



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



MARIA DA CONCEIÇÃO GOMES BERNARDO

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE
UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA - PB
2025

MARIA DA CONCEIÇÃO GOMES BERNARDO

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA IMPLANTAÇÃO DE
UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Raphael Leite de Andrade Reis

Coorientadora

Prof^ª. Dr^a. Monica Carvalho

**JOÃO PESSOA - PB
2025**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B523i Bernardo, Maria da Conceição Gomes.

Impactos ambientais e socioeconômicos da implantação de uma usina solar fotovoltaica no estado da Paraíba / Maria da Conceição Gomes Bernardo. - João Pessoa, 2025. 79 f. : il.

Orientação: Raphael Leite de Andrade Reis.

Coorientação: Monica Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Impactos ambientais - Usina energia solar. 2. Impactos sociais. 3. Gestão ambiental. 4. Energia solar - Geração e distribuição. 5. Sustentabilidade. I. Reis, Raphael Leite de Andrade. II. Carvalho, Monica. III. Título.

UFPB/BC

CDU 504.61(043)

Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis – PPGER

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA
IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO
ESTADO DA PARAÍBA**

por

MARIA DA CONCEIÇÃO GOMES BERNARDO

Dissertação aprovada em 1 de agosto de 2025


Prof.^(a). Dr.(a). RAPHAEL LEITE DE ANDRADE REIS
Orientador(a) - UFPB


Prof.^(a). Dr.(a). MONICA CARVALHO
Coorientador(a) - UFPB


Prof.^(a). Dr.(a). ÍTALO ROGER MORENO PINHEIRO DA SILVA
Examinador(a) Interno(a) - UFPB


Prof.^(a). Dr.(a). MARTA CELIA DANTAS
Examinador(a) Externo(a) - UFPB

*João Pessoa – PB
2025*

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha avó Ilza Gomes Bernardo – *in memoriam* –, minha melhor amiga e maior referência de força, fé e amor na terra. Minha professora, maior incentivadora, minha base e meu exemplo de amor. Você segue viva em meu coração e pensamento todos os dias. A ti, todo o meu amor e eterna gratidão. Para sempre.

Dedico também às minhas filhas amadas, Sophia e Cecília, razão maior da minha existência, minha inspiração diária, minha força para seguir em frente. Que este trabalho seja mais uma semente de amor e dedicação plantada para o futuro de vocês.

*"Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos."
(Provérbios 16:3)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por Sua infinita bondade, por me conduzir em cada passo e me dar saúde e força para seguir realizando os meus sonhos.

Às minhas filhas amadas, Sophia e Cecília, que são o meu maior motivo de perseverança, força e inspiração. Tudo que faço é por vocês e para vocês. Cada esforço, cada renúncia e cada conquista carrega o amor imenso que tenho por suas vidas. Vocês são o meu maior sonho realizado.

À minha mãe, Márcia Virgínia, por todo esforço e dedicação e pelo apoio ao cuidar das minhas filhas em momentos importantes, permitindo que eu pudesse me dedicar aos estudos e a outros compromissos. Sua contribuição foi essencial para que este trabalho se tornasse possível.

A todos os meus amigos, que me apoiaram e tornaram meus dias mais leves. Em especial, aos queridos Rayanne Odila, Rebecka, Hrannye, Lyjannda e Gigliolla: vocês sempre foram – e continuam sendo – minha base e referência de amor, apoio e leveza em todos os âmbitos da minha vida. Obrigada por segurarem a minha mão sempre que eu preciso.

À minha querida amiga e irmã de alma, Gigliolla Moura, que esteve ao meu lado em todos os momentos desta caminhada. Sua presença foi essencial: minha maior incentivadora, ouvinte, professora, conselheira, e exemplo na área acadêmica. Foi com sua força e confiança em mim que acreditei ser possível trilhar mais esse caminho. Amiga, obrigada por tudo que você é e representa em minha vida.

Às minhas amigas queridas do mestrado, Laura Diniz e Katarina Ferreira, por tornarem essa jornada mais leve, com apoio constante, momentos compartilhados e boas risadas. Foi uma alegria imensa dividir essa etapa com vocês.

A todos os amigos e colegas que, de alguma forma, contribuíram, acompanharam e participaram desta jornada, o meu muito obrigada. A presença de vocês foi fundamental no meu caminho até aqui.

Ao meu orientador, Raphael Leite, por toda dedicação, paciência, apoio e incentivo ao longo desta caminhada. Suas palavras foram fundamentais não apenas para o meu crescimento acadêmico, mas também como força para seguir em frente nos momentos desafiadores. Sem seu apoio, este trabalho não teria sido possível. Obrigada pela orientação, pelo comprometimento e,

acima de tudo, pelo ser humano que você é.

À minha coorientadora, Monica Carvalho, por toda confiança depositada em mim, pelas valiosas contribuições e pelo apoio constante durante todo esse processo. Serei eternamente grata por sua presença e parceria nesta trajetória.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, com os quais tive o imenso prazer de cruzar caminhos ao longo desta jornada, e que contribuíram de forma significativa para o meu crescimento acadêmico e pessoal, em especial a professora Riuzuani, professora Marta e ao professor Italo Roger com excelentes contribuições para a melhoria desse trabalho. A cada um, o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

O estudo aborda a instalação de uma usina de geração e distribuição de energia solar no município de Juazeirinho, Paraíba. A pesquisa tem como objetivo identificar e analisar os impactos ambientais e sociais decorrentes do processo de instalação de uma usina fotovoltaica de 1 MW, desde as etapas iniciais até a finalização do projeto. Para tanto, busca-se quantificar e qualificar esses impactos, propondo estratégias de mitigação e de reaproveitamento de materiais. Destacam-se as considerações legais e ambientais, com ênfase no papel do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e na necessidade de Licenciamento Ambiental Simplificado (LAS) para o empreendimento. A análise da área de estudo foi realizada por meio da aplicação de ferramentas simplificadas de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), identificando áreas de influência, métodos de instalação, medidas mitigadoras e programas de controle ambiental. O estudo foi motivado pela ausência de licenciamento ambiental em pequenos empreendimentos solares no semiárido paraibano. Os resultados apontaram impactos de magnitude moderada a alta, com destaque para supressão vegetal, compactação do solo e alteração da paisagem. Recomenda-se a adoção de práticas de reaproveitamento de resíduos e a implementação de programas contínuos de monitoramento ambiental, de modo a reduzir efeitos negativos e fortalecer a sustentabilidade do setor. Conclui-se que a aplicação prática e sistemática das ferramentas da AIA em empreendimentos de pequeno porte representa uma contribuição relevante para o fortalecimento das práticas de avaliação e gestão ambiental em escala local.

Palavras-Chave: impactos sociais. Gestão ambiental. geração distribuída. mitigações. sustentabilidade.

ABSTRACT

The study addresses the installation of a solar power generation and distribution plant in the municipality of Juazeirinho, Paraíba, Brazil. The research aims to identify and analyze the environmental and social impacts resulting from the installation process of a 1 MW photovoltaic plant, from the initial stages to project completion. The study seeks to quantify and qualify these impacts, proposing mitigation strategies and material reuse practices. Legal and environmental aspects are highlighted, emphasizing the role of the National Environment Council (CONAMA) and the need for Simplified Environmental Licensing (LAS) for such enterprises. The study area was analyzed using simplified Environmental Impact Assessment (EIA) tools, identifying influence zones, installation methods, mitigation measures, and environmental control programs. The research was motivated by the lack of environmental licensing in small-scale solar enterprises in the semi-arid region of Paraíba. The results indicated impacts of moderate to high magnitude, mainly vegetation suppression, soil compaction, and landscape alteration. It is recommended to adopt waste reuse practices and implement continuous environmental monitoring programs to reduce negative effects and strengthen the sustainability of the solar energy sector. It is concluded that the practical and systematic application of EIA tools in small-scale projects represents a relevant contribution to the improvement of environmental assessment and management practices at the local scale.

