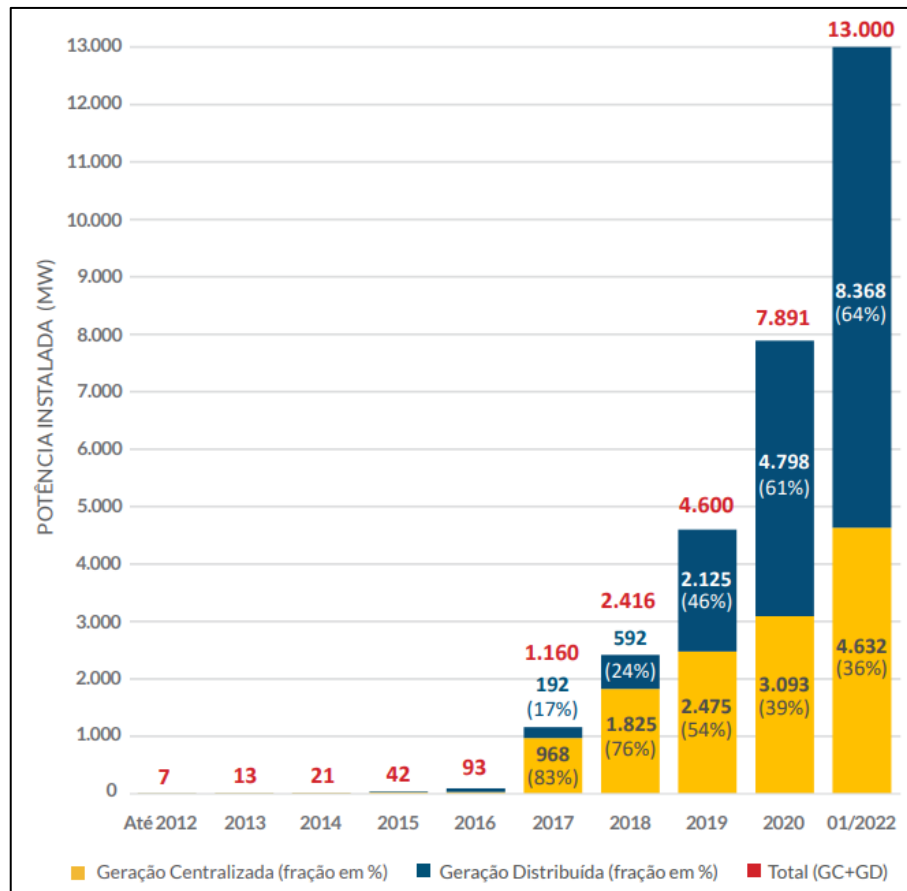
Em novembro de 2015, foi publicada pela ANEEL a Resolução Normativa nº 687/2015 que modifica e aprimora os conceitos estabelecidos na resolução 482

de 2012, criando incentivos como a possibilidade de gerar créditos quando a quantidade de energia gerada for superior à quantidade consumida. Quando o consumo for maior que a geração, a compensação desses créditos pode ocorrer em até 60 meses, a partir de sua fatura, e, se o consumidor possuir outra instalação elétrica cadastrada em seu nome, poderá transferir para ela esses créditos.

Desde então, houve um aumento expressivo na procura pela instalação de microusinas solares em residências e comércios, mesmo com os altos custos iniciais de investimento, as linhas de financiamentos atrativas, o tempo de retorno estimado em torno de 5 a 6 anos e a redução do valor na conta de luz explicam o crescimento do emprego dessa tecnologia para geração de energia individualizada (OLIVEIRA, 2018).

Dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR (2022) apontam que, em janeiro de 2022, o Brasil atingiu à marca de 13 gigawatts (GW) de capacidade de energia solar fotovoltaica instalada, esse valor alcançado leva em consideração parques centralizados e a geração distribuída (produção própria de energia em telhados, fachadas e pequenos terrenos). Ainda de acordo com ABSOLAR (2022), entre as fontes renováveis disponíveis atualmente, a solar se destaca como a mais promissora. A IEA (2021) prevê que a fonte produza cerca de um terço de toda a energia consumida pelos brasileiros em 2050.

Na Figura 2, é apresentado um gráfico fornecido pela ABSOLAR que mostra a evolução do crescimento da energia fotovoltaica no Brasil ao longo dos anos de 2012 a 2022. Nele, é abordada a porcentagem de contribuição da geração distribuída e centralizada.

Figura 2 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.

Fonte: ABSOLAR, 2022.

Em janeiro de 2022 foi sancionada a lei nº 14.300 que instituiu o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, regulamentação que entrou em vigor no dia 7 de janeiro de 2023, determinando que projetos de conexão solicitados após essa data sofreriam a cobrança de uma taxa sobre a energia excedente enviada a rede de distribuição pública.

A geração de energia através da tecnologia solar fotovoltaica é proveniente de fonte livre de combustíveis fósseis e, em fase de funcionamento, não emite gases de efeito estufa (RAHMAN; ALAM; AHSAN, 2019). Entretanto, existe espaço para estudos sobre as etapas do ciclo de vida desses elementos, para que se tornem mais eficazes e minimizem os impactos ambientais.

Usar fonte de energia renovável não garante que esta seja uma fonte de geração limpa, logo o uso de sistemas fotovoltaicos não garante a redução do impacto ambiental na esfera de produção de energia (KONZEN, 2020).

O relatório feito pela *International Renewable Energy Agency – IRENA* (2016) estima que até o ano de 2050 seja produzido um volume de 78 milhões de

toneladas de resíduos oriundos de painéis fotovoltaicos, o equivalente a 15 bilhões de dólares.

O descarte dos resíduos provenientes dos sistemas fotovoltaicos ainda é um grande problema, pois falta tecnologia adequada para sua recuperação e, além disso, se estes objetos forem eliminados de maneira inadequada, promovem a perda de materiais que poderiam ser reciclados e reutilizados e também a liberação de substâncias altamente tóxicas como chumbo e cádmio, contaminando o meio ambiente, proporcionando perda da fauna e flora, além de ameaçar e colocar em risco a vida humana, ocasionando danos irreversíveis (COELHO; SERRA, 2018).

Portanto, embasado no que foi apresentado acima, propõe-se realizar uma revisão bibliográfica a respeito das principais matrizes energéticas para geração de eletricidade, com enfoque na matriz fotovoltaica buscando informações sobre os painéis utilizados no processo de obtenção de energia elétrica através dessa fonte, com intuito de identificar e classificar os possíveis impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida desses elementos.

2 JUSTIFICATIVA

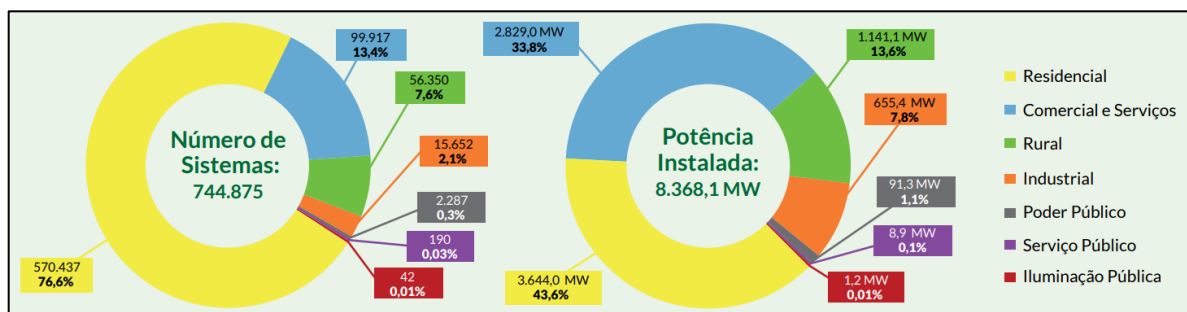
A demanda de consumo de energia elétrica pela sociedade está crescendo em um ritmo mais acelerado do que a capacidade do planeta em abastecer e restituir suas fontes energéticas a médio e longo prazo. Diante disso, surge a necessidade de substituir as fontes de energia provenientes de recursos fósseis para que se consiga atender à necessidade da população e o desenvolvimento sustentável, reduzindo a degradação ambiental, conforme Pupin (2019).

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1991, p. 49) defende que “para haver um desenvolvimento sustentável, é preciso minimizar impactos adversos sobre a qualidade do ar, da água, e de outros elementos naturais, a fim de manter a integridade natural do ecossistema”. Quando estratégias de sustentabilidade são abordadas, é possível fomentar a harmonia entre o meio ambiente e o desenvolvimento humano, garantindo satisfação econômica, social e cultural (KONZEN, 2020).

O uso de fontes de energia renováveis para produção de eletricidade deve ser amplamente utilizado, mas em equilíbrio, de forma a garantir que estas não tragam implicações negativas a população e ao ecossistema.

Como abordado anteriormente, a energia fotovoltaica ganhou muito espaço no mercado a partir de 2012 até o início de 2022. Segundo a ABSOLAR, a geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil atingiu a marca de 744.875 sistemas instalados por todo o país, com destaque para o uso residencial, como mostra a Figura 3.

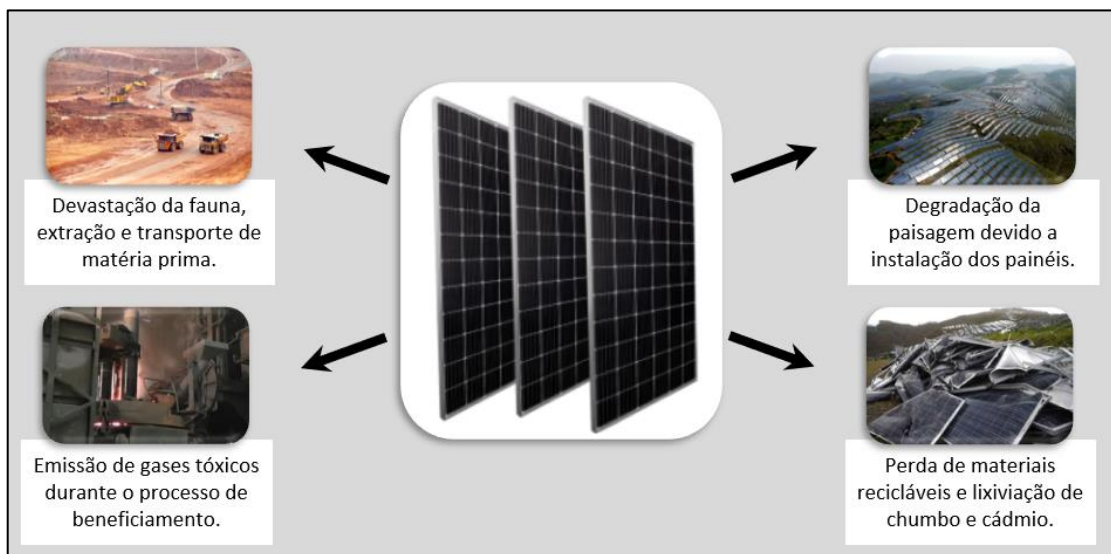
Figura 3 – Geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil por classe de consumo.



Fonte: ABSOLAR, 2022.

Este setor tende a crescer ainda mais nos próximos anos, logo é de suma importância pensar nas possíveis possibilidades de degradação do meio ambiente do uso de dessa fonte. De acordo com Miranda, Leandro e Silva (2019), assim como qualquer outro empreendimento gerador de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos promovem múltiplos impactos durante o seu ciclo de vida, em variadas magnitudes (Figura 4).

Figura 4 – Impactos ambientais do ciclo de vida de painéis fotovoltaicos.



Fonte: COSTA, 2022.

De acordo com Miranda, Leandro e Silva (2019), os módulos fotovoltaicos apresentam expectativa de vida útil da ordem de 25 a 30 anos, porém outros componentes do sistema possuem essa estimativa menor, como é caso dos inversores que podem chegar a 15 anos. Levando em conta o crescimento da área incorporado à capacidade energética do país, é visível que o setor tem enorme potencial para contribuir com a geração de grandes volumes de resíduos para as próximas décadas. Prevendo um cenário catastrófico, alguns países já determinaram formas eficazes de gerir o fim de vida desses painéis.

A União Europeia, por exemplo, estabeleceu a *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012* (Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012) que dispõe sobre a gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos e incluiu nela os módulos fotovoltaicos, determinando obrigações legais que as empresas devem seguir quando realizar coleta e reciclagem desses materiais.

No Brasil, a NBR 10004:2004 fundamenta os critérios para a classificação de resíduos sólidos quanto aos seus níveis de periculosidade. No ano de 2010, entrou em vigor a Lei nº 12305, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre as diretrizes relativas à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos, as responsabilidades dos geradores e do poder público (BRASIL, 2010). Entretanto, até os dias atuais, no país, nenhuma lei ou norma vigente engloba e especifica claramente o enquadramento dos resíduos oriundos dos sistemas solares fotovoltaicos (OLIVEIRA, 2021).

Enquanto o uso da energia solar gera grandes benefícios por ser uma fonte renovável, a produção dos elementos que compõem esses sistemas e seu descarte sem controle no fim de sua vida útil pode trazer efeitos contrários.

Considerando o grande avanço desse setor energético, bem como os potenciais impactos gerados pelo seu ciclo de vida e a obsolescência de um volume extremamente grande de painéis nas próximas décadas, aliado à falta de leis que direcionem especificamente como realizar o gerenciamento desse tipo de resíduo e ao baixo número de produções acadêmicas sobre o assunto, é possível perceber como essa temática necessita de pesquisas.

Nesse contexto, este trabalho se justifica como um instrumento de análise dos impactos ambientais ocasionados por esse produto, que tanto cresce no país, além de servir como ferramenta de disseminação do conhecimento aos interessados no tema.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem a finalidade de realizar um levantamento bibliográfico a respeito de painéis fotovoltaicos, buscando mostrar e divulgar os seus possíveis impactos ambientais.

3.2 Objetivos Específicos

- Abordar sobre os principais conceitos de fontes de energia não renováveis e renováveis;
- Dissertar sobre os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos;
- Apresentar os principais impactos ambientais gerados pela produção, instalação, operação e descarte inadequados dos painéis fotovoltaicos;
- Caracterizar os possíveis impactos ambientais obtidos no estudo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

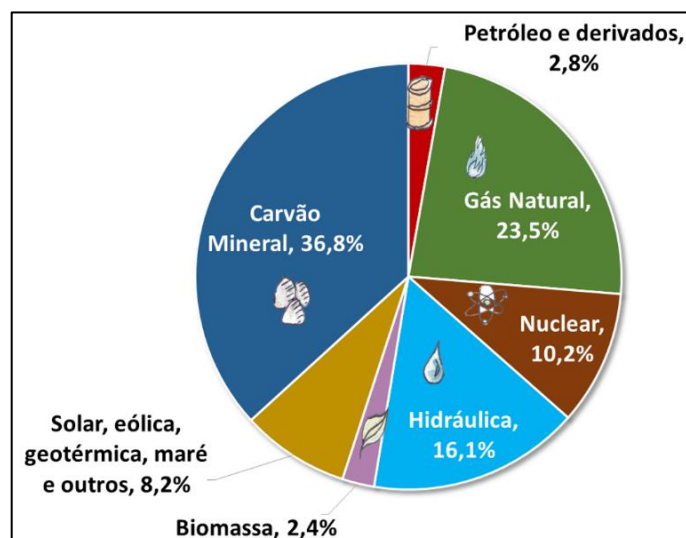
4.1 Panorama Energético Mundial/Nacional

A energia é proveniente de fontes naturais. Seu conjunto forma a chamada matriz energética, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, (2021, p.1):

Muitas pessoas confundem a matriz energética com a matriz elétrica, mas elas são diferentes. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, podemos concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética.

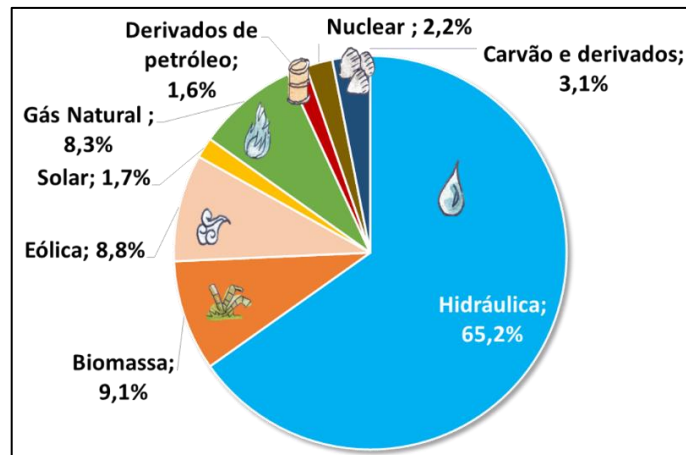
Segundo a *Energy Information Administration* - EIA (2021), a geração de energia elétrica no mundo é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas (Figura 5).

Figura 5 – Matriz elétrica mundial 2019.



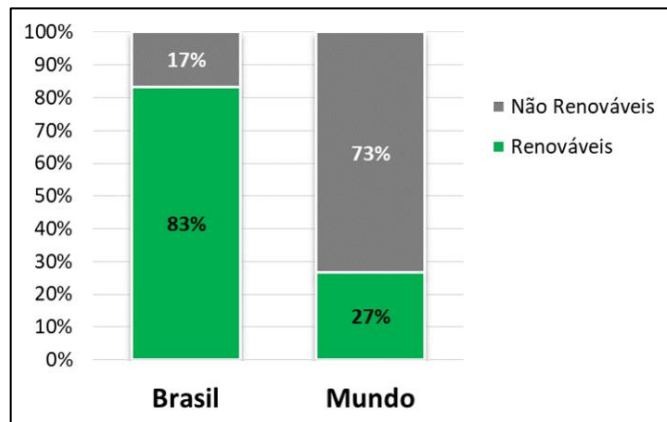
Fonte: EIA, 2021.

O relatório consolidado do Balanço Energético Nacional – BEN (2021) que documenta e publica, anualmente, extensa pesquisa e contabilidade relativas à oferta e consumo de energia no Brasil, mostra que a principal matriz elétrica brasileira é proveniente de recurso renovável (Figura 6).

Figura 6 – Matriz elétrica brasileira 2020.

Fonte: BEN, 2021.

A EPE (2021) apresenta um gráfico sobre a utilização de fontes renováveis e não renováveis para a geração de energia elétrica no Brasil e no mundo para o ano de 2019 (Figura 7).

Figura 7 – Fontes renováveis e não renováveis de geração de energia elétrica no Brasil e no Mundo.

Fonte: EPE, 2019.

4.2 Fontes de Energias Não-Renováveis

As fontes de energia não renováveis são aquelas geradas através de recursos naturais finitos ou esgotáveis, uma vez que sua reposição na natureza se processa de maneira muito lenta, pois resulta de um processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. Dentre esses recursos, destacam-se as fontes derivadas dos combustíveis fósseis como o gás natural, o petróleo, o carvão mineral e a energia nuclear (MACHAIEIE, 2011).

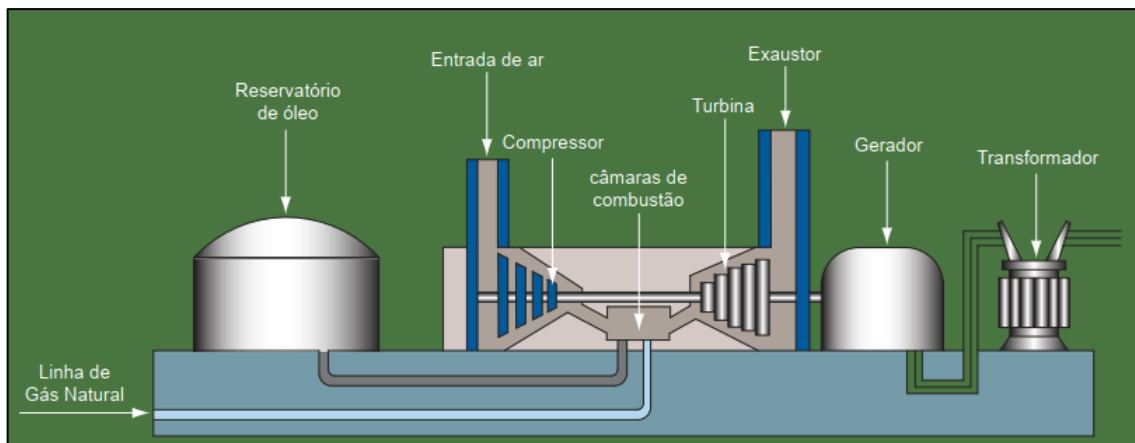
4.2.1 Energia Elétrica Proveniente do Gás Natural

O gás natural é uma fonte de energia versátil, com ampla base de recursos em diversos países e que pode atender as demandas dos mais variados setores, como industrial, energético, residencial, comercial e de transportes (TOLMASQUIM, 2016).

O gás natural consiste em uma mistura de hidrocarbonetos leves resultante da decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos que, à temperatura e pressão atmosférica ambiente, se encontra no estado gasoso. No meio ambiente é achado acumulado em rochas porosas no subsolo terrestre ou marinho e, também, é muito comum sua ocorrência associada ao petróleo (SANTOS *et al.*, 2007).

Na primeira etapa do processo o ar passa por um compressor axial anteposto à câmara de combustão, interligado à turbina e tem sua pressão aumentada, resultando na emissão de gases em alta temperatura que provocam o movimento das turbinas conectadas aos geradores de eletricidade, onde é feita a transformação de energia térmica em cinética e, posteriormente, em elétrica (SILVA, 2010). Após sua passagem pelas turbinas, o destino do gás é definido pelo tipo de termoelétrica, seja ela de ciclo simples ou combinado. No primeiro caso os gases são resfriados e soltos na atmosfera por uma chaminé (ANEEL, 2008). No ciclo combinado, os gases, ainda em alta temperatura, transformam a água em vapor e o injetam diretamente em uma turbina também a vapor, conectada a um gerador elétrico produzindo mais eletricidade (SILVA, 2010). Esquema ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do gás natural.



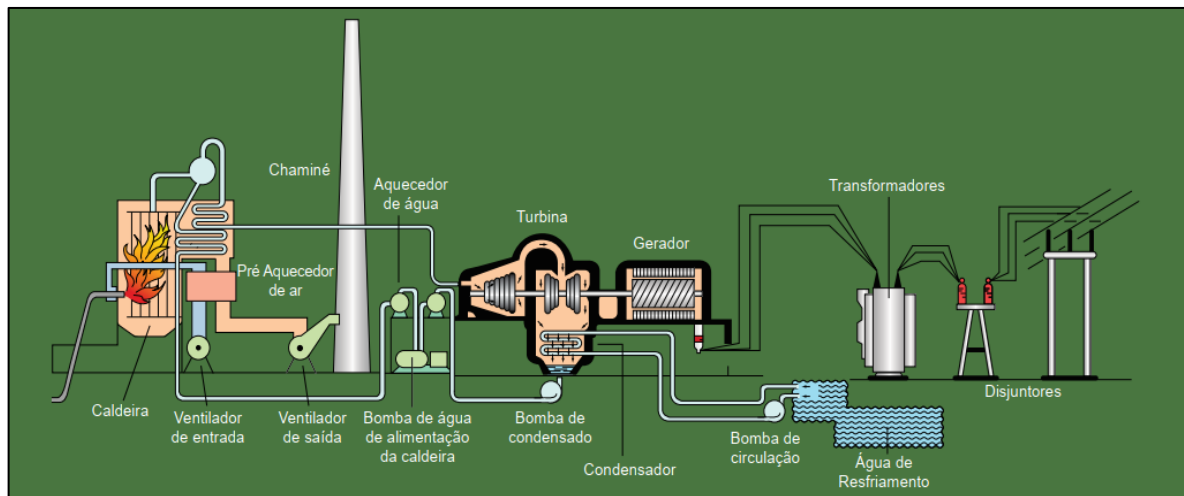
Fonte: ANEEL, 2008.

