



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUIZA SIQUEIRA DE SOUZA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO
CEARÁ

FORTALEZA

2025

LUIZA SIQUEIRA DE SOUZA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO
CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O48a Oliveira, Luiza Siqueira de Souza.
 Avaliação dos impactos ambientais de usinas fotovoltaicas no Ceará / Luiza Siqueira de Souza
 Oliveira. – 2025.
 73 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de
Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2025.
 Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.
1. Energia. 2. Usina fotovoltaica. 3. Impactos ambientais. I. Título.
- CDD 628
-

LUIZA SIQUEIRA DE SOUZA OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 20/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Danylo de Andrade Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, especialmente aos meus avós por todo suporte e acolhimento em Fortaleza. Muito obrigada por me receberem em sua casa ao longo desses anos e por todo carinho, oportunidades e momentos únicos e incríveis que vocês me proporcionaram, não só nesse período da graduação, mas desde sempre.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram. À minha mãe, por ser uma pessoa em quem pude confiar e recorrer em todos os momentos, mesmo à distância, durante esse período. Ao meu pai, por mensagens de apoio em momentos desafiadores. À minha madrastra, por todos os conselhos, por me escutar com paciência e por ser alguém em quem confio plenamente. Sou muito grata a vocês por tudo, muito obrigada pelo apoio e torcida constantes.

À Professora Ana Bárbara por toda orientação recebida desde o período em que participei do PET Engenharia Ambiental e por todo o auxílio para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos que foram fundamentais em minha jornada. Agradeço a cada um de vocês pelo apoio, pela cumplicidade e por estarem ao meu lado tanto nos momentos felizes quanto nos mais desafiadores.

Por fim, agradeço imensamente a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigada por todo suporte, apoio e carinho.

RESUMO

O consumo de energia elétrica é crescente e, com ele, a busca por alternativas de geração de fontes renováveis, a fim de se minimizar os impactos ambientais em um cenário em que a preocupação com as mudanças climáticas e com a redução das emissões de gases de efeito estufa é primordial. Com isso, as usinas fotovoltaicas têm ganhado destaque e incentivos fiscais, fazendo com que seu avanço seja expressivo. O objetivo deste trabalho é analisar o contexto em que as usinas fotovoltaicas estão inseridas no Ceará, identificar e comparar os impactos gerados por estes empreendimentos a partir da análise de estudos de impactos ambientais. A metodologia adotada resume-se na seleção de oito estudos disponíveis no acervo da SEMACE, dando preferência àqueles que foram elaborados por empresas de consultoria distintas, para projetos a serem estabelecidos em municípios diferentes, realizando a comparação dos impactos mencionados por cada um deles. Como resultado, tem-se que a maioria dos impactos ambientais são adversos e afetam principalmente o meio socioeconômico, sendo derivados da fase de implantação do projeto, fato já esperado para atividades de construção civil, o que leva a conclusão de que toda atividade gera impacto no meio ambiente e, no caso das usinas fotovoltaicas, o primordial é perceber que estes impactos são atenuados na sua fase de operação, na qual não há emissão de gás carbônico (CO₂). Porém, ainda há muito o que ser analisado e estudado, restando o desafio de se ampliar os locais de destino para os painéis fotovoltaicos, considerando a reciclagem ao final de sua vida útil.

Palavras-chave: energia; usina fotovoltaica; impactos ambientais.

ABSTRACT

The consumption of electricity is growing and, with it, the search for alternatives for generating renewable sources, in order to minimize environmental impacts in a scenario in which concern with climate change and the reduction of greenhouse gas emissions is paramount. As a result, photovoltaic plants have gained prominence and tax incentives, making their progress significant. The objective of this work is to analyze the context in which photovoltaic plants are inserted in Ceará, to identify and compare the impacts generated by these projects from the analysis of environmental impact studies. The methodology adopted is summarized in the selection of eight studies available in the SEMACE collection, giving preference to those that were prepared by different consulting companies, for projects to be established in different municipalities, comparing the impacts mentioned by each of them. As a result, most environmental impacts are adverse and mainly affect the socioeconomic environment, being derived from the implementation phase of the project, a fact already expected for civil construction activities, which leads to the conclusion that every activity generates an impact on the environment and, in the case of photovoltaic plants, the essential thing is to realize that these impacts are mitigated in their operation phase, in which there is no emission of carbon dioxide (CO₂). However, there is still much to be analyzed and studied, leaving the challenge of expanding the destination locations for photovoltaic panels, considering recycling at the end of their useful life.

Keywords: energy; photovoltaic plant; environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da Energia Fotovoltaica	17
Figura 2 – Linha do Tempo	21
Figura 3 – Geração de energia solar, 2023 - Geração de eletricidade a partir de energia solar, medida em terawatts-hora (TWh) por ano.....	22
Figura 4 – Matriz Elétrica Brasileira	26
Figura 5 – Evolução da oferta total de energia no Brasil desde 2000	27
Figura 6 – Ranking de Geração Centralizada no Brasil	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz Elétrica Brasileira	24
Quadro 2 – Capacidade Instalada por Estado	25
Quadro 3 – Potencial Poluidor Degradador por porte de Usinas Solares Fotovoltaicas ..	32
Quadro 4 – Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais	37
Quadro 5 – Identificação, Características e Localização dos Empreendimentos	40
Quadro 6 – Métodos de Avaliação dos Impactos Ambientais por Empreendimento	42
Quadro 7 – Classificação dos Impactos Ambientais por Empreendimento	45
Quadro 8 – Relação dos Impactos Ambientais por Empreendimento	49
Quadro 9 – Medidas Mitigadoras Propostas pelos Empreendimentos	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AID	Área de Influência Direta
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COELCE	Companhia Energética do Ceará
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COP	Conferência das Partes
DDS	Diálogo Diário de Segurança
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPC	Equipamento de Proteção Coletivo
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GEE	Gases de Efeito Estufa
GW	Gigawatt
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEA	<i>International Energy Agency--</i>
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
KW	Kilowatt
LEER	Leilão de Energia de Reserva
LI	Licença de Instalação
LP	Licença Prévia
LIO	Licença de Instalação e Operação
LO	Licença de Operação
MW	Megawatt

MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MME	Ministério de Minas e Energia
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
NREL	Energia Renovável dos Estados Unidos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PAC	Plano Ambiental para Construção
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
PCMSO	Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional
PERS	Programa de Energia Renovável Social
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PNE 2050	Plano Nacional de Energia 2050
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SIGA	Sistema de Informações de Geração da ANEEL
TWh	Terawatt-hora

LISTA DE SÍMBOLOS

\$ Dólar

% Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos Específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Usina Fotovoltaica	16
2.2	Surgimento das Usinas Fotovoltaicas	18
2.2.1	<i>Histórico</i>	<i>18</i>
2.2.2	<i>Linha do Tempo</i>	<i>19</i>
2.3	Produção de Energia Solar	21
2.3.1	<i>Produção de Energia Solar no Mundo</i>	<i>21</i>
2.3.2	<i>Produção de Energia Solar no Brasil</i>	<i>23</i>
2.3.3	<i>Produção de Energia Solar no Ceará</i>	<i>28</i>
2.4	Investimentos em Energia Solar	29
2.5	Licenciamento Ambiental	30
2.5.1	<i>Licenciamento Ambiental para Usinas Fotovoltaicas no Ceará</i>	<i>31</i>
2.6	Estudos Ambientais para Usinas Fotovoltaicas	32
2.7	Avaliação de Impactos Ambientais	35
2.8	Impactos Ambientais de Usinas Fotovoltaicas	38
3	METODOLOGIA	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energias renováveis tem se intensificado nos últimos anos, impulsionada pela crescente preocupação com a preservação ambiental e a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que tem favorecido o avanço de alternativas sustentáveis, como a energia solar (UNICEF, 2024). No Brasil, onde se tem altos níveis de radiação solar, essa fonte de energia apresenta um grande potencial, sendo possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha (Atlas, 2017).

Para o Ministério de Minas e Energia (MME), a produção de energia por meio do efeito fotovoltaico é uma excelente opção para o meio ambiente, a sociedade e a economia, pois considera que o maior impacto ao meio ambiente seria a extração do silício utilizado nas placas solares, as quais apresentam vida útil longa e não liberam gás carbônico em seu funcionamento. Ademais, destaca que muitos empreendimentos no ramo estão relacionados a compensações socioambientais nas regiões em que as placas são instaladas (MME, 2024).

De acordo com o SEEG (2024), os impactos ambientais decorrentes da produção de energia solar fotovoltaica começam na extração dos minerais para a elaboração das placas solares, processo no qual demanda um grande consumo de energia. Enquanto apresenta como um dos grandes benefícios a sua capacidade de adequação à geração distribuída e centralizada.

Segundo ABSOLAR (2020), com o uso da fonte de energia solar, foram evitados que mais de 50 milhões de toneladas de gás carbônico fossem para a atmosfera, sendo as usinas fotovoltaicas grandes aliadas ao processo de descarbonização. Para Lira *et al.* (2019), com o seu uso, existe a vantagem de se reduzir tanto as emissões de gases de efeito estufa quanto a perda de energia elétrica.

Para considerar que um empreendimento de geração de energia é sustentável, é necessário considerar todo o seu ciclo de vida, bem como todos os serviços e produtos envolvidos, uma vez que se pode ter emissões de produtos tóxicos na produção de suas matérias-primas (Ramos; Durante; Callejas, 2017). Considerando os impactos ambientais provenientes do processo de instalação do empreendimento, pode-se destacar a supressão vegetal, refúgio de fauna, mudança de seu habitat, alterações paisagísticas, entre outros (Nascimento *et al.*, 2022).

Durante a fase de instalação de sistemas fotovoltaicos, diversos resíduos de construção podem ser gerados como subproduto do processo de montagem das placas solares. Esses resíduos incluem, por exemplo, as embalagens dos painéis, pedaços de cabos e resíduos

provenientes de placas quebradas devido ao manuseio inadequado ou aos danos ocorridos durante o transporte destas (Costa; Camargo; Alves, 2024).

O Ceará tem um grande potencial em geração de energia solar principalmente por apresentar condições geográficas favoráveis, com elevados níveis de irradiação por todo o seu território. Apresenta um papel fundamental no avanço das usinas fotovoltaicas no país, atraindo muitos investimentos e gerando emprego e renda (ABSOLAR, 2023), além de ter sido o grande precursor no desenvolvimento de usinas fotovoltaicas no Brasil, uma vez em que foi onde se implementou a primeira usina com uso dessas tecnologias (CEARÁ, 2011). Dessa forma, com o avanço desses empreendimentos é preciso avaliar e estudar os possíveis impactos resultantes dessa atividade para se evitar danos futuros e garantir um desenvolvimento sustentável.

1.1 Objetivo Geral

- Apresentar uma análise dos impactos ambientais gerados por usinas fotovoltaicas de geração centralizada instaladas no Ceará.

1.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar as usinas fotovoltaicas no Ceará
- Analisar os Estudos de Impactos Ambientais das usinas fotovoltaicas no Ceará
- Comparar os Impactos Ambientais nos estudos analisados
- Realizar uma análise crítica dos impactos ambientais identificados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Usina Fotovoltaica

O sistema de energia solar fotovoltaica consiste na transformação das ondas eletromagnéticas da luz do sol em eletricidade, sendo que esse processo ocorre por meio de painéis, cujos módulos são responsáveis por transformá-la em corrente contínua. Logo em seguida, tem-se os inversores, que realizam a transformação da corrente contínua em alternada. Em alguns casos, esse sistema pode contar com baterias para armazenamento (ABSOLAR, 2024).

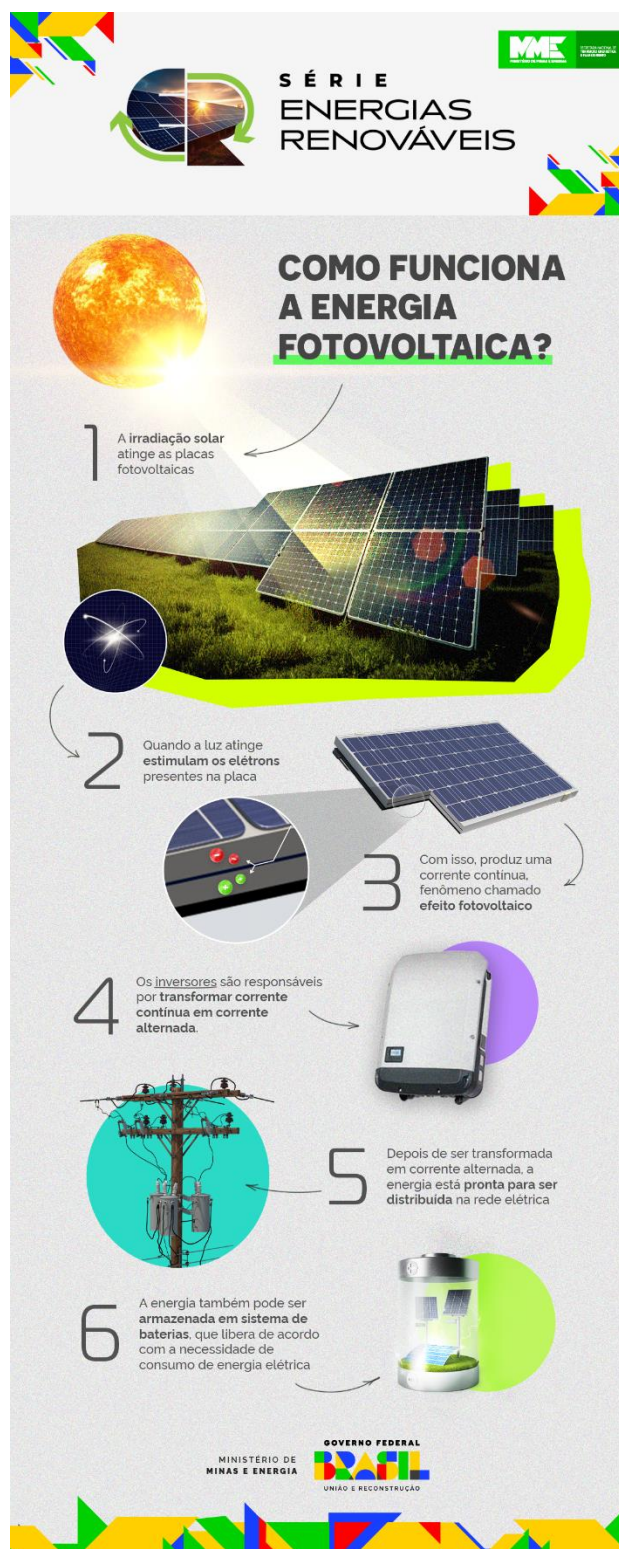
No caso das usinas solares, existem duas possibilidades de conversão da energia do sol em eletricidade: as usinas solares térmicas e as fotovoltaicas. No funcionamento das primeiras, a energia solar é utilizada para aquecer fluidos, como a água. Já as usinas fotovoltaicas convertem diretamente a luz solar em eletricidade. A geração de eletricidade fotovoltaica pode ocorrer de duas formas: distribuída e centralizada (BNDES, 2018).