Keywords: social impacts. environmental management. distributed generation. mitigations. sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo da energia solar fotovoltaica	16
Figura 2 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil	20
Figura 3 - Localização Geográfica da cidade de Juazeirinho – PB	23
Figura 4 - Localização Geográfica do empreendimento	23
Figura 5 - Área de construção do empreendimento	24
Figura 6 - Esquema do sistema de geração fotovoltaica com módulos, QDVcc, inversor, QDG e subestação	26
Figura 7 - Áreas de influência do empreendimento.....	31
Figura 8 - Área do empreendimento sem vegetação devido à supressão vegetal	33
Figura 9 - (a) Movimentação de máquina no solo; (b) Erosão laminar na área de instalação; (c) Remoção de espécie nativa; (d) Área já preparada para implantação da usina	35
Figura 10 - (a, b) Queima indevida da vegetação suprimida.....	36
Figura 11 - Descarte inadequado de materiais	36
Figura 12 - (a) Construção de residencia temporária; (b) poço artesiano	37
Figura 13 - Construção de fossa séptica e sumidouro	38
Figura 14 - Entorno da área da usina fotovoltaica	39
Figura 15 - Fase inicial da obra	49
Figura 16 - Fase final da instalação da usina.....	50
Figura 17 - Conclusão da instalação da usina	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre Trabalhos de Avaliação de Impacto Ambiental em Usinas Solares	9
Tabela 2 - Componentes do sistema de energia solar fotovoltaica	25
Tabela 3 - Grau de magnitude dos impactos ambientais.....	29
Tabela 4 - Tabela de listagem de controle (<i>Checklist</i>).....	42
Tabela 5 - Matriz de interação dos impactos ambientais	44
Tabela 6 - Principais impactos identificados e destaques não convencionais.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Impactos ambientais observados e projetados por fase do empreendimento	41
Quadro 2 - Classificação de medidas ambientais	47
Quadro 3 - Medidas ambientais propostas para mitigação dos impactos identificados	47
Quadro 4 - Plano de monitoramento e medidas mitigadoras	48
Quadro 5 -Aspectos ambientais positivos	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental
ANEEL - Agência Nacional de Energia
Elétrica CA - Corrente Alternada
CC - Corrente Contínua
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e
Estatística kW - Quilowatt
LAS - Licenciamento Ambiental Simplificado
MW - Megawatt
PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos
Sólidos QDG - Quadro de Distribuição Geral
QDVca – Quadro de Distribuição de Corrente Alternada
QDVcc – Quadro de Distribuição de Corrente Contínua
QGIS – *Quantum Geographic Information System*
R – Linguagem e ambiente para computação estatística
RAS - Relatório Ambiental Simplificado
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
SIGs – Sistemas de Informações Geográficas
SUDEMA – Superintendencia de Meio Ambiente
SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 OBJETIVO GERAL	4
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	4
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
1.2.1 Síntese da Revisão Bibliográfica	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: SUSTENTABILIDADE DESENVOLVIMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	9
2.2 Legislação para Geração de Energia Fotovoltaica no Brasil: Histórico, Contexto e Desafios	13
2.3 Relatório Ambiental Simplificado (RAS)	17
2.4 Fundamentos e Potencial da Energia Solar Fotovoltaica	18
2.5 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	20
2.6 Prováveis Impactos Ambientais	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.2 Caracterização da área de estudo	22
3.3 Descrição do Empreendimento	25
3.4 Conceitos Metodológicos	26
3.5 Etapas das avaliações e coleta de dados	28
3.6 Caracterização da área para diagnóstico ambiental	31
3.7 Meio Físico	31
3.8 Geração de Empregos	33
3.9 Vias de Acesso	33

5. RESULTADOS OBTIDOS.....	34
5.2 Impactos ambientais identificados.....	40
5.3 Medidas Preventivas e Mitigadoras	46
5.4 Plano de Monitoramento Ambiental	47
5.4.1 Benefícios Ambientais e Socioeconômicos Observados	48
5.4.2 Prognóstico Ambiental.....	51
5.4.3 Análise Geral dos Resultados	52
6 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICES	66
APÊNDICE A – RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DO AUTOR.....	66

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por fontes de energia renováveis tem se intensificado em todo o mundo, refletindo a urgência de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica surge como uma solução promissora, sendo uma alternativa limpa, renovável e de baixo impacto ambiental (Weirich *et al.*, 2022; Fonseca *et al.*, 2022). Além de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, essa tecnologia também desempenha um papel estratégico na diversificação da matriz energética, diminuindo a vulnerabilidade do sistema às oscilações do mercado dos combustíveis fósseis (Bursztyn, 2020; Paulino *et al.*, 2022). No Brasil, estados como a Paraíba apresentam avanços expressivos nesse setor, com o crescimento de instalações residenciais e usinas de grande porte, refletindo o potencial do país para se tornar uma referência global em energia solar (Cougo da Cruz *et al.*, 2014).

O setor solar da Paraíba, por exemplo, já alcançou uma potência instalada superior a 400 MW, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2024). Essa evolução é resultado de políticas públicas e incentivos que visam estimular a adoção de fontes de energia renováveis, além de um maior acesso a tecnologias mais acessíveis e eficientes. No entanto, o crescimento acelerado do setor traz consigo a necessidade de um planejamento cuidadoso para lidar com os desafios ambientais e socioeconômicos associados à instalação e operação de usinas solares.

Apesar dos benefícios, é essencial compreender que a implantação de usinas solares não é isenta de impactos. Estudos ambientais realizados no Brasil apontam consequências como alterações na paisagem, modificações na fauna e na flora, bem como a ocupação de áreas anteriormente destinadas a outras atividades econômicas ou de preservação (Nascimento, 2022). Essas mudanças, embora às vezes considerados de menor magnitude em comparação com outras fontes de energia, não devem ser ignoradas. A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) torna-se, assim, uma ferramenta necessária, permitindo que os impactos sejam específicos, previstos e mitigados de maneira adequada. Conforme aponta Sánchez (2013), a AIA vai além da simples análise técnica, desempenhando um papel crucial na tomada de decisões que equilibram o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental.

No Brasil, o Licenciamento Ambiental Simplificado (LAS) foi criado como um mecanismo para facilitar o desenvolvimento de empreendimentos classificados como de baixo impacto ambiental, como as usinas solares fotovoltaicas de menor porte. Regulamentado pela Resolução CONAMA nº 279/2001, esse instrumento visa desburocratizar processos e incentivar o uso de fontes renováveis. No entanto, a aplicação desigual dessa exigência em algumas regiões do país levanta preocupações, especialmente em áreas onde a fiscalização ambiental é limitada. Essa lacuna regulatória pode comprometer a adoção de medidas mitigadoras e dificultar a gestão dos impactos, especialmente em empreendimentos instalados diretamente sobre o solo, que podem causar alterações significativas no ecossistema local.

Mesmo os empreendimentos de menor porte, muitas vezes considerados de baixo impacto, possuem potencial para gerar mudanças significativas no meio ambiente. Alterações no microclima, perda de *habitats* naturais e mudanças no padrão de uso do solo são exemplos de impactos que precisam ser monitorados e controlados (Santos *et al.*, 2021). A exigência de licenciamento ambiental para esses empreendimentos, portanto, não deve ser vista como um obstáculo, mas como uma garantia de que o crescimento do setor solar ocorra de maneira sustentável. Além disso, o licenciamento pode atuar como um instrumento de conscientização para os investidores, incentivando a adoção de práticas mais responsáveis desde a fase de planejamento.

Outro aspecto importante é o impacto socioeconômico da expansão da energia solar. Por um lado, o setor tem potencial para gerar empregos e economias locais, especialmente em regiões com alta incidência solar, como o Nordeste brasileiro. Por outro lado, a falta de um planejamento integrado pode levar a conflitos de uso do solo e ao deslocamento de comunidades, o que reforça a importância de medidas que assegurem a participação da sociedade no processo decisório. A AIA, aliada ao licenciamento, pode ser um canal para garantir que os benefícios da energia solar sejam distribuídos de forma ampla, minimizando os possíveis prejuízos para o público local.

Para mitigar os impactos no solo e na biodiversidade, o desenvolvimento de novas tecnologias tem sido impulsionado, como o uso de painéis solares flutuantes e de sistemas integrados às estruturas já existentes, como telhados e estacionamentos. Essas abordagens mostram que é possível equilibrar o crescimento do setor com a preservação ambiental, garantindo que os avanços tecnológicos atendam às demandas do presente sem comprometer as gerações futuras.

Portanto, o crescimento da energia solar no Brasil, especialmente em estados como a Paraíba, representa um avanço significativo na busca por uma matriz energética mais sustentável e diversificada. No entanto, esse progresso deve ser acompanhado de uma regulamentação robusta, que assegure a avaliação e mitigação dos impactos ambientais e promova a inclusão das comunidades locais, independente do porte ou da potência instalada. Ao aliar inovação tecnológica, planejamento estratégico e políticas públicas eficazes, é possível consolidar a energia solar como um pilar do desenvolvimento sustentável no país, conciliando o progresso econômico, a proteção ambiental e a justiça social.

Ainda que os empreendimentos solares sejam atualmente considerados projetos licenciáveis pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), na prática, muitas usinas têm sido implantadas e até conectadas à rede elétrica sem a finalização do processo de licenciamento ambiental, ou mesmo sem que ele seja iniciado. Isso ocorre porque não há exigência por parte da distribuidora de energia elétrica quanto à apresentação do licenciamento como condição para conexão, e, frequentemente, o tempo de instalação da usina é menor do que o prazo necessário para a liberação do processo ambiental. Essa lacuna contribui para a realização de obras sem planejamento ou controle ambiental adequado, sobretudo em regiões sensíveis como o semiárido paraibano, corroborando a necessidade por estudos que demonstrem os impactos ambientais, especialmente em instalações dispensadas desta exigência, assim como indiquem metodologias destinadas à proposição de medidas mitigadoras.