4.2.2 Energia Elétrica Proveniente do Petróleo

O petróleo é um elemento natural, inflamável, com densidade menor que a água, composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos formada a partir da decomposição, durante milhões de anos, de substâncias orgânicas como plantas e animais (BRANCO, 2014).

O material é transportado até a usina, armazenado e, para a geração de energia, é queimado numa câmara de combustão. Durante sua queima, é liberado calor que aquece e aumenta a pressão da água, transformando-a em vapor, ele movimenta a turbina que é ligada ao gerador e converte a energia mecânica em energia elétrica, ao passar pelas turbinas o vapor é direcionado ao condensador e retorna ao estado líquido, então este é direcionado novamente para caldeira para repetir o ciclo de produção (ANEEL 2008), como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do petróleo.



Fonte: ANEEL, 2008.

4.2.3 Energia Elétrica Proveniente do Carvão Mineral

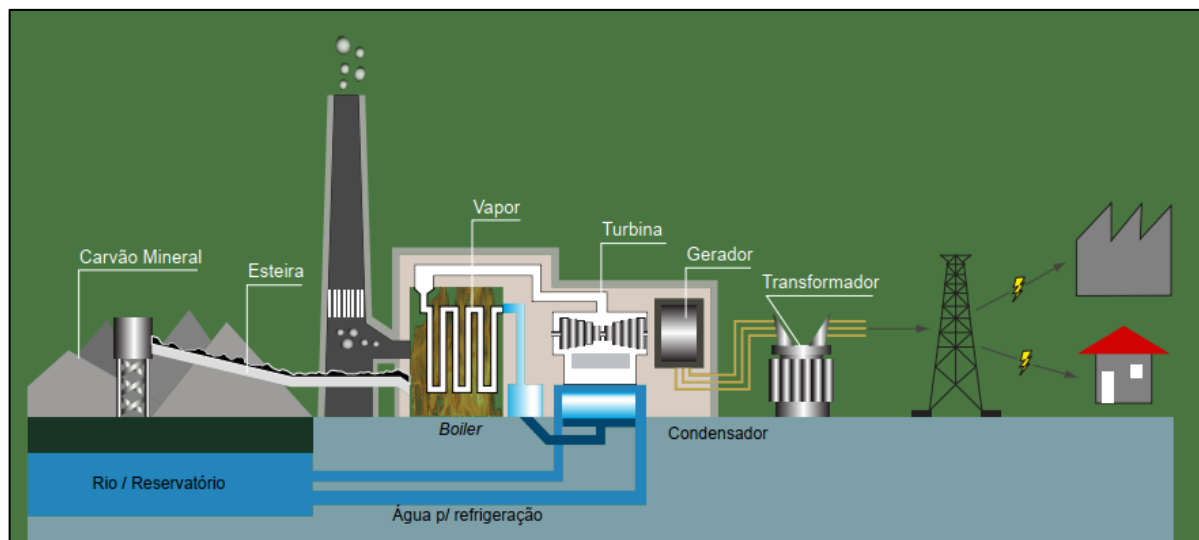
A EPE (2021) disserta que o carvão mineral é um elemento sólido, poroso e de fácil combustão proveniente da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares.

Sua origem depende da ação da pressão e da temperatura em um ambiente sem contato com o ar. Através do soterramento e da atividade orogênica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio e

hidrogênio e aumentam sua concentração de carbono em um processo denominado carbonificação (BORBA, 2001).

O carvão é extraído do solo, fragmentado e armazenado em silos para, posteriormente, ser transportado à usina onde, novamente será armazenado (ANEEL, 2008). Posteriormente, ele é moído e queimado convertendo a água presente nos tubos que envolvem a fornalha em vapor de alta pressão, acionando uma turbina ligada a um gerador produzindo eletricidade (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS, [202-]). O processo é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Processo de produção de energia elétrica a partir do carvão mineral.



Fonte: ANEEL, 2008.

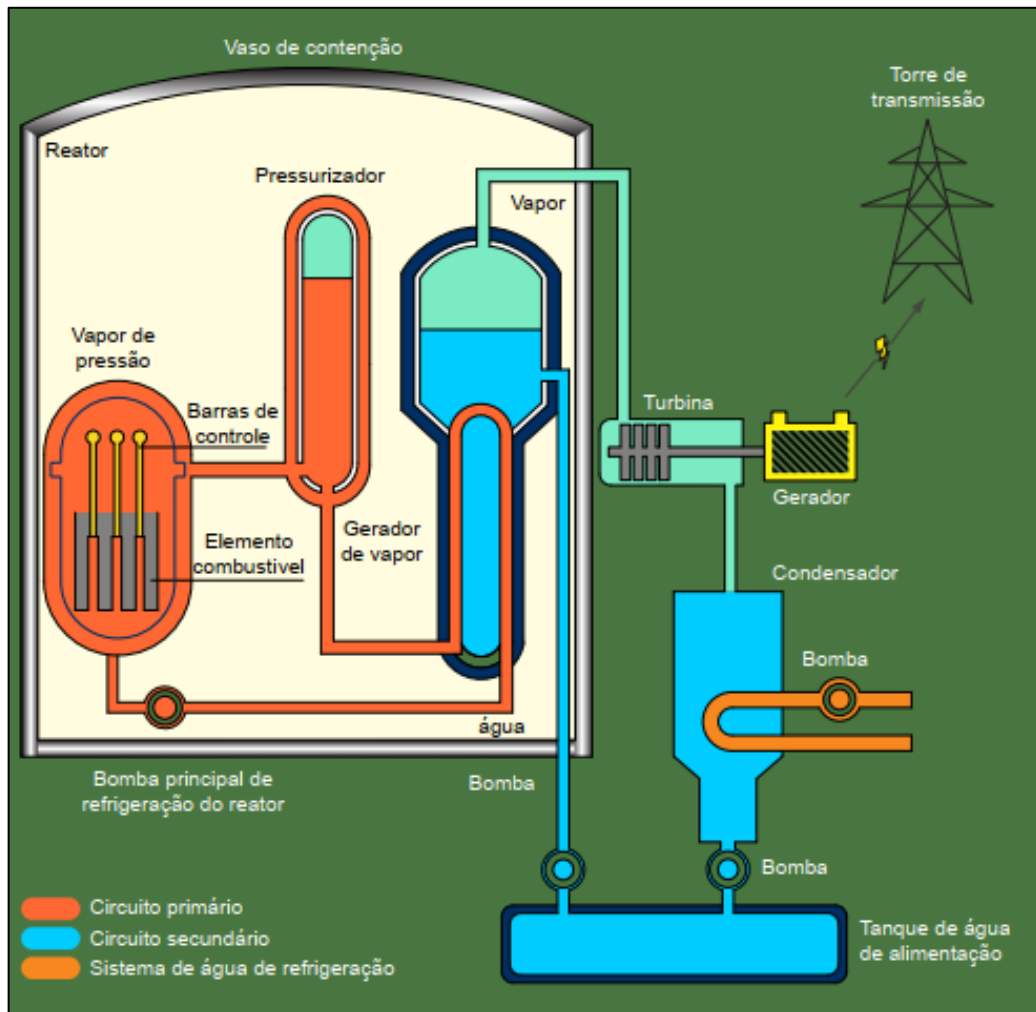
4.2.4 Energia Elétrica Proveniente da Energia Nuclear

A energia nuclear é oriunda da divisão de átomos radioativos que, por meio do processo de fissão, faz os elementos químicos liberarem grande quantidade de energia mantida em seu núcleo (NUNEZ, 2019).

O núcleo do átomo de urânio é sujeito a um processo de fissão (divisão) para gerar a energia que aquece a água e passa pelo reator a uma temperatura de 320 graus Celsius. Para não entrar em ebulição, ela é mantida sob uma pressão 157 vezes maior que a pressão atmosférica; a partir daí, ela circula por um gerador de vapor, em circuito fechado, chamado de circuito primário, aquecendo a água do circuito secundário, transformando-a em vapor que movimenta a turbina e, por sua vez, aciona o gerador elétrico, movendo a turbina e passando por um condensador,

onde é refrigerado pela água do mar, oriunda de um terceiro circuito independente (ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S.A – ELETRONUCLEAR, [201-]). A Figura 11 ilustra esse esquema.

Figura 11 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir da usina nuclear.



Fonte: ANEEL, 2008.

4.3 Fontes de Energia Renováveis

As fontes de energia renováveis são originárias de recursos naturais considerados inesgotáveis, pois elas se renovam constantemente ao serem usadas. Dentre essas fontes, destacam-se a hídrica, geotérmica, biomassa, ondas e marés, eólica e solar (ARMSTRONG; HAMRIN, 2000).

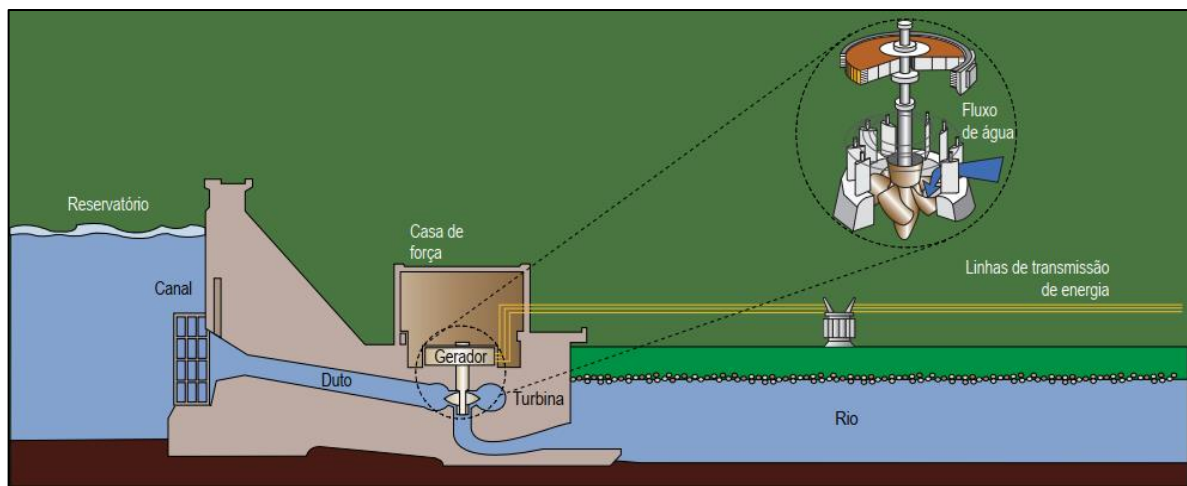
4.3.1 Energia Hidráulica

A energia hidráulica é proveniente da transformação da força da água em energia elétrica, como abordado pela EPE (2021). A usina hidrelétrica é composta pela barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que operam em conjunto e de forma integrada (ANEEL, 2008).

Segundo as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS (2017), a barragem tem como função interromper o curso normal do rio criando um reservatório e, também, obter o desnível necessário para girar as turbinas das unidades geradoras. A captação e a adução da água ocorrem por meio de túneis ou condutos metálicos que a levam até a casa de força, onde se localizam as turbinas, elementos constituídos por uma série de pás ligadas a um eixo conectado a um gerador, assim, a energia cinética, proveniente do movimento das águas, gira as turbinas produzindo energia elétrica (QUEIROZ *et al.*, 2013). Os vertedouros são projetados para suportar vazões geradas por chuvas extremas, controlando o nível do reservatório para que não ocorra transbordamento (ELETROBRÁS, 2017).

A Figura 12 mostra o processo de produção de energia elétrica a partir da usina hidrelétrica.

Figura 12 – Processo de produção de energia elétrica a partir da usina hidrelétrica.



Fonte: ANEEL, 2008.

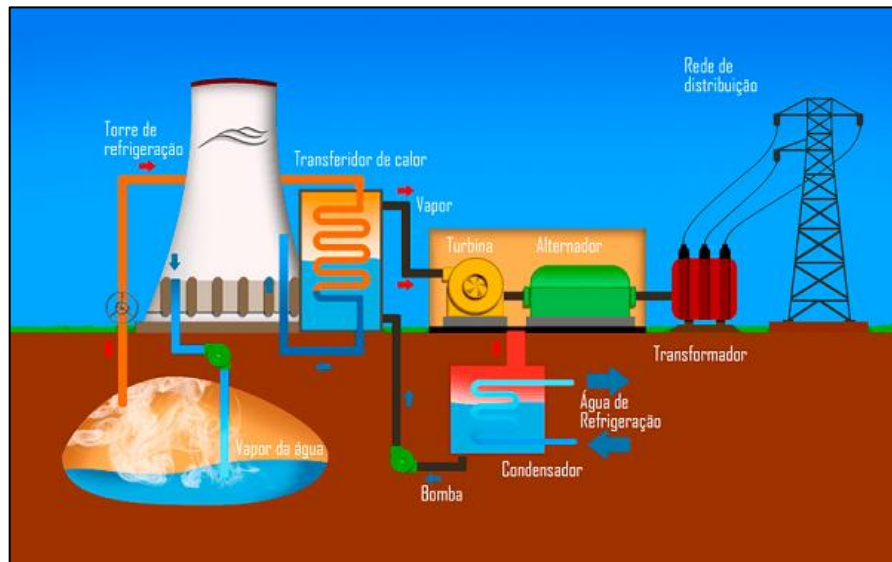
4.3.2 Energia Geotérmica

A energia geotérmica é derivada do vapor de água encontrado em grandes profundidades sob a superfície terrestre (SANTOS, 2020).

Campos *et al.* (2017) explicam que, para a produção de eletricidade, é realizada uma perfuração no subsolo até o reservatório que contém o vapor d'água, em seguida, são instalados tubos que conduzem esse vapor até a central geotérmica, sendo então direcionado, sob alta pressão e velocidade, para as turbinas, movimentando suas pás e transformando a energia cinética em energia elétrica, por meio do gerador. Ainda segundo os autores, após passar pelas turbinas, o vapor é direcionado a uma torre onde é condensado e resfriado, posteriormente, a água arrefecida é canalizada para o reservatório subterrâneo, onde é novamente injetada nas rochas quentes, através das tubulações, para reiniciar o ciclo.

O processo de produção de energia elétrica a partir da usina geotérmica pode ser acompanhado na Figura 13, abaixo.

Figura 13 – Perfil esquemático de produção de energia elétrica a partir da usina geotérmica.



Fonte: ABREU, 2017.

4.3.3 Biomassa

A biomassa compreende a matéria orgânica que pode ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica, são exemplos os resíduos agrícolas,

madeira e plantas como a cana de açúcar, o eucalipto e a beterraba (MALAJOVICH, 2011).

A geração de energia elétrica através da biomassa pode ser concebida por diversas formas, a ANEEL (2008, p. 64) afirma que:

Existem várias rotas tecnológicas para obtenção da energia elétrica a partir da biomassa. Todas preveem a conversão da matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz. Essa máquina produzirá a energia mecânica que acionará o gerador de energia elétrica.

Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão: É empregado de forma integrada a processos produtivos por meio da cogeração. Nele, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. Este vapor pode acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica.

Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração: Consiste na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento às atividades mecânicas ou térmicas do processo produtivo. Esta energia ao ser condensada, quando inserida em um processo de cogeração, é retirada em um ponto intermediário da expansão do vapor que irá movimentar as turbinas.

Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa: A gaseificação é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como a biomassa, em gás energético por meio da oxidação parcial em temperatura elevada. Esta conversão, realizada em gaseificadores, produz um gás combustível que pode ser utilizado em usinas térmicas movidas a gás para a produção de energia elétrica.

A Figura 14 mostra o esquema de produção de energia elétrica a partir da biomassa.

Figura 14 – Esquema de produção de energia elétrica a partir da biomassa.



Fonte: PORTAL ENERGIA, 2020.

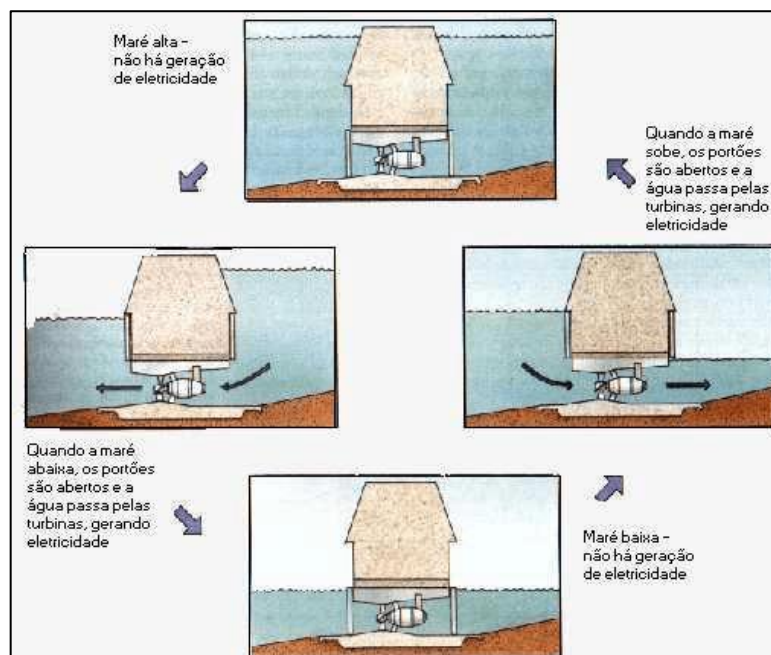
4.3.4 Energia das Ondas e Marés

A energia das ondas e marés é proveniente do movimento das ondas, pela subida e descida natural das marés causadas pela interação gravitacional entre a terra, o sol e a lua, explica Cisco *et al.* (2020). Para o aproveitamento da energia das marés:

Existem duas formas principais: geração em maré vazante e geração em maré enchente. Além disso, é possível a combinação de ambas as formas. Quando o processo de geração ocorre apenas durante a maré vazante ou na maré enchente, é chamada de geração em *efeito simples*; quando ambas as formas são utilizadas, é chamada de geração em *efeito duplo*. A geração em maré vazante é a mais simples estratégia de operação de uma usina maremotriz. Logo após a maré cheia, as comportas de enchimento do reservatório são fechadas. O processo de geração de energia é iniciado durante a maré vazante, quando a queda d'água é aproximadamente a metade da amplitude da maré, ou seja, há queda d'água suficiente para o início do funcionamento das turbinas. Esta operação é mantida até que a altura da queda d'água se torne a mínima possível para a geração de energia. Neste ponto, bloqueiam-se as passagens de água através das turbinas, cessando-se a geração de energia até que a altura da queda d'água se torne novamente suficiente para o funcionamento das turbinas, isto após a maré alta seguinte. O processo de geração em maré enchente é análogo ao anterior, com a diferença de que nesse caso o processo de geração ocorre no sentido mar-reservatório (NETO *et al.*, 2011, p. 5).

A Figura 15 mostra o processo de geração de energia através das marés.

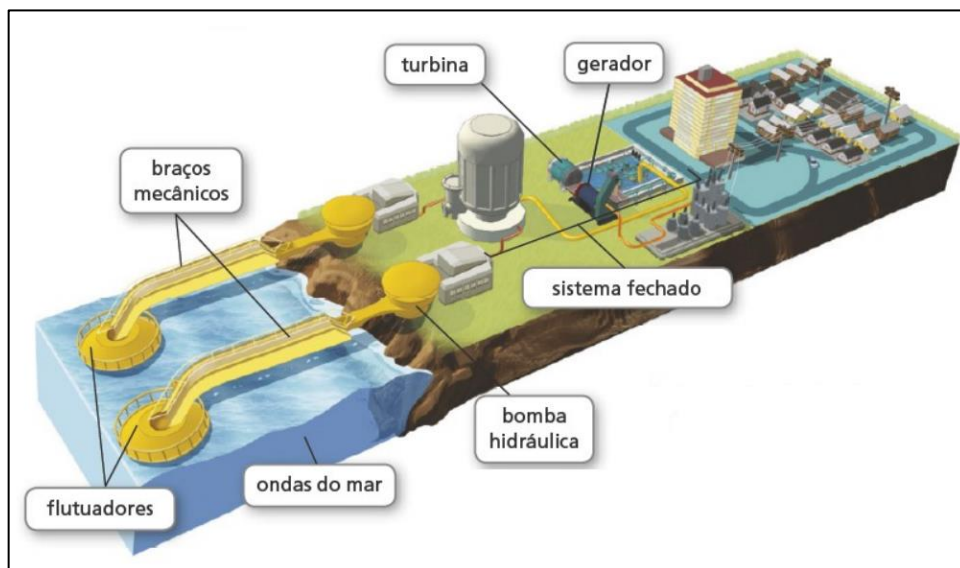
Figura 15 – Energia elétrica produzidas pelas marés.



Fonte: DUARTE, 2021.

Através do movimento das ondas, com o auxílio de flutuadores instalados em diferentes direções, elas se movimentam para cima e para baixo, permitindo o acúmulo de água sob alta pressão numa câmara interna que aciona a turbina ligada a um gerador de eletricidade, isso promove a transformação da energia cinética das ondas em energia elétrica conforme a EPE (2021). A Figura 16 ilustra esse processo.

Figura 16 – Produção de energia elétrica através da energia cinética das ondas.



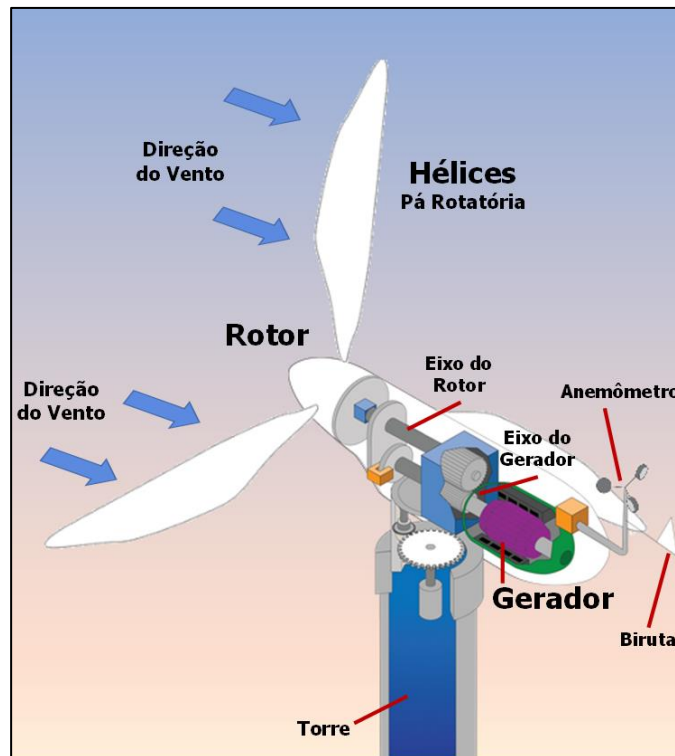
Fonte: CÂMARA, 2018.

4.3.5 Energia Eólica

A energia eólica é obtida através da movimentação de massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta (ANEEL, 2008). Essa não uniformidade no aquecimento da atmosfera se deve à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra (ALMEIDA, 2016).

Quando o vento flui através das pás do catavento, cria uma diferença de pressão entre os dois lados de sua superfície, fazendo com que essas hélices e o rotor girem, esse movimento da origem à energia mecânica que aciona o gerador produzindo eletricidade (CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA – CBIE, 2020). A Figura 17 ilustra esse processo.

Figura 17 – Esquema de produção de energia elétrica a partir da energia eólica.



Fonte: CBIE, 2020.