“Na geração distribuída, os sistemas podem ser isolados ou conectados à rede elétrica. Os principais componentes de um sistema fotovoltaico isolado de geração de energia são os seguintes: painel fotovoltaico, controlador de carga, inversor e banco de baterias” (BNDES, 2018). Trata-se dos sistemas fotovoltaicos de pequeno e médio porte, com capacidade instalada de até 5 MW, localizados próximos aos consumidores, podendo atender ao consumo próprio, ser compartilhado em condomínios e gerar crédito a partir de seu excedente (ABSOLAR, s.d.).

O processo de geração de energia de forma centralizada consiste na produção de energia solar em locais distantes dos pontos de consumo, apresentando instalações com diversos painéis solares interconectados, os quais podem contar com rastreadores para se realizar o acompanhamento do percurso solar (BNDES, 2018). Engloba projetos com potências superiores a 5 MW, tratando-se de usinas de grande porte (ABSOLAR, s.d.).

A partir da análise da Figura 1, é possível observar como ocorre o funcionamento da geração de energia elétrica por meio do fenômeno fotovoltaico.

Figura 1 – Funcionamento da Energia Fotovoltaica



Fonte: MME (2024).

Além disso, atualmente, tem-se a possibilidade de estabelecer usinas fotovoltaicas flutuantes, nas quais as placas solares são colocadas em espelhos d'água, sendo uma alternativa

de associação das tecnologias solar fotovoltaica com as usinas hidrelétricas. Com isso, há um ganho de eficiência do processo de geração de energia, pois a temperatura de operação dos módulos instalados sobre a água é inferior à dos instalados em solo, evitando a perda de eficiência causada pelo aquecimento excessivo dos painéis. No entanto, esse benefício ainda não é totalmente comprovado (EPE, 2020).

A principal diferença entre as usinas fotovoltaicas flutuantes e os sistemas convencionais, em terra, é a plataforma flutuante utilizada, que conta com ancoragem e ancoradouro. Esse tipo de sistema, além de melhorar a eficiência ao reduzir a temperatura de operação dos painéis solares, também contribuem para a diminuição da evaporação nos reservatórios. Esse benefício é especialmente relevante em regiões com escassez de água. No entanto, algumas desvantagens também são observadas, como o acúmulo de dejetos de pássaros e o impacto na vida aquática local, que devem ser considerados ao planejar a implementação dessas usinas (EPE, 2020).

2.2 Surgimento das Usinas Fotovoltaicas

2.2.1 Histórico

As usinas fotovoltaicas têm se tornado uma importante alternativa para a geração de energia, apresentando um crescimento significativo nos últimos anos em escala global. Embora essa tecnologia tenha origens antigas, sua evolução e adoção em grande escala são fenômenos relativamente recentes.

A descoberta do efeito fotovoltaico ocorreu em meados do século XVIII, em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel, porém foi apenas em 1954, nos Estados Unidos, que surgiu a primeira célula fotovoltaica moderna, desenvolvida por Calvin Fuller, nos laboratórios Bell (Oliveira *et al.*, 2022). Ao final da década de 50, também nos Estados Unidos, a energia solar foi utilizada para fornecer energia para satélites espaciais (EIA, 2023).

Na década de 70, com a crise do petróleo, ocorreu um interesse maior por fontes de energias renováveis, havendo um crescimento de investimentos neste setor, mas foi entre os anos 2000 e 2010, que se teve um avanço significativo em tecnologias de energia solar, sendo o ano de 2022, um grande destaque para a capacidade de geração desta fonte (SolarPower Europe, s.d.).

Em relação ao Ceará, o uso de energia solar ocorreu inicialmente em 1992, através de uma parceria firmada entre a Companhia Energética do Ceará (COELCE), o Centro de

Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (NREL), sendo responsáveis por implementar sistemas de eletrificação residencial a partir da energia solar na cidade de Cardeiro (CRESESB, 2006). Porém, foi apenas em 2011 que foi implementada a primeira usina fotovoltaica centralizada do estado e do país na cidade de Tauá (CEARÁ, 2011).

2.2.2 Linha do Tempo

O uso de energia solar fotovoltaica é bem antigo, seu início se deu com a descoberta do efeito fotovoltaico em 1839, quando o físico francês Edmond Becquerel realizou um experimento com uma célula eletroquímica e observou uma diferença de potencial entre dois eletrodos (Lima *et al.*, 2019).

Posteriormente, em 1887, o efeito fotoelétrico foi observado Hertz, a partir de estudos sobre a detecção de ondas eletromagnéticas, sendo essa teoria aprimorada em 1905 por Einstein (Silva; Assis, 2012). Anos mais tarde que foi surgir a primeira célula fotovoltaica moderna, em 1954, por meio da criação do primeiro painel solar desenvolvido pela empresa americana *Bell Labs* (SolarPower Europe, s.d.).

Posteriormente, ao final da década de 50, o uso da energia solar como fonte alternativa passou a ser uma realidade nos Estados Unidos, em que se utilizava a energia solar para geração de eletricidade a fim de se fornecer energia a satélites (EIA, 2023). Em se tratando do Brasil, mas precisamente do estado do Ceará, o início do seu uso foi ocorrer apenas em 1992, por meio da realização de uma parceria entre a Companhia Energética do Ceará (COELCE), o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (NREL) (CRESESB, 2006).

Um marco muito importante, sendo um incentivo para o avanço dessa tecnologia, foi a criação do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) em 1994. Iniciativa do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE) e do Ministério de Minas e Energia, tendo como objetivo promover o aproveitamento das fontes de energia descentralizadas e viabilizar a instalação de microssistemas energéticos de usos locais por comunidades carentes isoladas (BRASIL, 1994).

Porém, com relação às fontes de energia fotovoltaicas de geração centralizada, a primeira usina da América Latina, do Brasil e do Ceará surgiu muitos anos depois, em 2011, sendo implementada na cidade de Tauá (CEARÁ, 2011). No ano seguinte, outro marco muito importante para a história do uso da energia solar no país foi a criação da Resolução Normativa

Nº 482, da Aneel em 2012, na qual se estabeleceu condições gerais de acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2022).

Em 2014, dois anos após essa regulamentação, ocorreu o primeiro Leilão de Energia de Reserva (LEER), com o leilão nacional de energia solar fotovoltaica que resultou em 31 contratos de energia solar fotovoltaica em larga escala, com capacidade total de 889,66 MWac (ABSOLAR, 2020). Visando ampliar o uso dessa fonte energética, em 2015, foi realizado o aprimoramento da Resolução Normativa Nº 482/2012, a partir da Resolução Normativas Nº 687/2015, que determinou modificações acerca dos limites de potência instalada e estabelecimento de novas modalidades de participação do sistema de compensação (ANEEL, 2022).

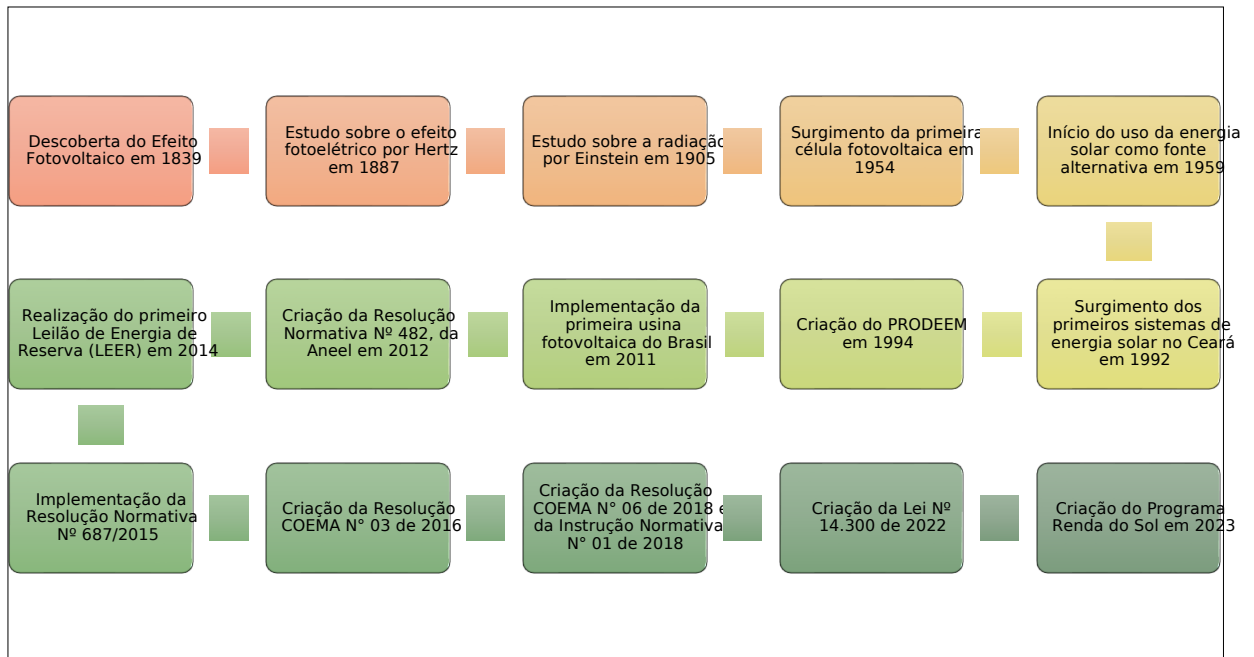
Além disso, no contexto de crescimento desse setor, novas regulamentações surgiram, expandindo-se para o processo de licenciamento ambiental. Foi implementada a Resolução Nº 03 do COEMA em 2016, que estabeleceu a isenção de licença ambiental para sistemas de minigeração solar fotovoltaica com potência menor ou igual a 2 megawatts (MW), a serem instalados em telhado ou fachada, podendo ser em terrenos presentes em áreas urbanas ou rurais (CEARÁ, 2016).

Com relação aos empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar que requerem licenciamento e autorização ambiental no Ceará, teve-se a implementação da Resolução COEMA Nº 06 de 2018, tratando dos critérios e parâmetros a serem aplicados. Além disso, teve-se, no mesmo ano, a criação da Instrução Normativa Nº 01 de 2018 da SEMACE, tratando do conteúdo mínimo a estar contido nos estudos destinados aos projetos de geração de energia elétrica por meio das fontes solar fotovoltaica e eólica em superfície terrestre (CEARÁ, 2018).

Por fim, vale ressaltar outras iniciativas muito importantes para a ascensão do uso de fontes solares, bem como a criação da Lei Nº 14.300 de 2022, sendo responsável por instituir o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS) (BRASIL, 2022). Também se destaca a criação do Programa Renda do Sol em 2023 pela Lei Complementar Nº 314/2023, como forma de incentivo ao uso de energia solar no Ceará, tendo como objetivo principal a geração de renda (CEARÁ, 2023).

Em síntese, tem-se Figura 2, que traz alguns eventos fundamentais para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, por meio e uma linha do tempo.

Figura 2 – Linha do Tempo



Fonte: Autora (2025).

2.3 Produção de Energia Solar

2.3.1 Energia Solar no Mundo

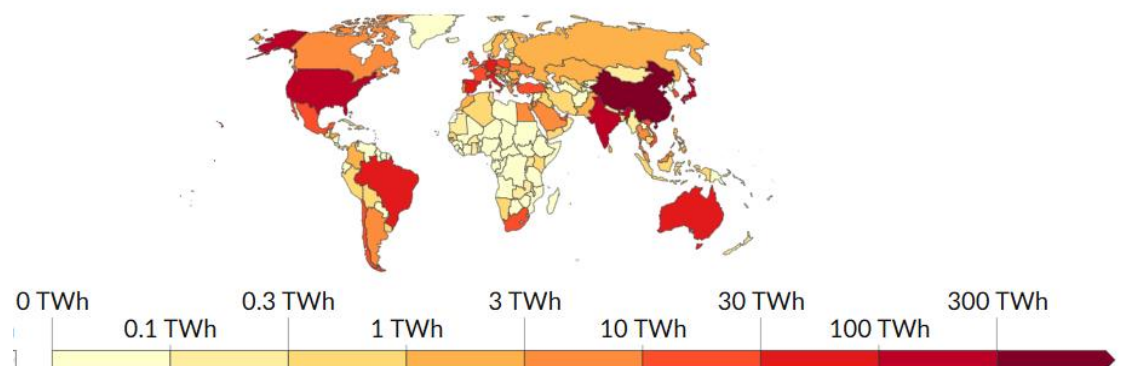
A geração de energia por meio de fontes solares tem ganhado força mundialmente, principalmente em decorrência da preocupação em se adotar fontes de energia renováveis a fim de se consolidar uma transição energética, com o intuito de se cumprir as metas determinadas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando-se a redução das emissões de gases de efeito estufa. Somado a isso, tem-se o crescimento de incentivos políticos e a queda nos custos de produção dos painéis solares, resultando em seu destaque no mercado internacional e na geração de novos empregos no ramo.