Dessa forma, esta pesquisa apresenta contribuições relevantes nos âmbitos acadêmico, social e profissional. No campo científico, o estudo avança ao aplicar ferramentas formais de Avaliação de Impacto Ambiental, como *checklist* e matriz de interação, em um estudo de caso prático, realizado em uma usina solar fotovoltaica de pequeno porte instalada no semiárido paraibano. Essa abordagem permite preencher uma lacuna identificada na literatura, que muitas vezes se restringe à análise teórica ou documental, sem contemplar a realidade local, aliando conhecimento técnico, abordagem interdisciplinar e prática aplicada à gestão ambiental no setor energético, favorecendo o avanço do conhecimento na área. No aspecto social, o estudo evidencia os efeitos do empreendimento sobre o território, a paisagem e as comunidades vizinhas, ressaltando a importância da participação social e do planejamento ambiental adequado. Por fim, no âmbito profissional, a pesquisa propõe uma metodologia acessível e replicável que pode ser incorporada por profissionais do setor de energia, mesmo em empreendimentos dispensados do licenciamento

ambiental, incentivando a adoção de boas práticas de gestão ambiental e o fortalecimento da responsabilidade socioambiental no contexto da geração distribuída.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os impactos ambientais e socioeconômicos da instalação e operação de uma usina solar fotovoltaica de 1 MW no semiárido paraibano, aplicando ferramentas simplificadas de avaliação de impacto ambiental e propondo estratégias de mitigação e reaproveitamento de materiais.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

1. Elaborar um *Checklist* dos aspectos ambientais relevantes para o projeto;
2. Avaliar o impacto ambiental e social gerado pela usina de energia solar através da utilização da tabela de Matriz de Interação;
3. Sugerir estratégias preliminares de reaproveitamento de resíduos sólidos gerados na instalação da usina.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia solar fotovoltaica desponta como uma alternativa estratégica na diversificação da matriz energética brasileira, especialmente no contexto do semiárido, devido à elevada incidência solar e baixa nebulosidade características da região (Weirich *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2021). De acordo com Bursztyn (2020), o semiárido apresenta grande potencial para o aproveitamento da energia solar, sendo considerado um vetor para o desenvolvimento sustentável e a redução da vulnerabilidade energética. Estudos recentes reforçam que a adoção dessa fonte contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a geração de empregos e o fortalecimento econômico regional (Nascimento *et al.*, 2023; Costa, Silva e Aguiar, 2022). Essas evidências destacam a importância de políticas públicas e estratégias de planejamento ambiental que integrem a expansão da energia solar a medidas de gestão territorial e socioambiental adequadas ao semiárido.

A AIA tem sido cada vez mais utilizada como ferramenta essencial para antecipar os efeitos da instalação de empreendimentos solares. Sánchez (2013) destaca a AIA como instrumento central no processo de licenciamento, enquanto Glasson (2012) e Finucci (2010) ressaltam a importância de critérios como extensão, duração e reversibilidade para qualificar e classificar os impactos. Seguindo essa base teórica, este estudo aplica esses critérios na construção da matriz de interação ambiental, atribuindo pesos conforme os parâmetros definidos por esses autores. Apesar da solidez conceitual da AIA, estudos como os de Lima *et al.* (2022) e Perazzoli *et al.* (2020) revelam uma limitação recorrente: a carência de aplicação prática e sistematizada de ferramentas como o *checklist* ambiental e a matriz de interação, sobretudo em usinas de pequeno porte situadas no semiárido brasileiro. Esses autores apontam que, embora as ferramentas sejam mencionadas, raramente são aplicadas com base em observações *in loco* ou com rigor metodológico. Essa constatação motivou a escolha metodológica deste trabalho, que visa justamente preencher essa lacuna ao adaptar e aplicar essas ferramentas em um caso real com observações em campo.

Por outro lado, estudos realizados por Cougo da Cruz *et al.* (2014) e Góes *et al.* (2023) reforçam a necessidade de ampliar o uso de instrumentos de avaliação integrativa em regiões ambientalmente sensíveis como a Caatinga. Considerando essas contribuições, este trabalho propõe a aplicação prática do *checklist* ambiental, estruturado com base nas orientações desses

autores e apoiado em observações diretas dos impactos mais recorrentes, como supressão da vegetação, compactação do solo, alteração da paisagem e geração de resíduos. Esses mesmos impactos são também discutidos em estudos como os de Lima, Mariano Neto e Abrahão (2022) e Cavalcante *et al.* (2022), o que reforça a relevância da abordagem adotada.

Apesar da relevância dos estudos que tratam da gestão de resíduos em empreendimentos solares, como os de Piedrahita (2025), Ndalloka (2024) e Goh (2024), observa-se uma limitação comum: a maioria dessas pesquisas aborda a gestão de resíduos de forma geral ou em nível estratégico, sem avançar na proposição de ações práticas adaptadas ao contexto local. Ainda que reconheçam a importância de políticas e regulamentações voltadas à destinação de resíduos eletrônicos, pouco se explora sobre a implementação efetiva de medidas para o manejo de componentes de painéis solares em usinas de pequeno porte. Essa lacuna evidencia a necessidade de estudos aplicados que, além de identificar os impactos potenciais, proponham estratégias viáveis e realistas para mitigar os riscos associados ao ciclo de vida dos equipamentos.

Do ponto de vista econômico, a energia solar apresenta vantagens substanciais. Estudos recentes apontam que a geração distribuída promove economia na fatura e retorno financeiro a médio prazo (Chabla-Auqui *et al.*, 2023; Garlet *et al.*, 2022). Essa viabilidade tem sido discutida também em estudos que analisam impactos regulatórios e a inclusão de armazenamento (Pinto *et al.*, 2024). A legitimação regulatória foi reforçada pela Lei nº 14.300/2022 e pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que influenciam diretamente os modelos de compensação e a atratividade econômica da micro e minigeração no país (Dos Reis, 2021). Esses aspectos também foram considerados na avaliação dos impactos positivos de natureza socioeconômica neste estudo.

A produção de energia solar também está integrada ao conceito de economia circular. Dos Santos, Brito e Shibao (2022) propõem a reutilização de componentes dos módulos fotovoltaicos como alternativa para minimizar impactos ambientais. Essa abordagem é reforçada por Padoan, Altimari e Pagnanelli (2019) e Dias *et al.* (2020), que discutem metodologias de reciclagem baseadas em processos térmicos, químicos e mecânicos. A proposta metodológica deste estudo incorpora essa visão ao sugerir medidas mitigadoras para o fim do ciclo de vida da usina.

A relevância do tema também é evidenciada em estudos mais recentes no Brasil. Por exemplo, *Analysis of environmental impacts in the construction of a photovoltaic plant at the Academic Unit of Cabo de Santo Agostinho, Brazil* (Nascimento *et al.*, 2024) usa método tipo *checklist* para identificar impactos ambientais na construção, implantação, operação e manutenção

de usina solar de 1 MW, com dados de campo e conclusões práticas. Também, *Design, Greenhouse Emissions, and Environmental Payback of a Photovoltaic Solar Energy System* (Schultz & Carvalho, 2022) aplica Avaliação de Ciclo de Vida (LCA) para estimar emissões de gases de efeito estufa e calcular *payback* ambiental de uma usina fotovoltaica de grande porte no Nordeste. Esses estudos demonstram aplicação concreta de ferramentas técnicas, embora ainda não usem sistematicamente matriz de Leopold ou *checklist* adaptado para empreendimentos de pequeno porte. Outros artigos como *Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil* (Lima, Mariano Neto & Abrahão, 2022) também discutem magnitude e relevância ecológica, mas sem operacionalização metodológica que permita replicabilidade local.

Essa lacuna evidencia a necessidade de pesquisas que combinem referencial teórico robusto com aplicação prática e sistemática. Este trabalho busca preencher esse vazio ao propor a aplicação adaptada de instrumentos clássicos da AIA, como o *checklist* e a matriz de interação, a partir de observações *in loco*, alinhando-se metodologicamente às diretrizes de Sánchez (2013), Glasson *et al.* (2012) e Finucci (2010).

Por fim, embora a literatura apresente contribuições significativas, muitos trabalhos ainda carecem de uma abordagem metodológica aplicada, com visitas técnicas, observações sistematizadas e análise integrada dos impactos ambientais e socioeconômicos. O presente estudo avança nesse sentido, ao propor uma abordagem metodológica alinhada à realidade do semiárido, aplicável e replicável em futuros empreendimentos de geração de energia renovável.

Trabalhos como os de Nascimento *et al.* (2023) e Costa, Silva & Aguiar (2022) utilizam métodos práticos de avaliação ambiental com *checklist* ou análises de eficiência em estudos de caso no semiárido, embora nem todos operacionalizem matriz de interação estruturada. Outros, como Silva *et al.* (2025), realizam medições em campo e verificações práticas de sistemas solares, reforçando a necessidade de replicar essas práticas de forma sistemática. Já os estudos de Lima *et al.* (2022) discutem critérios técnicos como magnitude e relevância ecológica, mas sem aplicação estruturada de matriz ou *checklist* local.

1.2.1 Síntese da Revisão Bibliográfica

A literatura recente evidencia a crescente importância da AIA como ferramenta essencial para orientar o planejamento e a gestão de empreendimentos fotovoltaicos, especialmente em regiões ambientalmente sensíveis, como o semiárido brasileiro. Pesquisas internacionais e nacionais vêm demonstrando avanços conceituais no tratamento dos impactos ambientais da energia solar, mas também revelam lacunas metodológicas significativas quanto à aplicação prática de instrumentos técnicos da AIA.

Estudos como os de Badza *et al.* (2023) e Bošnjaković *et al.* (2023) discutem a sustentabilidade de sistemas fotovoltaicos em escala global e regional, destacando a relevância de avaliações de ciclo de vida (LCA), embora sem incorporar ferramentas como checklist ambiental ou matriz de interação. De modo semelhante, Gómez-Catasús *et al.* (2024) analisa impactos sobre a biodiversidade decorrentes da expansão de usinas solares, mas com abordagem essencialmente conceitual e sem aplicação empírica em campo.

No contexto brasileiro, (Lima, Mariano Neto & Abrahão, 2022) propõem critérios técnicos como magnitude e relevância ecológica na avaliação de impactos de empreendimentos solares no semiárido, mas ainda sem operacionalização completa das etapas da AIA. Já Tawalbeh *et al.* (2021) apresentam uma revisão abrangente dos impactos ambientais da energia solar, destacando benefícios e desafios, porém sem aplicação direta de ferramentas de análise local.