4.3.6 Energia Solar

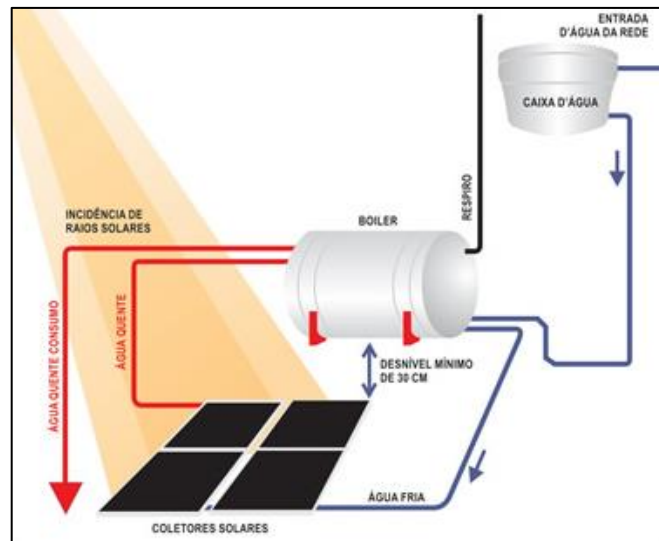
Silva (2018) disserta que a energia solar é provinda do calor e da luz do sol, ela é uma fonte sustentável que pode ser empregada no aquecimento de água e geração de energia pelo processo heliotérmico ou fotovoltaico.

Os sistemas de aquecimento de água são constituídos por coletores que captam a radiação solar, os raios solares atravessam o vidro das placas e esquentam as aletas¹, em seguida o calor atinge os tubos que normalmente são de cobre ou alumínio e aquecem a água em seu interior, após aquecida ela é direcionada a um reservatório térmico que permite seu posterior consumo, explica Lima (2003).

A Figura 18 aborda o esquema de funcionamento do sistema de aquecimento de água.

¹ Aletas são superfícies que se estendem a partir de uma base metálica que fica em contato com a área de algum equipamento de onde se deseja trocar calor com o meio mais eficientemente e são pintadas com uma coloração escura com intuito de aumentar sua eficiência de absorção (SILVA, 2020, p. 19).

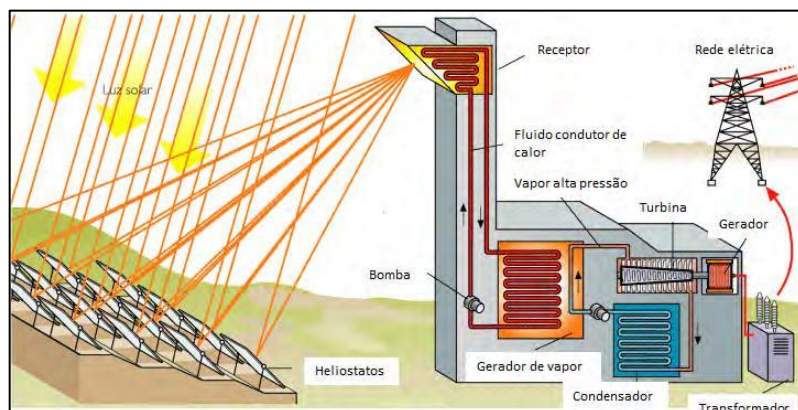
Figura 18 – Esquema de aquecimento de água.



Fonte: HELIOTEK, 2006.

As usinas heliotérmicas são constituídas de quatro componentes básicos: coletor, receptor, transporte-armazenamento e conversão de potência. O primeiro concentra a radiação solar através de refletores e focaliza os raios em um receptor, este, por sua vez, absorve a luz solar concentrada e transfere a energia térmica a alta temperatura para um fluido de trabalho, enquanto isso o sistema de transporte-armazenamento leva o fluido do receptor para o sistema de conversão de potência onde é acionado um gerador elétrico que faz a transformação da energia térmica em energia elétrica (BRITO; CAVALCANTI, 1999). A Figura 19 mostra a produção de energia elétrica pelo processo heliotérmico.

Figura 19 – Esquema de produção de energia pelo processo heliotérmico.



Fonte: BERTIN, 2017.

4.4 Energia Solar Fotovoltaica

Melo (2014) aponta que a energia fotovoltaica é uma matriz energética alternativa que ganhou considerável visibilidade nacional e internacional nos anos de 2011 e 2012.

Ela consiste na conversão direta da radiação solar em eletricidade, através do chamado efeito fotovoltaico. Para esta conversão são necessárias células solares, dispositivos fabricados com material semicondutor conforme esclarecem Galdino e Pinho (2014).

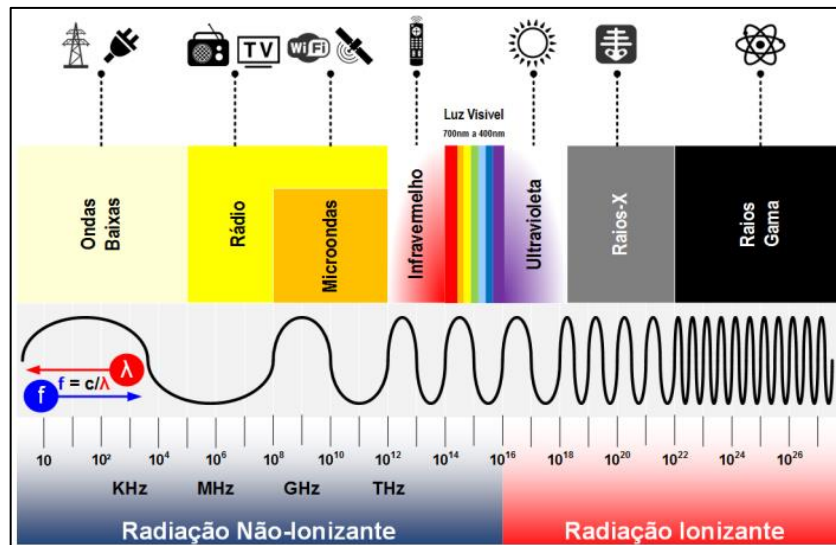
Um dos meios de produção desse tipo de energia se dá por meio da chamada geração distribuída, cuja característica é a instalação de pequenos geradores próximos aos consumidores, promovendo vários benefícios ao sistema elétrico público os quais se destacam a postergação de investimentos para expansão dos sistemas de distribuição e a transmissão, a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga intensa e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2016).

4.4.1 Radiação Solar

A radiação solar é caracterizada pela junção da onda elétrica e magnética (onda eletromagnética), que apresenta grande variação de comprimento e frequência, fator determinado pelo componente magnético, enquanto isso, a integrante elétrica é responsável por transportar a “energia da luz” pelo espaço através dos fótons (SANTANA, 2008; MELO, 2014).

O espectro eletromagnético pode ser classificado conforme a frequência da onda em ordem crescente, nas seguintes faixas: ondas baixas, rádio, micro-ondas, radiação *terahertz*, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios X e gama (SANTANA, 2008), como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Espectro eletromagnético.



Fonte: BRITO, 2012.

4.4.2 Efeito Fotovoltaico

O fenômeno físico chamado efeito fotovoltaico foi observado inicialmente pelo físico francês Edmond Becquerel no ano de 1839. Ele acontece em alguns materiais semicondutores capazes de absorver a energia compreendida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade, disserta Zilles (2012).

Os semicondutores são caracterizados por possuírem uma banda de valência que é preenchida por elétrons e uma de condução totalmente vazia, entre elas existe a banda proibida ou *gap* (BARBOSA, 2014). Na temperatura ambiente, uma pequena quantidade de elétrons consegue atravessar o *gap* e passar para a banda de condução, mas para a geração de energia elétrica é preciso realizar um processo conhecido como dopagem, explica o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB (2008).

Zilles (2012) explica que os semicondutores utilizados nos dispositivos de conversão fotovoltaica são escolhidos considerando suas características de absorção do espectro solar, custo de fabricação e os impactos ambientais causados na deposição do material.

O átomo de silício contém quatro elétrons em sua última camada eletrônica, eles são todos compartilhados por ligações covalentes, justamente por isso não possuem liberdade de se movimentar pelo cristal, então são adicionados

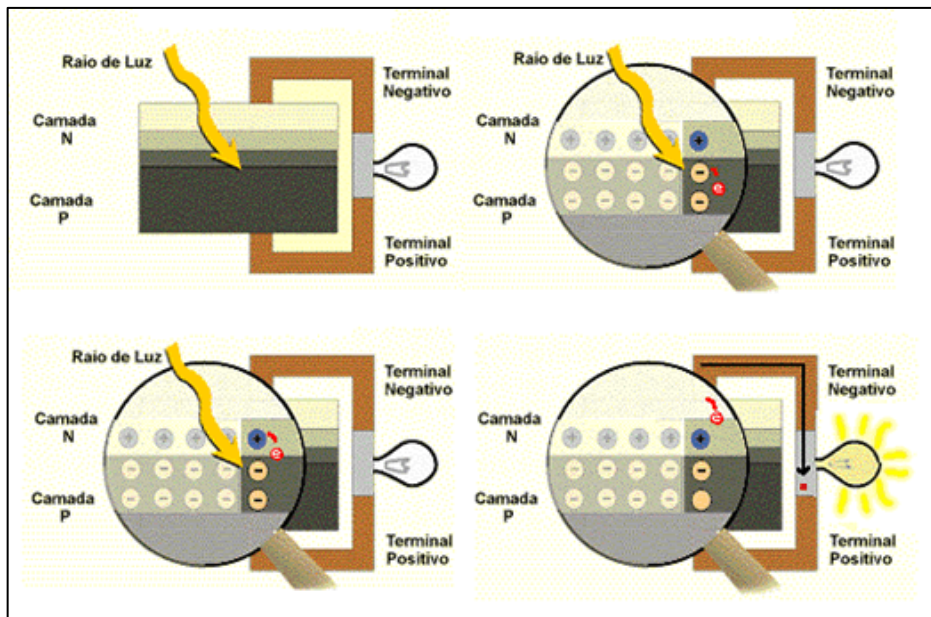
átomos de fósforo que dispõem de cinco elétrons em sua última camada. Desse modo, quatro de seus elétrons serão compartilhados e haverá o excesso de um elétron que não faz parte de uma ligação covalente, mas que ficará fracamente ligado a seu núcleo de origem, isso possibilita que, com pouca energia, este elétron quebre a ligação e vá para a banda de condução, assim o silício fica com uma face dopada e passa a possuir uma camada do tipo n (MEIRELLES, 2002).

Para a dopagem do outro lado é feita a adição de boro, átomo com três elétrons em sua última camada de ligação. Nesse contexto, existe a falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício, formando buracos na estrutura, isso permite que os elétrons livres que estão próximos se desloquem e preencham essas lacunas, assim a segunda face do silício fica dopada com uma camada tipo p (BUENO, 2016).

Quando são introduzidos átomos de boro em uma metade e átomos de fósforo na outra em um silício puro, forma-se a chamada junção pn, conseqüentemente os átomos livres no lado n passam para o lado p e preenchem as lacunas. Assim, o lado n se torna carregado positivamente, enquanto o lado p com carga negativa. Em virtude disso, origina-se um campo elétrico permanente que atrapalha a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p, esse processo atinge o equilíbrio no momento em que o campo elétrico forma uma barreira capaz de impedir a passagem de elétrons livres oriundos do lado n (CRESESB, 2008).

Se a junção pn for exposta a fótons com energia maior que o *gap*, em uma região onde o campo elétrico é diferente de zero, acontecerá a geração de pares elétron-lacuna e as cargas serão aceleradas, produzindo uma corrente elétrica na junção; com as cargas em deslocamento criando uma diferença de potencial à qual é chamada de efeito fotovoltaico (Figura 21), esclarece CRESESB (2008).

Figura 21 – Efeito fotovoltaico na junção pn.



Fonte: CRESESB, 2008.

4.5 Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é definido como dispositivo semicondutor capaz de converter a radiação em eletricidade através da transferência de elétrons, sendo a célula solar o elemento que constitui a unidade básica, apontam Zilles (2012); Satpathy e Pamuru (2021).

Siqueira (2013) menciona a existência dos sistemas isolados (*Off-grid*), identificados por não terem conexão com a concessionária de distribuição de energia e os sistemas conectados à rede (*Grid-tie*), incorporados à malha elétrica que abastece a população. Câmara (2011) acrescenta aos sistemas híbridos a característica de possuir, em sua configuração, um bloco de controle de potência e também uma unidade de armazenamento.

4.5.1 Sistemas Off-Grid (Isolado da Rede)

O sistema *off-grid* é caracterizado, principalmente, por não se conectar à rede de distribuição da concessionária de energia da região. Assim, o sistema armazena carga em baterias e permite seu uso em períodos sem sol como aponta Siqueira (2013).

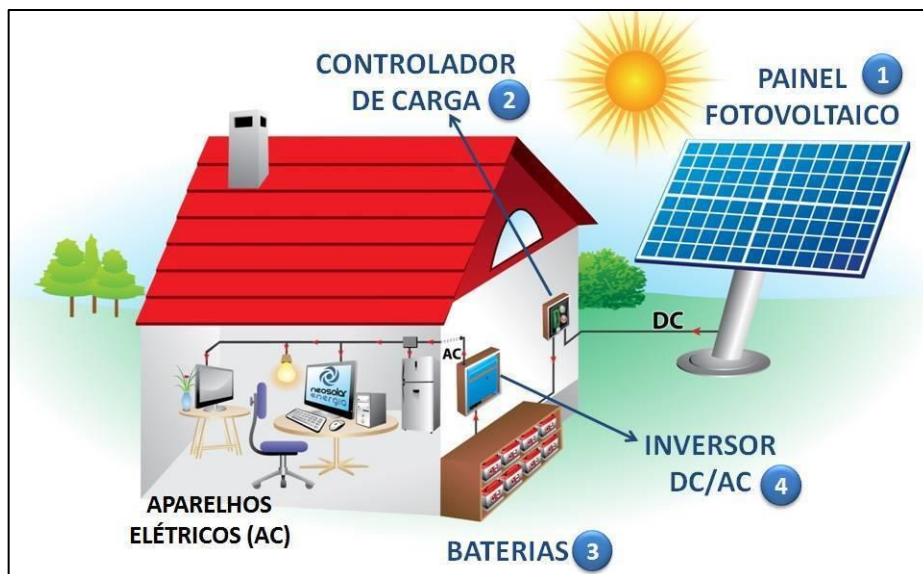
Santana (2008) descreve que os sistemas autônomos são utilizados, principalmente, em locais não atendidos por uma rede de energia elétrica, como é o caso de zonas rurais, ilhas e praias. Outras aplicações importantes se dão na iluminação pública e na sinalização de estradas.

Faria (2017) relata que os sistemas *off-grid* são constituídos pelos seguintes componentes:

- Painéis fotovoltaicos: elemento responsável por transformar a radiação solar em corrente elétrica contínua;
- Controladores de carga: estes regulam o abastecimento das baterias, de modo a evitar sobrecargas e descargas excessivas delas;
- Baterias: armazenam a energia elétrica para ser consumida em momentos posteriores em que o sol não esteja presente;
- Inversores: tem como função transformar a corrente contínua² (CC) em corrente alternada³ (CA).

A Figura 22 ilustra esses elementos.

Figura 22 – Sistema isolado (*Off-Grid*).



Fonte: NEOSOLAR, 2013.

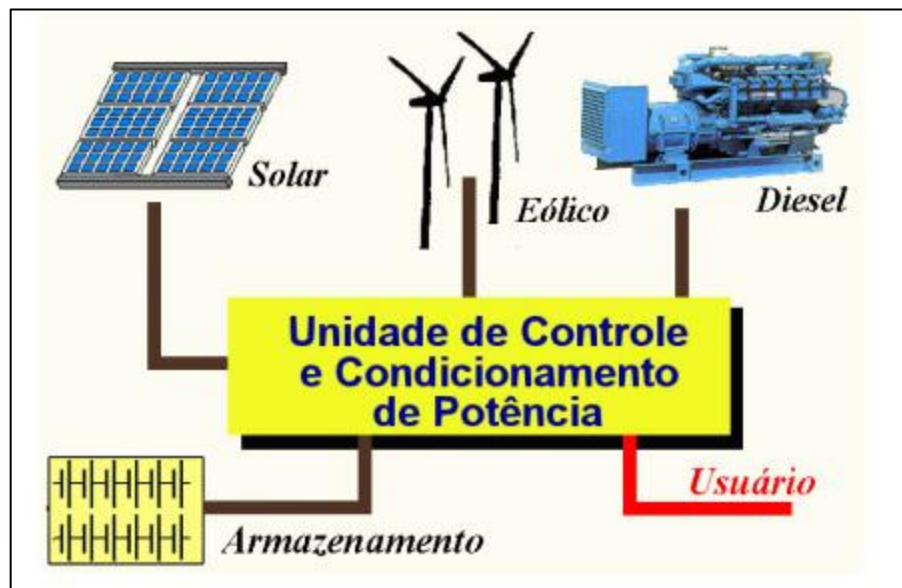
² Corrente cuja polaridade e intensidade são constantes (GALDINO E PINHO, 2014, p. 40).

³ Corrente cuja polaridade e intensidade variam periodicamente com o tempo (GALDINO E PINHO, 2014, p. 40).

4.5.2 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos consistem na associação do sistema fotovoltaico com outras fontes de energia, disserta Lana (2015). Conforme Galdino e Pinho (2014), eles podem trabalhar, por exemplo, em conjunto com aerogeradores (sistema híbrido solar-eólico) ou com geradores a diesel como mostra a Figura 23, entretanto, esses sistemas são complexos e precisam de algum tipo de controle para englobar os diferentes geradores associados de maneira a otimizar o desempenho para o usuário. De acordo com Ribeiro (2018), os sistemas híbridos podem ou não ter a presença de baterias, entretanto, quando possuem, eles têm autonomia menor ou igual a um dia.

Figura 23 – Sistema híbrido.



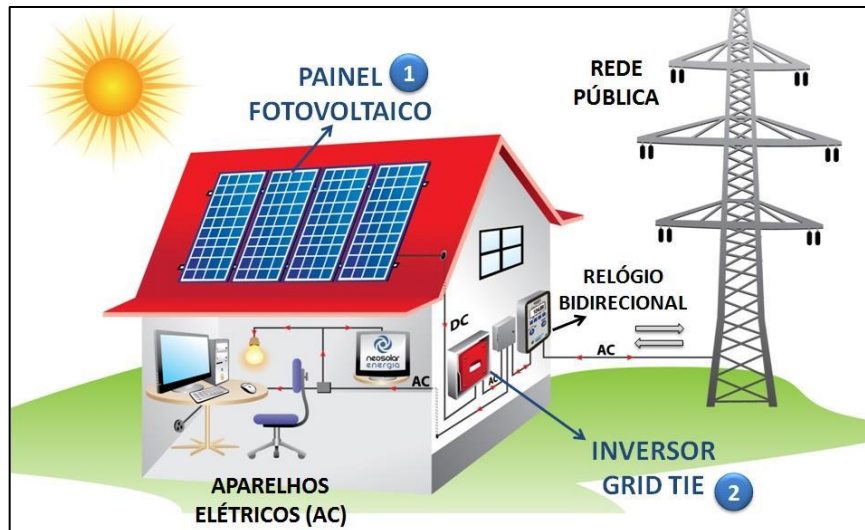
Fonte: CRESEB, 2008.

4.5.3 Sistemas Grid-Tie (Conectado à Rede)

Os sistemas conectados à rede são utilizados como fonte de produção de energia complementando o conjunto elétrico onde estão conectados, neles não existe armazenamento, visto que toda energia elétrica gerada não consumida é injetada na rede pública de distribuição de eletricidade (Figura 24), explica Câmara (2011). Todo arranjo é interligado a inversores e estes devem ser capazes de

detectar o ilhamento⁴ por meio da proteção anti-ilhamento, cuja função é garantir o desligamento do inversor em curto intervalo de tempo, a partir do instante de sua formação, aponta Silva (2016). Além disso, o sistema deve conter proteções contra sobretensões⁵ (CÂMARA, 2011).

Figura 24 – Sistema conectado à rede (*Grid-Tie*).



Fonte: NEOSOLAR, 2013.

4.6 Elementos do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Galdino e Pinho (2014) abordam em seu Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos que esses sistemas são compostos por um bloco gerador, um de condicionamento de potência e, arbitrariamente, um de armazenamento. O conjunto gerador contempla os painéis fotovoltaicos compostos pelos módulos dispostos em diferentes associações, o cabeamento elétrico e a estrutura de suporte, o grupo de condicionamento de potência apresenta conversores, inversores, controladores de carga (quando se tem estocagem) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle, já a parte de armazenamento é composta por baterias.

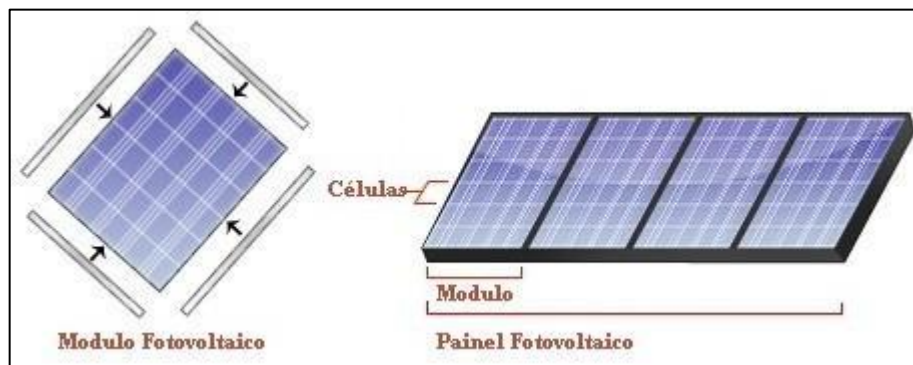
⁴ Condição na qual parte da área do sistema elétrico de potência permanece energizada através de fontes de geração distribuída, mesmo quando este se encontra eletricamente isolado do restante do sistema (SILVA, 2016, p. 13).

⁵ Consiste em uma tensão elétrica maior do que o circuito pode suportar (PAULILO e TEIXEIRA, 2013).

4.6.1 Painéis Fotovoltaicos

De acordo com Pupin (2019) os painéis fotovoltaicos (Figura 25) são provenientes do agrupamento de módulos que, por sua vez, são compostos por arranjos de células unidos a outros elementos como inversores de corrente, cabeamento elétrico, controladores de carga. Estes painéis são montados para a geração de energia elétrica nos locais desejados.

Figura 25 – Painéis fotovoltaicos.



Fonte: SIQUEIRA, 2013.

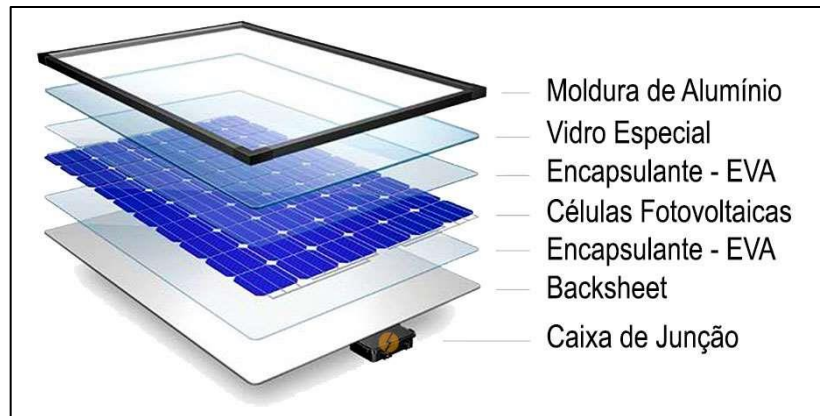
Miranda, Leandro e Silva (2019) afirmam que a expectativa de vida dos painéis solares fotovoltaicos se dá entre 20 e 30 anos, dependendo das condições e regime de operação. No entanto, alguns sistemas acabam sendo descartados mais cedo do que essa expectativa devido a danos provenientes do transporte, da fase de instalação e falhas que podem ocorrer no início da operação do sistema.

4.6.2 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é um elemento constituído por um conjunto de células fotovoltaicas conectadas eletricamente e encapsuladas, objetivando gerar energia elétrica (NBR 10899, 2013). Ele é composto, além das células, por uma moldura externa em alumínio que sustenta todo o equipamento; por um vidro temperado e antirreflexivo para cobertura frontal; por um selante adesivo que liga a moldura com as camadas internas do módulo, impedindo a entrada de gases e umidade, além de proteger o interior de vibrações e choques mecânicos; por um material encapsulante disposto diretamente sobre as células, normalmente, o etil

vinil acetato (EVA), um filme que otimiza a condução de eletricidade e tem função protetora; por uma cobertura posterior conhecida como *backsheet* que atua como isolante; e, por fim, por uma caixa de junção localizada na parte posterior do módulo (Figura 26), abordam Tolmasquim (2016) e Zilles (2012).