Segundo a SolarPower Europe (2024), a energia solar é a fonte energética que mais cresce no mundo, sendo destaque em comparação com as outras fontes energéticas, uma vez que apresenta a maior taxa de crescimento de geração de eletricidade. Em se tratando de números, pode-se destacar o final do ano de 2020, em que a capacidade total instalada de energia solar fotovoltaica atingiu 710 GW a nível global, sendo adicionados cerca de 125 GW de nova capacidade solar fotovoltaica, a maior adição de capacidade de qualquer fonte de energia renovável (IRENA, s.d.).

A energia solar fotovoltaica teve um aumento de 26% em 2022, o que representou um aumento recorde de 270 TWh, atingindo cerca 1300 TWh, tendo o maior crescimento absoluto de geração de energia em relação a todas as outras fontes renováveis. Em 2023, foi responsável, individualmente, por três quartos das adições de capacidade renovável em todo o mundo, um resultado que está alinhado com a meta de se atingir emissões líquidas zero até 2050 (IEA, 2023).

Com relação aos países onde se teve a maior geração de energia solar em 2023, pode-se destacar os dez países seguintes: China (584,15 TWh), Estados Unidos (238,12 TWh), Índia (113,41 TWh), Japão (109,36 TWh), Alemanha (61,56 TWh), Brasil (51,72 TWh), Austrália (46,91 TWh), Espanha (45,08 TWh) e Itália (31,01 TWh), como pode ser visto pela Figura 3 (Our World in Data, 2024).

Figura 3 – Geração de energia solar, 2023 - Geração de eletricidade a partir de energia solar, medida em terawatts-hora (TWh) por ano.



Fonte: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024).

Em se tratando da América Latina, esta apresenta o predomínio de energia hidrelétrica, tendo a matriz elétrica mais limpa de todas as regiões, uma vez que possui mais de 60% de sua capacidade instalada total proveniente de fontes renováveis. Com relação a energia solar, esta é a segunda mais utilizada juntamente com a energia eólica, sendo que os países como Brasil, México, Argentina, Chile e Venezuela contribuem juntos para 82% da capacidade instalada renovável na região (Global Climatescope, 2023).

2.3.2 Energia Solar no Brasil

O Brasil tem adotado um lugar de protagonismo quando o assunto é transição energética (ANEEL, 2024), apresentando um notável avanço no setor de usinas fotovoltaicas, fato que pode ser explicado por uma série de fatores, bem como a queda nos custos de tecnologias fotovoltaicas, elaboração de políticas públicas e sua posição territorial favorável, com abundância em radiação solar (ABSOLAR, 2024).

Apesar do destaque mundial em produção de energia solar, o mercado dessa fonte energética é relativamente recente no Brasil. “A energia solar começou a crescer com maior força no Brasil a partir de meados da década de 2010. Inicialmente, a maior parcela da energia vinha de geração centralizada” (ABSOLAR, 2022).

Para explicar o motivo da demora do avanço da utilização de energia solar no país, a ABSOLAR (2022) descreveu uma série de motivos por meio de uma análise histórica, a começar pelo início do ano de 2000, quando cerca de 90% da matriz elétrica brasileira era derivada de hidrelétricas, representando a dependência energética do país por essa fonte. Em 2001, o sistema elétrico brasileiro ficou comprometido com a falta de chuvas, o que levou à criação de programas pelo Governo que incentivasse fontes renováveis, porém com enfoque em energia eólica e de biomassa.

A energia solar no país realmente só ganhou força em meados de 2010, devido à queda de preço dessa tecnologia, tendo uma queda de cerca de 80% entre os anos de 2013 e 2019, e devido a criação da primeira resolução pela ANEEL, em 2012, que estabelecia regras para a instalação de pequenas estações de geração de energia solar. Com relação à geração centralizada, no ano de 2014 foi realizado o primeiro leilão de contratação de energia solar no país (ABSOLAR, 2022).

O aumento da participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira foi uma das metas estabelecidas pelo país durante sua participação na COP 21 em 2015, assumindo-se o compromisso de se reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em 37% em 2025 e 43% em 2030, em relação aos níveis obtidos em 2005 (ONU, 2018).

A partir dos dados disponibilizados pelo Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), referentes ao dia 22 de novembro de 2024, é possível verificar a matriz elétrica brasileira, analisar os valores correspondentes à potência outorgada, fiscalizada e a quantidade de empreendimentos voltados para geração de energia elétrica em fases de construção não

iniciada, construção e operação, sendo os dados obtidos distribuídos nos Quadros 1 e 2 (ANEEL, 2024).

Quadro 1 – Matriz Elétrica Brasileira

Tipo	Quantidade de Empreendimentos	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	220	103.600.901,00	103.196.493,00	49,72%
UTE	3103	55.684.238,76	46.541.492,16	22,43%
EOL	1681	56.573.621,86	32.639.053,86	15,73%
UFV	21381	146.283.215,44	16.482.932,44	7,94%
PCH	518	7.042.483,22	5.833.788,57	2,81%
UTN	3	3.340.000,00	1.990.000,00	0,96%
CGH	684	866.271,58	853.175,58	0,41%

Fonte: Adaptado de ANEEL (2024).

Quadro 2 – Capacidade Instalada por Estado

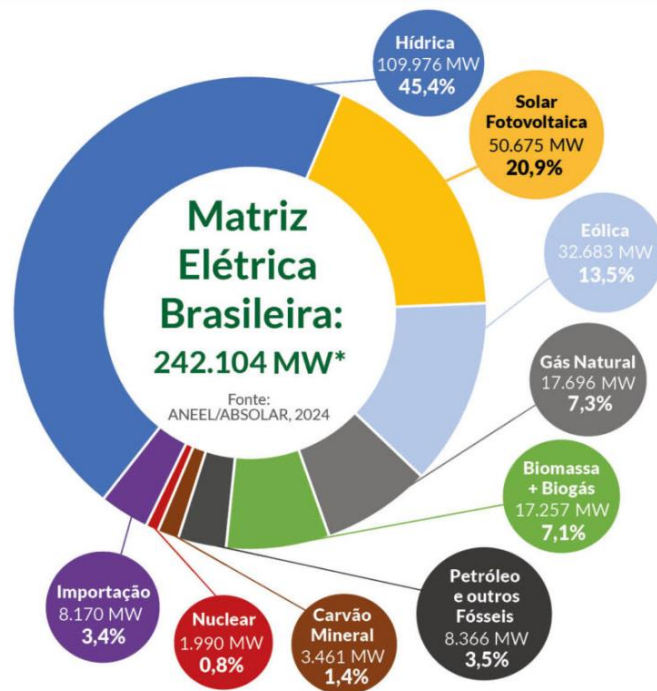
UF	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade de Empreendimentos	%
PA	16.789,96	16.789,96	13105	0,10%
MS	3.495.876,12	11.892,12	2933	0,07%
MG	42.087.664,68	6.342.658,19	961	38,48%
AC	1.412,20	1.412,20	698	0,01%
BA	26.626.031,35	2.403.761,35	626	14,58%
PI	22.924.875,00	2.097.863,00	531	12,73%
RO	15.573,26	15.573,26	508	0,09%
CE	18.546.012,00	1.256.246,00	502	7,62%
MT	1.270.938,35	24.438,35	358	0,15%
RN	10.953.824,99	1.229.659,99	266	7,46%
GO	6.169.930,60	11.862,60	159	0,07%
PE	5.452.329,43	1.182.940,43	159	7,18%
PB	4.998.011,20	713.962,20	125	4,33%
SP	1.187.154,24	1.050.532,33	89	6,37%
TO	583.866,40	6.334,40	81	0,04%
RS	37.409,16	37.409,16	79	0,23%
PR	20.956,31	20.956,31	47	0,13%
SC	18.859,34	18.859,34	41	0,11%
ES	16.242,18	16.242,18	33	0,10%
SE	1.333.288,00	800	19	0,00%
RJ	180.632,90	6.069,30	18	0,04%
AM	1.576,04	1.576,04	17	0,01%
MA	230.350,53	4.182,53	13	0,03%
AL	106.560,00	3.860,00	9	0,02%
RR	2.100,00	2.100,00	2	0,01%
AP	4.039,20	4.039,20	1	0,02%
DF	912	912	1	0,01%

Fonte: Adaptado de ANEEL (2024).

Ao analisar o Quadro 1, é possível observar que o maior número de empreendimentos voltados à geração de energia elétrica no Brasil são representados por usinas fotovoltaica, apesar de que as maiores potências outorgadas e fiscalizadas ainda correspondem às hidrelétricas. Por meio do Quadro 2, é possível identificar a distribuição energética entre os estados da federação, sendo que Minas Gerais apresenta as maiores potências tanto outorgada, quanto fiscalizada. Com relação ao Ceará, este se encontra na quarta posição.

Por meio de dados da ABOLAR (2024), é possível observar a matriz elétrica brasileira, como consta na Figura 4, na qual é possível visualizar a predominância da fonte hídrica, mas também uma participação importante na energia solar fotovoltaica na matriz, sendo a segunda com maior potência de geração de energia.

Figura 4 – Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: ABSOLAR (2024).

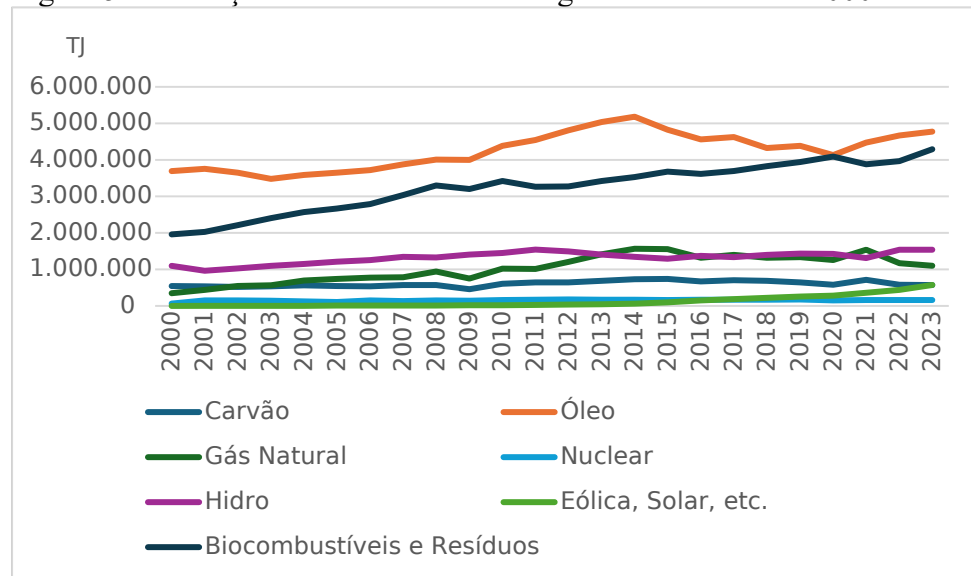
O crescimento robusto da utilização de fontes de energias renováveis no país pode ser associado ao fato de que o Brasil, durante sua participação na COP26, realizada em Glasgow, na Escócia, entre os dias 31 de outubro e 13 de novembro de 2021, foi determinado o objetivo de reduzir 50% das emissões de carbono, a fim de se atingir as emissões líquidas zero até 2050, a longo prazo (MMA, 2021).

Além disso, o Brasil atualmente ocupa a sexta posição no ranking dos mercados emergentes mais atraentes para investimento em energia renovável e está em primeiro lugar na América Latina (Global Climatescope, 2024).

O Brasil apresenta cerca de 45% da demanda de energia primária atendida por fontes renováveis, valor que dobrou no país desde 1990, devido ao crescente consumo de eletricidade e de combustíveis. Com isso, o país apresenta uma das menores emissões em carbono (IEA, s.d.), uma vez que, devido ao emprego de usinas fotovoltaicas, foram evitados 57 milhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera, desde 2012 e foram gerados mais de 1,4 milhão de novos empregos no país na última década (ABSOLAR, 2024).

Por meio de dados disponibilizados pelo IEA (s.d.), foi possível confeccionar o gráfico presente na Figura 5, no qual pode-se analisar a evolução da matriz elétrica brasileira desde 2000, evidenciando que fontes energéticas como eólica e solar passaram a ter um crescimento significativo a partir desse ano.

Figura 5 – Evolução da oferta total de energia no Brasil desde 2000



Fonte: Adaptado de IEA (s.d.).

2.3.3 Energia Solar no Ceará

Assim como em todo o território nacional, o Ceará apresenta um crescimento gradativo da geração de energia solar, uma vez que o estado apresenta elevados índices de irradiação do país, já que se entra em uma região próxima à Linha do Equador.

De acordo com ABSOLAR (2023), o Ceará é um dos mais importantes centros de desenvolvimento da energia solar, tendo altos rendimentos direcionados aos cofres públicos, arrecadação de inúmeros investimentos e geração de muitos empregos. Além disso, com o avanço das tecnologias de hidrogênio verde, a tendência é que haja um impulsionamento ainda maior em fontes fotovoltaicas, acelerando o processo de uma transição energética.

A primeira usina solar fotovoltaica comercial do Ceará, MPX Tauá, entrou em operação no dia 04 de agosto de 2011, localizada no município de Tauá e ocupando uma área de 12 mil metros quadrados, apresentando 4680 painéis fotovoltaicos, cujo projeto foi concebido para se atingir uma capacidade de 50 MW (CEARÁ, 2011).