Dessa forma, a síntese apresentada na Tabela 1 evidencia que, apesar dos avanços teóricos, persiste uma lacuna quanto à aplicação prática e integrada de instrumentos como o *checklist* ambiental e a matriz de interação, especialmente em estudos desenvolvidos no semiárido brasileiro. O trabalho proposto (2025) busca preencher essa lacuna ao aplicar tais ferramentas de forma adaptada e sistemática, com base em observações *in loco*, contribuindo para o aprimoramento metodológico das avaliações ambientais de usinas solares de pequeno porte.

Tabela 1 - Comparação entre Trabalhos de Avaliação de Impacto Ambiental em Usinas Solares

Autor(es) / Ano	Checklist Ambiental	Matriz de Interação	Aplicação Prática	Contexto Regional	Limitações Principais
Badza <i>et al.</i> (2023)	X	X	Parcial	África Subsaariana	LCA aplicado; sem <i>checklist</i> ou matriz de interação
Bošnjaković <i>et al.</i> (2023)	X	X	X	Global	Conceitual; dados empíricos limitados
Gómez-Catasús <i>et al.</i> (2024)	X	X	X	Global	Foco em biodiversidade; não aplica <i>checklist</i> /matriz
(Lima, Mariano Neto & Abrahão, 2022)	✓	X	X	Semiárido	Falta operacionalização completa da matriz
Tawalbeh <i>et al.</i> (2021)	X	X	X	Global	Apenas revisão; não aplica ferramentas em campo
Trabalho proposto (2025)	✓	✓	✓	Semiárido (PB)	Dados ambientais prévios ausentes

Fonte: Autoria própria, adaptado de artigos científicos revisados por pares, 2025.

A análise comparativa reforça a lacuna metodológica na literatura consultada, embora os instrumentos da AIA sejam reconhecidos por sua importância, sua aplicação prática e sistematizada é rara, sobretudo em usinas de pequeno porte e em áreas do semiárido.

Essa abordagem, além de ampliar a robustez da análise, permite um diagnóstico mais sensível aos impactos específicos do bioma Caatinga e às dinâmicas socioeconômicas locais, contribuindo para a replicação de práticas mais contextualizadas de gestão ambiental no setor de energias renováveis.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: SUSTENTABILIDADE DESENVOLVIMENTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A evolução da energia solar fotovoltaica está intrinsecamente ligada à descoberta do efeito fotovoltaico por Alexandre Edmond Becquerel, em 1839, que estabeleceu as bases para o uso da radiação solar como fonte de energia. Desde então, avanços técnicos e normativos impulsionaram o setor, especialmente no Brasil, que viu na Resolução Normativa nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), um marco regulatório ao permitir a micro e minigeração distribuída conectada à rede elétrica. Essa regulamentação criou as condições necessárias para que consumidores pudessem gerar sua própria energia e acumular créditos energéticos, promovendo maior autonomia e sustentabilidade (ANEEL, 2012).

Com o aprimoramento da RN 482, a ANEEL introduziu, em 2015, critérios diferenciados para categorizar geradores como microgeradores (potência de até 75 kW) e minigeradores (potência entre 75 kW e 5 MW), permitindo uma expansão significativa no uso da energia solar no país (ANEEL, 2015). No âmbito internacional, o crescimento da energia solar segue acelerado, com a capacidade instalada global ultrapassando 1.865 GW em 2024, representando um aumento significativo em relação aos 710 GW registrados em 2020. Esse avanço reflete a rápida expansão do setor e o papel central da energia solar na transição energética global (IRENA, 2025).

O semiárido brasileiro apresenta condições climáticas únicas, como alta irradiância solar e baixa nebulosidade, se tornando um dos territórios mais promissores para a geração de energia fotovoltaica. Apesar de seu histórico *déficit* hídrico em pelo menos 60% do período entre 1970 e 1990 (Barbosa *et al.*, 2017), as características naturais da região oferecem vantagens competitivas que potencializam o aproveitamento da energia solar. De acordo com Lima (2021), 57% do Nordeste apresenta alta viabilidade ambiental para instalação de usinas solares, considerando fatores como declividade do terreno, irradiância global horizontal e classes de cobertura do solo.

A área de estudo está localizada na Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro, caracterizado por sua rica biodiversidade, com espécies endêmicas e altamente adaptadas às condições semiáridas (Silva *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2020). Contudo, a região enfrenta sérios desafios ambientais, como desertificação, desmatamento e degradação do solo, em grande parte decorrentes de práticas humanas como agricultura intensiva, pecuária extensiva e exploração madeireira (Leal *et al.*, 2005; MMA, 2019). A implantação de usinas fotovoltaicas na Caatinga insere uma nova dinâmica no território, agregando impactos específicos como supressão de vegetação nativa e perda de habitat, alterações no uso e cobertura da terra, bem como riscos à fauna silvestre. Estudos indicam que há lacunas nos processos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) na região Nordeste, particularmente na forma como os impactos da instalação e operação de usinas solares são previstos e mitigados. Por outro lado, alternativas como sistemas agrovoltáticos, bem como planejamento espacial que priorize áreas degradadas e revegetação, têm sido apontadas como caminhos promissores para minimizar esses efeitos (Lima, Mariano Neto & Abrahão, 2022; Polli *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2023).

A legislação ambiental brasileira estabelece um rigoroso controle sobre o uso dos recursos naturais, com destaque para a Lei nº 6.938/81, que criou a Política Nacional do Meio Ambiente, e a Resolução CONAMA nº 01/86, que define impactos ambientais como qualquer alteração das

propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente decorrentes de atividades humanas (CONAMA, 1986). No contexto das usinas fotovoltaicas, as AIAs desempenham um papel essencial para identificar, mitigar e gerenciar efeitos adversos, garantindo que os empreendimentos sejam implementados de forma sustentável. Segundo Nascimento (2022), as usinas fotovoltaicas no Brasil geram impactos socioambientais, como a reflexão solar (efeito de ofuscamento), alterações microclimáticas e erosão do solo. Além disso, esses empreendimentos promovem co-benefícios sociais, como a geração de empregos temporários e a melhoria na infraestrutura local em regiões de baixo índice de desenvolvimento humano.

Em geral, os impactos ambientais das usinas fotovoltaicas podem ser divididos em três categorias principais: impactos no meio físico, com alterações no solo e no regime hídrico local; no meio biótico, com preocupações relacionadas à supressão de vegetação e danos à fauna e flora; e no meio socioeconômico, onde predominam impactos positivos, como a melhoria da arrecadação tributária e o aumento da qualidade de vida local. Essas alterações podem ser mitigadas e geridas com políticas públicas adequadas, boas práticas de planejamento e o uso de ferramentas tecnológicas como Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que permitem a identificação de áreas com maior potencial para projetos solares e a minimização de impactos negativos.

Dado o potencial do semiárido brasileiro e os desafios associados à implantação de usinas fotovoltaicas, é essencial que os processos de licenciamento ambiental e planejamento sejam continuamente aprimorados. A combinação de abordagens técnicas, como SIGs, e políticas públicas robustas pode garantir que a transição para uma matriz energética limpa seja acompanhada de desenvolvimento socioeconômico e preservação ambiental.

A implantação de usinas fotovoltaicas no semiárido traz oportunidades e desafios que, quando bem geridos, podem contribuir significativamente para o desenvolvimento socioeconômico da região. A criação de empregos, a melhoria na arrecadação tributária e o fortalecimento da infraestrutura local são exemplos de benefícios diretos que promovem o desenvolvimento sustentável. Contudo, é necessário assegurar que políticas públicas robustas, avaliações de impacto ambiental eficazes e práticas de mitigação sejam implementadas para equilibrar o desenvolvimento com a preservação ambiental. Dessa forma, o semiárido brasileiro pode se consolidar como um dos principais territórios para a geração de energia solar fotovoltaica no país, contribuindo para uma transição energética eficiente e inclusiva.

A transição energética global tem como um de seus pilares a adoção de fontes renováveis, sendo a energia solar fotovoltaica um dos protagonistas desse movimento. No Brasil, devido às condições climáticas específicas e à abundância de radiação solar, essa tecnologia se destaca como uma alternativa viável e eficiente para a geração de eletricidade, destacando sua contribuição para a sustentabilidade, a economia circular e o desenvolvimento regional.

De acordo com Weirich *et al.* (2022), o Brasil apresenta alta incidência solar ao longo de todo o ano, favorecendo a geração distribuída de eletricidade. Esse modelo descentralizado não apenas reduz as perdas no transporte de energia, mas também promove a democratização do acesso à eletricidade, contribuindo para o desenvolvimento de comunidades remotas.

No Norte de Minas Gerais, por exemplo, estudos comparativos realizados por Fonseca *et al.* (2022) demonstraram que a energia solar supera a biomassa em termos de potencial de geração, destacando-se como uma alternativa mais eficiente para a região. Essa constatação reforça o papel estratégico da energia solar na diversificação da matriz energética e na redução da dependência de fontes não renováveis.

A integração da economia circular à energia solar fotovoltaica representa um avanço significativo na busca por soluções sustentáveis. Dos Santos, Brito e Shibao (2022) enfatizam a importância de implementar práticas que prolonguem a vida útil dos sistemas solares, desde a produção até o descarte dos equipamentos. A reciclagem de painéis fotovoltaicos e a reutilização de materiais são exemplos de iniciativas que alinham a geração de energia à responsabilidade ambiental.

Além disso, a disseminação de conhecimentos sobre energias renováveis no ensino técnico e profissionalizante, conforme planejado por Florêncio & Trigoso (2020), é fundamental para formar uma nova geração de profissionais comprometidos com a sustentabilidade. A conscientização e capacitação de estudantes em relação às vantagens e desafios das energias renováveis impulsionam a adoção dessas tecnologias em diferentes setores.