Figura 26 – Camadas de um módulo fotovoltaico.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2021.

4.6.3 Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é um “dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica” (NBR 10899, 2013, p. 3). Segundo Zilles (2012), trata-se de equipamentos constituídos de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais utilizado para esse fim, elaborados de maneira a aproveitar o efeito fotovoltaico para a geração de eletricidade.

Importante ressaltar que essas células possuem uma camada de material do tipo n e outra do tipo p, nas quais, inicialmente, as duas estão eletricamente neutras. Entretanto, quando se cria a junção pn, um campo elétrico é gerado, permitindo a movimentação dos elétrons livres do lado n para ocupar os vazios do lado p, como explicado anteriormente.

As células fotovoltaicas podem ser divididas em três grupos, de acordo com seu material empregado e as características, sendo eles as células de 1ª, 2ª e 3ª geração, apontam Coelho e Serra (2018).

4.6.3.1 Célula Fotovoltaica de 1ª Geração – Silício Cristalino (c-Si)

A célula fotovoltaica de primeira geração é composta de silício cristalino (c-Si) que pode ser dividido em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). Estas células representam mais de 85% do consumo de mercado, visto que são consideradas uma tecnologia confiável e já consolidada, além de possuir a melhor eficiência comercialmente disponível, discorrem Galdino e Pinho (2014).

4.6.3.1.1 Célula Fotovoltaica de Silício Monocristalino (m-Si)

As células de silício monocristalino são as mais usadas no mercado fotovoltaico (JANUZZI, VARELLA E GOMES, 2009). Sua produção consiste, primeiramente, na extração do cristal de dióxido de silício, em seguida o material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo faz o material atingir um grau de pureza de 98 a 99%, mas para ser usado na célula fotovoltaica, o silício precisa chegar a uma pureza de 99,9999%, nível que é alcançado utilizando um procedimento chamado “Processo *Czochralski*”. Nele, o silício é fundido junto com uma pequena quantidade de dopante do tipo p, comumente o boro (CRESESB, 2008).

A partir do material fundido, extrai-se um grande lingote de silício monocristalino levemente dopado que, em seguida, é cortado em fatias finas de aproximadamente 0,3 mm (TOLMASQUIM, 2003). Após o corte e limpeza desses elementos, são introduzidas impurezas do tipo n para se obter a junção pn, obtida através de uma difusão controlada onde as fatias de silício são expostas ao vapor de fósforo em um forno a uma temperatura variada entre 800 °C a 1500 °C (BARBOSA, 2014).

De acordo com Tolmasquim (2016), as células fotovoltaicas de silício monocristalino apresentam as maiores eficiências do mercado, com valores em torno de 17% a 21,5%, enquanto que, em laboratórios, essa eficiência pode chegar a 22,9%.

A Figura 27 apresenta as etapas de produção de uma célula fotovoltaica monocristalina, onde estão representados, da esquerda para direita, o minério de

silício purificado, forno de *Czochralski*, lingote de silício, fatias (*wafers*) e célula fotovoltaica monocristalina.

Figura 27 – Etapas de produção de uma célula fotovoltaica monocristalina.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2021.

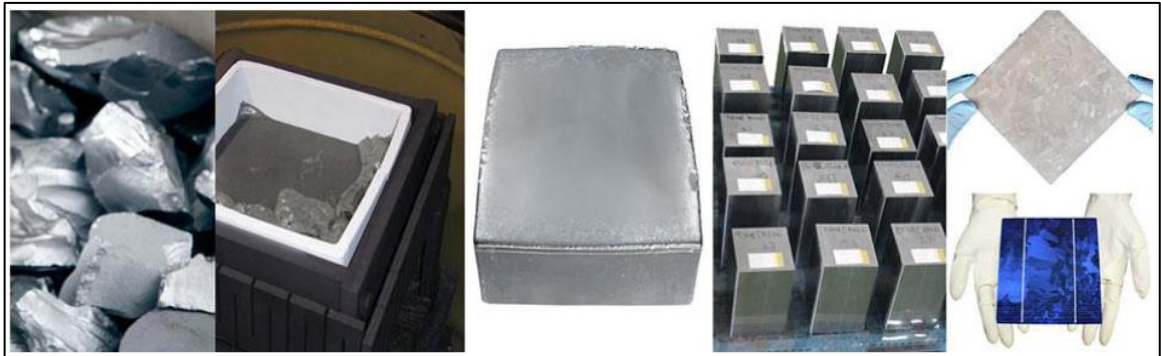
4.6.3.1.2 Célula Fotovoltaica de Silício Policristalino (p-Si)

A fabricação das células policristalinas segue técnicas similares às das células monocristalinas (CRESESB, 2008). Entretanto, no silício policristalino (p-Si) são formados os lingotes com um aglomerado de pequenos cristais, com orientações e tamanhos diferentes, por isso, essas células são menos eficientes que as monocristalinas, em seguida estes são cortados em fatias finas (*wafers*) gerando as células, que normalmente apresentam coloração azul, devido ao tratamento antirreflexo empregado (GAZOLI e VILLALVA, 2012).

Tolmasquim (2016) destaca que as células de silício policristalino (p-Si) comerciais apresentam uma eficiência de 14% a 17% e, quando utilizadas em laboratório, a eficiência pode chegar a 18%.

A Figura 28 exibe as etapas de produção de uma célula fotovoltaica policristalina. Da esquerda para direita estão o minério de silício purificado, a fundição em bloco do silício, os “tijolos de silício” cortados, as fatias (*wafers*) e a célula fotovoltaica policristalina.

Figura 28 – Etapas de produção de uma célula fotovoltaica policristalina.



Fonte: PORTAL SOLAR, 2021.

4.6.3.2 Célula Fotovoltaica de 2ª Geração – Filme Fino

De acordo com Konzen (2020), os sistemas de filme fino, que fazem parte da segunda geração, são considerados o tipo mais leve, mais moderno, de custo mais baixo, entretanto o menos eficiente.

Segundo Coelho e Serra (2018), as células fotovoltaicas de segunda geração são subdivididas em células de silício amorfo (a-Si), células de disseleneto de cobre (Gálio) e índio (CIS e CIGS) e células de telureto de cádmio (CdTe).

4.6.3.2.1 Célula Fotovoltaica de Silício Amorfo (a-Si)

As células de silício amorfo possuem alto grau de desordem na estrutura dos átomos e sua utilização para uso em células fotovoltaicas têm mostrado amplas vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação, pois absorvem a radiação solar na faixa do visível, apresentam um baixo custo para sua produção e células podem ser fabricadas com grandes áreas (PRADO, 2008). A seguir, na Figura 29, são exibidas as células de silício amorfo em substrato de vidro, metal e plástico.

Figura 29 – Células de silício amorfo em substrato de vidro, metal e plástico, respectivamente.



Fonte: Adaptado de RUTHER (2004) e DELTA ENERGIE (2013).

O processo de fabricação da célula de silício amorfo (a-Si) ocorre em temperaturas relativamente baixas, valores de até 300 °C, em processos a plasma, isso possibilita que estes filmes finos sejam depositados sobre substratos de baixo custo, como vidro, aço inox e alguns plásticos, como consequência, foram desenvolvidos módulos solares que são flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas, explica Ruther (2004).

Esse tipo de célula oferece uma eficiência de 4% a 8% nos sistemas empregados pelo consumidor e em laboratório pode chegar até 10,9%, relata Tolmasquim (2016).

4.6.3.2.2 Célula Fotovoltaica de Disseleneto de Cobre (Gálio) e Índio (CIS e CIGS)

De acordo com Ruther (2004), as células fotovoltaicas de disseleneto de cobre e índio (Figura 30) são competidoras promissoras no mercado fotovoltaico, pois apresentam um potencial de atingir eficiências relativamente elevadas.

Figura 30 – Célula fotovoltaica de disseleneto de cobre (Gálio) e índio (CIS e CIGS).



Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

Peroza (2015) argumenta que para a fabricação dessas células são necessários elementos escassos na natureza e que eles apresentam toxicidade em suas fórmulas químicas, que são prejudiciais à saúde humana. Ruther (2004) afirma que os módulos de CIGS, dentre os filmes finos comercialmente disponíveis, são os que apresentam o melhor rendimento fotovoltaico, por isso diversas empresas estão investindo nesta tecnologia.

Segundo Tolmasquim (2016), as células CIS e CIGS, utilizadas nos módulos comerciais, operam com uma eficiência de 12% a 14,7% já, em laboratório, elas podem oferecer uma eficiência de 17,5%.

4.6.3.2.3 Célula Fotovoltaica de Telureto de Cádmio (CdTe)

Conforme Ghensev (2006), as células fotovoltaicas de telureto de cádmio (CdTe) são produzidas sob placas de vidro com um tom marrom ou azul escuro, pois essas cores apresentam melhor eficiência de conversão (Figura 31). As empresas produtoras dessa tecnologia vêm investindo em aplicações arquitetônicas para estes produtos conquistarem o mercado, ampliarem o volume de produção e reduzirem os custos desses sistemas (RUTHER, 2004).

Figura 31 – Células fotovoltaicas de telureto de cádmio.



Fonte: RUTHER, 2004.

Ruther (2004) reforça que a abundância relativamente baixa dos elementos usados para a fabricação dessas células e sua maior toxicidade são fatores que devem ser levados em consideração, especialmente se esta tecnologia atingir quantidades mais significativas de produção.

Hestin e Monier (2011) afirmam que o cádmio é um metal pesado de alta toxicidade e cancerígeno, causa graves doenças por envenenamento e se acumula nos organismos vivos causando sérias alterações fisiopatológicas.

As células comerciais de telureto de cádmio possuem eficiência de 10% a 16,3%, e em laboratório, podem apresentar uma eficiência de 18,2%, afirma Tolmasquim (2016).

4.6.3.3 Células Fotovoltaicas de 3ª Geração

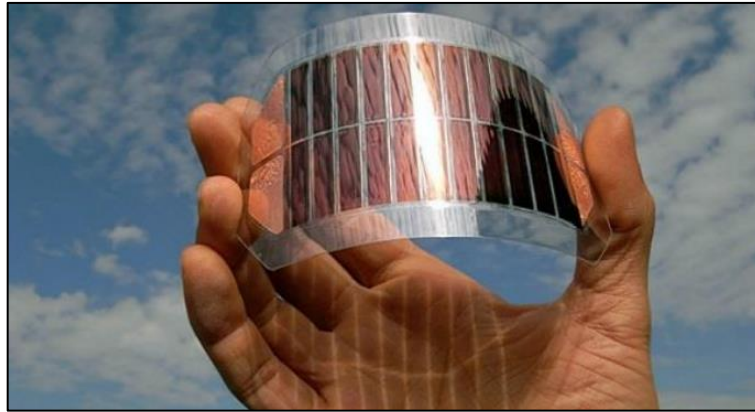
Ely e Swart (2014) salientam que essas células permitem um uso mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap⁶ eletrônico, elas devem ser altamente eficientes, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade, entre essas células se destacam as orgânicas (OPV), as sensibilizadas por corantes (DSSC) e as híbridas.

4.6.3.3.1 Célula Fotovoltaica Orgânica (OPV)

As células fotovoltaicas orgânicas (OPV) – Figura 32 – possuem uma espessura fina e uma excelente elasticidade, essas características proporcionam à célula a capacidade de se aderir a praticamente qualquer tipo de superfície, elas utilizam compostos derivados de petróleo impressos em camadas de vidro ou Politereftalato de Etileno (PET) e o processo de produção requer baixo consumo de energia, mas essa tecnologia apresenta uma grande desvantagem, pois sofre uma drástica redução do rendimento energético em presença constante da radiação solar devido a degradação dos compostos polímeros e orgânicos, por essa razão, ainda não são fabricadas em larga escala, disserta Santana (2008).

⁶ “Intervalo de energia entre a banda de valência e a banda de condução” (CONNOR, 2020, p.1).

Figura 32 – Células fotovoltaicas orgânicas (OPV).



Fonte: SANTANA, 2008.

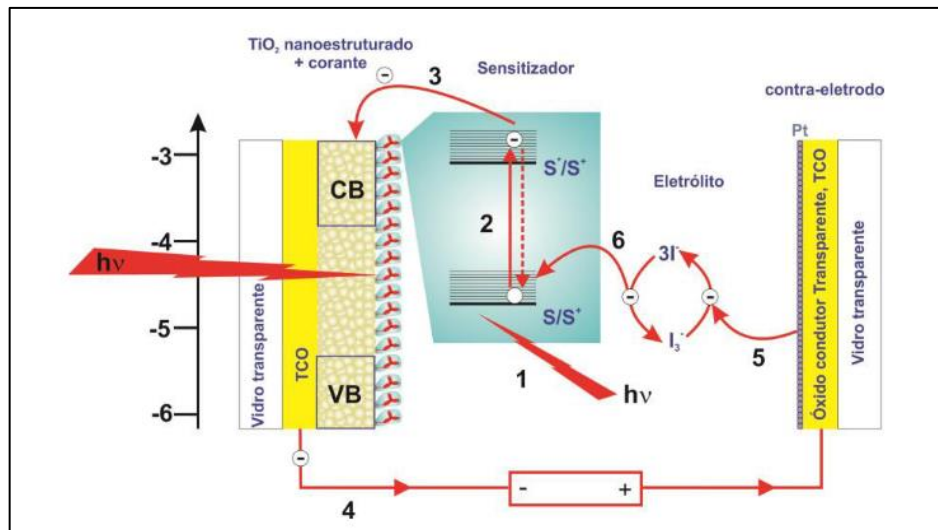
4.6.3.3.2 Célula Fotovoltaica Sensibilizada por Corante (DSSC)

As células fotovoltaicas sensibilizada por corante (DSSC) se fundamentam no uso de uma tinta que é capaz de transferir um elétron no estado excitado para um óxido semicondutor, esse processo leva à geração de corrente, apresentam Machado e Miranda (2015).

O esquema de funcionamento dessas células é ilustrado na Figura 33 e descrito por Machado e Miranda (2015, p. 137):

Quando um fóton atinge o corante (passo 1), este passa do estado fundamental para o excitado (passo 2) e transfere um elétron para o semicondutor (passo 3), que por sua vez transfere esse elétron para o óxido condutor transparente (TCO), gerando a corrente (passo 4), já que o TCO está conectado ao contra eletrodo por um contato metálico. Para fechar o circuito, o contra eletrodo transfere um elétron para o eletrólito (passo 5). Através de uma reação redox, o eletrólito transfere o elétron novamente para o corante (passo 6), regenerando-o e mantendo a estabilidade da célula.

Figura 33 – Célula DSSC.



Fonte: MACHADO E MIRANDA, (2015).

4.6.3.3 Célula Fotovoltaica Híbrida

De acordo com o projeto GREENPRO⁷ (2004), a célula híbrida ou célula de heterojunção com uma camada fina intrínseca - HCI resulta da combinação da célula cristalina, com uma célula de película fina, onde o silício cristalino e amorfo são associados a uma película fina adicional não contaminada (camada fina intrínseca), e possui eficiência em torno de 17,3%. Para sua fabricação:

Uma pastilha monocristalina forma o núcleo da célula HCI e é revestida em ambos os lados por uma camada fina de silício amorfo (a-Si). Como camada intermédia, uma camada ultrafina i (intrínseca) de silício, sem impurezas, liga a pastilha cristalina com cada uma das camadas de silício amorfo. Uma camada a-Si dopada com impurezas do tipo p, é depositada no lado frontal, que forma a junção p-n com a pastilha monocristalina com impurezas do tipo n.

Nas células solares convencionais de silício, o mesmo material semiconductor é contaminado de forma diferente no intuito de criar uma junção p-n, nas células solares HCI isto ocorre entre os dois semicondutores estruturalmente diferentes. Esta junção é conhecida por heterojunção. A camada amorfa p/i e a pastilha de impurezas do tipo n, cria uma estrutura p-i-n semelhante às células amorfas de película fina. A parte posterior da pastilha é revestida com silício amorfo intensivamente contaminada, para prevenir a recombinação dos portadores de carga livre no eléctrodo posterior. Nas superfícies da célula, o revestimento antirreflexivo e a textura da pastilha contribuem para diminuir as perdas por reflexão, (GREENPRO, 2004, p. 57-58).

⁷ É um projeto que decorreu de fevereiro de 2002 a janeiro de 2004, e envolveu um conjunto de parceiros que representaram cinco países da União Europeia, sendo eles a Holanda, a Alemanha, a Itália, o Reino Unido e Portugal, seu objetivo é fornecer um documento de referência a todos aqueles que se interessam pela temática das energias renováveis (GREENPRO, 2004).

4.6.4 Inversor

Galdino e Pinho (2014) explicam que o inversor é um aparelho eletrônico que recebe energia elétrica em corrente contínua oriunda dos módulos fotovoltaicos e transforma em corrente alternada. Tolmasquim (2016) aponta que esses equipamentos podem ser classificados em três tipos, sendo eles os inversores centrais, *string* e microinversores. Os inversores centrais são equipamentos de grande porte, e tem potência da ordem de centenas de *quilowatts* (kW) até *megawatts* (MW), usados principalmente em usinas fotovoltaicas. Nele, são integrados vários painéis. Os inversores *string* ou grid-tie (monofásicos ou trifásicos) são utilizados nos sistemas residenciais e comerciais que atuam num grupo de módulos de pequeno porte. Os micro inversores são inversores individuais, acoplados em cada módulo fotovoltaico de uma instalação.

4.6.5 Quadro Elétrico

Segundo Reis (2017), o quadro elétrico ou quadro de distribuição é o elemento responsável por abrigar os dispositivos de proteção e as conexões dos condutores ligados a ele, possuem a finalidade de distribuir a energia aos diversos circuitos da edificação e, a partir dele, derivam os circuitos alimentadores dos pontos de iluminação, tomadas de uso geral (TUG) e tomadas de uso especial (TUE).

A ABNT NBR 5410:2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão e a NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade especificam como deve ser a montagem dos quadros de distribuição.

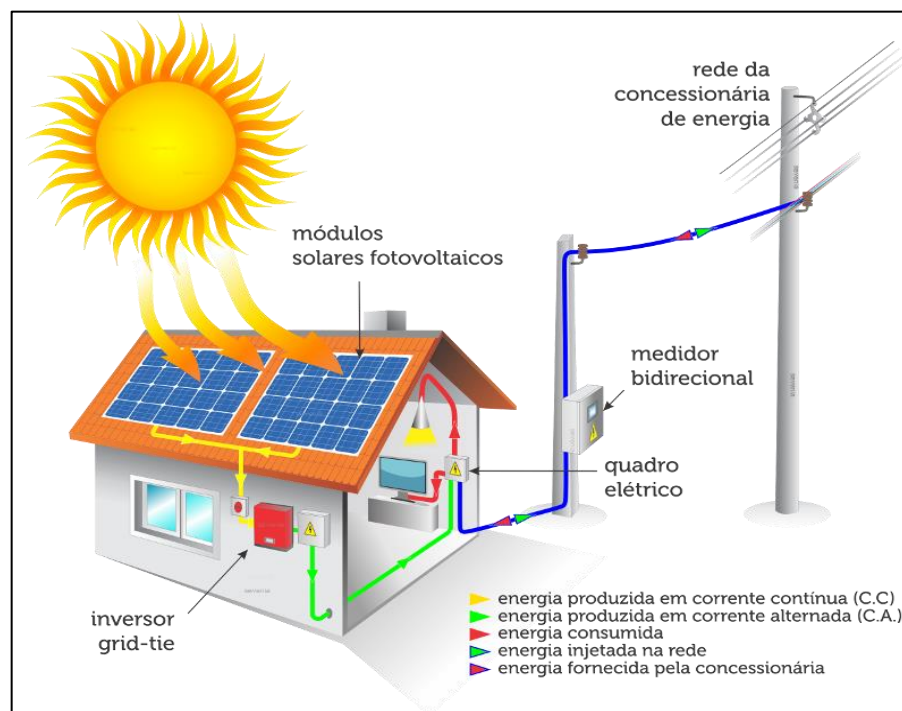
4.6.6 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional é um “dispositivo que registra a entrada e saída de energia elétrica em uma unidade consumidora” (GALDINO e PINHO, 2014, p. 42). Esse equipamento tem como função garantir a compensação de créditos de energia excedentes que são injetados na rede pública de distribuição, abatendo o valor na conta de luz, conforme Freitas (2019).

Os custos de instalação de um medidor bidirecional são de responsabilidade do próprio usuário e a manutenção é de responsabilidade da concessionária, além disso, ele deve obedecer às especificações do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (2021) e às normas da concessionária (CALDAS e MOISÉS, 2016).

A Figura 34 mostra o esquema de funcionamento de um sistema de compensação de energia elétrica.

Figura 34 - Sistema de compensação de energia elétrica.



Fonte: ANEEL, 2002.

4.6.7 Cabeamento Solar e Conectores

O cabeamento solar tem como finalidade conduzir a corrente elétrica entre os módulos e os inversores, estes devem ser dimensionados de forma a garantir que não ocorram danos à instalação, aponta Freitas (2019). “Os cabos elétricos para aplicações fotovoltaicas devem ser resistentes às intempéries e a radiação solar excessiva e ter longa vida útil” (TEIXEIRA, 2017, p. 36).

A ABNT NBR 16612:2017 que aborda sobre os cabos de potência para sistemas fotovoltaicos é quem fornece diretrizes para o dimensionamento dos condutores solares.

Os conectores empregados para a realização da interligação dos cabos devem possuir um grau de proteção IP 67⁸ ou superior, para garantir uma boa conexão e possuir travas para evitar uma desconexão acidental, além disso, não devem ser dispostos em canaletas ou dutos que possam acumular água, apresentam Galdino e Pinho (2014).

4.6.8 String Box

A *string box* consiste em uma caixa onde são alojados os dispositivos de proteção e de seccionamento do sistema, ela é conectada ao inversor (GOMES, 2018). Quando este dispositivo é conectado do lado da corrente contínua, protege a instalação e os módulos fotovoltaicos contra sobrecargas e, quando integrado ao lado da corrente alternada, realiza a proteção da instalação contra descargas atmosféricas (RAMOS *et al.*, 2018).

4.6.9 Dispositivo de Proteção de Corrente Contínua

O dispositivo de proteção de CC possui uma chave seccionadora CC, fusíveis para conexão das *strings box* e um dispositivo de proteção de surto. Esse quadro de proteção de corrente contínua pode, também, ter o cargo da caixa de *string box*. O dispositivo de proteção de CC deve conter o barramento de aterramento, o qual é necessário para realizar as ligações das estruturas metálicas e quadro metálico dos módulos fotovoltaicos à terra, apontam Galozi e Villalva (2012).

4.6.10 Dispositivo de Proteção de Corrente Alternada

O dispositivo de proteção de corrente alternada conecta os inversores ao quadro de distribuição, este é composto por disjuntores e dispositivos de proteção contra surtos. Se algum elemento do sistema falhar, a proteção CA é acionada e impede que o acometimento alcance o circuito da residência e vice-versa, descrevem Gazoli e Villalva (2012). Os autores afirmam ainda que os dispositivos de proteção de surto (DPS) são de extrema importância nos sistemas fotovoltaicos, pois

⁸ Grau de proteção apresentado na norma NBR IEC 60529:2017 - Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (códigos IP) (ABNT NBR IEC 60529, 2017).

possuem baixo custo de instalação em relação aos prejuízos que podem ser gerados nos equipamentos do sistema decorrentes de sobretensões originadas de descargas atmosféricas.

4.6.11 Caixas de Junção

A caixa de junção ou caixa de conexão é utilizada para facilitar a conexão dos módulos fotovoltaicos com os outros componentes do sistema, proporcionando segurança contra intempéries, curtos-circuitos e choques elétricos, disserta Zilles (2012).