Atualmente, treze anos após o início do funcionamento da primeira usina, o estado conta com mais de 50 empreendimentos neste ramo, segundo dados da ANEEL (2024) e se encontra na décima segunda posição no ranking estadual elaborado pela ABSOLAR (2024) em geração distribuída e em quarto lugar em geração centralizada, como pode ser visto na figura abaixo.

Figura 6 – Ranking de Geração Centralizada no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2024).

2.4 Investimentos em Energia Solar

Para o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), com o objetivo de reduzir a dependência do país em apenas uma fonte de energia e efetivar a adoção de fontes renováveis na matriz energética, o Brasil se preocupou em desenvolver programas e ações para impulsionar as fontes eólica e solar fotovoltaica (MDIC, 2024).

Os leilões de energia promovidos pelo poder concedente a partir de 2014 tem sido o maior incentivo à geração centralizada e à inserção da fonte solar na matriz elétrica brasileira. Pelo lado da demanda, esse incentivo ocorre por meio de contratos de compra e venda de energia de longo prazo, que estimulam empreendedores a desenvolverem projetos. Pelo lado da oferta tecnológica, a contratação centralizada por leilões garante aos fornecedores de equipamentos a previsibilidade de suas encomendas e o atingimento de economias de escala (BNDES, 2018).

Segundo Climatescope 2023, o Brasil possui uma das matrizes elétricas mais limpas entre as economias dos países que fazem parte do G-20, apresentando sucesso no setor de energias renováveis devido, principalmente, aos investimentos em infraestrutura de rede. O país teve um significativo aumento em investimentos em energias renováveis, atraindo um mercado de US\$ 25 bilhões em comparação com os US\$ 41 bilhões que foram acumulados durante os cinco anos anteriores, o que beneficia os empreendimentos de energia solar fotovoltaica de pequeno porte.

Dentre outros instrumentos de incentivo de energia solar no Brasil, destacam-se os incentivos estabelecidos pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), em 1997, que estabelecia isenção para módulos e células fotovoltaicas com alíquotas de 0% de IPI, sendo que em 2015 houve o estabelecimento de outro convênio CONFAZ, determinando incentivos para micro e minigeração (MDIC, 2018).

Além disso, outro programa de incentivo que merece destaque é o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, que tem como objetivo financiar projetos que almejam a redução de emissões dos gases de efeito estufa, podendo disponibilizar recursos reembolsáveis, administrados pelo BNDES e recursos não reembolsáveis, sendo estes de controle do MMA (MMA, s.d.).

2.5 Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental no Brasil passou a ser adotado em alguns estados em meados da década de 70, época em que também surgiram os primeiros estudos ambientais no país, voltados para grandes projetos hidrelétricos, sendo um período de crescimento econômico e de muitos investimentos. Nesse contexto, surge a necessidade de incorporar o licenciamento na legislação brasileira, que viria a se tornar um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (Sánchez, 2013).

I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

Art. 2º A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis. (BRASIL, 1997)

Vale ressaltar que, a Resolução CONAMA Nº 237 de 19 de dezembro de 1997, que trata sobre os procedimentos e critérios adotados no processo de licenciamento ambiental, não trata especificamente de empreendimentos como usinas fotovoltaicas. Em seu Anexo I, é possível encontrar uma lista exemplificativa de atividades ou empreendimentos que são sujeitos ao licenciamento ambiental, na qual as usinas fotovoltaicas podem ser consideradas dentro do setor de serviços de utilidade, no qual é mencionado os serviços de transmissão de transmissão de energia elétrica.

2.5.1 Licenciamento Ambiental para Usinas Fotovoltaicas no Ceará

No Ceará, o órgão responsável pelo processo de licenciamento ambiental é a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), sendo regulamentado por meio de resoluções expedidas pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA), bem como instruções normativas e portarias editadas pela SEMACE e pelas normas federais pertinentes (CEARÁ, 2019).

Art. 1º. Serão disciplinados nesta Resolução os critérios, parâmetros e custos operacionais de concessão de licença/autorização e de análise de estudos ambientais, referentes ao licenciamento ambiental das obras e atividades modificadoras do meio ambiente no território do Estado do Ceará, conforme dispostos nos anexos desta Resolução (CEARÁ, 2019).

As atividades e empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental no Ceará são classificadas de acordo com o seu Potencial Poluidor-Degradador (PPD) e pelo seu porte, sendo que aqueles destinados à geração de energia solar fotovoltaica ficam sujeitos à Licença Prévia (LP) e Licença de Instalação e Operação (LIO). Esta classificação pode ser observada no Quadro 3.

Quadro 3 – Potencial Poluidor Degradador por porte de Usinas Solares Fotovoltaicas

Energia Solar/Fotovoltaica (Código 09.11)	Área (Ha)				
	Micro	Pequeno	Médio	Grande	Excepcional
Potencial Poluidor – Degradador BAIXO	$>15 \leq 30$ G	$>30 \leq 90$ H	$>90 \leq 180$ L	$>180 \leq 450$ N	>450 O

Fonte: Adaptado de COEMA 02/2019.

Para estabelecer critérios e parâmetros para o processo de Licenciamento Ambiental de usinas fotovoltaicas no Ceará, tem-se a Resolução COEMA 06 de 06 de setembro de 2018:

Art. 3º Os procedimentos de licenciamento ambiental dos empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar, considerando o porte, a localização e o baixo potencial poluidor, conforme parâmetros estabelecidos nesta Resolução, serão os seguintes:

I. Para os portes micro, pequeno, médio e grande, a licença ambiental será emitida em duas etapas: Licença Prévia (LP) e Licença de Instalação (LIO).

II. Para o porte excepcional, a licença ambiental será emitida em três etapas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) (CEARÁ, 2018).

2.6 Estudos Ambientais para Usinas Fotovoltaicas

O Estudo Ambiental é fundamental para se entender os impactos ambientais resultantes de uma atividade ou empreendimento, pois, por meio dele, é possível estabelecer medidas mitigadoras para os seus efeitos negativos e formas de se potencializar os impactos positivos (IBAMA, 2022).

Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área de gradada e análise preliminar de risco (BRASIL, 1997).

Assim como é necessário ter estudos ambientais para se estabelecer um planejamento com relação às ações a serem adotadas para se minimizar os impactos ambientais e promover usos sustentáveis dos recursos naturais, também é preciso realizar um planejamento para se realizar um estudo.

A realização de um estudo ambiental, como, aliás, a de qualquer trabalho técnico, requer planejamento. Não se começa um estudo de impacto ambiental simplesmente coletando toda informação disponível, mas definindo previamente os objetivos do trabalho e o que se pode chamar de sua abrangência ou alcance (Sánchez, 2013).

Dessa forma, é preciso ter, já definidos, procedimentos para se realizar um estudo ambiental voltado para o licenciamento e, em casos de empreendimentos destinados à geração de energia elétrica por meio de fonte solar fotovoltaica localizados no estado do Ceará, aplica-se a Instrução Normativa nº 01 de 2018, que trata da determinação do estudo a ser adotado para esse tipo de atividade, em casos em que não se faz necessário a elaboração de EIA/RIMA, estabelecendo os critérios a serem considerados.

Art. 3º Fica determinado que nos casos em que não forem exigidos o Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA deverá ser adotado o Relatório Ambiental Simplificado – RAS conforme o Termo de Referência estabelecido no Anexo I.

I – Em casos de sistemas híbridos deverá ser apresentado um único RAS, contemplando todas as atividades/modalidades/fontes envolvidas;

II – Para o complexo eólico/solar poderá ser admitido processo de licenciamento ambiental único para a obtenção de Licença Prévia, desde que definida a responsabilidade legal pelo conjunto de empreendimentos;

III. Na fase de Licença Prévia, o licenciamento deverá ocorrer por parque ou complexo eólico/solar, de forma conjunta com seus respectivos sistemas associados. Já nas fases instalação e operação, as licenças ambientais poderão ser requeridas para cada componente do sistema associado em etapas distintas, desde que seja vinculada à Licença Prévia vigente;

IV. As atividades de comissionamento e de testes pré-operacionais deverão estar contempladas no cronograma de instalação do empreendimento e a sua execução deverá ser precedida de comunicação à SEMACE;

V. A SEMACE promoverá a análise técnica de processos sujeitos apresentação de RAS, nos termos das Resoluções COEMA nº 06 e 07 de 2018, por uma equipe

multidisciplinar composta pelo mínimo de três técnicos nas fases iniciais de licenciamento de LP e LIO; (CEARÁ, 2018)

Além disso, são considerados alguns critérios para que seja necessário a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental, em casos de significativo impacto ambiental, de acordo com o COEMA 06/2018:

Art. 5º Não serão considerados de baixo impacto, independentemente do porte, exigindo-se a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e a comprovação de inexistência de alternativa técnica e locacional às obras, planos, atividades ou projetos propostos, além de audiências públicas, nos termos da legislação vigente, os empreendimentos solares de porte excepcional, conforme estabelecido no art. 2º desta Resolução, bem como os que estejam localizados:

I – em formações dunares, planícies fluviais e de deflação, mangues e demais áreas úmidas;

II – no bioma Mata Atlântica e implicar corte e supressão de vegetação primária e secundária no estágio avançado de regeneração, conforme dispõe a Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006;

III – na Zona Costeira e implicar alterações significativas das suas características naturais, conforme dispõe a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988;

IV – em zonas de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral, adotando-se o limite de 3 km (três quilômetros) a partir do limite da unidade de conservação, cuja zona de amortecimento não esteja ainda estabelecida;

V – em áreas regulares de rota, pousio, descanso, alimentação e reprodução de aves migratórias constantes de Relatório Anual de Rotas e Áreas de Concentração de Aves Migratórias no Brasil a ser emitido pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, em até 90 dias;

VI – em locais em que venham a gerar impactos socioculturais diretos que impliquem inviabilização de comunidades ou sua completa remoção;

VII – em áreas de ocorrência de espécies ameaçadas de extinção e áreas de endemismo restrito, conforme listas oficiais (CEARÁ, 2018).

Ademais, a Resolução CONAMA N° 001/86 traz, em seu artigo 2º, uma lista de atividades que requerem a elaboração de EIA/RIMA, dentre elas tem-se todas as usinas de geração de energia independente de sua fonte primária acima de 10 MW (BRASIL, 1986).

2.7 Avaliação de Impactos Ambientais

O conceito de Impacto ambiental passou a ser discutido entre as décadas de 1950 e 1960, por estudiosos que buscavam formas de ampliar a eficiência do licenciamento ambiental para empreendimentos, sendo consolidado por volta da década de 1960. Considerava que os impactos ambientais deveriam ser abordados de forma a garantir a aceitação social e, para tanto, seria necessário a realização de um documento de acesso público, com características técnicas mínimas a serem estabelecidas pelo poder público (Braga *et al*, 2005).

A definição de impacto ambiental está associada a qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultantes das atividades antrópicas, que podem afetar direta ou indiretamente fatores como a saúde e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Além disso, são determinadas as informações mínimas que um EIA deve apresentar, bem como a forma como devem ser analisados os impactos ambientais decorrentes de atividades e empreendimentos. São estabelecidas algumas classificações, como sua natureza, considerando-os como positivos ou negativos, sua duração, temporalidade, grau de reversibilidade, previsão de sua magnitude, probabilidade de ocorrência e suas propriedades cumulativas e sinérgicas (BRASIL, 1986).

A realização de um estudo voltado para a análise dos impactos gerados por atividades e empreendimentos é fundamental. Para tanto, existe a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), que é essencial para a gestão ambiental de um projeto. Ela deve ser mantida durante todo o período de atuação do projeto, não se restringindo apenas à aprovação da licença, podendo conter propostas de medidas mitigadoras e compensatórias, cronogramas e outros elementos que podem ser estabelecidos em seu processo de elaboração (Sánchez, 2013).

O termo avaliação de impacto ambiental (AIA) entrou na terminologia e na literatura ambiental a partir da legislação pioneira que criou esse instrumento de planejamento ambiental, National Environmental Policy Act – NEPA, a lei de política nacional do meio ambiente dos Estados Unidos (Sánchez, 2013).

Os objetivos do AIA contempla os meios sociais, bióticos e socioeconômicos a fim de se tomar decisões de forma lógica e racional e mitigar os possíveis impactos causados pelos

projetos, sendo uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão, de forma analítica e quantitativa, avaliando as consequências das ações antrópicas no meio ambiente (Sousa, 2006).

Segundo Pimentel e Pires (1992), o objetivo principal da Avaliação de Impacto Ambiental é obter informações sobre os impactos ambientais por meio de um exame sistemático a ser apresentado à sociedade e às autoridades, almejando a prevenção deles, caso sejam negativos, e a maximização dos positivos. Trata-se de um instrumento de avaliação ex-ante, ao se estabelecer discussões e análises previamente da implementação de um projeto.

Além disso, as metodologias adotadas em uma Avaliação de Impacto Ambiental possuem objetivo de coletar, analisar e estruturar as informações sobre os impactos ocasionados por determinado projeto (Pimentel; Pires, 1992). Os métodos empregados podem variar, sendo os mais comuns os métodos ad-hoc, checklists, matrizes de interação, redes de interação, modelos de simulação e métodos de superposição de cartas, como constam no Quadro 4.