O avanço tecnológico é outro fator determinante para a expansão da energia solar fotovoltaica. Alves (2022) analisou as diferenças entre inversores de string e microinversores, identificando especificações específicas para cada tipo de sistema em termos de eficiência e custo-benefício. A escolha adequada do equipamento pode otimizar a geração de energia, tornando o sistema mais adaptável às condições locais.

Simões-Moreira e Rocha (2024) também destaca a importância da eficiência energética como componente essencial na transição para fontes renováveis. O aprimoramento das tecnologias solares, adicionado às políticas públicas e incentivos financeiros, é crucial para consolidar a energia solar como uma solução competitiva e sustentável.

Assim, a energia solar fotovoltaica desempenha um papel estratégico na transição energética, trazendo benefícios ambientais, econômicos e sociais. No Brasil, sua aplicação é amplamente favorecida pelas condições climáticas, enquanto a adoção de práticas sustentáveis e o avanço tecnológico fortalecem sua competitividade. A integração da economia circular e a disseminação do conhecimento sobre energias renováveis são passos fundamentais para consolidar essa fonte de energia como um dos pilares do desenvolvimento sustentável.

Com base em estudos recentes, conclui-se que a energia solar fotovoltaica não é apenas uma alternativa viável, mas uma necessidade urgente para atender às demandas energéticas de forma eficiente e responsável. O Brasil, com seu vasto potencial, está bem posicionado para liderar essa transformação rumo a um futuro mais sustentável (Caneppele, 2025).

2.2 Legislação para Geração de Energia Fotovoltaica no Brasil: Histórico, Contexto e Desafios

A energia solar fotovoltaica é uma das principais alternativas para a transição energética global, com papel central na diversificação da matriz energética e na promoção do desenvolvimento sustentável. No Brasil, seu desenvolvimento é respaldado por uma estrutura legislativa e normativa que tem evoluído para atender às demandas técnicas, econômicas e sociais associadas a essa tecnologia. Este texto aborda os marcos históricos, a legislação vigente e os desafios da integração da energia solar fotovoltaica, destacando os impactos financeiros e socioambientais dessa forma de geração energética.

O efeito fotovoltaico, descoberto por Alexandre Edmond Becquerel em 1839, deu origem à tecnologia que, ao longo do século XX, foi amplamente desenvolvida (Lincot, 2017). No Brasil, a energia solar fotovoltaica começou a ganhar relevância no início do século XXI, impulsionada pela necessidade de diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de fontes não renováveis.

A Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2012) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi um marco regulatório, ao criar condições para que consumidores pudessem

gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, incluindo a solar, e injetar o excedente na rede elétrica. Esse excedente é convertido em créditos energéticos, que podem ser utilizados para abater o consumo em períodos de menor geração. Em 2015, a Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015), aprimorou a RN 482 definindo critérios mais detalhados para a micro e minigeração distribuída, além de simplificar os processos de conexão à rede.

A promulgação da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022), instituiu o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída no Brasil, consolidando o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e criando o Programa de Energia Renovável Social (PERS). A nova legislação trouxe maior estabilidade jurídica ao setor, estabelecendo regras claras para a transição tarifária até 2045 e incentivando a expansão de sistemas fotovoltaicos. Segundo Dos Reis *et al.* (2021), esse marco representa um avanço significativo para a regulação da energia solar, ampliando a segurança para investidores e consumidores. A entrada em vigor da lei, em 6 de janeiro de 2023 (Brasil, 2022; ANEEL, 2023), introduziu a tarifa fio B, calculada com base na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), impactando diretamente os custos para novos projetos. Para os consumidores com sistemas homologados antes da vigência da lei, foi assegurado o direito adquirido sob as regras anteriores. Já os projetos conectados após essa data passaram a se enquadrar nas novas condições, incluindo o pagamento proporcional da TUSD (Brasil, 2022).

A geração de energia solar fotovoltaica, além de seus benefícios ambientais, apresenta impactos financeiros relevantes. A análise de Silva Brasil *et al.* (2023) destaca que a adoção de sistemas fotovoltaicos permite redução de custos com energia elétrica, especialmente para consumidores comerciais e industriais, que possuem maior demanda energética. A Lei nº 14.300 (Brasil, 2022) trouxe ainda maior previsibilidade econômica para esses investimentos, uma vez que estabeleceu um modelo de transição para a cobrança de encargos de uso da rede, garantindo retorno financeiro atrativo a médio e longo prazo.

No entanto, a implementação de usinas fotovoltaicas ainda enfrenta desafios relacionados ao custo inicial elevado dos sistemas e à necessidade de financiamento acessível. Incentivos fiscais, como isenção de ICMS para equipamentos solares em diversos estados, têm sido uma ferramenta eficaz para reduzir essas barreiras, mas a uniformização das políticas tributárias permanece como um ponto de atenção.

Segundo Bursztyn (2020), o semiárido possui potencial para se tornar uma referência global na geração de energia solar, desde que políticas públicas integradas sejam implementadas para aliar geração de energia a estratégias de desenvolvimento sustentável.

Entretanto, a instalação de usinas fotovoltaicas em biomas sensíveis, como a Caatinga, exige cuidado no planejamento e na avaliação de impactos ambientais. Os desafios incluem a supressão de vegetação nativa e alterações microclimáticas, que podem ser mitigados com medidas como revegetação, corredores ecológicos e adoção de tecnologias menos invasivas. A legislação ambiental brasileira, que inclui a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) (Brasil, 1981). e resoluções do CONAMA, fornece instrumentos normativos robustos para garantir a sustentabilidade desses projetos.

No contexto urbano, a legislação também desempenha papel crucial para viabilizar o aproveitamento da energia solar. Em Girotti, Marins e Lara (2019), a análise da morfologia urbana no bairro do Belenzinho, em São Paulo, revelou que o planejamento urbano integrado à legislação pode maximizar o potencial fotovoltaico. Diretrizes como a orientação dos telhados, o aproveitamento de superfícies verticais e a inclusão de sistemas solares em novos empreendimentos são estratégias que potencializam a eficiência energética nas cidades.

A legislação municipal e estadual tem papel importante nesse cenário, especialmente ao regulamentar incentivos fiscais e estabelecer normas para construção de edifícios que incorporem sistemas fotovoltaicos. Medidas como a Lei de Uso e Ocupação do Solo, combinadas com políticas de financiamento, podem acelerar a transição energética nas áreas urbanas.

O Brasil possui um dos maiores potenciais solares do mundo, com capacidade instalada crescente e condições favoráveis para continuar expandindo sua participação na matriz energética global. Contudo, a consolidação desse setor depende de ações coordenadas que alinhem interesses econômicos, sociais e ambientais.

Investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, políticas públicas inclusivas e educação sobre o uso da energia solar são fundamentais para maximizar os benefícios dessa fonte renovável. Além disso, o aperfeiçoamento do marco regulatório e a integração de soluções tecnológicas avançadas, como SIGs para planejamento, podem otimizar a instalação de sistemas fotovoltaicos em todo o território nacional.

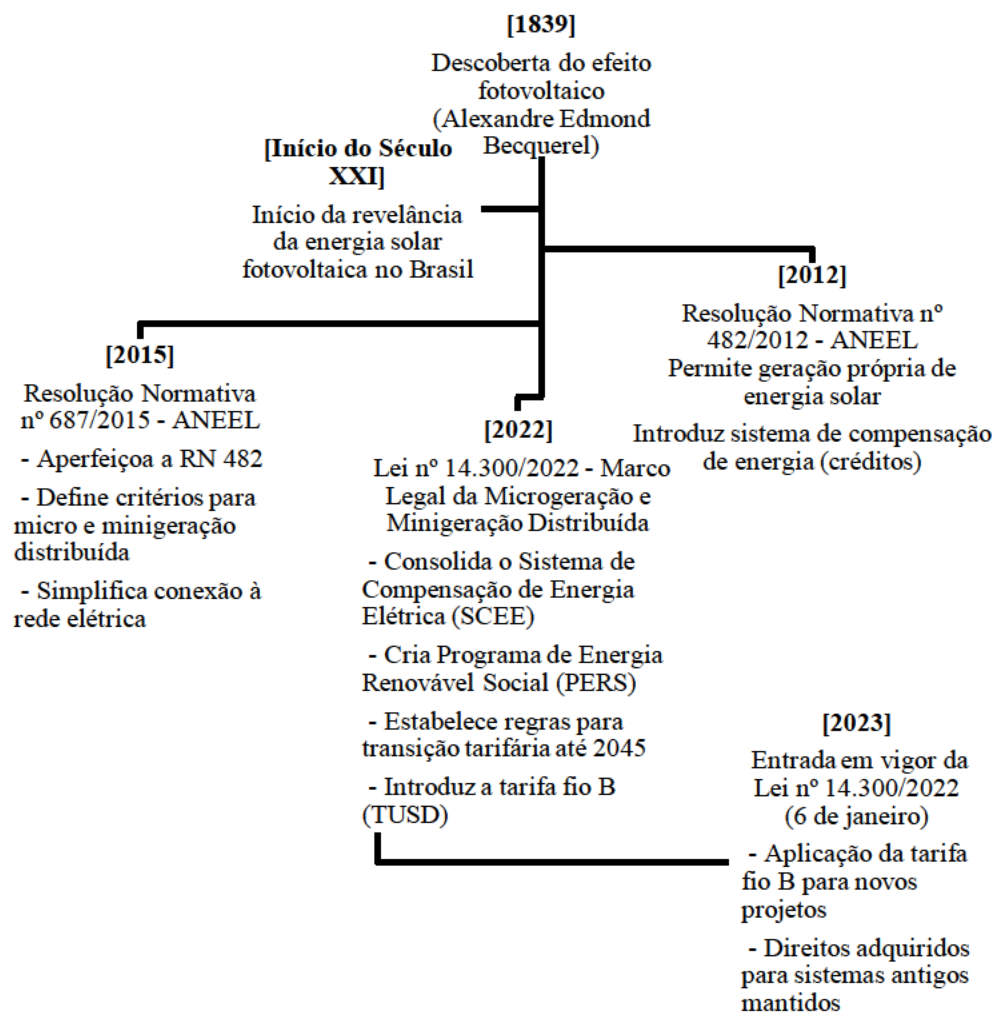
A legislação vigente para a geração de energia solar fotovoltaica no Brasil reflete uma evolução significativa, que alia avanços técnicos, econômicos e normativos. Desde a introdução da

RN 482/2012 até o Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída (Lei nº 14.300/2022) (ANEEL, 2012; Brasil, 2022), o país consolidou um ambiente regulatório favorável à expansão dessa tecnologia.