4.6.12 Diodo de Bloqueio

O diodo de bloqueio é um elemento de proteção que impede que os módulos solares que estejam em condições normais de funcionamento injetem correntes elevadas nos módulos onde sua performance se encontra anormal. Em sistemas que usam armazenamento, os diodos de bloqueio são usados para impedir descargas das baterias em períodos em que não há produção de energia, pois os módulos podem conduzir uma corrente reversa, mesmo que pequena, colaborando para a descarga das baterias, explicam Galdino e Pinho (2014).

4.6.13 Aterramento

O sistema de aterramento é projetado para proteger o sistema solar fotovoltaico contra danos causados por correntes indesejadas de descargas atmosféricas e aos usuários contra choques elétricos nos condutores ou na estrutura metálica do sistema, causados por curto-circuito ou sobretensões, explana Dávi (2013).

Galdino e Pinho (2014) afirmam que o aterramento proporciona um caminho preferencial às correntes elétricas e, assim, evita risco de choques às pessoas e danos aos equipamentos eletrônicos.

A ABNT NBR 5410:2004, que trata sobre as instalações elétricas de baixa tensão, aponta que todo material condutor de corrente de uma instalação elétrica

que não faz parte do circuito, mas que possa ficar eletricamente carregado, ocasionalmente ou acidentalmente, deve ser aterrado.

4.6.14 Estruturas de Fixação

Segundo Santos (2019), as estruturas de fixação são peças encarregadas de garantir a imobilidade mecânica e a inclinação dos componentes de um sistema solar fotovoltaicos. Machado (2021) explica que existem variados tipos de suportes fixadores para diferentes tipos de telhados e solos, o material mais usado para a confecção desses suportes é o alumínio, pois possui alta resistência à corrosão. Elas devem garantir que o fluxo de água em caso de chuva não seja prejudicado, além de isolar os painéis do local de instalação.

4.7 Manutenção

Galdino e Pinho (2014) dissertam que os sistemas fotovoltaicos devem passar por inspeções e manutenções regulares a fim de se identificar e corrigir pequenos problemas. Para Costa, Hirashima e Ferreira (2021), uma boa manutenção e inspeção de sistemas solares permite segurança aos usuários e confiabilidade para utilização da rede da concessionária, além de um aumento da vida útil da usina.

Para manter o sistema operando em boas condições, deve-se verificar periodicamente todos os cabos de conexão dos arranjos, a solidez da estrutura de suporte dos módulos, os apertos dos parafusos de fixação, atentando para possíveis infiltrações ou entrada de insetos; em casos de anormalidade, o reparo deve ser imediatamente providenciado, também é necessário medir as tensões nas saídas dos painéis notando se há alguma alteração nos valores esperados, o que é indicativo de algum problema como conexão frouxa, módulo sujo, opaco ou quebrado, indicam Pinho *et al.* (2008).

Minori, Souza e Souza (2019) apontam que, para a manutenção preventiva, deve-se realizar:

- A limpeza periódica das superfícies dos módulos, com água, sabão e um pano de tecido macio. Recomenda-se que tal procedimento seja feito na

parte da manhã ou ao final da tarde, horários em que os painéis não estejam quentes para evitar choque térmico, e não danificar o vidro de cobertura;

- O controle de sombreamento, pois uma pequena quantidade de sombra sobre os painéis pode reduzir significativamente a produção de energia;
- A inspeção de inversor e controlador de carga que se dá pela retirada da sujeira existente nesses equipamentos com auxílio de um pano seco;
- A inspeção da vedação de pontos de infiltração;
- A inspeção do painel em busca de módulos quebrados, se houver, devem ser substituídos por um módulo apropriado;
- A verificação dos terminais e fios quanto a conexões ou componentes soltos, quebrados, corroídos ou queimados;
- A inspeção termográfica, análise feita com câmara termográfica infravermelha, onde os pontos quentes, eventualmente encontrados nos painéis fotovoltaicos, deverão ser sanados. Essa busca por pontos quentes deve englobar também condutores, conexões e proteções.

4.8 Impactos Ambientais

A Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (p. 1), estabelece que impacto ambiental se configura como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

De acordo com Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA (2017), os impactos ambientais podem se manifestar em três diferentes meios: o físico, o biótico e o antrópico.

O meio físico compreende “o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes

atmosféricas” (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, 1986). Isto é, ele é o espaço onde todos os outros meios são acomodados (NAIME, 2014).

O meio biótico abrange a fauna e a flora, “destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação ambiental” (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 2019).

O meio antrópico consiste na parte de licenciamento ambiental onde se diz respeito a economia, à arrecadação de impostos, à possibilidade de geração de empregos e o uso de programas governamentais que identificam as prováveis interferências na questão social e econômica do local (CONAMA, 1986; RODRIGUES, 2013).

Diante do seguimento preservacionista, faz-se necessário o uso de metodologias para identificação de impactos ambientais (CAMARGO, 2014), a fim de qualificar e avaliar as consequências provenientes dos processos de produção, instalação, operação e descarte de painéis fotovoltaicos.

5 METODOLOGIA

5.1 Classificação da Pesquisa

O trabalho se caracteriza por ser uma pesquisa exploratória, pois tem como propósito promover maior conhecimento a respeito do assunto tratado, a fim de apresentar informações antes desconhecidas pelo autor e proporcionar o aprimoramento de ideias (GIL, 2007).

A pesquisa exploratória tem o intuito de levantar informações a respeito de um determinado objeto, com a finalidade de apontar suas condições de manifestação e delimitar um domínio de estudo (SEVERINO, 2013).

Este estudo apresenta uma abordagem qualitativa. Segundo Silva e Menezes (2005, p. 20), a pesquisa qualitativa:

Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

Seu procedimento técnico se classifica como revisão bibliográfica; consiste no levantamento de obras já publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, teses e artigos científicos, que abordam sobre o assunto, ela serve para direcionar o pesquisador no estudo e análise de seu trabalho (GIL, 2007; SOUSA; OLIVEIRA e ALVES, 2021). A partir da revisão literária é possível compreender o que já foi e o que ainda precisa ser explorado (MATOS e VIERA, 2001, *apud*, FONSECA, 2002).

Marconi e Lakatos (2007) explicam que a revisão bibliográfica não compreende apenas em uma repetição do que já foi escrito sobre um determinado tema, ela proporciona uma análise do assunto sob um novo enfoque, possibilitando chegar a conclusões inovadoras. De acordo com Miguel *et al* (2010), o pesquisador deve buscar formas de abordagens que sejam apropriadas, úteis e eficazes para atender a problemática em questão.

A pesquisa bibliográfica é de suma importância, pois tem o intuito de obter novas descobertas com base em conhecimentos já elaborados e produzidos, além disso, ela é um instrumento impulsionador do aprendizado e do amadurecimento de ideias (BRITO; OLIVEIRA e SILVA, 2021).

Estudos sobre impactos ambientais contemplam mecanismos de proteção e defesa da natureza e são de importância internacional (CARVALHO, 2014). Diante disso, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de 1992, também denominada RIO 92, inseriu na declaração do Rio sobre meio ambiente e desenvolvimento, o princípio nº 17, que dispõe a respeito da:

Avaliação de impacto ambiental, como instrumento nacional, deve ser empreendida para atividades planejadas que possam vir a ter impacto negativo considerável sobre o meio ambiente e que dependam de uma decisão da autoridade nacional competente (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, p. 3, 1992).

O estudo a respeito de impactos ambientais provenientes de painéis fotovoltaicos se fundamenta como um instrumento que investiga maneiras de prevenir, reduzir e mitigar seus efeitos adversos sobre o meio ambiente (MILANI, 2017). Esse tipo de estudo é de extrema importância “para auxiliar na avaliação e elaboração das estratégias de expansão da oferta de energia no médio e no longo prazo” (EPE, p. 1, 2017).

5.2 Delimitação do Tema

A presente pesquisa pretende realizar um estudo a respeito dos impactos ambientais oriundos de painéis fotovoltaicos. Para isso, os dados para sua produção serão provenientes de pesquisas bibliográficas feitas em livros, artigos científicos, dissertações, manuais e fichas técnicas em português e inglês que relatam sobre o tema de impactos ambientais ocasionados pela produção, instalação, operação e descarte inadequado de painéis fotovoltaicos. Para a busca desses referenciais, foram utilizadas as plataformas *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), *Google Acadêmico* e *ScienceDirect*.

A partir disso, serão avaliados os impactos ambientais provenientes da produção, instalação, operação e descarte realizados de forma inadequada de painéis solares fotovoltaicos.

Os impactos obtidos serão tratados e classificados quanto à/ao:

- Tipo de impacto;
- Natureza do impacto;
- Área de abrangência;
- Duração ou temporalidade;
- Reversibilidade;
- Prazo de manifestação;
- Magnitude.

A classificação quanto ao tipo de impacto estabelece que sua ocorrência pode se dar de forma direta ou indireta, comumente, os impactos indiretos são resultantes de desdobramentos oriundos dos impactos diretos, essa categorização considera as implicações e os efeitos devido ao empreendimento (RODRIGUES, 2013).

A natureza do impacto é um atributo determinante para característica de adverso ou benéfico, ou seja, negativo ou positivo respectivamente (CONAMA, 1986). Ela revela a alteração ocasionada ao meio ambiente devido à ação oriunda de um empreendimento conforme assegura Sá (2010).

Segundo o IEMA (2017), a área de abrangência delimita o espaço de influência, isto é, local afetado direta ou indiretamente pelos impactos positivos ou negativos de um determinado empreendimento, e pode ser dividida em:

- Local: compreende que os efeitos se apresentam somente na área de influência direta;
- Regional: entende que os impactos se manifestam na área de influência indireta;
- Estratégico: essa categoria determina que as implicações se demonstram em regiões que extrapolam as áreas de influência, entretanto, não são capazes de ampliá-las.

A duração ou temporalidade serve para valorar um impacto ambiental em relação ao tempo em que ele se manifesta na área, variando entre temporário, onde o seu tempo de manifestação é conhecido ou permanente, onde seus efeitos continuam mesmo quando a ação que o originou for cessada, aponta Sá (2010).

A Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (2018) afirma que a reversibilidade julga a possibilidade de um impacto ser reversível, quando o dano

ambiental pode retroceder de forma a eliminar seus efeitos negativos. Pode ainda ser irreversível, quando o impacto não pode ser reparado, pois mesmo utilizando ações mitigadoras os efeitos negativos perduram.

O prazo para a manifestação de um impacto é um atributo acerca de quanto tempo os danos ambientais levarão para se manifestarem, podendo ser apresentados como imediatos, de médio e longo prazo (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO DISTRITO FEDERAL, 2018). O efeito imediato acontece imediatamente após ao início das ações que lhe originaram, já os de médio prazo requerem um tempo médio a partir do início das atividades que o desencadearam, enquanto os de longo prazo ocorrem após um grande período (IEMA, 2017).

A magnitude considera a força de como o dano se manifesta (RODRIGUES, 2013), sua valoração pode ser realizada de forma objetiva. Para se obter uma classificação quantitativa, sendo representada em uma escala numérica, ou então, de forma qualitativa onde os danos ambientais não são possíveis de serem mensurados, essa categorização possui elevado grau de subjetividade (FARIA, 2008). Pode ser classificada em fraca, média, forte ou variável (RODRIGUES, 2013), seguindo uma escala de 0 a 10, considerando os seguintes, apontam o IEMA (2017) e a Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal (2018):

- 1 a 3 = Magnitude fraca acontece quando a mudança no ambiente não é significativa;
- 4 a 7 = Magnitude média expressa que a alteração ambiental desenvolve de forma moderada;
- 8 a 10 = Magnitude forte ocorre quando deterioração do meio tem significância expressiva;

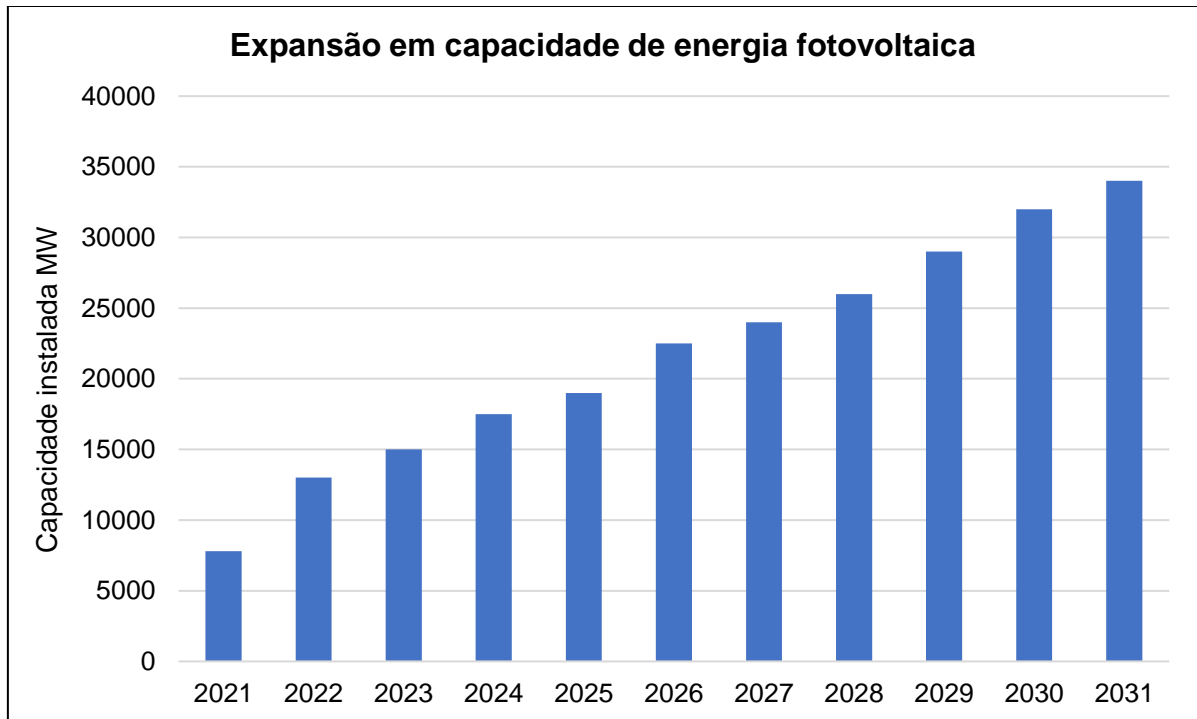
Os impactos de magnitude variável se alteram de acordo com as ações que os geraram, e geralmente são correlacionados a aspectos acidentais (IEMA, 2017).

5.3 Etapas da Pesquisa

Primeiramente foram elencados dados referentes às matrizes energéticas mundial e nacional com o intuito de ser ter uma visão da atual situação elétrica no país e no mundo. Por meio destes dados, percebeu-se o crescente uso de geração de energia elétrica através da radiação solar. A EPE e o Ministério de Minas e

Energia - MME (2022) projetam um crescimento de aproximadamente 20.000 MW para esse setor nos próximos anos – Figura 35 – esse fato gera uma preocupação referente à produção dos componentes desses sistemas e ao descarte de painéis fotovoltaicos.

Figura 35 – Gráfico de expansão em capacidade de energia fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de EPE e MME (2022).

Em seguida, foram levantadas características das fontes de energia não renováveis e renováveis e foram abordadas as principais matrizes energéticas de cada grupo, explicando o que são e como funciona o seu processo de obtenção.

Para a contextualização de energia fotovoltaica e das possibilidades de geração de energia elétrica através da radiação solar, foram explicados seus conceitos químicos envolvidos e apresentados os três possíveis tipos de sistemas a serem utilizados para essa produção.

No decorrer do trabalho, foram mostrados os componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede. A escolha pela abordagem desse tipo de sistema se deu pelo fato de ele ser o mais utilizado atualmente nas residências.

A partir disso, foi possível perceber a necessidade do emprego de muitos materiais na confecção de um painel fotovoltaico e estes precisam passar por diversas fases até seu uso, gerando impactos e degradação ambiental.

Como apresentado anteriormente, os painéis solares são constituídos do arranjo de módulos que, por sua vez, são oriundos da união das células fotovoltaicas. De acordo com Coelho e Serra (2018, p. 91) “os painéis possuem substâncias como prata, índio, gálio, germânio, chumbo, cádmio”. Alguns desses metais são prejudiciais à saúde humana e também causam degradação ao meio ambiente.

Visto isso, o presente trabalho aborda os impactos provenientes de painéis compostos por células de primeira e segunda geração, uma vez que estes são os mais vendidos mundialmente (GALDINO e PINHO, 2014; KONZEN, 2020).

Por se tratar de uma tecnologia recente ainda pouco comercializada e a escassez de trabalhos a seu respeito, os impactos gerados por módulos constituídos de células de terceira geração não serão elencados neste trabalho.

No desenvolvimento dos resultados, os impactos ambientais foram apresentados separadamente para cada geração, a fim de proporcionar uma análise mais detalhada e minuciosa sobre o objeto de estudo em questão, além de simplificar o entendimento do leitor.

Este trabalho busca proporcionar uma ampla visão dos potenciais impactos ambientais oriundos dos sistemas fotovoltaicos, além de servir como instrumento de transmissão do conhecimento. Na sequência, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos pela pesquisa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A produção de energia elétrica a partir de micro e mini usinas fotovoltaicas, assim como qualquer outra, não está livre de causar degradação ao meio ambiente. Portanto, neste tópico, serão abordados os principais impactos ambientais gerados por esses sistemas, bem como suas planilhas de identificação classificação, desde à produção ao descarte.

Este item foi elaborado de forma a proporcionar a melhor maneira de caracterização e análise dos potenciais impactos oriundos dos sistemas fotovoltaicos, sempre considerando sua relação de causa e efeito.

Nesta avaliação, identificou-se e apresentou-se individualmente cada fase do ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos, momento em que é prevista a realização de uma série de atividades, correlacionando-se aos diversos impactos associados à cada etapa. As fases para a análise realizada nesse estudo se apresentam conforme a seguir:

- Fase de produção;
- Fase de instalação;
- Fase de operação;
- Fase de descarte.

A primeira etapa representa a produção dos painéis fotovoltaicos, engloba o processo de extração de matéria-prima, beneficiamento e a elaboração do produto final.

Já, a instalação compreende a execução da estrutura de fixação, montagem e interligação elétrica dos módulos.

A fase subsequente consiste na operação que corresponde à etapa em que o sistema se encontra em funcionamento gerando energia elétrica.

Por fim, a fase de descarte que expressa a etapa na qual os painéis se tornam um resíduo, e é neste momento que é preciso dar a destinação adequada a estes elementos.

Os impactos identificados em cada tópico foram avaliados quanto ao seu tipo, categoria, área de abrangência, duração, reversibilidade, prazo de manifestação e magnitude.

6.1 Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Produção

A produção de componentes fotovoltaicos envolve diversas etapas e a utilização de vários produtos químicos tóxicos e prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (SUMMERS e RADDE, 2003).

A extração de matéria-prima é a primeira etapa para a fabricação de módulos fotovoltaicos e isso acarreta o crescimento temporário da densidade demográfica na região do empreendimento, aumento da arrecadação tributária, bem como o fluxo de veículos e de resíduos sólidos e líquidos originários das movimentações para a área de mineração (BARBOSA FILHO *et al*, 2015).

Os painéis fotovoltaicos de primeira geração têm como principal elemento de sua composição o silício cristalino, Yabuta (2016) indica que, para chegar ao nível de uso em um painel fotovoltaico, o silício necessita passar por diversas etapas. O processo se inicia com a extração da sílica, segue pela produção de silício metalúrgico, purificação, processamento do dispositivo e, por fim, o encapsulamento para se obter uma maior pureza possível. Essas etapas provocam múltiplos impactos, ressaltam Coutinho (2019) e Yabuta (2016):

- Degradação da paisagem: é necessária a retirada da fauna e da flora que recobrem as minas, seus arredores e o desmonte dos perfis do relevo com uso de máquinas pesadas e explosivos, o que causa a redução da mata nativa e deslocamento da vida selvagem;
- Poluição das águas: essa contaminação ocorre porque efluentes se dissolvem na água que passa pela área de mineração;
- Tráfego intenso de veículos pesados: devido à necessidade de transportar a matéria-prima, isso resulta na emissão de gases, poeiras, ruídos e atropelamento de animais silvestres pertencentes à região;
- Poeira e gases provenientes da perfuração, explosão das rochas e transporte do material: isso causa a alteração da qualidade do ar;
- Geração de rejeito: após o beneficiamento da matéria prima, sobra material que não possui mais aproveitamento, normalmente o descarte desse material é feito em barragens, porém quando estas se tornam muito volumosas, geram grande preocupação, já que se tornam instáveis

e propícias a deslizamentos, podendo causar vítimas fatais, além de contaminar o solo, os rios e os lagos.

Monteiro (2016) relata que quando a sílica passa pelo processo metalúrgico de refino para atingir a pureza necessária para ser usada nas células fotovoltaicas, são empregadas grandes quantidades de energia. Yabuta (2016) e Coutinho (2019) explicam que durante esses processos, o elemento emite o pó de sílica, que pode causar silicose e gases tóxicos e de efeito estufa, como por exemplo, monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de carbono (CO₂).

Após o refinamento do material, ocorre a emissão de um gás do efeito estufa chamado hexafluoreto de enxofre (SF₆), que é usado para limpar os reatores utilizados na produção do silício, sua reação com oxigênio pode resultar em emissões de dióxido de enxofre (SO₂), propiciando acontecimento de chuva ácida, aborda Reis (2015). Além disso, existe o risco potencial para os trabalhadores e comunidades, em virtude da ocorrência de acidentes, devido ao manuseamento de substâncias explosivas e uso de produtos químicos corrosivos (INATOMI e UDAETA, 2005).

Para limpar as pastilhas semicondutoras das células fotovoltaicas são necessários diversos compostos químicos, como ácido fluorídrico e sulfúrico, esta etapa é extremamente importante, pois a limpeza é fundamental para a remoção de possíveis danos e produção da textura correta da superfície, entretanto esses ácidos apresentam grandes riscos aos trabalhadores, já que são capazes de corroer os tecidos e descalcificar os ossos, explica Thomas (2019).

Outro recurso bastante empregado no processo de fabricação dos painéis solares fotovoltaicos é a água, ela é utilizada para resfriar os fornos durante o processamento dos elementos constituintes. Em decorrência desse uso, pode ocorrer sua poluição devido a descargas acidentais de produtos químicos usados na etapa (TSOUTOS, FRANTZSKAKI e GEKAS, 2005).

A fabricação de filmes finos consiste num processo mais simples que o das células de silício cristalino, pois não existe a conexão de células individuais, neste procedimento o circuito final é feito diretamente em único substrato, que pode ser de vidro, metal ou plástico (MINNAERT, 2008).

Summers e Radde (2003) dissertam que é necessário o emprego de diversas substâncias para a fabricação de células de filmes finos. O Quadro 1 exhibe

os elementos utilizados nessa tecnologia. Markvart e Castaner (2003) apontam que alguns destes elementos podem causar sérios problemas de saúde e impactos ambientais.

Quadro 1 - Materiais envolvidos na fabricação da tecnologia de filmes finos.

a-Si	CIS e CIGS	CdTe
Acetona, Alumínio, Cloro-silanos, Diborano, Ácido clorídrico, Ácido hidrosulfúrico, Hidrogênio, Isopropanol, Azoto, Fosfina, Ácido fosfórico, Silano, Tetrafluoreto de silício, Silício, Hidróxido de sódio, Lata	Cádmio, Cobre, Gálio, Índio, Molibdênio, Selênio, Zinco	Cloreto de cádmio, Cádmio, Molibdênio, Níquel, Enxofre, Telúrio, Toureia, Lata

Fonte: Adaptado de (SUMMERS e RADDE, 2003).

A fabricação das células solares de silício amorfo (a-Si) se dá pelo processo de deposição de vapor químico aprimorado por plasma (PECVD) em que se utiliza de grande concentração de átomos de hidrogênio (H₂), elemento essencial para as propriedades eletrônicas do produto, entretanto, ele é altamente inflamável e explosivo, além disso, aplica-se o gás silano (SiH₄) extremamente pirofórico. Tais substâncias colocam em risco a segurança dessa tecnologia (MARKVART e CASTANER, 2003; MINNAERT, 2008).