Quadro 4 – Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais

Métodos	Descrição
Ad Hoc	Realização de reuniões entre técnicos e cientistas especializados na área em que o projeto será destinado, podendo ser realizados questionários para serem respondidos previamente por pessoas interessadas nos impactos gerados pelo empreendimento. Este método permite uma rápida identificação dos impactos mais prováveis e da melhor alternativa, além de ser viável mesmo quando as informações são escassas. No entanto, ele pode ser vulnerável a subjetividades e tendenciosidades na coordenação e na escolha dos participantes.
Checklist (listagem)	Realização de listagens de fatores ambientais, possivelmente afetados por projetos, propostos por especialistas. Apresenta como vantagem a simplicidade de aplicação e como desvantagem o fato de não permitir previsões e ou identificação de impactos de segunda ordem.
Superposição de Cartas	Confecção de cartas temáticas relativas aos fatores ambientais potencialmente afetados pelas alternativas. As informações obtidas por este método são sintetizadas de acordo com o conceito de fragilidade ou de potencial de uso. Muito utilizado para escolher o melhor traçado de projetos lineares, como rodovias, dutos e linhas, podendo ser utilizado na elaboração de diagnósticos ambientais.
Redes de Interação	Permite a identificação do conjunto de ações que contribuem para a magnitude de um impacto, facilitando os mecanismos de controle ambiental, porém só abrangem os impactos negativos.
Matrizes de Interação	Evolução das listagens, dispõem em colunas e linhas os fatores ambientais e as ações decorrentes de um projeto, sendo possível relacionar os impactos de cada ação nas quadrículas resultantes do cruzamento das colunas com as linhas, preservando a relação de causa e efeito.

Modelos de Simulação	Modelos matemáticos com finalidade de representar, o mais próximo da realidade, a estrutura e funcionamento dos sistemas ambientais, explorando as relações entre seus fatores físicos, biológicos e socioeconômicos.
----------------------	---

Fonte: Adaptado de Braga *et al.* (2005).

2.8 Impactos Ambientais de Usinas Fotovoltaicas

“Os impactos ambientais gerados em empreendimentos de aproveitamento solar fotovoltaico estão estreitamente relacionados à sua localização, às características físico-climáticas do local de implantação e às características dos ecossistemas locais” (Barbosa *et al.*, 2015).

Entre os impactos gerados por usinas fotovoltaicas, pode-se destacar os que afetam o meio físico, biótico e socioeconômico, bem como as alterações paisagísticas, geração de resíduos sólidos, poeiras e gases, a perda de cobertura vegetal, alteração da dinâmica dos ecossistemas locais, afugentamento de fauna e riscos de acidentes com animais. No meio socioeconômico, tem-se impactos positivos e negativos, dentre eles se destacam a geração de emprego e renda, aumento de arrecadação tributária, aumento no fluxo de veículos, riscos de acidentes de trabalho, aumento na eficiência de equipamentos e melhoria na oferta energética (Filho *et al.*, 2015).

De acordo com o SEEG (2024), a instalação de usinas fotovoltaicas requer grandes áreas para a colocação das placas, o que pode gerar impactos negativos para o local do empreendimento. No entanto, quando comparado a outras fontes de energia, como as hidrelétricas, que demandam ainda mais espaço para a construção de reservatórios, o impacto é relativamente menor.

Na geração solar centralizada, os impactos socioambientais mais significativos ocorrem na fase de instalação da usina. A terraplanagem e o transporte de materiais são as atividades mais danosas. As áreas que recebem as usinas fotovoltaicas precisam ser planas e sem corpos que causem sombreamento nas placas. Dessa forma, há um processo de terraplanagem e supressão total da vegetação nativa para que as árvores não criem uma barreira para a luz do sol e os módulos possam gerar eletricidade com eficiência. Geralmente essas áreas eram utilizadas para o pastejo e para alimentação das espécies, impactando diretamente nos modos de subsistências de animais domésticos e silvestres (SEEG, 2024).

Além disso, também existem impactos significativos na operação das usinas, uma vez que é necessário a realização de limpeza dos painéis fotovoltaicos, consumindo uma grande quantidade de água e gerando efluentes com a presença de detergentes. Outro fator relevante é que, apesar de ter uma vida útil longa, cerca de 25 e 30 anos, os seus módulos são compostos, na maioria dos casos, por vidro e alumínio, que podem ser reciclados, enquanto na minoria dos casos, quando compostos por metais pesados como o chumbo, podem gerar danos enormes se descartados de forma inadequada (SEEG, 2024).

Outro fator que merece destaque é o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia em conjunto com o EPE, a fim de se estabelecer estratégias de longo prazo para o setor energético brasileiro, em que foi estabelecido uma relação entre os desafios e recomendações para diversas fontes energéticas, incluindo a energia solar. Entre os desafios, destaca-se a necessidade de enfrentar o problema do descarte e reciclagem dos equipamentos fotovoltaicos (EPE, 2020).

3 METODOLOGIA

Para realizar este trabalho, inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica a respeito das usinas fotovoltaicas, considerando o seu funcionamento, histórico, seu cenário atual no mundo, no Brasil e no Ceará. Foi considerado a forma em que ocorre o seu processo de licenciamento ambiental e quais são os estudos ambientais envolvidos. Mas também, principalmente, foi realizado uma análise dos impactos ambientais mencionados pela literatura a respeito deste tipo de empreendimento.

Posteriormente, foram selecionados oito Estudos de Impacto Ambiental disponibilizados pelo acervo da Semace, para os anos de 2023 e 2024, sendo que, foram escolhidos, preferencialmente, estudos realizados por empresas de consultoria diferentes, para empreendimentos a serem instalados em municípios distintos, a fim de se analisar a forma como esses estudos foram elaborados, considerando a metodologia de avaliação de impactos escolhida, os impactos ambientais identificados e suas respectivas análises, considerando a diversidade geográfica de cada localidade, bem como diversos contextos sociais e econômicos.

Dessa forma, dentre os arquivos observados, os municípios envolvidos foram: Abaiara, Aquiraz, Banabuiú, Russas, Sobral, Tauá, Tianguá e Quixadá, sendo que os empreendimentos respectivos a serem instalados tiveram seus estudos realizados por empresas de consultoria diferentes, com exceção dos projetos a serem implementados em Aquiraz e Banabuiú, o que permitiu identificar a forma com a qual a empresa de consultoria estabeleceu para analisar os impactos de empreendimentos, de mesma categoria, em localidades diferentes.

Para fazer referência aos empreendimentos com suas respectivas empresas de consultoria, foi determinado pseudônimos, bem como é possível observar no Quadro 5. Além disso, foram reunidas informações referentes à área, porte, capacidade nominal e os municípios de implantação da usina. Para o porte, a classificação foi feita com base o Quadro 3, sendo as áreas retiradas dos estudos.

Quadro 5 – Identificação, Características e Localização dos Empreendimentos

Empreendimentos	Área (ha)	Porte	Capacidade Nominal (MW)	Municípios
A	140,56	Médio	50	Abaiara
B	508,51	Excepcional	265	Aquiraz
C	779,73	Excepcional	300	Banabuiú

D	3851,48	Excepcional	904	Sobral
E	304,98	Grande	164,98	Russas
F	626,55	Excepcional	192,472	Tauá
G	526,20	Excepcional	250	Tinguá
H	366,44	Grande	157,78	Quixadá/ Ibaretama

Fonte: Autora (2024).

Após a seleção dos estudos, foi observada a metodologia utilizada na identificação e avaliação dos impactos. Em seguida, foi realizada uma análise dos principais impactos ambientais mencionados, identificando os meios mais afetados. Por fim, foram avaliadas as medidas mitigadoras e potencializadoras propostas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar o levantamento de impactos ambientais de qualquer empreendimento, primeiramente, deve-se escolher um método para tal atividade, o qual pode ser diferente na etapa de avaliação dos impactos levantados. Com relação aos EIAs selecionados, entre os métodos de identificação dos impactos, os que mais se destacaram são o *Ad Hoc* e o *Check-list*.

Com relação aos métodos utilizados para avaliar e classificar os impactos ambientais identificados, foi possível observar que os mais comuns nos estudos são os métodos de listagem (*check-list*) e a matriz de interação. Além disso, a metodologia adotada pode envolver a combinação de diferentes métodos, como ilustrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Métodos de Avaliação dos Impactos Ambientais por Empreendimento

Empreendimento	Método
A	<i>Check-list</i> e Matriz de Interação
B	<i>Check-list</i> e Matriz de Interação
C	<i>Check-list</i> e Matriz de Interação
D	<i>Ad hoc</i> e Matriz de interação (Matriz de Leopold)
E	<i>Check-list</i>
F	Listagem Sequenciada de Causas e Efeito (<i>Ad Hoc</i> , <i>Checklist</i> e Descritivo)
G	Matriz de Interação
H	<i>Check-list</i> , Matriz de Interação, Métodos Cartográficos e <i>Ad hoc</i>

Fonte: Autora (2025).

Com a análise comparativa dos impactos mencionados nos estudos de impactos ambientais selecionados, foi possível observar que a maioria dos impactos citados ocorrem na fase de instalação do empreendimento, sendo estes, em sua maioria, negativos, enquanto a maioria dos positivos foram mencionados nas demais fases, de planejamento e operação, bem como o aumento da arrecadação tributária e a geração de emprego e renda. Alguns dos principais impactos mencionados nos estudos são:

- Alteração da paisagem;
- Redução da cobertura vegetal;
- Geração de emprego e renda;
- Aumento na arrecadação tributária;
- Alteração do nível de ruídos;
- Alteração da qualidade do solo e da água superficial e subterrânea;
- Desencadeamento de processos erosivos;
- Riscos de acidentes de trabalho;
- Geração de resíduos sólidos e de efluentes;
- Atropelamento e afugentamento de fauna;
- Interferência do cotidiano da população;
- Ampliação da matriz elétrica renovável;

Em geral, impactos como a alteração da paisagem, redução da cobertura vegetal, aumento do nível de ruídos, degradação da qualidade do solo, dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, desencadeamento de processos erosivos, geração de resíduos e efluentes, interferência no cotidiano da população, riscos de acidentes de trabalho e de afugentamento ou acidentes com a fauna tendem a ocorrer com maior incidência na fase de implementação do empreendimento. Isso se deve a processos como limpeza do terreno, terraplenagem, supressão vegetal, compactação do solo, instalação de estruturas, impermeabilização do solo, geração de resíduos e efluentes na área de canteiro de obras, além da constante movimentação de transporte e operação de maquinários.

Com o funcionamento das usinas fotovoltaicas, há a geração de energia por meio de fonte renovável, fato que promove a ampliação dessa matriz elétrica, contribuindo para uma redução da dependência por outras fontes mais poluentes e beneficiando no processo de transição energética e redução das emissões de gases de efeito estufa.

Outros impactos, como a geração de emprego, renda e arrecadação tributária, podem ocorrer em todas as fases do processo de formas distintas. Exemplos incluem a contratação de mão de obra para a construção do empreendimento, a arrecadação de tributos durante sua operação e até mesmo o processo de licenciamento. Além disso, a alta demanda por materiais na fase de construção contribui para a dinamização da economia local. As constantes movimentações de caminhões e maquinários também podem resultar em melhorias no sistema viário.

Ao fazer uma análise individual dos estudos, pôde-se observar alguns aspectos, bem como a classificação dos impactos, os sistemas mais afetados, que podem ser os meios físico, biótico e socioeconômico, e algumas características. A partir do Quadro 7 é possível perceber que esses impactos ambientais afetam sistemas diferentes a depender do empreendimento e do local onde será implementado, e durante fases distintas. Nele, foram selecionados alguns dos impactos mais mencionados nos estudos analisados e citados anteriormente, considerado os empreendimentos presentes no Quadro 5, a fim de demonstrar que um mesmo impacto ambiental pode ser abordado de forma diferente.

Quadro 7 – Classificação dos Impactos Ambientais por Empreendimento

Impacto	Empreendimentos	Fase	Meio Afetado
Alteração da paisagem	A	Implantação	Físico, Biótico, Antrópico
		Operação	Antrópico
	B	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
	C	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
	D	Implantação/Operação	Biótico e Antrópico
	E	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
		Operação	Físico e Biótico
	F	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico/ Biótico e Antrópico
Redução da cobertura vegetal	G	Implantação/Operação/ Desativação	Físico
		Implantação/Operação	Antrópico
	A	Implantação	Físico
	B	Implantação	Físico e Biótico
	C	Implantação	Físico e Biótico
	D	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
	F	Implantação	Biótico
Geração de emprego e renda	A	Planejamento	Antrópico
		Implantação	Antrópico
	B	Planejamento	Antrópico
		Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	C	Planejamento	Antrópico
		Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	D	Implantação/Operação	Antrópico
	E	Planejamento/Implantação/ Operação	Antrópico
	F	Planejamento/Implantação/ Operação	Antrópico
Aumento na arrecadação tributária	A	Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	B	Planejamento	Antrópico

	C	Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
		Planejamento	Antrópico
		Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	E	Planejamento/Implantação/ Operação	Antrópico
	F	Planejamento/Implantação/ Operação	Antrópico
	G	Implantação/Operação	Antrópico
Alteração do nível de ruídos	A	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
	B	Implantação	Biótico e Antrópico
		Operação	Biótico e Antrópico
	C	Implantação	Biótico e Antrópico
		Operação	Biótico e Antrópico
	D	Implantação	Antrópico e Biótico
	E	Implantação	Antrópico e Biótico
	F	Implantação	Físico e Biótico/ Físico, Biótico e Antrópico/ Físico
	G	Implantação/Operação/ Desativação	Físico
	H	Implantação	Antrópico
Alteração da qualidade do solo	A	Implantação	Físico
	B	Implantação	Físico e Biótico
	C	Implantação	Físico e Biótico
	D	Implantação	Físico
		Desativação	Físico, Biótico e Antrópico
	E	Implantação	Físico e Biótico
	F	Implantação	Físico e Biótico/ Físico e Antrópico
	G	Implantação/Operação/ Desativação	Físico
	H	Implantação	Físico
Alteração da qualidade da água subterrânea	A	Implantação	Físico
Alteração da qualidade da água	B	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico

superficial e subterrânea	C	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
	D	Implantação	Físico
		Implantação/Operação	Físico, Biótico e Antrópico
	E	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
	F	Implantação	Físico e Antrópico
	G	Implantação/Desativação	Físico
	H	Implantação	Físico
Desencadeamento de processos erosivos	A	Implantação	Físico e Biótico
		Operação	Físico e Biótico
	B	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
		Operação	Físico, Biótico e Antrópico
	C	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
		Operação	
	D	Implantação	Físico
	E	Implantação/Operação	Físico e Biótico
	F	Implantação	Físico
	G	Implantação/Operação/Desativação	Físico
	H	Implantação/Operação	Físico
Riscos de acidentes de trabalho	A	Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	B	Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	C	Implantação	Antrópico
		Operação	Antrópico
	E	Implantação/Operação	Antrópico
	F	Implantação/Operação	Antrópico
Geração de resíduos sólidos e de efluentes	G	Implantação/Operação	Antrópico
	A	Implantação	Antrópico
		Operação	Físico
	B	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
		Operação	Físico, Biótico e Antrópico
	C	Implantação	Físico, Biótico e Antrópico
		Operação	Físico, Biótico e Antrópico
	E	Implantação/Operação	Físico, Biótico e Antrópico
	F	Implantação	Antrópico
	G	Implantação/Operação/Desativação	Biótico