Combinando políticas públicas de estado, incentivos econômicos e estratégias de mitigação ambiental, o Brasil tem a oportunidade de se posicionar como líder na transição para uma matriz energética limpa e sustentável. A energia solar fotovoltaica, além de seu potencial para a geração eficiente de eletricidade, pode atuar como um importante vetor de desenvolvimento regional, sobretudo quando associada a políticas públicas de incentivo e inclusão energética, contribuindo indiretamente para a redução das desigualdades e para a preservação ambiental no país.

A fim de proporcionar uma visão mais abrangente da evolução normativa da energia solar fotovoltaica no Brasil, na Figura 1 é apresentado o fluxograma com os principais marcos legais e regulatórios que estruturam o setor.

Figura 1 - Linha do tempo da energia solar fotovoltaica



Fonte: Autoria própria, 2025.

2.3 Relatório Ambiental Simplificado (RAS)

O Relatório Ambiental Simplificado (RAS) constitui um instrumento técnico previsto na legislação ambiental brasileira, utilizado para subsidiar o licenciamento de empreendimentos considerados de pequeno porte ou com baixo potencial de impacto ambiental. Conforme a Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001 (CONAMA, 2001), o RAS pode ser apresentado em substituição ao Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e ao Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) quando os impactos ambientais previstos são considerados moderados ou mínimos.

O objetivo primordial do RAS é apresentar um diagnóstico conciso e objetivo dos aspectos ambientais relacionados à implantação e operação do empreendimento, incluindo a identificação

dos impactos ambientais potenciais e a proposição de medidas mitigadoras, compensatórias e de controle que assegurem a minimização dos efeitos adversos sobre o meio ambiente. Assim, o RAS atua como ferramenta fundamental para a avaliação ambiental simplificada, garantindo a adequação do empreendimento aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Em termos jurídicos, o Relatório Ambiental Simplificado está respaldado pelo artigo 225 da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988), que estabelece o direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Dessa forma, a elaboração do RAS insere-se no contexto da proteção ambiental preventiva, constituindo uma etapa indispensável no processo de licenciamento ambiental.

A estrutura do RAS, embora possa variar conforme a natureza do empreendimento e exigências dos órgãos ambientais, contempla geralmente os seguintes componentes básicos: descrição detalhada do empreendimento e da área de influência ambiental; diagnóstico dos elementos físicos, bióticos e socioeconômicos; identificação e análise dos impactos ambientais significativos; proposição de medidas mitigadoras e compensatórias; e plano de monitoramento ambiental. Tal estrutura visa assegurar uma avaliação abrangente, ainda que simplificada, dos impactos ambientais, promovendo o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (CONAMA, 2001; Gonçalves; Silva, 2015).

Portanto, o RAS representa um instrumento eficaz para agilizar o processo de licenciamento ambiental de empreendimentos de menor porte, sem prejuízo da qualidade técnica da avaliação ambiental. Além disso, sua elaboração contribui para a transparência e o diálogo entre os agentes envolvidos, permitindo o planejamento e a execução de ações que minimizem os riscos ambientais e promovam a sustentabilidade.

2.4 Fundamentos e Potencial da Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes renováveis mais promissoras da atualidade, destacando-se pelo seu potencial de geração elétrica limpa, descentralizada e ambientalmente sustentável. Seu princípio de funcionamento baseia-se no efeito fotovoltaico, fenômeno físico descoberto por Becquerel em 1839, no qual certos materiais semicondutores, ao serem expostos à radiação solar, geram corrente elétrica devido à movimentação de elétrons (Kalogirou, 2014).

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por módulos solares, formados por diversas células fotovoltaicas interligadas, responsáveis por captar a luz solar e convertê-la em energia elétrica em corrente contínua (CC). Essa corrente é posteriormente transformada em corrente alternada (CA) por meio de inversores, que a tornam compatível com os padrões da rede elétrica convencional (CRESESB, 2022). Além disso, o sistema inclui estruturas de suporte, cabeamento, dispositivos de proteção e, em alguns casos, unidades de armazenamento e monitoramento.

A eficiência dos sistemas fotovoltaicos está associada a diversos fatores, tais como a irradiância solar incidente, a temperatura ambiente, o sombreamento, a orientação e a inclinação dos painéis. O Brasil, por apresentar altos índices de radiação solar ao longo de praticamente todo o seu território, possui condições técnicas extremamente favoráveis para o aproveitamento dessa tecnologia, especialmente nas regiões Norte e Nordeste (EPE, 2023).

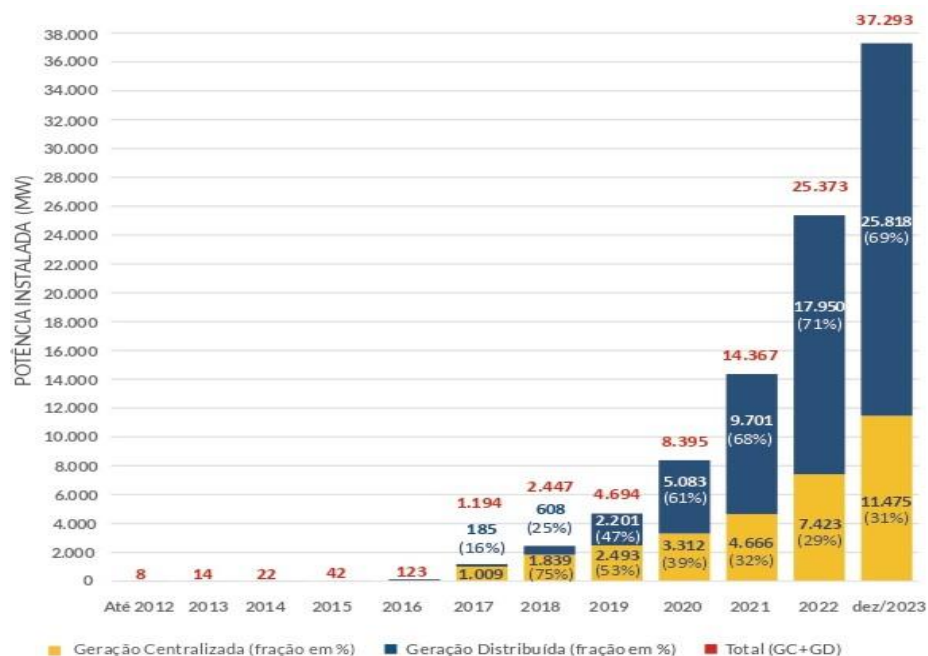
Além dos aspectos técnicos, a energia solar fotovoltaica apresenta importantes benefícios ambientais e socioeconômicos. Um dos principais benefícios da energia solar fotovoltaica é a redução indireta das emissões de gases de efeito estufa, sobretudo o dióxido de carbono (CO_2), uma vez que sua operação não depende da queima de combustíveis fósseis. Dessa forma, a geração solar contribui para a substituição de fontes emissoras e, conseqüentemente, para a mitigação dos impactos climáticos globais (Schultz; Carvalho, 2022).

De acordo com o Portal Solar (2025), a energia solar fotovoltaica se consolidou como uma das fontes mais competitivas do país, com grande potencial de desenvolvimento e penetração tanto no ambiente urbano quanto rural. Sua acessibilidade permite a aplicação em pequenas residências, empreendimentos comerciais e industriais, até usinas de grande porte conectadas diretamente ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

O investimento nessa fonte energética não apenas contribui para a diversificação da matriz elétrica brasileira, mas também impulsiona o setor econômico, promovendo a geração de empregos diretos e indiretos, o fortalecimento da cadeia produtiva nacional e a redução da dependência de fontes fósseis (National Geographic Brasil, 2022).

A evolução da potência instalada no Brasil entre os anos de 2017 e 2023 ilustra o crescimento expressivo dessa fonte energética. Conforme apresentado na Figura 2, o país atingiu uma estimativa de 37.293 MW de potência instalada em energia solar fotovoltaica até 2023, representando um marco na consolidação da tecnologia no território nacional (ABSOLAR, 2023).

Figura 2 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ABSOLAR, 2023.

Além disso, a energia solar traz viabilidade econômica para os consumidores finais, por meio da redução de custos com energia elétrica.