Na produção de células de CdTe são usados compostos de cádmio na forma de pó e líquida, isso gera como perigo a inalação de material particulado ou ingestão acidental desses elementos pelos trabalhadores, essas partículas podem ser absorvidas pelos pulmões e causar câncer, edemas pulmonares e a morte (MARKVART e CASTANER, 2003).

O cádmio é um metal encontrado na natureza associado aos minérios de zinco, cobre e chumbo. Assim como no caso do silício, é preciso minerar e beneficiar esses materiais e, como consequência, ocorre a degradação do meio ambiente, a poluição das águas e do ar atmosférico (ANSELMO, 2019).

Para a utilização nas células fotovoltaicas de filme fino é realizada a fundição de chumbo com zinco para a obtenção do cádmio, os maiores riscos à saúde humana desses compostos ocorrem principalmente nos locais das atividades de mineração e fundição, já que este processo pode liberar vapores tóxicos (MULVANEY, 2019).

Na fabricação de células de CIS e CIGS são depositadas camadas únicas de disseleneto de cobre, índio e gálio $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ sobre um substrato revestido com molibdênio e, logo em seguida, insere-se uma fina camada de sulfeto de cádmio (CdS) e óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO:Al), a oxidação desses elementos pode afetar as membranas mucosas do sistema respiratório (SUMMERS e RADDE, 2003).

A seguir, no Quadro 2, são identificados e classificados os impactos ambientais originários do processo de produção, esta etapa compreende os maiores e mais significativos danos de todo o ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos. Isso é importante para mostrar que, por trás de uma geração de energia considerada limpa, existem diversos potenciais impactos ambientais.

Quadro 2 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Produção.

FASE DE PRODUÇÃO			TIPO		NATUREZA		ÁREA DE ABRENGÊNCIA			REVERSIBILIDADE		DURAÇÃO		PRAZO DE MANIFESTAÇÃO			MAGNITUDE				
Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Direto	Indireto	Positivo	Negativo	Local	Regional	Estratégico	Reversível	Irreversível	Temporário	Permanente	Imediato	Médio Prazo	Longo Prazo	Fraca	Média	Forte	Variável	
Extração da matéria prima, explosão de rochas	Degradação da paisagem devido a retirada da fauna e flora local	Remoção da mata nativa	x			x		x			x		x	x					x		
		Deslocamento da vida selvagem		x		x		x				x		x						x	
	Curso d'água no local da mineração	Poluição das águas	x			x		x		x			x	x						x	
	Explosão de rochas gerando gases, poeiras e ruídos	Alteração da qualidade do ar	x			x		x			x		x		x			x			
		Afugentamento de animais silvestres	x			x		x			x		x		x				x		
Transporte da matéria prima	Tráfego intenso de veículos pesados	Risco de atropelamento de animais silvestres	x			x		x			x		x	x					x		
	Geração de gases, poeiras e ruídos	Alteração da qualidade do ar	x			x		x		x		x		x					x		

Beneficiamento do silício	Geração de rejeito	Deslizamentos de barragens	x			x		x			x		x	x				x
		Contaminação do solo, rios	x			x		x			x		x	x				
Refinamento do silício	Emissão de pó de sílica	Silicose	x			x	x				x		x					x
	Emissão de CO, NO ₂ , e CO ₂	Intensificação do efeito estufa	x			x			x		x		x	x				x
Limpeza de reatores	Emissão de dióxido de enxofre (SO ₂)	Chuva ácida	x			x					x							
Limpeza de pastilhas	Uso de produtos químicos corrosivos	Corrosão de tecidos e descalcificação dos ossos	x			x	x				x		x	x/				x
Resfriamento dos fornos	Uso de água	Poluição das águas	x			x					x		x					x
Produção de células de silício amorfo	Uso de átomos de hidrogênio (H ₂) e gás silano (SiH ₄)	Risco de explosão	x			x	x				x		x					x
Produção de células de cádmio	Inalação acidental de compostos de cádmio	Câncer de pulmão, edemas pulmonares e morte	x			x	x				x		x					x
	Ingestão acidental de compostos de cádmio	Câncer de pulmão, edemas pulmonares e morte	x			x	x				x		x					x

Produção de células de CIS e CIGS	Oxidação de sulfeto de cádmio (CdS) e óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO:Al)	Causar danos as membranas mucosas do sistema respiratório	x			x	x			x	x	x	x	x				x		
Contratação de pessoal	Contratação de Mão de Obra	Geração de Empregos	x		x			x		x		x		x				x		
		Aumento temporário da densidade demográfica		x	x	x		x		x		x		x				x		
		Aumento da arrecadação tributária		x	x			x		x		x		x					x	
		Pressão sobre Infraestrutura e Serviços Públicos Essenciais		x			x		x		x		x		x				x	

Fonte: AUTOR, 2022.

No Quadro 2 foram identificados e classificados os impactos ambientais da fase de produção dos painéis solares fotovoltaicos defendidos pelos principais autores. Na sequência, estes danos serão explicados de forma mais detalhada proporcionando base para discussões e justificativas à respeito das avaliações recebidas.

Atividades de mineração provocam diversos danos como a remoção da mata nativa, geração de poeiras e ruídos causado pela explosão de rochas, devido à necessidade de desmonte de relevos para a exploração dos minérios, resultando na perda de habitats da região, o que desencadeia um outro problema, o deslocamento da fauna local para outras áreas.

A remoção da mata nativa foi avaliada como um dano direto e negativo, por causar prejuízos ao bioma. É de abrangência regional, pela necessidade de retirada da vegetação tanto no local de exploração quanto para execução de estradas para o acesso ao empreendimento. Sua manifestação é imediata, configura-se como irreversível, permanente e de forte magnitude considerando as drásticas alterações ao ambiente.

Em decorrência da erradicação da vegetação nativa e da perda de habitats, animais pertencentes a essa região são obrigados a se reestabelecerem em outras áreas da redondeza. Esse panorama implica que este impacto seja de natureza adversa e do tipo indireto, por ser resultante do desdobramento originado a partir de outro impacto direto. Consiste em um problema de acometimento regional, manifestação imediata, com extensão permanente e irreversível devido à impossibilidade de retorno ao seu hábitat original. Sua magnitude é forte por proporcionar incômodos e alterações bruscas no ritmo de vida desses seres.

A audição é um mecanismo fundamental na vida dos animais, pois contam com ela para adquirir alimentos e se livrar de predadores, além disso, muitos possuem o sistema auditivo muito sensível e dependendo da intensidade do ruído podem sofrer danos irreversíveis (IEMA, 2017).

Portanto, é possível constatar que o afugentamento da vida selvagem devido aos processos de explosões de rochas é um dano negativo e direto. Sua ocorrência é imediata à ativação dos explosivos e foi considerado como reversível e temporário, visto que, após o término das detonações, estes animais podem retornar

ao local de origem. Abrange uma área regional por causar interferência em espaços além da área do empreendimento e foi definido como impacto de magnitude média, mediante as consequências apresentadas.

A contaminação da água pode ocorrer devido à estocagem dos rejeitos, resfriamento dos fornos durante a preparação dos componentes das células solares e, também, em função da extração da matéria prima, pois cursos d'água que se propagam pela zona de mineração podem receber efluentes oriundos dessa atividade.

Sendo assim, foi estabelecido que esse problema tem abrangência regional, com ação direta e de natureza negativa, a ocorrência desse dano é imediata, apresenta-se como reversível, levando em conta a possibilidade de emprego de ações mitigadoras, entretanto, o fluido afetado possui características permanentes, por estes aspectos, foi determinado de magnitude forte.

As emissões atmosféricas mais expressivas decorrentes da extração de matéria-prima são compostas principalmente de material particulado em suspensão, oriundos das atividades de explosão de rochas e do transporte de matéria-prima cujas principais fontes são decorrentes da movimentação de veículos, pois emitem material particulado nos escapamentos originados da queima do combustível.

A alteração da qualidade do ar derivada das emissões anteriormente citadas, foi classificada como direta, negativa e de abrangência regional, por causar interferência em áreas próximas ao empreendimento. Compreende-se que este impacto se configure como reversível, temporário, de manifestação imediata e de magnitude baixa, pois no encerramento dessas atividades as emissões responsáveis pela poluição são cessadas.

As estradas funcionam como uma armadilha para a fauna pois, por vezes, estes locais fazem parte de sua área de vida, compreendendo caminhos mais fáceis para seu deslocamento, as aves podem usar o cascalho das vias para ajudar na digestão, alguns seres vivos podem ser atraídos a elas para se alimentarem de outros animais atropelados (IEMA, 2017).

O intenso tráfego de veículos pesados para o transporte da matéria-prima pode ocasionar o atropelamento de animais silvestres, impacto este que se configura como direto e de natureza negativa, sua abrangência é regional devido às

suas consequências compreenderem as regiões próximas à zona de mineração. A Sua manifestação se inicia paralelamente ao começo dos processos de transportes. Trata-se de um dano irreversível e permanente, considerando que a exploração desses minérios se estenderá por décadas, em função desses aspectos, foi classificado como de média magnitude.

Em consequência do beneficiamento da matéria-prima, ocorre a geração de rejeitos os quais são dispostos em barragens e sua falha projeta prejuízos econômicos gigantescos, devastação ambiental em níveis abaixo delas, bem como a contaminação dos solos e cursos d'água, além de consistir em uma fonte potencial de perda de vidas humanas (FONSECA, 2018).

Portanto, o risco de deslizamentos de barragens de rejeitos foi avaliado como um impacto direto, de natureza negativa e de forte magnitude. Tendo a capacidade de atingir vastas áreas em pouco tempo, foi considerado como um dano de surgimento imediato e abrangência regional. Por causar vítimas fatais e alterações altamente relevantes ao relevo afetado, foi definido como um dano irreversível e permanente.

O refinamento do silício promove a silicose, uma doença pulmonar grave e irreversível adquirida pela exposição e inalação do pó de sílica, caracterizada por ocasionar lesões nos pulmões e não possuir tratamento específico (TERÁN, 2010).

A silicose pode se difundir de três maneiras diferentes: aguda, acelerada e crônica. No caso agudo, a doença se manifesta alguns meses após a exposição inicial, no segundo cenário os sintomas aparecem entre cinco e dez anos, por fim, o acometimento crônico se desenvolve num prazo maior que dez anos após o primeiro contato com o elemento, podendo evoluir de forma rápida, levando o paciente a óbito em poucos meses ou anos (TERRA FILHO e SANTOS, 2006).

Diante do que foi exposto, compreendeu-se que o impacto se caracteriza por ser direto, negativo e de difusão local, já que atinge o território de uso. Sua manifestação é de longo prazo devido ao tempo de desencadeamento da doença, a duração é permanente e seu quadro é irreversível, pois a enfermidade não tem cura, portanto, a magnitude foi definida como forte em razão dos diversos problemas proporcionados.

Outro problema do refinamento do silício consiste na projeção de gases como o monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de carbono (CO₂), que são responsáveis por absorver e reemitir a radiação infravermelha de volta para a superfície terrestre e agravar o efeito estufa. Suas moléculas podem permanecer na atmosfera por centenas de anos até se degradarem (LIMA, 2012).

Sendo assim, estabeleceu-se que este impacto é de natureza negativa e interferência direta, englobando espaços além das áreas de influência, por isso, foi considerado de abrangência estratégica. Sua manifestação é imediata à sua emissão, possuindo duração permanente e irreversível com forte magnitude diante do prazo de permanência na atmosfera.

O dióxido de enxofre (SO₂) pode se deslocar por distâncias superiores a 1000 quilômetros de seu local de uso, causando o fenômeno conhecido como chuva ácida que consiste na precipitação com pH menor que 5,6 (GALVÃO, 1996; LIKENS e BORMAN, 1974).

A chuva ácida pode causar a acidificação de rios e lagos, a corrosão de elementos metálicos, é capaz de dissolver metais tóxicos como alumínio, chumbo e mercúrio a partir dos solos e rochas que pode chegar ao consumo humano pelo sistema de distribuição, podendo provocar, até mesmo, o aumento da mortalidade embrionária humana (GALVÃO, 1996; HAMA, 2001).

De acordo com as afirmações acima, foi estabelecido que este impacto se configura como direto e negativo, correspondendo a uma área de abrangência estratégica por extrapolar os domínios de influência da indústria. Seus danos foram considerados como irreversíveis, portanto, permanentes. O tempo de manifestação se enquadra como imediato, levando em conta as reações químicas que ocorrem durante o evento. Por esses aspectos, determinou-se que sua magnitude é de caráter forte.

O emprego de elementos como ácido fluorídrico e sulfúrico é essencial para a limpeza das pastilhas semicondutoras das células fotovoltaicas, porém isso implica em um grande perigo para os trabalhadores envolvidos no processo.

Cardoso, Gonella e Orgaes (2012) dissertam que o ácido fluorídrico e o sulfúrico em contato com a pele podem proporcionar queimaduras de nível grave

devido uma reação de desidratação, decompondo proteínas, carboidratos e lipídios presentes na pele e nos músculos.

Gartner e Hiatt (2007, p. 284) explicam que:

O tecido ósseo é uma das estruturas mais duras e resistentes do corpo. Sua dureza e força são causadas pela associação dos cristais de hidroxiapatita com o colágeno. Quando um osso é descalcificado (i. e., todo o mineral é removido do osso), ele ainda mantém sua forma original, mas se torna tão flexível que pode ser dobrado como um pedaço de borracha dura. Se o componente orgânico é extraído do osso, o esqueleto mineralizado ainda mantém sua forma original, mas se torna extremamente quebradiço e pode ser fraturado com facilidade.

Portanto, esses danos que causam a perda da integridade da saúde dos prestadores de serviço foram identificados como direto, negativo e de área abrangente local, visto a possibilidade de ocorrência nas imediações da realização das atividades de limpeza das pastilhas das células solares. A manifestação se apresenta de forma imediata e sua duração é permanente, não sendo possível sua reversibilidade, considerando sérias alterações aos corpos dos indivíduos afetados, por isso, sua magnitude consiste em grau forte.

O uso de átomos de hidrogênio (H_2) e gás silano (SiH_4) na produção das células de silício amorfo proporcionam grande instabilidade no que diz respeito à segurança da tecnologia, visto o alto potencial inflamável e explosivo desses elementos, provocando elevados riscos aos trabalhadores do setor (TEIXEIRA, 2001).

Dito isso, constatou-se que esse dano pode ser compreendido como permanente, tendo em mente a possibilidade de acontecimento de um acidente que desencadeie a explosão. Sua manifestação é imediata e representa um impacto de caráter direto e natureza negativa. É passível de ser revertido, desde que sejam utilizados outros elementos que exerçam a mesma função para a fabricação dessas células. Devido aos potenciais estragos apresentados, possui magnitude forte.

A inalação ou ingestão acidental de compostos de cádmio pode ocasionar o câncer nos pulmões, uma enfermidade caracterizada pelo aumento celular descontrolado nos tecidos pulmonares (SOUZA, 2012). Se diagnosticado precocemente e realizado o tratamento adequado, a doença é passível de ser curada, no entanto, caso a patologia evolua e sofra metástase, ou seja, o

espalhamento do câncer para outras partes do corpo, as chances de cura são praticamente nulas, assim, o tratamento passa a ter o intuito de controlar a enfermidade e aumentar o tempo de vida do indivíduo (INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER, 2022).

O acometimento pela doença pode ocorrer anos depois da exposição ao cádmio (PEREIRA, 2014), por isso, seu prazo de manifestação foi determinado de longo prazo e sua magnitude foi considerada forte devido aos danos causados à saúde humana. Trata-se de um dano negativo e direto, tendo abrangência local, pois a exposição aos contaminantes se dá no local de descarte. Foi considerado que este problema é reversível, já que existem tratamentos para a doença. Sua duração foi entendida como temporária caso o diagnóstico seja precoce e o tratamento efetivo, levando a extinção da enfermidade e permanente, se a identificação ocorrer em estágio avançado da doença, não sendo possível a cura.

A produção de células de CIS e CIGS promove a oxidação de sulfeto de cádmio (CdS) e óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO:Al), evento este que provoca danos nas membranas mucosas do sistema responsável pela hematose⁹ humana, esses prejuízos podem ser caracterizados como imediatos, caso incluam, por exemplo, a irritação e a obstrução do trato respiratório, acometendo, em quadros mais graves, traqueíte, bronquite e bronquiolite, os quais demandam mais tempo para se manifestarem (LARA, 2020).

A partir desse levantamento, constatou-se que este impacto é de natureza negativa e direta, tendo abrangência no local de exposição, foi considerado reversível, temporário e imediato em casos de irritação e obstrução do trato respiratório e irreversível, permanente e com médio prazo de manifestação. A magnitude foi considerada forte em consequência dos graves problemas ocasionados à saúde.

A geração de emprego se configura como direta e imediata, trazendo impacto positivo devido a possibilidade de geração de renda para os trabalhadores da região, tem abrangência regional por atingir a cidade próxima ao local de extração. Sua duração se enquadra como temporária e reversível visto que estes

⁹ Consiste no processo onde o oxigênio presente nos alvéolos pulmonares é transferido para os capilares e dióxido de carbono da corrente sanguínea é encaminhado à estrutura alveolar (SILVA, 2007).

empregos ocorrem apenas durante o tempo do empreendimento e sua magnitude é forte.

A contratação de mão de obra acarreta, também, no aumento temporário da densidade demográfica que, por um lado, é positivo por aumentar a arrecadação tributária e, por outro, negativa por causar pressão sobre a infraestrutura e os serviços públicos essenciais.

Considerando estes três impactos, é possível aferir que se enquadram como do tipo indireto, pois são originados a partir da possibilidade de geração de emprego. Como dito anteriormente, o aumento da densidade demográfica pode ser entendido como positivo e negativo. Enquanto a arrecadação tributária se configura como positiva e a pressão sobre os serviços públicos é compreendida como negativa.

O prazo de manifestação se apresenta como imediato perante o início das atividades de extração, é um impacto reversível e temporário correspondendo apenas ao de permanência do aumento demográfico, e por fim, a magnitude de ambos pode ser avaliada como forte.

6.2 Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Instalação

Durante a instalação dos sistemas fotovoltaicos, alguns resíduos são gerados, prejudicando e poluindo o meio ambiente. Os impactos oriundos dessa etapa são listados a seguir:

- Resíduos da construção, pois durante o período de montagem dos sistemas solares, ocorre a geração de entulho proveniente das embalagens dos painéis e dos outros componentes do sistema, pedaços de cabos e, até mesmo, placas quebradas devido ao transporte ou manuseio incorreto;
- Pó de construção, as estruturas de fixação geralmente são parafusadas aos telhados, gerando a necessidade de sua perfuração, o que ocasiona o surgimento de poeiras durante esse ato;

- Ruídos, gerados pela utilização de equipamentos como furadeiras, parafusadeiras, elementos necessários para a execução das atividades desta etapa;
- Impacto visual, os sistemas fotovoltaicos podem ocupar grande área dos telhados, alterando a visualização de sua superfície.

Para a identificação e classificação destes impactos ambientais apresentados acima, elaborou-se o Quadro 3.

Quadro 3 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Instalação.

FASE DE INSTALAÇÃO			TIPO		NATUREZA		ÁREA DE ABRENGÊNCIA			REVERSIBILIDADE		DURAÇÃO		PRAZO DE MANIFESTAÇÃO			MAGNITUDE				
Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Direto	Indireto	Positivo	Negativo	Local	Regional	Estratégico	Reversível	Irreversível	Temporário	Permanente	Imediato	Médio Prazo	Longo Prazo	Fraca	Média	Forte	Variável	
Retirada das embalagens dos componentes do sistema fotovoltaico	Geração de resíduos sólidos	Contaminação do solo	x			x	x			x		x		x							x
Perfuração para fixação da estrutura de suporte	Geração de pó de construção	Altera a qualidade do ar	x			x	x			x		x		x			x				
Fixação de painéis e componentes do sistema	Geração de ruídos	Incômodos à População	x			x	x			x		x		x			x				
Instalação dos painéis	Alteração da paisagem	Impacto visual	x			x	x				x		x	x			x				

Fonte: AUTOR, 2022.

A geração de resíduos sólidos oriundos da retirada das embalagens dos componentes do sistema fotovoltaico pode causar a contaminação do solo e, por isso, foi classificada como de natureza negativa e direta, de abrangência local e reversível, uma vez que suas embalagens são compostas de plásticos e papelões, é possível a aplicação de medidas como o destino desses resíduos para os centros de reciclagem. Considerando que o risco passará a existir a partir do início da instalação do sistema e apenas acontece até o final desse processo, ele foi descrito como imediato e temporário, sua magnitude foi considerada variável em concordância com o tamanho do empreendimento.

Durante a fase de instalação, as emissões atmosféricas são compostas principalmente por material particulado em suspensão, originado a partir das atividades de perfuração para a fixação das estruturas dos componentes do sistema, isso promove a alteração da qualidade do ar, logo, este impacto foi avaliado como negativo, direto e de abrangência local, visto que ele acomete apenas a área do empreendimento. Seu prazo de manifestação é compreendido como imediato pois se inicia juntamente com o processo de instalação. Foi identificado como reversível, de duração temporária e magnitude fraca já que, ao término da implantação, não haverá mais geração de pó.

Considerando que os incômodos à população oriundos da geração de ruídos são compreendidos em atividades específicas e de curta duração ao longo do processo de instalação, caracterizou-se este impacto como negativo e direto com abrangência local, já que afeta apenas a comunidade vizinha ao empreendimento. Quanto à reversibilidade e duração, deve ser classificado como reversível e temporário, uma vez que, ao fim da instalação, os ruídos são cessados. O prazo de manifestação tem caráter imediato, pois o impacto se evidencia a partir do início do processo construtivo, sua magnitude foi definida como fraca, visto que estes danos não causam transtornos relevantes nas imediações do local de implementação dos sistemas.

O impacto visual foi classificado como direto, de natureza negativa pois altera a paisagem e considera a área de abrangência local. Como este impacto se estenderá durante toda a vida útil do sistema, foi caracterizado como irreversível e de duração permanente, sua manifestação é imediata, visto que se inicia a partir do momento que o sistema é instalado. Considerando que não haverá incômodos

significativos às comunidades mais próximas, foi determinado que a magnitude se enquadra como fraca.

6.3 Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Operação

Durante a fase de operação, os painéis fotovoltaicos também causam impactos ambientais que incluem:

- Contaminação das águas: consiste na água utilizada para a limpeza dos painéis e de outros componentes do sistema;
- O uso em larga escala de telhados com sistemas fotovoltaicos: o que altera o balanço energético¹⁰ da cidade e assim afeta o clima urbano (XIAOLONG *et al.*, 2020).

Identificados os impactos ambientais relacionados à fase de operação, constatou-se que estes afetam os meios físico e biótico. A seguir, apresenta-se o Quadro 4 contendo sua classificação devidamente justificada.

¹⁰ A alteração do balanço energético pelo telhado fotovoltaico constitui na redução da temperatura em alturas de até 2 metros próximas a superfície do solo, durante o dia essa variação pode atingir entre 0,12 e 0,23 °C e a noite de 0,21 a 0,60 °C (XIAOLONG *et al.*, 2020; FERREIRA, 2020).

Quadro 4 - Planilha de identificação e classificação dos impactos ambientais para a fase de Operação.

FASE DE OPERAÇÃO			TIPO		NATUREZA		ÁREA DE ABRENGÊNCIA			REVERSIBILIDADE		DURAÇÃO		PRAZO DE MANIFESTAÇÃO			MAGNITUDE			
Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Direto	Indireto	Positivo	Negativo	Local	Regional	Estratégico	Reversível	Irreversível	Temporário	Permanente	Imediato	Médio Prazo	Longo Prazo	Fraca	Média	Forte	Variável
Limpeza dos painéis fotovoltaicos	Águas residuais	Contaminação das águas	x			x	x			x		x		x			x			
Funcionamento do sistema	Alteração do balanço energético	Alteração do microclima da região	x		x			x			x		x	x			x			

Fonte: AUTOR, 2022.