	H	Planejamento/Implantação/ Operação	Físico
Atropelamento e afugentamento de fauna	A	Implantação	Biótico
		Operação	Biótico
	C	Operação	Biótico e Antrópico
	D	Implantação	Biótico
	E	Implantação/Operação	Biótico
	F	Planejamento/Implantação	Biótico
	G	Implantação	Biótico
	H	Implantação	Biótico
Interferência do cotidiano da população	A	Implantação	Antrópico
	B	Implantação	Antrópico
	D	Implantação	Antrópico
	G	Implantação	Antrópico
	H	Implantação	Antrópico
Ampliação da matriz elétrica renovável	A	Operação	Antrópico
	B	Operação	Físico, Biótico e Antrópico
	C	Operação	Antrópico
	D	Operação	Antrópico
	E	Operação	Antrópico
	F	Operação	Antrópico
	G	Operação	Antrópico
	H	Operação	Antrópico

Fonte: Autora (2025).

É possível observar que um mesmo impacto ambiental pode ocorrer em fases distintas, podendo afetar diferentes aspectos dependendo da fase. Isso fica evidente ao analisar o empreendimento D, no qual se destaca a alteração da qualidade do solo, um impacto que pode ser decorrente de diversos fatores.

Além disso, outro impacto ambiental encontrado nos estudos D e F, de grande relevância e que é pouco mencionado nos estudos, não sendo, portanto, incluído no Quadro 7, é o grande consumo de água destinada para a lavagem dos painéis na fase de operação a fim de se realizar a sua manutenção. Fato que merece atenção, pois, apesar de ser pouco abordado, pode apresentar impacto significativo nos recursos hídricos.

Vale ressaltar ainda que pode ocorrer a emissão de gás carbônico durante a fase de implantação do projeto, resultante de processos como a supressão vegetal e o fluxo contínuo de caminhões no local. No entanto, essa emissão será cessada na fase de operação do empreendimento, na qual não há evidências de emissão decorrente da atividade.

As informações obtidas por meio da análise dos EIAs foram sintetizadas no Quadro 8, onde é possível observar o número total de impactos indicados por cada empreendimento, apresentando uma relação quantitativa dos impactos benéficos e adversos, além dos principais meios afetados, que são aqueles mais frequentemente mencionados.

Quadro 8 – Relação dos Impactos Ambientais por Empreendimento

Empreendimento	Total de Impactos	Impactos Positivos	Impactos Negativos	Fase com Mais Impactos	Meio Mais Afetado
A	40	15	25	Instalação	Antrópico
B	44	24	20	Instalação	Antrópico
C	45	24	21	Instalação	Antrópico
D	29	8	21	Instalação	Antrópico
E	62	24	38	Instalação	Antrópico
F	218	97	121	Instalação	Antrópico
G	29	4	25	Instalação	Socioeconômico e biótico
H	17	4	13	Instalação	Socioeconômico

Fonte: Autora (2025).

É possível observar que, para um mesmo tipo de empreendimento localizado em municípios diferentes, houve uma grande variação na quantidade de impactos, especialmente ao comparar o estudo F com os demais. Essa diferença pode ser explicada pela metodologia de análise adotada, uma vez que o estudo F considerou, para cada fase do empreendimento, uma série de ações a serem executadas, o que resultou na repetição de vários impactos. Contudo, ao realizar uma análise geral, é possível perceber que, apesar das diferenças quantitativas, os impactos ambientais mencionados nos estudos são, de forma geral, bastante semelhantes. Isso evidencia que, independentemente do local de implantação, existem diversos impactos ambientais inerentes ao tipo de atividade.

Com relação ao estudo D, observa-se que, apesar de sua área considerável, superior à dos demais empreendimentos, o número de impactos identificados foi baixo. Isso pode ser explicado pelo fato de que, em sua matriz de avaliação, o estudo considerou, para cada impacto identificado, todas as fases do empreendimento que poderiam gerá-lo, englobando assim os possíveis impactos de maneira única. Nos demais estudos, por sua vez, os impactos foram avaliados por fase, o que levou à repetição de muitos deles.

A avaliação dos impactos ambientais é, em grande parte, subjetiva, dependendo da abordagem adotada pelo desenvolvedor do estudo. Embora isso possa resultar em diferentes

interpretações, é essencial que se busque uma análise abrangente, considerando tanto os impactos diretos quanto indiretos. Afinal, um único impacto pode desencadear outros efeitos em cadeia, o que torna fundamental a tentativa de identificar todos os impactos possíveis, para garantir que a avaliação seja completa e precisa.

Ademais, os impactos observados, em sua maioria, foram considerados temporários, de curto prazo e de média magnitude, tendo tanto impactos reversíveis quanto irreversíveis, uma vez que há aqueles que podem ser revertidos ao longo do tempo e os que apresentam consequências mais duradouras e de difícil reversão, o que demonstra a complexidade de se analisar estudos de impactos ambientais para empreendimentos como usinas fotovoltaicas.

Fica claro, portanto, que a instalação de uma usina solar fotovoltaica centralizada gera principalmente impactos ambientais negativos, afetando o meio socioeconômico, especialmente na fase de implantação. Os empreendimentos B e C, apesar de estarem em municípios diferentes, foram analisados pela mesma consultoria e apresentaram impactos ambientais quase idênticos. A única diferença foi que o empreendimento C considerou o risco de atropelamento de fauna devido à proximidade com uma rodovia.

Para atenuar os impactos ambientais gerados e até mesmo evitar que estes ocorram, devem-se propor medidas mitigadoras, quando possível, para os impactos negativos, ou então, em caso de impossibilidade, medidas compensatórias. Com relação aos impactos positivos, para estes devem ser propostas medidas potencializadoras. Dessa forma, as principais medidas mitigadoras propostas pelos estudos analisados para os impactos ambientais levantados foram sintetizadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Medidas Mitigadoras Propostas pelos Empreendimentos

Impactos	Empreendimentos	Medidas Mitigadoras
Alteração da paisagem	A	Medidas preventivas e corretivas diferentes para cada sistema afetado. Para o meio físico, o monitoramento das áreas suscetíveis à erosão, além da adoção de Plano de Controle de Processos Erosivos e Sedimentação e Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. Para o meio antrópico, a adoção oportuna de um Programa de Comunicação para as Comunidades Circunvizinhas ao empreendimento. Para o meio

		biótico, adoção do Programa de Resgate e Manejo da Fauna e do Programa de Monitoramento da Fauna.
	B	Medidas preventivas e corretivas por meio do monitoramento de áreas vulneráveis à erosão e implementação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, controle de intervenções em Áreas de Preservação Permanente (APPs) e estabelecimento de limites de supressão vegetal. Adoção do Programa de Educação Ambiental.
	C	Medidas preventivas e corretivas diferentes para cada sistema afetado. Para o meio físico, realização de monitoramentos frequentes das áreas suscetíveis à erosão, além da adoção do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. Para o meio biótico, adoção de medidas de controle de intervenções em APP e estabelecimento do Programa de Monitoramento de Fauna.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio do afastamento do projeto com relação às margens da área licenciada, de modo a reduzir o impacto visual ocasionado aos moradores da região e o estabelecimento de um canal aberto de comunicação para receber eventuais reclamações a respeito do tema.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio do ajuste químico do solo e da água em casos de contaminação, reintrodução de espécies nativas de flora e fauna, recuperação de florestas ripárias para mitigar inundações e melhorar a qualidade da água a montante e restabelecimento das áreas impactadas por meio da reutilização da camada superficial do solo removida

		durante a decapagem, destinação adequada de resíduos e efluentes, monitoramento e recomposição de áreas degradadas, monitoramento de fauna e criação de corredores ecológicos.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio da plantação de uma cortina vegetal no entorno da estação de tratamento de efluentes e recuperação das áreas trabalhadas.
	G	Medidas preventivas e corretivas através da máxima evitação de interferências na cobertura vegetal, realização de abertura de novas vias considerando a topografia local e a recomposição de áreas afetadas com nova cobertura vegetal.
Redução da cobertura vegetal	A	Medida preventiva e compensatória por meio de demarcação prévia da área a ser suprimida e treinamento dos colaboradores.
	B	Medida preventiva e corretiva por meio de recomposição vegetal e manutenção da vegetação nativa remanescente das áreas de intervenção. Estabelecimento do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e do Plano de Conservação Paisagística.
	C	Medidas preventivas e corretivas por meio de recomposição vegetal com espécies nativas na AID, revegetação no entorno das APPs, restrição de intervenção na vegetação às áreas estritamente necessárias à obra e a não impermeabilização de áreas de infiltração das águas pluviais.
	D	Medida preventiva e corretiva por meio da orientação e supervisão de profissionais envolvidos na supressão vegetal.

		Adoção de medidas mitigadoras para controlar a geração de poeira e evitar impactos na flora, inclusão de temas sobre a importância da conservação ambiental no Programa de Educação Ambiental, utilização de vias preexistentes nos acessos para minimizar a necessidade de remoção da cobertura vegetal.
	F	Medida compensatória por meio da recuperação de áreas degradadas ao entorno do empreendimento, com reposição vegetal e a recuperação das áreas trabalhadas.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio da delimitação de áreas de supressão vegetal, sinalizadas com piquetes. Adoção do Plano de Monitoramento da Fauna e Plano de Resgate e Manejo, com o acompanhamento de um profissional habilitado.
Geração de emprego e renda	A, F	Medida potencializadora por meio da contratação trabalhadores locais.
	B	Medida potencializadora por meio da capacitação de força de trabalho local, com divulgação de informações a respeito das vagas oferecidas e demandas por bens e serviços. Estabelecimento do Plano de Capacitação Técnica e Aproveitamento de mão de obra.
	C	Medida potencializadora por meio da capacitação da força de trabalho local. Estabelecimento do Plano de Capacitação Técnica e Aproveitamento de Mão de Obra, Plano de Desenvolvimento Social, Plano de Comunicação para as Comunidades Circunvizinhas ao Empreendimento.
	D	Não Mencionado.
	E	Não mencionado.
	G	Medida potencializadora por meio da contratação de mão de

		obra local e o estabelecimento de parcerias com instituições de ensino profissionalizantes e com prefeituras da região para a implantação de cursos que favoreçam a absorção dos alunos nos postos de trabalho demandados para implantação do projeto.
	H	Medida potencializadora por meio da contratação de mão de obra local e execução do Programa de Comunicação para as Comunidades Circunvizinhas.
Aumento na arrecadação tributária	A	Não mencionado.
	B, C	Medida potencializadora por meio da contratação de mão de obra e serviços nas áreas de influências direta e indireta.
	E	Não mencionado.
	F	Medida potencializadora por meio da utilização de material de construção civil procedente da própria região do empreendimento, assegurando o retorno econômico para a região.
	G	Medida potencializadora por meio da contratação rigorosa por parte do empreendedor de empresas qualificadas. Priorização de contratação de serviços e a compra de produtos na rede municipal.
Alteração do nível de ruídos	A, B, C	Medida preventiva e corretiva por meio da manutenção de máquinas, restrição de horário para trabalhos noturno, fornecimento de EPI. Elaboração do Programa de Monitoramento dos níveis de Ruídos e Vibrações, Plano de Proteção ao Trabalhador e Segurança do Trabalho.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio da restrição de as atividades construtivas ao período entre 7h e 18h nos dias úteis. Realização de manutenção das máquinas e equipamentos. Umidificação dos solos durante

		as atividades, com o objetivo de reduzir a emissão de poeira. Reforço do respeito aos limites de velocidade nas vias, em especial nas vias sem pavimentação asfáltica e próximas às comunidades. Divulgação para a população sobre os canais de comunicação para reclamações quanto aos impactos gerados.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio de monitoramento periódico de níveis de ruídos, estabelecimento de canais de comunicação para reclamações e boletins informativos, atendimento das comunidades circunvizinhas em casos de danos à saúde por esse impacto.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio da regulação de equipamentos pesados utilizados, respeitando os limites para as emissões de vibrações no solo e de ruídos, conforme a Norma Regulamentadora ABNT 10.151/2020.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio da utilização de veículos e equipamentos novos e de Protetores Auriculares por todos os agentes da obra. Fiscalização do Técnico de Segurança do Trabalho na execução das medidas Adotadas. Medição periódica dos níveis de ruído nos receptores críticos para que se mantenham dentro dos limites da legislação.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio da execução do Programa de Monitoramento dos Níveis de Ruídos, com realização de medições periódicas dos níveis de pressão sonora durante a fase de implantação, planejamento dos horários de maior ruído, como o transporte de pessoal, materiais e