Apesar das mudanças regulatórias e legislativas no setor fotovoltaico, o Brasil tem registrado um aumento significativo na potência instalada de energia solar, promovendo impactos relevantes na matriz energética nacional (ABSOLAR, 2022). Esse avanço está relacionado ao crescimento da demanda por fontes renováveis e sustentáveis, além do contínuo desenvolvimento tecnológico dos sistemas fotovoltaicos. De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2022), a capacidade operacional do país, atualmente em torno de 22,9 GW, deverá ultrapassar 66 GW até o fim de 2027, praticamente triplicando nos próximos anos. Essa tendência aponta para a manutenção de um cenário favorável ao setor, com geração de empregos, ampliação da oferta de energia limpa e redução de impactos ambientais.

2.5 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

A AIA é um processo que visa identificar, prever e avaliar os impactos ambientais que uma determinada ação humana pode causar ao meio ambiente. Segundo Sánchez (2013), a AIA tem

sido vista como um instrumento de planejamento, isto é, como um instrumento de prevenção do dano ambiental e como um procedimento definido no âmbito das políticas públicas, geralmente associado a alguma forma de processo decisório, como o licenciamento ambiental, além de desempenhar um papel fundamental na gestão ambiental, permitindo a tomada de medidas mitigadoras promovendo o desenvolvimento sustentável.

O processo de AIA considera os impactos negativos antes de uma tomada de decisão que venha a degradar de forma significativa o meio ambiente. A AIA tem como finalidade prever, analisar e mitigar efeitos negativos no meio biofísico, além de proteger a produtividade das atividades naturais (Sánchez, 2013).

Dentre as ferramentas utilizadas para a avaliação de impacto ambiental, destacam-se os *checklists* e as matrizes de interação. O *checklist* consiste em uma lista de verificação sistemática de possíveis impactos ambientais, permitindo identificar de forma objetiva e ordenada os elementos do meio ambiente que podem ser afetados por um empreendimento. Já a matriz de interação é uma técnica que avalia as interações entre as atividades do projeto e os componentes ambientais, permitindo a identificação e classificação dos impactos em termos de magnitude e importância. Essas ferramentas são amplamente aplicadas por sua eficácia em organizar informações complexas e auxiliar na tomada de decisões ambientais a partir de um mapeamento de interações entre as diferentes partes do projeto e do ambiente.

2.6 Prováveis Impactos Ambientais

A energia solar fotovoltaica é amplamente reconhecida como uma fonte renovável de baixa emissão de poluentes durante seu ciclo de vida, conforme demonstram estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV). No entanto, sua implantação em larga escala, especialmente por meio de usinas de solo, pode acarretar impactos ambientais relevantes desde as fases iniciais de instalação. Estudos apontam que os principais impactos negativos potenciais incluem a supressão da vegetação nativa, a compactação do solo, a alteração da paisagem, riscos de erosão e a geração de resíduos durante a construção e manutenção dos sistemas (Oliveira; Junqueira; Uturbey, 2017).

A retirada da vegetação nativa para a instalação dos módulos pode comprometer a biodiversidade local e intensificar processos de desertificação, especialmente em regiões

semiáridas como o interior paraibano (Lima; Mariano Neto; Abrahão, 2022). A movimentação de solo e o tráfego de máquinas também elevam a emissão de poeira e podem impactar corpos hídricos próximos, caso não haja controle de sedimentos. Além disso, a substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis pode alterar o microclima e aumentar a temperatura local (Cavalcante *et al.*, 2022).

Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) demonstram que a fase de produção dos módulos fotovoltaicos concentra grande parte dos impactos ambientais, especialmente na purificação do silício e no uso intensivo de materiais como alumínio e vidro (Oliveira, 2017; Pivatto *et al.*, 2024). Ainda que esses impactos ocorram fora do local de instalação, eles devem ser considerados na análise do sistema como um todo.

Por outro lado, os impactos positivos incluem a geração de empregos, a diversificação da matriz energética, a contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa ao substituir fontes fósseis e o aumento da arrecadação local (Gemignani *et al.*, 2014). A reutilização de componentes ao final da vida útil dos módulos também se apresenta como uma oportunidade de mitigação ambiental (Cavalcante *et al.*, 2022).

A identificação e previsão desses impactos são fundamentais para orientar ações de planejamento, licenciamento e gestão ambiental. Mesmo em casos em que o licenciamento formal não é exigido, como em algumas usinas de pequeno porte, a adoção de práticas preventivas e mitigadoras pode contribuir para a sustentabilidade do empreendimento (Lima; Mariano Neto; Abrahão, 2022).

3. MATERIAL E MÉTODOS

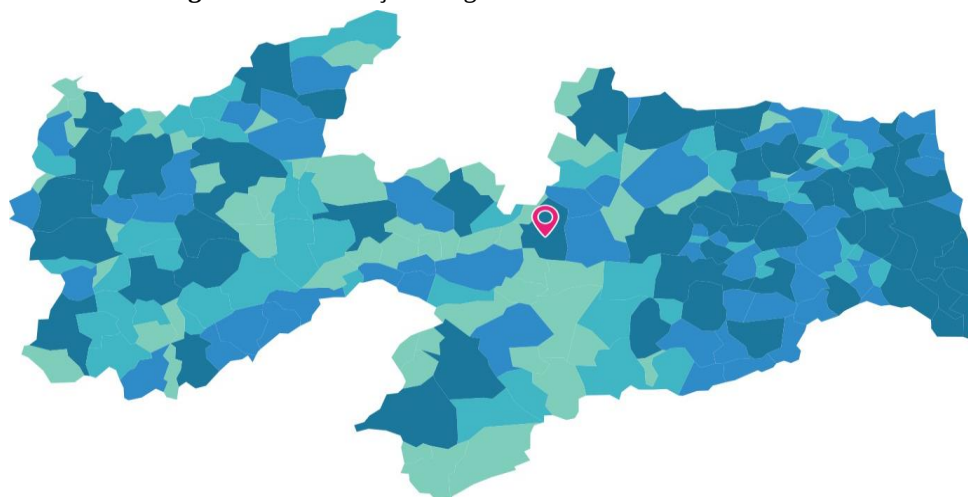
3.2 Caracterização da área de estudo

Neste trabalho, foram considerados os instrumentos normativos relevantes, incluindo a Resolução CONAMA nº 279 (CONAMA, 2001), que estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. A usina fotovoltaica avaliada possui uma capacidade de geração de 1 MW, abaixo do limite que normalmente requer licenciamento ambiental obrigatório, a aplicação dessa normativa proporciona uma abordagem abrangente para a avaliação e gestão dos possíveis impactos ambientais associados ao projeto de menor porte. Além disso, a Resolução CONAMA nº 01/1986 (CONAMA, 1986) foi considerada, estabelecendo a obrigatoriedade dos estudos de

impacto ambiental para atividades potencialmente poluidoras, destacando a relevância da avaliação ambiental.

O local de estudo foi realizado em Juazeirinho que é um município brasileiro do estado da Paraíba, localizado na Região Geográfica Imediata de Campina Grande. De acordo com estimativa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2022, sua população é de 17.007 habitantes e sua área territorial de 474.606 km², com uma densidade demográfica 35,83 hab/km² no ano de 2022. Situa-se a 209 km da capital João Pessoa, a 84 km de Campina Grande e a 93 km de Patos. A Figura 3 demonstra a localização geográfica do município de Juazeirinho do Estado da Paraíba.

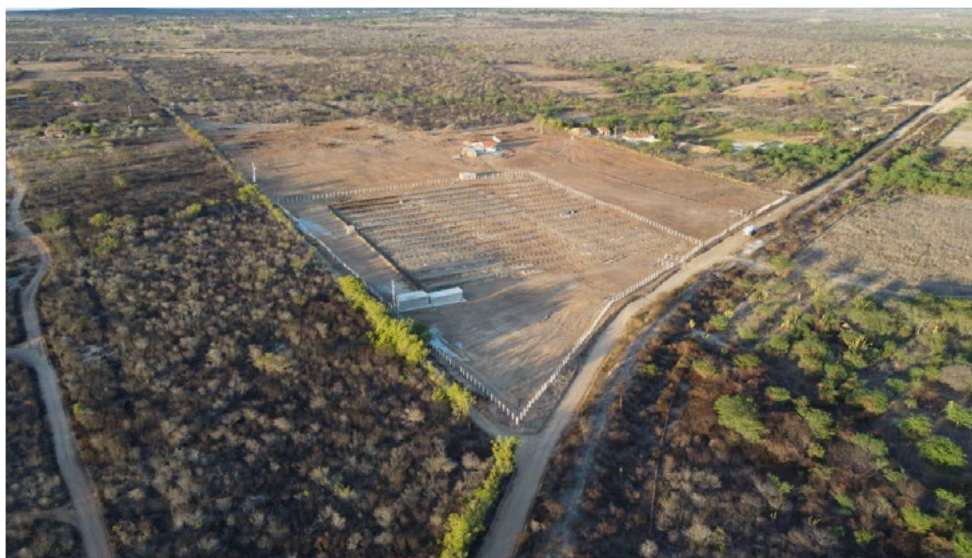
Figura 3 - Localização Geográfica da cidade de Juazeirinho – PB



Fonte: IBGE, 2022.

A Figura 4 ilustra a área em que a usina foi instalada, situada em zona rural, no Sítio Malhada dos Angicos, desmembrado do Sítio Açude do Meio, estando localizada a menos de 2 km do centro da cidade, cujas coordenadas geográficas são Latitude: 7° 3'24.30"S, Longitude: 36°33'59.49"O.

Figura 4 - Localização Geográfica do empreendimento



Fonte: Autoria própria, 2024.