De acordo com Gaio e Campos (2017), é ideal a realização da limpeza dos painéis fotovoltaicos a cada seis meses para que o desempenho do sistema não seja prejudicado, assim, a duração foi entendida como temporária e de prazo de manifestação imediato, além de poder ser considerado reversível, visto que, ao final do processo de limpeza, a contaminação da água é interrompida, portanto, possui magnitude fraca. Este impacto também foi classificado como direto, de natureza negativa e área de abrangência local, pois se restringe apenas à área onde o sistema foi instalado.

A alteração do microclima da região foi avaliada como direta e de área de abrangência regional, pois afeta o clima em zonas onde possuem uma larga escala de sistemas fotovoltaicos em funcionamento, considerou-se, portanto, positiva, pois contribui para o resfriamento dos centros urbanos. Este dano foi estabelecido como permanente e irreversível em consequência de se persistir ao longo de toda a vida do empreendimento. Sua manifestação acontece em um prazo imediato após o início de seu funcionamento e possui magnitude fraca devido à baixa variação na temperatura.

6.4 Identificação e Classificação dos Impactos Ambientais na Fase de Descarte

Em relação ao fim de vida dos painéis solares fotovoltaicos, Hestin e Monier (2011) explicam que, se os resíduos desses sistemas forem descartados de forma inadequada, podem causar diversos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana devido a lixiviação do chumbo e do cádmio, perda de materiais convencionais, principalmente vidro e alumínio e de metais raros como prata, índio, gálio e germânio.

Leccisi *et al* (2016) dissertam que a lixiviação do chumbo está ligada, principalmente, aos módulos de silício cristalino (c-Si) de 1ª geração que, se descartados indevidamente, podem se acumular no meio ambiente causando a perda da biodiversidade, a diminuição das taxas de crescimento e reprodução em plantas e animais. Além disso, de acordo com Hestin e Monier (2011), ela causa sérios problemas à saúde humana, caso ingerido, se distribuindo por todo o corpo através do sangue e se acumulando nos ossos, podendo afetar o sistema nervoso, a

função renal, o sistema imunológico, o sistema reprodutivo e o sistema cardiovascular.

O cádmio, além de ser um elemento cancerígeno de alta toxicidade, tem alto potencial de acúmulo nos organismos vivos e sua lixiviação proveniente dos painéis fotovoltaicos de filme fino de 2ª geração pode causar sérias alterações fisiopatológicas sob condições de exposição repetida, grave inflamação pulmonar e fibrose, destacam Hestin e Monier (2011) e Ramos *et al.* (2017).

O descarte de painéis solares promove, ainda, a perda de materiais que poderiam ser reciclados como o alumínio e o vidro, elementos mais abundantes em sua composição (RATHORE; PANWAR, 2021). Os painéis fotovoltaicos de silício são compostos por 74,16% de vidro e outros 10,30% de caixilharia que é normalmente de alumínio, isso representa 16,6 kg de vidro e 2,3 kg de alumínio por painel. Já, um modelo padrão de 2ª geração contém até 84% de vidro e 12% de alumínio, o que representa de 8 a 9 kg de vidro e 1,4 kg de alumínio por painel, apontam Hestin e Monier (2011).

Os módulos fotovoltaicos também utilizam metais raros em sua composição, em especial prata, índio, gálio e germânio, cada um destes são encontrados em uma variedade de painéis solares. Normalmente eles representam apenas 1% de sua massa, entretanto, seu valor é bastante significativo (HESTIN; MONIER, 2011). Além disso, se não forem recuperados ao final da vida dos sistemas solares geradores de energia, poderá acontecer o seu esgotamento permanente, explicam Rathore e Panwar (2021).

A backsheet (o fundo do painel) e os encapsulantes dos painéis fotovoltaicos são fabricados a partir de frações de polímero que consistem em plásticos fluorados e reticulados que não podem ser reciclados (RATHORE e PANWAR, 2021).

Prakash *et al* (2015) salientam que os elementos não passíveis de serem reciclados são incinerados, acarretando sérios problemas de saúde liberando gases tóxicos ou são encaminhados à aterros sanitários, porém isso também causa efeitos nocivos, pois essas substâncias podem se propagar pela água subterrânea, solo e organismos vivos.

No Quadro 6, abaixo, são apresentados os aspectos ambientais e seus impactos, ocasionados pela atividade de descarte de painéis fotovoltaicos.

	gálio e germânio	subterrâneas																
	Incineração de polímeros fluorados e reticulados	Liberação de gases tóxicos, alteração da qualidade do ar	x			x		x		x		x		x				x
	Deposição de polímeros fluorados e reticulados em aterros sanitários	Contaminação do solo e de águas subterrâneas	x			x		x		x		x		x				x

Fonte: AUTOR, 2022.

A lixiviação do chumbo causa patologias ao sistema nervoso, imunológico, reprodutivo, cardiovascular e a função renal, que serão explicadas de forma mais detalhada na sequência.

A intoxicação com chumbo ataca o sistema nervoso causando encefalopatia em crianças e adultos, doença que pode causar interferência na função cerebral e mobilidade reduzida. Na infância, o contato com esse elemento pode gerar implicações permanentes como deficiência cognitiva (MOREIRA R. e MOREIRA C., 2004). No sistema imunológico, o envenenamento por este elemento pode proporcionar o crescimento da incidência de asma, doenças infecciosas e agravamento de câncer (BUSSOLARO, 2006).

A contaminação por chumbo causa ao sistema reprodutor masculino a diminuição da libido, espermatogênese anormal (motilidade e número reduzido), falhas cromossômicas, infertilidade e modificações nos níveis de testosterona e, nas mulheres, os problemas acometidos são a infertilidade, o aborto espontâneo, a pré-eclâmpsia e o parto prematuro (ROCHA, PEZZINI e POETA, 2017).

De acordo com Moreira R. e Moreira C. (2004), estudos clínicos evidenciam que a exposição ao chumbo acomete o sistema cardiovascular causando lesões cardíacas, anormalidades eletrocardiográficas e aumentos na pressão sanguínea.

A exposição intensa e prolongada ao chumbo pode gerar insuficiência renal progressiva e irreversível que é a perda da capacidade dos rins executarem suas funções básicas. Em decorrência disso, pode ocorrer quadros de hipertensão (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

A presença desse elemento no solo pode perdurar por décadas e sua área de manifestação compreende apenas os locais de desenvolvimento desse processo (KEDE, 2006).

Diante do que foi exposto acima, estes danos que afetam a saúde humana foram identificados como negativos, diretos e com abrangência local. A magnitude foi considerada forte e irreversível devido aos efeitos adversos dessas enfermidades. Como consequência, trata-se de uma duração permanente, e seu prazo de manifestação foi avaliado como longo, visto que essas doenças podem levar anos para se desenvolverem.

Outro dano oriundo deste aspecto ambiental consiste na perda da biodiversidade, diminuindo as taxas de crescimento e reprodução em plantas e

animais. Assim, este impacto foi classificado como direto, negativo e de magnitude variável, levando em consideração a quantidade de resíduos depositados no local. Trata-se de impacto local, por se restringir à área na qual se descartou os elementos. Sua manifestação se dá a longo prazo e sua duração é permanente e irreversível.

A lixiviação do cádmio pode causar a fibrose pulmonar que consiste em uma doença que ataca os pulmões em sua forma crônica e progressiva, acomete o tecido responsável por envolver os sacos aéreos dos pulmões tornando-os mais espessos, bloqueando a transferência do oxigênio para a corrente sanguínea, o que proporciona gradativamente o aumento da falta de ar, a doença não tem cura, porém, realizando o tratamento adequado é possível reverter as alterações provocadas (WÜNSCH, 2020; KAMINOSONO, 2020).

A partir dessas definições é possível aferir que este impacto se enquadra como negativo e direto, sua área de abrangência foi avaliada como local, já que a possibilidade de contaminação ocorre no espaço de deposição dos elementos dos sistemas fotovoltaicos. Ela foi considerada reversível devido a possibilidade de tratamento, entretanto, sua duração é permanente, já que a doença não tem cura. A manifestação dessa patologia se dá a médio prazo após a exposição, possui magnitude forte, por causar graves problemas a saúde de indivíduos infectados.

O descarte inadequado de painéis fotovoltaicos gera a perda de materiais recicláveis como alumínio, vidro e a perda de metais raros como a prata, índio, gálio e germânio, isso implica na geração de resíduos sólidos que, por sua vez, causam a contaminação do solo e de águas subterrâneas, durante sua degradação e acarreta também prejuízos financeiros, uma vez que estes resíduos poderiam ser novamente comercializados gerando renda.

Considerando esses fatores, este impacto foi classificado como indireto, negativo e com área de abrangência regional devido a contaminação poder atingir áreas além das delimitações do local de deposição. Este dano ambiental pode ser entendido como reversível e de duração temporária, analisando a possibilidade de aplicação de tecnologias para a reciclagem desses elementos e, quando esses materiais permanecem no lugar de descarte até sua decomposição sem nenhum tratamento, deve ser avaliado como irreversível e de duração permanente e, portanto, sua magnitude deve ser apontada como de grau forte.

A incineração de polímeros fluorados e reticulados promove a liberação de gases tóxicos que alteram a qualidade do ar, por isso foi caracterizado como um impacto do tipo direto e de natureza negativa. Sua abrangência foi considerada regional, já que estas emissões se espalham com as correntes de ar, atingindo maiores áreas. A manifestação se enquadra como imediata, visto que a projeção de gases à atmosfera começa paralelamente ao início dessa atividade. Este dano foi avaliado com efeito temporário e reversível, pois assim que o ato de queima desses elementos termina, essa liberação de poluentes é cessada, sendo assim, a magnitude foi compreendida como forte.

A deposição de polímeros fluorados e reticulados em aterros sanitários pode gerar a contaminação do solo e de águas subterrâneas em caso de vazamentos de líquidos oriundos de sua decomposição, portanto, trata-se de um impacto direto, negativo e de abrangência regional. Sua duração foi considerada permanente devido ao longo tempo necessário para sua degradação, como consequência, constatou-se que estes danos são irreversíveis. Seu processo de degradação leva anos para se iniciar, logo, pode ser aferido que este impacto compreende um longo prazo para sua manifestação e magnitude forte.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu, através da revisão bibliográfica, a compreensão e o entendimento do atual cenário energético mundial, onde existe a predominância da utilização de fontes esgotáveis oriundas de combustíveis fósseis.

A produção de energia elétrica através da radiação solar ganhou grande destaque na última década e está se tornando cada vez mais acessível à população. Isso demonstra que esta matriz proporcionou um grande avanço no emprego de tecnologias para a diversificação de fontes energéticas.

Os maiores incentivos para a geração descentralizada, também conhecida como distribuída, foram estabelecidos pela Normativa ANEEL nº 482 de 17 de abril de 2012, a qual determinou as condições gerais para a admissão de micro e mini geração e pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, possibilitando a criação de créditos.

É importante ressaltar que este trabalho possibilitou o conhecimento de como se dá o processo de obtenção de energia elétrica através da radiação solar, bem como, quais são os elementos constituintes do sistema fotovoltaico para a realização desse processo.

Nesta pesquisa ficou claro que o Brasil tem grande potencial para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica e, de acordo com as projeções apresentadas no decorrer do trabalho, ficou evidente que esse setor apresentará alto crescimento durante as próximas décadas.

Entretanto, mesmo se tratando de uma fonte energética renovável, é importante levar em consideração que esse processo de obtenção de eletricidade causa consequências adversas ao meio ambiente.

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, é possível concluir que os objetivos traçados foram alcançados, pois foram apresentadas para cada etapa do ciclo de vida de um painel solar fotovoltaico as diversas atividades envolvidas e suas consequências sobre o meio ambiente.

Através desse estudo, evidencia-se que a fase de produção do painel fotovoltaico é a etapa que causa os maiores e mais severos problemas ao meio ambiente e à saúde humana, pois promove a degradação da fauna e flora, altera a qualidade do ar, contamina solos e águas, além de colocar em risco a saúde de

trabalhadores e população próximas ao empreendimento, podendo acarretar diversas doenças.

Os impactos ambientais correlacionados com atividades pertencentes às etapas de instalação e operação dos sistemas fotovoltaicos foram os que apresentaram menor potencial para causar danos, dentre todo o ciclo de vida dos painéis.

É essencial destacar que, para as próximas décadas, são projetados que muitos painéis solares chegarão ao final de sua vida útil, tornando-se resíduos e, se estes forem descartados de maneira incorreta, poderão causar graves problemas ao meio ambiente.

Foi possível perceber que a fase final de vida dos painéis fotovoltaicos também compreende sérios danos ao meio ambiente, à saúde humana e também prejuízos financeiros. Grande parte dos componentes desses elementos pode ser recuperada e reciclada, entretanto, falta investimento em tecnologias para a realização desses processos. Torna-se evidente a necessidade da criação de políticas públicas e normativas específicas para a gestão desse tipo de resíduo.

Com base nos tópicos discutidos ao longo do trabalho, conclui-se que a energia fotovoltaica, apesar de seus conhecidos benefícios, apresenta impactos relevantes ao meio ambiente. Embora seja uma tecnologia promissora, é importante que em seu desenvolvimento sejam adotadas práticas que amenizem os problemas elencados neste trabalho.

Espera-se que este trabalho sirva como ferramenta de difusão da informação a respeito dos impactos ambientais que podem ser gerados pela produção, instalação, operação e descarte inadequado de painéis solares fotovoltaicos em decorrência dos resultados aqui apresentados e discutidos.

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos compreende uma série de impactos ambientais, como apresentados nos resultados, diante disso, propõe-se para pesquisas futuras:

- Analisar os impactos no meio antrópico originados pelas etapas de vida de um painel fotovoltaico;
- Investigar a possibilidade de recuperação de células fotovoltaicas danificadas em módulos em funcionamento;
- Valorar economicamente os impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado dos painéis fotovoltaicos;
- Avaliar quando o processo de reciclagem dos elementos que compõem os módulos fotovoltaicos seria economicamente viável.

REFERÊNCIAS

- ABREU, N. **Pequeno guia sobre energias sustentáveis**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2017/07/pequeno-guia-sobre-energias-renovaveis.html?showComment=1499944361069>. Acesso em: 16 set. 2022.
- AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Estudo de impacto ambiental**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.terracap.df.gov.br/index.php/component/attached/?task=download&id=6652>. Acesso em: 18 set. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do brasil**. 3. ed. – Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf. Acesso em: 22 abr. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. – Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Caderno-tematico-Micro-e-Minigeracao-Distribuida-2-edicao.pdf>. Acesso em: 30 maio 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em: 29 maio 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482 de 2012**: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687 de 2015**: Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2022.
- ALMEIDA, B. B. A. **Energia eólica: estudo de caso de um parque eólico offshore**. 2016. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18604/1/BRENO%20BORBOREMA%20ALVES%20DE%20ALMEIDA%20-%20TCC%20Eng.%20EI%202016.pdf>. Acesso em: 17 maio 2022.
- ANSELMO, A. H. **Reciclagem ou destinação final dos painéis fotovoltaicos aplicados em geração de energia ao final do ciclo de vida**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/35049/1/RECICLAGEM%20OU%20DESTINA%20O%20FINAL%20DOS%20PAIN%20IS%20FOTOVOLTAICOS%20APLICADOS%20EM%20GERA%20O%20DE%20ENERGIA%2>

0AO%20FINAL%20DO%20CICLO%20DE%20VIDA%20_%20Monografia%20ANTONIO%20HARLEY%20ANSELMO_Com_Ata_R0.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

ARMSTRONG, A. J.; HAMRIN, J. **The renewable energy policy manual**. United States Export Council for Renewable Energy, Washington, USA, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Infográfico ABSOLAR nº 39 – Janeiro de 2022**. São Paulo, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16612**: Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, fotovoltaicos isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV CC entre condutores — de desempenho Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, isentos de halogênio, isolados, com cobertura, para tensão nominal até DC 1,8 kV inclusive entre condutores — Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60529**: Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP). Rio de Janeiro, 2017.

BARBOSA FILHO, W. P.; FERREIRA, W. R.; AZEVEDO, A. C. S.; COSTA, A. L.; PINHEIRO, R. B. **Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 4, p. 628-642, 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4663692/mod_resource/content/1/Solar.pdf. Acesso em: 26 out. 2022.

BARBOSA, I. S. B. **Fabricação e caracterização de uma célula solar a partir do polímero poli (N-vinilcarbazol) – PVK dopado com perclorato de lítio**. 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2014. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18389/1/IGOR%20SMALÉ%20BARROS%20BARBOSA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%c3%89TRICA%202014.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

BERTIN, A. J. O. **Análise de geração distribuída de eletricidade com tecnologia Hipotérmica em usina sucroalcooleira como vetor de economia de bagaço de cana-de-açúcar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74134/tde-02102017-112956/publico/ME7789712COR.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.

BORBA, R. F. Carvão mineral. **Balanco mineral brasileiro**, n. 1, p. 1-19, 2001. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnmp/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-carvao-mineral/@_@download/file/balanco_mineral_006_2001.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

BRANCO, P. M. Petróleo. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SG-B-Divulga/Canal-Escola/Petroleo-1256.html#:~:text=O%20petr%C3%B3leo%20%C3%A9%20um%20%C3%ADquido,hidrocarbonetos%20alif%C3%A1ticos%20%C3%ADclicos%20e%20arom%C3%A1ticos>. Acesso em: 14 maio 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos**. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 10 jun. 2022.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-637/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

BRITO, A. P. G.; OLIVEIRA, G. S. de; SILVA, B. A. da. A importância da pesquisa bibliográfica no desenvolvimento de pesquisas qualitativas na área de educação. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 44, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2354/1449>. Acesso em: 18 ago. 2022.

BRITO, R.; CAVALCANTI, E. Geração heliotérmica: uma nova opção de energia limpa para o Brasil'. In: **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Energia**. 1999. p. 1566-1575. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-38.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

BUENO, P. H. **Modelagem analítica e numérica semiempírica de células fotovoltaicas**. 2016. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AN4QU9/1/disserta__o_com_as_p_ginas__1_.pdf. Acesso em: 24 abr. 2022.

BUSSOLARO, D. Efeitos in vitro do chumbo inorgânico [Pb (II)] na resposta imunitária de macrófagos peritoneais de camundongo. **Universidade Federal do Paraná**, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Bussolaro/publication/37764330_Efeitos_in_vitro_do_chumbo_inorganico_PbII_na_resposta_imunitaria_de_macrofagos_peritoneais_de_camundongo/links/5596e12808ae793d137cb51c/Efeitos-in-vitro-do-chumbo-inorganico-PbII-na-resposta-imunitaria-de-macrofagos-peritoneais-de-camundongo.pdf. Acesso em: 23 out. 2022.

CALDAS, H. H. S.; MOISÉS, A. L. S. Geração fotovoltaica distribuída: Estudo de caso para consumidores residenciais de Salvador - BA. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 1, p. 17, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/328077906.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CÂMARA, C. F. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2011. 68 f. Monografia de Pós-Graduação (Especialização em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011. Disponível em: https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07_monografia-carlos-fernando-camara.pdf. Acesso em: 25 jun. 2022.

CÂMARA, T. **Usinas geradoras de energia**. 2018. Disponível em: https://www.canaleducacao.tv/images/slides/40254_f1995502dbff12b3731c8857344fc8d1.pdf. Acesso em: 12 jun. 2022.

CAMARGO, P. L. T. **Valoração ambiental da Cachoeira da Serrinha (Parque Estadual do Itacolomi) Mariana/MG**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFOP_b8d9c12e5384db0b414de81248e79241. Acesso em: 04 set. 2022.

CAMPOS, A. F.; SCARTATI, C. B. L.; SANTOS, L. T.; PAGEL, U. R.; SOUZA, V. H. A. Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no mundo: Aspectos ambientais e econômicos. **Revista Espacios**, v. 38, n. 1, p. 8-25, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n01/a17v38n01p08.pdf>. Acesso em: 14 maio 2022.

CARDOSO, L.; GONELLA, H. A.; ORGAES, F. S. Estudo epidemiológico das queimaduras químicas dos últimos 10 anos do CTQ-Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Queimaduras**, v. 11, n. 2, p. 74-79, 2012. Disponível em: <http://rbqueimaduras.org.br/details/105/pt-BR/estudo-epidemiologico-das-queimaduras-quimicas-dos-ultimos-10-anos-do-ctq-sorocaba-sp>. Acesso em: 29 out. 2022.

CARVALHO, V. N. **A importância do estudo de impacto ambiental como instrumento para a promoção do meio ambiente ecologicamente equilibrado**. 2014. Disponível em: https://jus.com.br/artigos/34799/a-importancia-do-estudo-de-impacto-ambiental-como-instrumento-para-a-promocao-do-meio-ambiente-ecologicamente-equilibrado#_ftn1. Acesso em: 12 maio 2022.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Barragem de hidrelétrica**. 2017. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Barragem-deHidreletrica.aspx#:~:text=O%20que%20%C3%A9%3F,as%20turbinas%20das%20unidades%20geradoras>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. **Como funciona a geração eólica?**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-funciona-a-geracao-eolica/>. Acesso em: 17 maio 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia Solar Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

CISCO, L. A.; KOCH, A. H. S.; CONDOTTA, M. P.; HOFSTATTER, R.; HARRAS, L. M.; OLEINIK, P. H.; PAIVA, M. S.; ISOLDI, L. A.; MACHADO, B. N. O Oceano como

Fonte de Energia: uma revisão da literatura. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia [recurso eletrônico]. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2021. Vol. 6, n. 2 (2020), p. 23-33.**, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/233744>. Acesso em: 15 maio 2022.

COELHO, T. F.; SERRA, J. C. V. **Tecnologias para Reciclagem de Sistemas Fotovoltaicos: Impactos Ambientais. Curitiba.** v. 15, p. 83-99, 2018. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/820>. Acesso em: 14 maio 2022.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONNOR, N. **Introdução aos Sistemas Fotovoltaicos.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.radiation-dosimetry.org/pt-br/o-que-e-band-gap-gap-de-energia-em-semicondutores-definicao/>. Acesso em: 15 maio 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Diário Oficial da União, 1986. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2022.

COSTA, A. L. C.; HIRASHIMA, S. Q. S.; FERREIRA, R. V. Operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: inspeção termográfica e limpeza de módulos FV. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 201-220, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/nYrQWs3y5BHwMLcWT5DvJdd/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 jun. 2022.

COSTA, H. R. S.; CAMARGO, P. L. T.; ALVES, F. S. **Impactos Ambientais Gerados por Painéis Fotovoltaicos.** In: X Seminário de Iniciação Científica do IFMG. Planeta IFMG, 2022, Belo Horizonte. Anais do X Seminário de Iniciação Científica do IFMG. Planeta IFMG, 2022. Disponível em: https://sistemas.bambui.ifmg.edu.br/open_conference/index.php/sic/sic2022/paper/view/469. Acesso em: 17 out. 2022.

COUTINHO, F. J. **Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional.** 2019. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029432.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2022.

DÁVI, G. A. **Avaliação do comportamento energético de um edifício residencial à energia neto positiva com sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR).** 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107504/320311.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 jun. 2022.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO (DOU, 2022). **Lei nº 14.300, 6 de Janeiro de 2022.** Diário Oficial da União - Seção: 1 - Página: 4, Brasília, 2022. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: fev. 2023.

DUARTE, K. A. **Energia das ondas e marés**. São Caetano do Sul, 2021. Disponível em: <https://recicla.se/faca-a-diferenca/energia-das-ondas-e-mares/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S.A. **Energia Nuclear**. Rio de Janeiro, [201-]. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-Nuclear.aspx#:~:text=Existem%20duas%20formas%20de%20aproveitar,para%20produzir%20um%20novo%20elemento>. Acesso em: 14 jun. 2022.