		equipamentos, evitando os horários de pico e noturnos.
Alteração da qualidade do solo	A	Medidas preventivas e corretivas por meio da manutenção periódica de veículos e equipamentos, realização de treinamento dos profissionais que manuseiem substâncias potencialmente contaminantes, adoção de procedimentos visando evitar acidentes que possam acarretar contaminação dos solos e da água, manutenção dos equipamentos de drenagem e realização de vistorias periódicas.
	B	Medida preventiva e corretiva por meio de monitoramento de geração de efluentes, geração de resíduos sólidos, realização de vistorias de equipamentos e veículos. Estabelecimento do Plano de Monitoramento da Qualidade da Água, Plano de Recuperação de Áreas Degradadas e o Plano de Gerenciamento de Resíduos sólidos da construção civil.
	C	Medidas preventivas e corretivas por meio de sistema de segregação, coleta seletiva e destinação ambientalmente adequada dos resíduos, vistorias de veículos e equipamentos, disponibilização de kits de emergência para contenção de derramamentos em locais estratégicos no canteiro de obras, armazenamento de produtos químicos em locais adequados e implementação de sistemas de drenagem.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio da realização de monitoramento da qualidade dos solos periodicamente, por meio de vistorias visuais, armazenamento de resíduos em locais adequados e

		impermeabilizados, adoção do Plano de Gerenciamento de Riscos e evitação de exposição do solo e medidas específicas com relação ao processo de terraplanagem.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio de acompanhamento das alterações físico-químicas do solo, monitoramento de evolução dos processos erosivos, restauração de vegetação.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio da manutenção dos veículos e equipamentos a serem realizados fora da área do projeto, com remoção dos solos contaminados, com destinação a aterro sanitário.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio da realização de treinamentos de funcionários no acondicionamento de materiais e de resíduos sólidos gerados, manutenção periódica das instalações e acompanhamento constata dos resultados das análises de solo.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio de manutenção mecânica preventiva de equipamentos e veículos, treinamento adequado para profissionais que manipulam substâncias contaminantes, uso de bacias de contenção ou lonas sob reservatórios de combustível, aplicação de procedimentos básicos em casos de vazamentos, remoção e destinação correta de solo afetado por infiltração, implementação do Programa Ambiental da Construção (PAC), Programa de Controle e Monitoramento da Qualidade do Solo e Programa de Educação Ambiental para prevenção e solução de acidentes relacionados a derramamentos.

Alteração da qualidade das águas subterrâneas	A	Medidas preventivas e corretivas com a adoção do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água, com a determinação dos pontos de monitoramento.
Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	B	Medidas preventivas e corretivas por meio da promoção do controle e do monitoramento dos processos erosivos, operação adequada do sistema ou dispositivos auxiliares inerentes ao tratamento de efluentes gerados, promoção do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos gerados durante a execução da obra e execução de um sistema eficaz de drenagem de águas e realização de campanhas de seu monitoramento.
	C	Medidas preventivas e corretivas por meio da execução de um sistema eficaz de drenagem de águas, realização de campanhas de monitoramento da qualidade da água bruta dos possíveis corpos hídricos a sofrerem influência na área do projeto, armazenamento de produtos químicos em locais adequados.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio da proteção de lagoas e outras fontes de água, criação de um sistema de drenagem que respeite a topografia natural do terreno, realização obras preferencialmente durante períodos secos e armazenamento de resíduos em áreas adequadas e impermeabilizadas, conforme o Plano de Gerenciamento de Risco, para prevenir vazamentos.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio de revisões periódicas de maquinários e veículos, regulagem química do solo e da água, análises dos padrões de água, instituição de canal de denúncias.

	F	Medida preventiva por meio do manejo adequado dos materiais excedentes das escavações para áreas topograficamente mais baixas, para que estes não sejam depositados nos leitos das drenagens.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio de cuidados com a realização de processos de terraplanagem e através da delimitação das áreas de supressão vegetal.
	H	Medidas Preventivas e corretivas por meio da implantação do Plano Ambiental da Construção, contendo o gerenciamento de resíduos sólidos e o tratamento adequado dos efluente. Execução de subprogramas e monitoramento dos efluentes, bem como checagem da eficiência do sistema de tratamento de forma periódica. Estabelecimento de sistemas de tratamento de efluentes oleosos e execução do Programa de Educação Ambiental com os trabalhadores de obra.
Desencadeamento de processos erosivos	A	Medida preventiva e corretiva por meio de Programa de Controle de Erosão e Sedimentação e campanhas de monitoramento.
	B	Medida preventiva e corretiva por meio de ações como o terraceamento e a recomposição da cobertura vegetal presentes no Programa de Prevenção e Controle de Processos Erosivos. Para a reposição florestal será adotada o método de plantio aleatório.
	C	Medidas preventivas e corretivas por meio do Programa de Prevenção e Controle de Processos Erosivos, adoção de técnicas para conservação do

		solo, como terraceamento, execução de canais escoadouros, e recomposição por meio de cobertura vegetal, construção de barreiras temporárias ou permanentes nos canais de escoamento, limitação do movimento e a remoção de solo apenas às áreas essenciais para a instalação dos painéis solares.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio de monitoramento da erosão antes, durante e após o projeto, evitação de escavações e compactação do solo na chuva, armazenamento de materiais descartados de forma afastada de corpos hídricos e APPs, adaptação do sistema de drenagem ao fluxo natural do terreno e recuperação de áreas usadas para canteiros de obras, áreas de empréstimo e locais de descarte.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio de contenção e monitoramento contínuo da erosão em áreas sensíveis, análise das mudanças físico-químicas do solo e reconstituição florestal durante as fases de execução, operação e desativação, bombeamento ou drenagem de águas pluviais, proteção de taludes, monitoramento de escoamento de águas superficiais.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio de disposição de vegetação herbácea ao longo das margens das estradas e proteção contra erosão em áreas próximas aos equipamentos, especialmente durante o período chuvoso. Realização de supressão vegetal somente quando estiver próximo do início das obras de terraplenagem, evitando que o terreno fique

		exposto aos agentes intempéricos por longo período.
	G	Medidas preventivas e corretivas através do mapeamento de possíveis áreas de instabilidade após a supressão vegetal, realização terraplanagem somente em locais demarcados e monitoramento das zonas instáveis encontradas.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio da implementação do Plano Ambiental para Construção (PAC) com ações de controle de formação de focos de processos erosivos, prevenção da perda de solo e execução contínua do Projeto de Drenagem a serem aplicadas nos acessos, canteiro de obras e áreas de depósito temporário de solo.
Riscos de acidentes de trabalho	A	Medida preventiva e corretiva por meio de sistemas de sinalização, adoção do Programa de Proteção ao Trabalhador e Segurança no Ambiente de Trabalho, implementação do Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (PCMAT), Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) e Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional (PCMSO), treinamento e conscientização dos funcionários pela equipe de Segurança do Trabalho.
	B	Medida preventiva e corretiva por meio de treinamento de segurança, instruções aos trabalhadores sobre os riscos envolvidos nas atividades através do Programa de sinalização das obras do empreendimento, do Plano de Contingência e Combate a Incêndios e do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA.

	C	Medidas preventivas e corretivas por meio de treinamento de segurança a todos os funcionários e contratados envolvidos na instalação do complexo fotovoltaico, sinalização locais de veículos e equipamentos.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio de sinalizações e difusão de informações, capacitação quanto ao uso de EPIs e EPCs, acompanhamento do ambiente de trabalho.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio EPIs aos operários, seguimento das normas de segurança durante a construção, adoção do Programa de Proteção ao Trabalhador e Segurança do Ambiente de Trabalho, montagem de equipamentos conforme especificações do fabricante, inspeção técnica diária dos equipamentos e treinamento dos operários auxiliares no manuseio seguro deles. Disponibilização de equipe especializada, com ambulância em áreas de canteiro de obras.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio de rigoroso cumprimento das normas de segurança, incluindo a instalação de um ambulatório para atendimentos emergenciais. Realização de ações de Educação Ambiental voltadas aos trabalhadores para prevenir acidentes, acompanhamento das atividades de maior risco por profissionais especializados, implementação de programas de treinamento contínuo e outras ações educativas.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio de cumprimento das normas reguladoras, manutenção de práticas de

		segurança como DDS e uso de EPIs, treinamento dos colaboradores sobre riscos, implementação de equipamentos de proteção coletiva, elaboração de um manual de conduta, execução do Programa de Proteção ao Trabalhador e do Programa de Gerenciamento de Riscos.
Geração de resíduos sólidos e de efluentes	A	Medidas preventivas e corretivas por meio de acondicionamento e destinação adequados dos resíduos sólidos e efluentes, em conformidade com as legislações aplicáveis, são vinculadas ao Programa de Gestão Ambiental e ao Programa de Educação Ambiental do empreendimento.
	B	Medida preventiva e corretiva com instalação de tratamento provisório de efluentes e programas de monitoramento ambiental conforme os Planos de Monitoramento da Qualidade da Água, do Solo e o Programa de Educação Ambiental.
	C	Medidas preventivas e corretivas por meio de contratação de empresa licenciada para coleta, transporte e correta destinação dos resíduos, promoção do reuso e da reciclagem e definição de áreas para acondicionamento de resíduos e gerenciamento planejados dos resíduos sólidos. Implementação de sistemas de tratamento de efluentes provisórios, durante a fase de instalação.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio da destinação adequada e armazenamento dos resíduos, realização de capacitações e boletins informativos, recuperação de possíveis áreas contaminadas, correção dos parâmetros de efluentes,

		implantação de programa de coleta seletiva.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio de um sistema adequado de esgotamento sanitário nas edificações, garantindo que a disposição final dos efluentes siga as normas da ABNT e considere as condições geotécnicas do terreno. Implementação de sistema de coleta de resíduos sólidos e depósitos para disposição temporária de materiais reaproveitáveis ou recicláveis nas instalações do canteiro de obras.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio de acondicionamento adequado dos resíduos de acordo com o Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, seleção e identificação de locais apropriados para a deposição de resíduos com coleta periódica para evitar acúmulo e exposição prolongada, e implementação de um Programa de Monitoramento da Fauna junto a um Programa de Resgate e Afugentamento, ou Salvamento da Fauna, sob supervisão de um profissional qualificado na área ambiental.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio de instalação de tratamento dos efluentes, treinamento dos profissionais, separação e acondicionamento dos resíduos, eliminação de fontes de contaminação por efluentes, monitoramento e fiscalização constante dos sistemas.
Atropelamento e afugentamento de fauna	A	Medida preventiva e corretiva partir de sistemas de sinalização e do Programa de Educação Ambiental e do Programa de Comunicação Social por meio de diálogos com os colaboradores e

		população local a respeito da importância da fauna e formas de manter sua integridade durante a realização das atividades. Adoção de Programas de Resgate e Manejo da Fauna, e de Monitoramento da Fauna.
	C	Não mencionado.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio de afugentamento e manejo da fauna antes e durante a supressão vegetal, restrição de atividades noturnas, minimização de novos acessos, controle da geração de poeira e ruído, monitoramento contínuo da fauna para verificar a presença de espécies ameaçadas e adoção de medidas adicionais quando necessário, além de orientação a funcionários e comunidade para evitar perturbações à fauna e eliminar caça e comércio ilegal.
	E	Medidas preventivas e corretivas por meio de divulgação de informações e orientações a respeito da fauna, sistemas de sinalização, ações de salvamento de fauna.
	F	Medidas preventivas e corretivas por meio de cercamento e sinalização das cavas das fundações, caso não sejam preenchidas imediatamente, foram adotadas para evitar a queda de animais silvestres. Realização do afugentamento e resgate de fauna anteriormente à supressão da vegetação.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio de orientação aos funcionários sobre animais de interesse médico; início da supressão da vegetação nas áreas mais antropizadas, direcionando a fauna para locais apropriados; demarcação de áreas reprodutivas conforme o Programa de Resgate e

		Afugentamento da Fauna; e acompanhamento por profissional ambiental durante o monitoramento, resgate e afugentamento.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio da execução do Programa de Monitoramento de Fauna e do subprograma de Recuperação de Áreas Degradadas, bem como a recuperação de Áreas de Preservação Permanente. Havendo ainda a execução do Programa de Educação Ambiental.
Interferência do cotidiano da população	A	Medida Compensatória e Corretiva por meio de palestras e ações a fim de levar informação à comunidade através do Programa de Educação Ambiental, Programa de Comunicação para as Comunidades Circunvizinhas ao Empreendimento e do Programa de Proteção ao Trabalhador e Segurança do Ambiente de Trabalho.
	B	Medidas preventivas e corretivas através do controle do tráfego, seguindo o Programa de Educação Ambiental e o Plano de Monitoramento dos níveis de ruídos e vibrações.
	D	Medidas preventivas e corretivas por meio de encontros com colaboradores e moradores da área, para realização de diálogos abertos, estabelecimento de um canal de comunicação aberto com a população para eventuais reclamações. Inclusão de eventos de comunicação social, formas de captar as percepções dos moradores da vizinhança sobre como as atividades construtivas têm afetado seu cotidiano. Estabelecimento de medidas para o controle e manutenção dos equipamentos e

		maquinários e sinalização de vias.
	G	Medidas preventivas e corretivas por meio da comunicação com os moradores das áreas de influência do empreendimento, desde a fase prévia às obras. Estabelecimentos de canais para registro de dúvidas, reclamações e sugestões. Determinação de sinalização quando ocorrer alterações na dinâmica local do Empreendimento.
	H	Medidas preventivas e corretivas por meio do desenvolvimento do Programa Ambiental de Construção (PAC), com controle e a manutenção dos equipamentos e maquinários, controle dos horários de intervenção construtiva e deslocamento de veículos. Manutenção de canal de comunicação aberto com a população, por meio do Programa de Comunicação para as Comunidades e execução do Programa de Saúde das Populações Circunvizinhas.
Ampliação da matriz elétrica renovável	A, C	Medida potencializadora a partir do aproveitamento sustentável do potencial local, considerando a possibilidade futura de incorporar outras fontes renováveis de energia, empregar tecnologias avançadas visando ao aproveitamento máximo da capacidade de geração de energia e à disponibilidade necessária para a segurança energética.
	B	Medida potencializadora por meio da incorporação de outras fontes renováveis de energia ao projeto, empregando tecnologias avançadas para eficiência energética máxima, através do Plano de Comunicação para as Comunidades Vizinhas e do Plano de Educação Ambiental.

	D	Medida potencializadora por meio da realização de manutenção periódica da usina fotovoltaica na fase de operação.
	E	Não mencionado.
	F	Não mencionado.
	G	Medida potencializadora, considerando-se a geração de benefícios, como incentivos fiscais para que possa ter um estímulo à implantação de outros empreendimentos semelhantes.
	H	Medidas potencializadoras a divulgação da importância da geração de energia solar para a matriz energética brasileira e a execução do Programa de Comunicação para as Comunidades.

Fonte: Autora (2025).

As medidas mitigadoras propostas pelos estudos para os impactos ambientais levantados se assemelharam em diversos pontos, principalmente em se tratando das potencializadoras, em destaque para as destinadas aos impactos de geração de emprego e renda, arrecadação tributária e de ampliação da matriz elétrica renovável. Entre os impactos negativos, suas respectivas medidas também apresentaram semelhanças entre os estudos, repetindo-se ainda para impactos diferentes, o que demonstra a relação entre eles, isto é, um impacto pode gerar outro.

A partir da análise do Quadro 9, pode-se observar que as medidas mitigadoras que mais se repetem entre os empreendimentos são o controle de processos erosivos, como forma de evitar a degradação do solo e o assoreamento de corpos d'água próximos, o monitoramento da água, como forma de garantir a não contaminação dos recursos hídricos locais, bem como o devido manejo e destinação dos resíduos sólidos e efluentes. Além da realização de revegetação de áreas onde ocorreram o processo de supressão vegetal.

Vale destacar que o estudo E não elaborou medidas potencializadoras para os seus impactos positivos levantados. Em relação ao estudo F, não foram estabelecidas medidas mitigadoras específicas para cada impacto. Em vez disso, foi elaborada uma série de ações a serem implementadas durante as fases de planejamento, implantação e operação do projeto. No Quadro 9, essas medidas foram distribuídas entre os impactos de forma a serem mais adequadas a cada situação.

5 CONCLUSÃO

O crescimento do uso das usinas solares fotovoltaicas é evidente e há uma perspectiva de avanço desta tecnologia para os próximos anos, fato que pode ser associado a diversos fatores, bem como redução do custo dos seus equipamentos e o crescimento de investimentos no setor em decorrência do objetivo se priorizar fontes energéticas renováveis, com redução de emissões de gases de efeito estufa ao redor do mundo.

Porém, assim como qualquer outra atividade, uma usina fotovoltaica também está sujeita a causar diversos impactos ambientais adversos, que devem ser cuidadosamente analisados, determinando suas respectivas medidas mitigadoras. Entre os principais impactos analisados, destacam-se a alteração da paisagem, a degradação do solo, o risco de contaminação dos recursos hídricos, o refúgio de fauna, entre outros. Esses impactos podem afetar de forma direta ou indireta os meios físicos, bióticos e socioeconômicos, podendo comprometer o equilíbrio ambiental.

Além disso, é fundamental considerar a gestão adequada do descarte das placas fotovoltaicas, pois, embora a maioria delas seja reciclável, ainda há a necessidade de assegurar que haja locais especializados para o seu recebimento. Isso é muito importante, não apenas para minimizar os impactos ambientais negativos, mas também garantir que a sustentabilidade dos empreendimentos fotovoltaicos seja pertinente durante todo o seu processo, inclusive ao final de sua vida útil.

Vale ressaltar, no entanto, que esses empreendimentos também geram uma série de impactos positivos. A implantação de usinas solares fotovoltaicas pode impulsionar a criação de empregos e o aumento da renda local, promovendo o crescimento da economia regional. Além disso, projetos como esses atraem novos investimentos e contribuem para a diversificação da matriz energética nacional, reduzindo assim a dependência de fontes não renováveis, o que contribui para uma transição mais sustentável. Esses benefícios são capazes de fortalecer a economia local, onde esses empreendimentos estão inseridos, e para o avanço das metas ambientais do país.

Ademais, com a realização deste trabalho, observou-se que há estudos que reutilizam metodologias e avaliações de impactos de trabalhos anteriores, especialmente quando desenvolvidos pela mesma empresa de consultoria. No entanto, em avaliações de impactos ambientais, é fundamental realizar uma análise detalhada e específica de cada caso, evitando a simples adaptação de dados, o que pode comprometer a precisão dos resultados e

subestimar os reais efeitos sobre o meio ambiente. A originalidade e a qualidade da análise são essenciais para garantir a validade e a aplicabilidade dos resultados.

Diante disso, conclui-se que é primordial que um estudo de impacto ambiental (EIA) de empreendimentos e atividades seja conduzido com responsabilidade e veracidade, buscando refletir a realidade do local onde o projeto será implementado, apresentando informações que considerem os impactos diretos e indiretos. Com isso, será possível que se tomadas de decisões e planejamentos estratégicos mais precisos e eficientes, a fim de se mitigar esses impactos, pois a falta de uma avaliação rigorosa pode resultar em danos irreversíveis ao meio ambiente e à sociedade.

REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Brazil**. *International Energy Agency*, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO CEARÁ. EIA/RIMA. Secretaria do Meio Ambiente, 2025. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Brazil: energy mix**. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil/energy-mix>. Acesso em: 28 nov. 2024.

GLOBAL CLIMATESCOPE. **Climatescope 2023 Report**. 2023. Disponível em: <https://www.global-climatescope.org/downloads/climatescope-2023-report-en.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

GLOBAL CLIMATESCOPE. **Results**. *Global Climatescope*, 2024. Disponível em: <https://www.global-climatescope.org/results>. Acesso em: 26 nov. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Solar PV**. *International Energy Agency*, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>. Acesso em: 26 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Geração**. *Agência Nacional de Energia Elétrica*, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 26 nov. 2024.

CEARÁ. **Primeira usina de energia solar é inaugurada no Ceará**. *Governo do Estado do Ceará*, 4 ago. 2011. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2011/08/04/primeira-usina-de-energia-solar-e-inaugurada-no-ceara/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS (MDIC). **Energia solar fotovoltaica**. *Governo Federal*, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/sustentabilidade/energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 26 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. *Agência Nacional de Energia Elétrica*, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 26 nov. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Solar energy**. *International Renewable Energy Agency*, 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>. Acesso em: 26 nov. 2024.

BNDES. **A energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/energia-solar>. Acesso em: 26 nov. 2024.

ABSOLAR. **Infográfico**. *Associação Brasileira de Energia Solar*, 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

ABSOLAR. **O que é energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Energia solar: boa para o meio ambiente, a economia e a sociedade**. *Governo Federal*, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/energia-solar-bo-para-o-meio-ambiente-a-economia-e-a-sociedade>. Acesso em: 26 nov. 2024.

PIMENTEL, G.; PIRES, S. H. Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus limites. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 56 a 68, 1992. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rap/article/view/8812>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 dez. 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

FILHO, W. P. B. *et al.* EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: IMPACTOS AMBIENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 628–642, 7 dez. 2015.

MMA. **Com meta ambiciosa, Brasil anuncia redução de 50% nas emissões de carbono até 2030**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/anuncio-de-ampliacao-da-meta-de-reducao-de-emissoes-para-50-ate-2030-e-destaque-nas-primeiras-participacoes-do-brasil-na-cop26>>. Acesso em: 6 dez. 2024.

RAMOS, L. A.; DURANTE, L. C; CALLEJAS, I. J. A. Geração de Eletricidade Abordando o Ciclo de Vida: Uma Revisão Sistemática sob a Ótica da Sustentabilidade Ambiental. **E&S – Engineering and Science**. [S. l.], v. 6, n. 1, p. 14-28, 2017. DOI: OI: 10.18607/ES20176067. Acesso em: 7 dez. 2024.

NASCIMENTO, M. G. do.; SOUZA, B. C. B. N. de; MENEZES JÚNIOR, R. A. de.; CÂMARA, R. A.; FERNANDES, A. C. G.; MELLO, S. C. de. Environmental impacts associated with the installation and operation of solar parks: study of interest level by cognitive analysis of data TREND DATA. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 13, p. e255111335265, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35265. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35265>. Acesso em: 7 dez. 2024.

ANEEL. **Expansão da matriz elétrica em 2024 chega a 10,3 GW e está prestes a quebrar recorde de crescimento anual**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/expansao-da-matriz-eletrica-em-2024-chega-a-10-3-gw-e-esta-prestes-a-quebrar-recorde-de-crescimento-anual>>. Acesso em: 8 dez. 2024.

ABSOLAR. **Mercado**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/>>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SOUSA, D. V. de. O CONCEITO DE IMPACTO AMBIENTAL NO QUADRO DO CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 19, p. 126–129, 2006. DOI: 10.14393/RCG71915494. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15494>. Acesso em: 10 dez. 2024.

CRESESB. **Energia solar princípios e aplicações**. Disponível em: https://cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 12 de dez. 2024.

ABSOLAR. **A evolução tecnológica fotovoltaica e seus benefícios ao Brasil**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/artigos/a-evolucao-tecnologica-fotovoltaica-e-seus-beneficios-ao-brasil/>>. Acesso em: 16 dez. 2024.

VENTORIN, A. **Energia solar já evitou 50 milhões de toneladas de CO2 no Brasil**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/energia-solar-ja-evitou-50-milhoes-de-toneladas-de-co2-no-brasil/>>. Acesso em: 16 dez. 2024.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Futuro da Energia: o papel da transição energética na economia do Brasil**. São Paulo: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2024/10/OC_Futuro-da-Energia_DIGITAL.pdf. Acesso em: 17 dez. 2025.

IBAMA. **Sobre o Licenciamento Ambiental Federal**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/sobre>. Acesso em: 17 dez. 2024.

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Fundo Nacional sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/secex/dfre/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima>>. Acesso em: 19 dez. 2024.

LIRA, M. A. T.; MELO, M. L. DA S.; RODRIGUES, L. M.; SOUZA, T. R. M Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO2 no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786343046>. Acesso em: 29 de dez. 2024.

VENTORIN, A. 7 coisas que você precisa saber sobre a Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/7-coisas-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 9 dez. 2024.

CEARÁ. **Resolução COEMA N°02, de 11 de abril de 2019**. Dispõe sobre os procedimentos, critérios, parâmetros e custos aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, CE, 17 mai. 2019.

CEARÁ. **INSTRUÇÃO NORMATIVA N°01/2018**. Estabelece procedimentos e conteúdo mínimo para estudos atrelados ao licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar fotovoltaica, e por fonte eólica em superfície terrestre, previstos na Resolução COEMA N°06, de 06 de setembro de 2018 e Resolução COEMA

Nº07, de 06 de setembro de 2018 respectivamente. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, CE, 22 de nov. 2018.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de jan. 1986.

CEARÁ. **Resolução COEMA Nº06, de 06 de setembro de 2018.** Dispõe sobre a simplificação e atualização dos procedimentos, critérios e parâmetros aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE para os empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar no estado do Ceará. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, CE, 18 set. 2018.

CEARÁ. **Resolução COEMA Nº03, de 03 de março de 2016.** Dispõe sobre a implantação de sistemas de micro e minigeração distribuída de energia a partir de fontes renováveis. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, CE, 07 abr. 2016.

BRASIL. **Decreto de 27 de dezembro de 1994.** Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios - PRODEEM, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 dez. 1994.

OLIVEIRA, A. T. E. de; SOBREIRA, A. A.; COSTA, H. F. da; FERREIRA, J. dos S.; PEREZ, C. A. S. Photovoltaic solar energy: transformation, evolution, environmental aspects and approaches in the classrooms . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 9, p. e25811932533, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.32533. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/32533>. Acesso em: 29 dez. 2024.

EPE. **Expansão da Geração Solar Fotovoltaica Flutuante: Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao Planejamento.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2024.

ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 29 dez. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 14.300 de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 jan. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Final do PNE 2050.** Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2025.

SÁNCHEZ, Luís Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

BRAGA, Benedito P. F. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

CEARÁ. **Lei Complementar Nº 314 de 7 de setembro de 2023**. Institui o Programa Renda do Sol como política pública permanente baseada no incentivo ao uso da energia solar no estado do Ceará, com foco na geração de renda, e altera a lei complementar n.º 170, de 28 de dezembro de 2016. Diário Oficial do Estado, Fortaleza, CE, 11 set. 2023.

EIA - U.S. Energy Information Administration. **Photovoltaics and electricity**. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php>. Acesso em: 21 jan. 2025.

UNICEF. **Fontes renováveis de energia e combustíveis fósseis**. *UNICEF Brasil*, 2024. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/innocenti/blog/fontes-renovaveis-de-energia-e-combustiveis-fosseis>. Acesso em: 21 fev. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. **Qual a importância do Brasil no Acordo do Clima de Paris**. ONU Brasil. 04 nov. 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/81635-artigo-qual-%C3%A9-import%C3%A2ncia-do-brasil-no-acordo-do-clima-de-paris>. Acesso em: 21 fev. 2025.

SILVA, Luciene Fernanda da; ASSIS, Alice. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 313–324, 2012. DOI: 10.5007/2175-7941.2012v29n2p313. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n2p313>. Acesso em: 28 fev. 2025.

COSTA, H. R. S.; CAMARGO, P. L. T. DE; ALVES, F. DA S. Impactos ambientais causados pelo ciclo de vida de painéis fotovoltaicos. **ForScience**, v. 11, n. 1, p. e01210, 9 ago. 2024.