ELY, F.; SWART, J. W. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **Revista O Setor Elétrico**. p. 138-139, 2014. Disponível em: <http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional (BEN)**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 29 abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF%5B1%5D.pdf. Acesso em: 30 abr. 2022.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Most of our energy is nonrenewable**. United States, 2021. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/sources-of-energy.php>. Acesso em: abr. 2022.

EUROPEAN PARLIAMENT, COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment (WEEE)**, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:en:PDF>. Acesso em: 14 maio 2022.

FARIA, I. D. **Compensação Ambiental: os fundamentos e as normas, a gestão e os conflitos**. Senado Federal, Consultoria Legislativa, Centro de Altos Estudos, 2008. Disponível em: <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/2008%20Textos%20para%20Discuss%C3%83%C2%A3o%2043%20-%20IvanDutraFaria.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

FARIA, N. A. **Fabricação e caracterização de uma célula solar a partir do polímero poli (N-vinilcarbazol) – PVK dopado com perclorato de lítio**. 2017. 96 f.

Monografia (Especialista em Energias Renováveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18577/1/CT_CEER_I_2016_13.pdf. Acesso em: 19 abr. 2022.

FERREIRA, R. M. B. **Impacto de Elevada Cobertura de Painéis Solares no Microclima Urbano**. 2020. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2020. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/45413/1/ulfc126022_tm_Ricardo_Ferreira.pdf. Acesso em: 23 out. 2022.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. UECE – Universidade Estadual do Ceará. Curso de Especialização em Comunidades Virtuais de Aprendizagem – Informática Educativa. Ceará: Centro de Educação, 2002. Disponível em: https://blogdageografia.com/wp-content/uploads/2021/01/apostila_-_metodologia_da_pesquisa1.pdf. Acesso em: 24 ago. 2022.

FONSECA, M. N. E. Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA) para avaliação de um acidente em barragem de rejeitos: um evento de mineração no Brasil. 2018. Disponível em: https://mpei.ufba.br/sites/mpei.ufba.br/files/dissertacao_marcus_nicholas_rev_21-02-2018_correcao_pos_rev_banca_01.pdf. Acesso em: 26 ago. 2022.

FREITAS, A. P. **Viabilidade econômica de um sistema de energia solar fotovoltaico**: estudo de caso de uma residência unifamiliar em Novo Hamburgo. 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Novo Hamburgo, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18403/1/LUCAS%20SANTOS%20DE%20MELO%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202014.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2022.

GAIO, J. N.; CAMPOS, K. M. A. **Determinação do tempo ótimo para limpeza de painéis fotovoltaicos para obtenção da melhor produtividade: estudo de caso dos SFVCR's implantados na UTFPR**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/1/10082/1/CT_COELE_2017_1_15.pdf. Acesso em: 02 out. 2022.

GALDINO, M. A.; PINHO, J. T. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 17 maio 2022.

GALVÃO, P. **Chuva ácida: Estudo de caso no campus USP/SP**. 1996. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-21102015-151437/publico/Galvao_Mestrado.pdf. Acesso em: 13 out. 2022.

GARTNER, L. P.; HIATT, J. L. **Tratado de histologia em cores**. Elsevier Brasil, 2007.

GAZOLI, J. R.; VILLALVA, M. G. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. **São Paulo: Érica**, v. 2, 2012.

GHENSEV, A. **Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas**. 2006. 154 f. Monografia (Pós-graduação Latu Sensu em Fontes Alternativas de Energia.) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2006. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_almir.pdf Acesso em: 12 jul. 2022.

Gil, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas: São Paulo, 2007.

GOMES, A. J. S. **PROTEÇÃO CONTRA RAIOS E SURTOS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4165/1/Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso%20-%20Allyson%20Jos%C3%A9%20de%20Sousa%20Gomes.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2022.

GREENPRO, A. Programa Comunitário. **Energia fotovoltaica manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Europa: Comissão Europeia, 2004. Disponível em: http://www.jgduarte.com/download/greenpro_fotovoltaiico.pdf. Acesso em: 27 jul. 2022.

HAMA, P. **Estudo da influência da chuva ácida na concentração de alumínio em solos próximos a uma termoelétrica a carvão**. 2001. Tese de Doutorado. Dissertação em Tecnologia Nuclear) São Paulo. IPEN. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Patricia%20Hama_M.pdf. Acesso em: 07 out. 2022.

HESTIN, M; MONIER, V. **European Commision. Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for a Recast of the WEEE Directive**. Paris, 2011. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/weee/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf>. Acesso em: 18 maio 2022.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. p. 189-205, 2005. Disponível em: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ptBR&user=xyGjcrQAAAAJ&citation_for_view=xyGjcrQAAAAJ:9yKSN-GCB0IC. Acesso em: 17 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Minuta de termo de referência estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental EIA/Rima**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/TRPortos.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2022.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Avaliação dos Impactos Ambientais. *In*: RELATÓRIO Técnico. [S. l.: s. n.], 2017. cap. 8, p. 561-623. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2017/Estudos%20Ambientais/2018.03.06%20-%2008%20-%20An%C3%A1lise%20dos%20Impactos%20Ambientais.pdf. Acesso em: 24 ago. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Câncer de pulmão**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos/pulmao>. Acesso em: 27 out. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Matriz Elétrica Mundial**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/databrowser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 26 abr. 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels**. 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>. Acesso em: 25 out. 2022.

JANUZZI, G. DE M.; VARELLA, F. K. DE O. M.; GOMES, R. D. M. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Relatório final**. Campinas, out, 2009. Disponível em: http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf. Acesso em: 22 jul. 2022.

KAMINOSONO, A. N. **O acesso ao tratamento da fibrose pulmonar idiopática e a sustentabilidade da política de doença rara no estado do Pará**. 2020. 125 f. Trabalho de Conclusão de Mestrado (Mestre em Assistência Farmacêutica) - Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, 2020. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/586338/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20AGNES%20NAMI%20KAMINOSONO.pdf>. Acesso em: 11 set. 2022.

KEDE, M. L. F. M. **Comportamento do chumbo em Latossolos após aplicação de rocha fosfatada brasileira: subsídio para remediação ambiental de áreas contaminadas**. 2006. Tese de Doutorado. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/5373/maria_luiza_f%c3%a9lix_marques_kede_ensp_mest_2006.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 14 out. 2022.

KONZEN, B. A. D. V. **Avaliação do Ciclo de Vida de painel fotovoltaico: análise dos impactos ambientais e fim de vida em estudo de caso no sul do Brasil**. 2020. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/39197/3/2020-DISSERTACAO-BARBARAKONZEN.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.

LANA, L. T. C.; ALMEIDA, E.; DIAS, F. C. L. S.; ROSA, A. C.; SANTO, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B.; BRAZ, K. T. M. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015. Disponível em: <http://201.48.93.203/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 15 ago. 2022.

LARA, A. R. **Lesão por inalação de gás irritante**. Manual MSD. 2020. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt-br/profissional/dist%C3%BArbios-pulmonares/doen%C3%A7as-pulmonares-ambientais/les%C3%A3o-por-inala%C3%A7%C3%A3o-de-g%C3%A1s-irritante>. Acesso em: 09 set. 2022.

LECCISI, E.; RAUGEI, M.; FTHENAKIS, V. **The energy and environmental performance of ground-mounted photovoltaic systems—a timely update.** *Energies*, v. 9, n. 8, p. 622, 2016. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/622>. Acesso em: 02 jun. 2022.

LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H. Acid rain: a serious regional environmental problem. **Science**, v. 184, n. 4142, p. 1176-1179, 1974. Dissertação em Tecnologia Nuclear) São Paulo. IPEN. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.184.4142.1176>. Acesso em: 27 out. 2022.

LIMA, A. P. **Produção de gases de efeito estufa e potencial de geração de créditos de carbono em processos de tratamento de esgoto sanitário.** 2012.

Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4327/4419.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 31 out. 2022.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** 2003.

142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-03032004-153752/publico/Juliana.pdf> . Acesso em: 21 ago. 2022.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve

revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em:

<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664/508>. Acesso em: 25 maio 2022.

MACHADO, R. M. **Viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede em uma residência unifamiliar.** 2021. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em

Engenharia Civil) - Centro Universitário Christus – UNICHRISTUS, Fortaleza - Ceará, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1145/1/Rodolfo%20Moureira%20Machado..pdf>. Acesso em: 24 nov. 2022.

MACHAIEIE, D. A. **Avaliação do conhecimento sobre fontes de energia no ensino básico: caso da província de Maputo.** 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado

em Física Educacional) - Universidade Eduardo Mondlane, Maputo - Moçambique, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.uem.mz/bitstream/258/215/1/2011%20-%20Machaieie%2c%20Dinelsa%20Ant%c3%b3nio.pdf>. Acesso em: 23 maio 2022.

MALAJOVICH M. A. *Biotechnologia* 2011. Rio de Janeiro, Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. *Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados.* 6ª edição, São Paulo: Atlas, 2007.

MARKVART, T; CASTANER, L. **Practical handbook of photovoltaics. Fundamentals and applications.** Elsevier, 2003.

MEIRELLES, B. R. **Fabricação de células solares**. 2002. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2002/991446-relatoriofianal.pdf. Acesso em: 22 jul. 2022.

MELO, L. S. **Sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica: estudo de caso**. 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2014. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18403/1/LUCAS%20SANTO%20DE%20MELO%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202014.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G.; PUREZA, V. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elzevir**, 2010.

MILANI, V. G. **A importância do estudo de impacto ambiental e do relatório de impacto ambiental nos licenciamentos do Estado de São Paulo**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-14032018-114413/publico/Vivian_Galvao_Milani_versao_revisada.pdf. Acesso em: 16 ago. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Insuficiência renal crônica**. 2011. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/insuficiencia-renal-cronica/#:~:text=Insufici%C3%Aancia%20renal%20%C3%A9%20a%20condi%C3%A7%C3%A3o,%C3%A9%20lenta%20%20progressiva%20e%20irrevers%C3%ADve>. Acesso em: 07 out. 2022.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>. Acesso em: 06 jul. 2022.

MINNAERT, B. **Thin film solar cells: an overview**. 2008. Disponível em: <https://biblio.ugent.be/publication/4238935/file/4238983.pdf>. Acesso em: 04 set. 2022.

MINORI, A. M.; SOUZA, W. A.; SOUZA, R. C. R. Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12779-12791, 2019. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/2866?__cf_chl_tk=OE.d81UfOW_qQlZOaithUSqLKDFwnaGGJdNQd91dtuQ-1668460372-0-gaNycGzNCOU. Acesso em: 17 jun. 2022.

MIRANDA, R. T.; LEANDRO, F. S.; SILVA, T. C. **Gestão do Fim de Vida de Módulos Fotovoltaicos**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.8, n.1, p. 364- 383, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tatiane-Silva-17/publication/332049550_GESTAO_DO_FIM_DE_VIDA_DE_MODULOS_FOTOVO LTAICOS/links/5daa02f092851c577eb840d5/GESTAO-DO-FIM-DE-VIDA-DE-MODULOS-FOTOVOLTAICOS.pdf. Acesso em: 16 abr. 2022.

MONTEIRO, M. C. **Células fotovoltaicas de silício cristalino: tecnologias e processos de fabricação**. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - Paraíba, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/18685/M%C3%94NICA%20DA%20COSTA%20MONTEIRO%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2004. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v15n2/20821.pdf>. Acesso em: 24 out. 2022.

MULVANEY, D. **Solar Power: Innovation, Sustainability, and Environmental Justice**. Okland: University of California Press, 2019.

NAIME, R. **Meio físico e meio ambiente**. 2014. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2014/05/29/meio-fisico-e-meio-ambiente-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 19 out. 2022.

NETO, P. B. L.; SAAVEDRA, O, R.; CAMELO, N. J.; RIBEIRO, L. A. S.; FERREIRA, R. M. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 19, n. 2, p. 219-232, 2011. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052011000200007&script=sci_arttext. Acesso em: 21 maio 2022.

NUNEZ, C. What is nuclear energy. **What is nuclear energy**. 2019. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/nuclear-energy>. Acesso em: 22 maio 2022.

OLIVEIRA, E. V. **Processos de reciclagem de módulos fotovoltaicos de primeira geração**. 2021. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energias Renováveis) - Universidade Federal do Ceará, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/65187/1/2021_tcc_evolveira.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

OLIVEIRA, L. H. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica**. 2018. 63 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica.) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23228/1/DimensionamentoSistemaFotovoltaico.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração do Rio sobre meio ambiente e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: ONU, 1992. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/declaracao_ri_o_ma.pdf. Acesso em: 16 ago. 2022.

PAULILO, G.; TEIXEIRA, M. D. **Qualidade de energia. In: variações de tensão de longa duração**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em:

https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/02/Ed84_fasc_qualidade_energia_cap1.pdf. Acesso em: 17 abr. 2022.

PEREIRA, C. A. C. **Introdução aos Sistemas Fotovoltaicos**. [S. l.], 2014. Disponível em: http://drpereira.com.br/?page_id=27. Acesso em: 15 nov. 2022.

PEREIRA, E. P.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RUTHER, R. ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf. Acesso em: 27 abr. 2022.

PEROZA, J. **Caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos de distintas tecnologias a partir de ensaios com simulador solar e iluminação natural**. 2015. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/164555/TCC%20final%20-%20Josiane%20Peroza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 jun. 2022.

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; SOUZA, H. M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. **Sistemas híbridos**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 398 p. ISBN isbn 978-85-98341-02-6.

PRADO, D. A. **Fabricação e caracterização de uma célula solar a partir do polímero poli (N-vinilcarbazol) – PVK dopado com perclorato de lítio**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-25092008-115103/publico/Dissertacao_Mestrado_USP_Daniel_Augusto_Prado_rev_1.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

PRAKASH, A.; RAYABAGI, S. T.; UMA RAO, K.; SAXENA, S. **Challenges in manufacturing and end-of-life recycling or disposal of solar PV panels**. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering. v. 10, n. 3, p. 71-87, 2015. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol10-issue4/Version3/M010438187.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2022.

PUPIN, P. C. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida**. 2019. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1939/1/dissertacao_2019054.pdf. Acesso em: 29 set. 2022.

QUEIROZ, R.; GRASSI, P.; LAZARE, K.; KOPPE, E.; TARTAS, B. R.; KERMERICH, P. D. C. Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, p. 2774-2784, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/9124>. Acesso em: 27 jul. 2022.

RAHMAN, M. M.; ALAM, C. S.; AHSAN, A. T. M. A Life Cycle Assessment Model for Quantification of Environmental Footprints of a 3.6 kW p Photovoltaic System in Bangladesh. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 8, n. 2, 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/0681/273db86e9881a5ce7c3edf1dd933a7ffbbf0.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

RAMOS, C.; RUIZ, E. T. N. F.; BICALHO, F. W.; BARBOSA, J. M.; BARROS, L. M.; RABASSA, M. M. M. **Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Brasília: Sebrae, 2018. 364 f. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/estudo%20energia%20fotovolt%C3%A1ica%20-%20baixa.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

RATHORE, N.; PANWAR, N. L. **Strategic overview of management of future solar photovoltaic panel waste generation in the Indian context**. Waste Management & Research, v. 40, n. 5, p. 504-518, 2022. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X211003977>. Acesso em: jun. 18 2022.

REIS, D. C. **Análise crítica do processo de licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1138M.PDF>. Acesso em: 17 out. 2022.

REIS, N, N. **Instalações elétricas Londrina**. Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p. Disponível em: http://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201702/INTERATIVAS_2_0/INSTALACOES_ELETRICA_S/U1/LIVRO_UNICO.pdf. Acesso em: 06 jun. 2022.

RELLA, R. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Revista de Iniciação Científica, Criciúma, v. 15, n. 1, 2017 | ISSN 1678-7706. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/iniciacaocientifica/article/view/2937/3530>. Acesso em: 04 jul. 2022.

RIBEIRO, L. H. P. **Energia Solar: importância, implantação, instalação, vantagens e durabilidade de um sistema de energia renovável**. 2018. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, Varginha - MG, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/597/1/TCC%20-%20Mec%C3%A2nica%20A%20-%20Luiz%20H%20P%20Ribeiro.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

ROCHA, R.; PEZZINI, M. F.; POETA, J. Fontes de contaminação pelo chumbo e seus efeitos tóxicos na saúde ocupacional. **Ciência em Movimento**, v. 19, n. 39, p. 23-32, 2017. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-ipa/index.php/CMBS/article/view/567/492>. Acesso em: 31 out. 2022.

RODRIGUES, M. C. C. **Avaliação de Impacto Ambiental da fazenda Nossa Senhora da Aparecida**. Ananás - TO, 2013. Disponível em: https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2017/Estudos%20Ambientais/2018.03.06%20-%2008%20-%20An%C3%A1lise%20dos%20Impactos%20Ambientais.pdf. Acesso em: 24 ago. 2022.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1 ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SÁ, T. D. **Relatório de impacto ambiental - RIMA**. Fortaleza - Ceará, 2010. Disponível em: https://sudema.pb.gov.br/consultas/downloads/arquivos-eia-rima/lord/rima/lord_vol_ii_rima.rar/view. Acesso em: 19 out. 2022.

SANTANA, L. S. **Introdução aos Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. rev. São Paulo: [s. n.], 2008. 88 p. Disponível em: www.bluesol.com.br. Acesso em: 22 maio 2022.

SANTOS, E. **Análise de problemas relacionados a construção civil decorrentes das instalações fotovoltaicas**. 2019. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/NAIMA/4660/1/TCC2_Erick%2028-11-2019%20RIUNI-assinaturas.pdf. Acesso em: 30 maio 2022.

SANTOS, E. M; FAGÁ, M. T. W.; BARUFI, C. B.; POULALLION, P. L. Gás natural: a construção de uma nova civilização. **Estudos Avançados**, v. 21, p. 67-90, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/gRVsz4sLDyyMTFLw7hgCRWQ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

SANTOS, E. P. **Mercado no Brasil para o uso de energias renováveis e ações de eficiência energética**. 2020. 131 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2020. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/019/52019908.pdf Acesso em: 28 maio 2022.

SANTOS, R. A. **Estudos de caso e comparação da viabilidade econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid**. 2019. 147 f. Trabalho de Conclusão De Curso (Bacharel Em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/33936-santos,-r.-a.-estudo-de-caso-e-comparacao-da-viabilidade-economica-para-a-implementacao-de-um-sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid.-tcc,-2019..pdf>. Acesso em: 27 ago. 2022.

SATPATHY, R.; PAMURU, V. Rooftop and BIPV solar PV systems. **Solar PV Power**, p. 317-364, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-photovoltaic-system>. Acesso em: 18 maio 2022.

SEVERINO, J. A. **Metodologia do trabalho científico**. 1. ed. rev. São Paulo: Cortez, 2013. 274 f. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulga%C3%A7%C3%A3o/LIVROS/Metodologia_do_Trabalho_Cient%C3%ADfico_-_1%C2%AA_Edi%C3%A7%C3%A3o_-_Antonio_Joaquim_Severino_-_2014.pdf. Acesso em: 02 ago. 2022.

SILVA, D. M. **Sistema para ensaio de desempenho de ventiladores pulmonares**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103172/243969.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 set. 2022.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005. Disponível em: <http://www5.eesc.usp.br/portaldeconhecimentos/index.php/por/Conteudo/Metodologia-da-pesquisa-e-elaboracao-de-dissertacao>. Acesso em: 30 ago. 2022.

SILVA, H. T. **Estudo sobre a interação de métodos anti-ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão com múltiplos inversores**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-28062016-151006/publico/HumbertoTrindadedeSilvaCorr16.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2022.

SILVA, I. M. Gás natural: a sua utilização na geração de energia elétrica no Brasil. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, [s. l.], v. 1, p. 103-107, 2010. Disponível em: <https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/issue/view/91>. Acesso em: 05 maio 2022.

SILVA, J. P. V. **Energia solar no brasil**: Uma fonte alternativa para geração de energia elétrica. 2018. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade Pitágoras de São Luís, São Luís, 2018. Disponível em: https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/25260/1/JANAINA_SILVA_ATIVIDADE1.pdf. Acesso em: 28 jul. 2022.

SILVA, V. A. **Estudo Numérico e Experimental da Convecção Natural em Dissipadores com Aletas Retangulares**. 2020. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá - MG, 2020. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2183/1/Tese_2020019.pdf. Acesso em: 27 jul. 2022.

SIMIONI, T. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do brasil**. 2017. 222 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/T%C3%A1ssio_Simioni.pdf. Acesso em: 24 abr. 2022.

SIQUEIRA, L. M. P. **Viabilidade da microgeração de energia elétrica em uma residência por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede**. 2013. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/rep-download.php?farquivo=monopoli10008110.pdf&fcodigo=1163>. Acesso em: 12 maio 2022.

SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SOUZA, M. C. **Câncer de pulmão: tendências de mortalidade e fatores associados à sobrevida dos pacientes do Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva**. 2012. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/14354/609.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 out. 2022.

Summers K. Radde J. **Potential health and environmental impacts associated with the manufacture and use of photovoltaic cells**, EPRI, Palo Alto, CA, and California Energy Commission, Sacramento, CA: 2003.

TEIXEIRA, R. C. **Implementação de um sistema LPCVD vertical para obtenção de filmes finos de silício policristalino**. 2001. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=466726>. Acesso em: 31 out. 2022.

TEIXEIRA, R. E. P. **Projeto, execução e análise de um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica em uma unidade residencial no município de Paulo Afonso-BA**. 2017. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Paulo Afonso, Paulo Afonso – BA, 2017. Disponível em: https://portal.ifba.edu.br/paulo-afonso/anexos/anexos-cursos/graduacao/Engenharia_Eletrica/TCC-EE/2017/TCC%20-%20RuiTeixeira.pdf/view. Acesso em: 31 jul. 2022.

TERÁN, J. E. C. **Educação em saúde: silicose**. 2010. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família) - Universidade Federal de Minas Gerais, Polo Corinto, Corinto – MG, 2010. Disponível em: <https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/2543.pdf>. Acesso em: 30 set. 2022.

TERRA FILHO, M.; SANTOS, U. P. Silicose. **Jornal Brasileiro de pneumologia**, v. 32, p. S41-S47, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/9df97NqpCcC8svNRJgBTGYP/?lang=pt>. Acesso em: 28 out. 2022.

THOMAS, L. **The Environmental Impacts of Photovoltaic Technology**. 2019. Disponível em: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=831>. Acesso em: 28 jun. 2022.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, Cinergia, 2003.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos CEBRAP**, p. 47-69, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/nec/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/lang=pt>. Acesso em: 16 jun. 2022.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. **Environmental impacts from the solar energy technologies**. *Energy policy*, v. 33, n. 3, p. 289-296, 2005. Disponível

em: https://www.academia.edu/3530462/Environmental_impacts_from_the_solar_energy_technologies. Acesso em: 15 jun. 2022.

UNITED, STATES GEOLOGICAL SURVEY. **What is coal used for?**. [201-]. Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/what-coal-used>. Acesso em: 14 nov. 2022.

WÜNSCH, B. F. **Efeitos do tratamento com frutose-1, 6-bisfosfato sobre o perfil celular de fibroblastos de pacientes com fibrose pulmonar idiopática**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufcspa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1770/1/5BDISSERTA%C3%87%C3%83O%5D%20W%C3%BCnsch%2C%20B%C3%A1rbara%20Feij%C3%B3.pdf>. Acesso em: 18 out. 2022.

XIAOLONG, H.; YONGWEI, W.; HU NING; WEIDONG, C. **Simulação do impacto de telhados solares fotovoltaicos no ambiente térmico urbano e oferta e demanda de energia**. Acta Meteorology, v. 78, n. 2, p. 301-316, 2020. Disponível em: http://html.rhhz.net/qxxb_cn/html/2020015.htm#zz. Acesso em: 25 set. 2022.

YABUTA, Y. F. **Impacto Ambiental da Fabricação do Silício Fotovoltaico**. 2016. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/18702/YUKIO%20FERREIRA%20YABUTA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202016.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 set. 2022.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 1a ed. São Paulo, SP: Oficina de TEXTOS, 2012, 208P.