3.3 Descrição do Empreendimento

A usina de geração e distribuição de energia solar da empresa responsável, ocupará uma área de 12.180,00 m² para instalação dos módulos fotovoltaicos de geração de energia (módulos solares) e 30,00 m² destinados à instalação da subestação para distribuição da energia gerada. O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica será constituído pelos elementos listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Componentes do sistema de energia solar fotovoltaica

Componentes do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica
2.250 Painéis fotovoltaicos de 595 W
Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos
Quadro de proteção/junção dos circuitos de corrente contínua (cc) de geração fotovoltaica
9 Inversores de 100 kW
Quadro de proteção da saída CA do inversor
Cabos de conexão
Dispositivos de proteção CC e CA
1 Subestação construída em alvenaria de 1.000 kVA

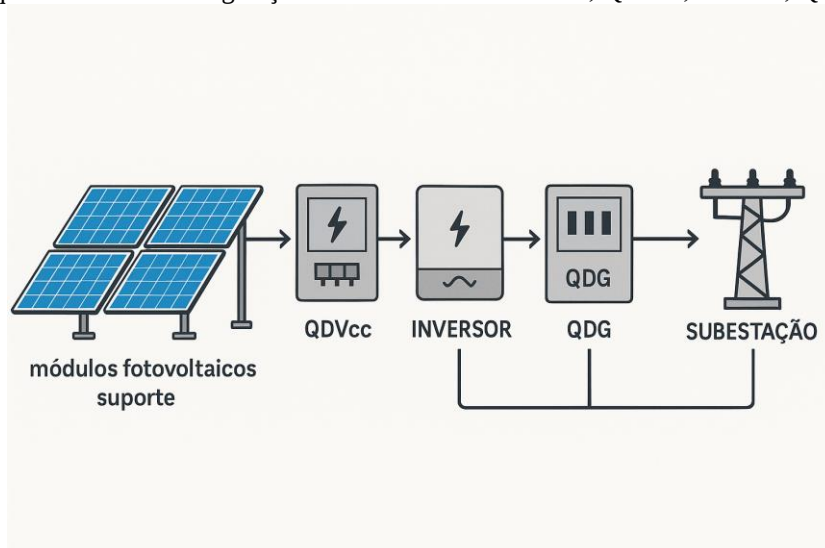
Fonte: Autoria própria, 2024.

O sistema de geração fotovoltaica é composto por alinhamentos em séries dos módulos, conectados em paralelos entre si, sendo os módulos fotovoltaicos montados sobre 122 estruturas metálicas, denominado como suporte dos módulos, que por sua vez são fixados sobre o solo. Os

circuitos provenientes dos diversos conjuntos de módulos são protegidos individualmente contra sobrecorrentes e surtos de tensão, os quais são conectados em entre si em um quadro elétrico de CC (QDVcc), de onde partem dois circuitos, um para cada entrada do inversor.

O inversor transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que por sua vez tem sua saída protegida contra sobrecorrentes e surtos de tensão por um quadro elétrico CA QDVca. A saída do QDVca interliga-se ao barramento do QDG (quadro geral de distribuição) que é o elemento de saída de energia gerada ao sistema fotovoltaico. A subestação tem um papel fundamental no sistema fotovoltaico especialmente para projetos em grande escala. Sua principal função é receber a energia gerada através dos painéis fotovoltaicos e prepará-la para ser integrada à rede elétrica de distribuição ou para uso local. A Figura 6 apresenta o esquema simplificado do sistema de geração fotovoltaica, com destaque para os principais componentes elétricos.

Figura 6 - Esquema do sistema de geração fotovoltaica com módulos, QDVcc, inversor, QDG e subestação



Fonte: Autoria própria, 2025.

3.4 Conceitos Metodológicos

Para a realização da AIA da usina fotovoltaica, foram adotados os métodos de *Checklist* e Matriz de Interação, conforme descrito por Oliveira (2017) promovendo o desenvolvimento socioeconômico e o bem-estar da comunidade local. Entretanto, como alertam Costa *et al.* (2021), mesmo projetos de energia solar em regiões como o semiárido devem considerar os impactos indiretos sobre o solo e a biodiversidade, reforçando a importância de medidas mitigadoras desde

o planejamento. O *checklist* foi construído com base nas observações realizadas em visitas técnicas ao local, bem como em análise bibliográfica e normativa, adaptando-se à realidade do empreendimento estudado. Essa ferramenta permitiu identificar, de forma sistemática, os aspectos ambientais relevantes nas fases de implantação, instalação e operação da usina. Por não considerar as interações entre os impactos, foi utilizada também a Matriz de Interação, que permitiu avaliar de forma integrada os impactos observados, atribuindo pesos e classificando a magnitude conforme critérios técnicos definidos.

A aplicação da Matriz de Interação foi orientada por cinco critérios principais, amplamente adotados na literatura científica para caracterização dos impactos ambientais: extensão, duração, intensidade, reversibilidade e importância ecológica. Esses critérios seguem diretrizes propostas por Sánchez (2013), Glasson *et al.* (2012) e Finucci (2010), conforme descrito a seguir:

1. **Extensão do impacto:** considerada baixa quando restrita a áreas pontuais, média quando afeta o entorno imediato da usina e alta quando ultrapassa os limites do empreendimento, afetando áreas mais amplas.
2. **Duração do impacto:** classificada como curta para impactos temporários, média para impactos persistentes ao longo da operação e longa para impactos permanentes.
3. **Intensidade do impacto:** avaliada como leve para alterações mínimas no ambiente, moderada para impactos com interferência perceptível e alta quando há alterações significativas, como a perda de biodiversidade.
4. **Reversibilidade:** impactos totalmente reversíveis foram considerados de baixa magnitude; os que exigem ações corretivas significativas foram classificados como médios, e os irreversíveis como de alta magnitude.
5. **Importância ecológica:** impactos sobre recursos menos críticos foram considerados de baixa importância, enquanto os que afetam componentes essenciais do ecossistema foram classificados como de média ou alta importância.

Os impactos classificados como de média importância ecológica referem-se a alterações que, embora possam comprometer parcialmente componentes relevantes do ecossistema, geralmente são localizados, temporários ou passíveis de mitigação eficaz. Já os impactos de alta importância ecológica envolvem danos significativos e possivelmente irreversíveis a componentes essenciais do ecossistema, como perda de habitats críticos, extinção de espécies vulneráveis ou

alteração profunda dos processos ecológicos, exigindo medidas rigorosas de controle e compensação ambiental.

A atribuição dos pesos na matriz considerou esses critérios de forma integrada, com base nas observações de campo realizadas e na relevância ecológica da área estudada. Essa abordagem possibilitou uma análise mais precisa dos impactos ambientais, categorizando-os como positivos ou negativos e classificando-os em termos de baixa (B), moderada (M) ou alta (A) magnitude.

Para maior transparência e detalhamento, a magnitude dos impactos ambientais foi definida pela soma dos pesos atribuídos a três critérios principais: intensidade, duração e reversibilidade, conforme a pontuação estabelecida a seguir:

- **Intensidade:** Alta (3 pontos), Moderada (2 pontos), Baixa (1 ponto);
- **Duração:** Longa (3 pontos), Parcial/Média (2 pontos), Curta (1 ponto);
- **Reversibilidade:** Totalmente reversível (3 pontos), Parcialmente reversível (2 pontos), Irreversível (1 ponto).

A soma desses pontos resultou na classificação da magnitude do impacto:

- **7 a 9 pontos:** Magnitude Alta (A);
- **4 a 6 pontos:** Magnitude Moderada (M);
- **3 pontos ou menos:** Magnitude Baixa (B).

Impactos positivos significativos, como geração de energia renovável e benefícios socioeconômicos, foram classificados como alta magnitude positiva (A+), considerando sua relevância regional.

Esta metodologia combinada garante um critério objetivo e consistente para a avaliação da magnitude dos impactos ambientais, alinhada aos padrões técnicos adotados no estudo e seguindo princípios consagrados da Matriz de Leopold (Lins, 2020).

3.5 Etapas das avaliações e coleta de dados

Para a Avaliação de Impacto Ambiental na usina fotovoltaica, foram analisados pontos mais característicos dentro do processo de implementação, instalação e operação da usina, conforme:

1. Inicialmente, uma revisão bibliográfica, que reuniu informações sobre os meios físico e biótico da área de estudo, além de dados legais e técnicos sobre empreendimentos solares no

semiárido. Essa revisão foi complementada pela análise do mapa de localização da usina e pelas observações realizadas durante as visitas técnicas ao local.

2. Para a realização do *Checklist*, foram realizadas três visitas *in loco* durante as fases de implementação e conclusão da usina para coleta de dados, juntamente com registros fotográficos, além da utilização da matriz de interação para relacionar os impactos gerados. Deste modo, o estudo de AIA foi caracterizado em três fases da usina, sendo eles a fase de implantação, instalação e operação, através de um mapeamento, analisando os seguintes aspectos ambientais:

2.1. Fase de Implantação: Alteração da paisagem, risco de erosão do solo, perda de *habitat* para fauna e flora e desmatamento da área.

2.2. Fase de Instalação: Geração de resíduos, uso de materiais e maquinário, necessidade de áreas temporárias para armazenamento e suporte.

2.3. Fase de Operação: Redução das emissões de carbono, geração de emprego na região, continuidade da preservação de fauna e flora nas áreas adjacentes.

Dessa forma a Tabela 3 será utilizada como referência para avaliação dos impactos identificados, fornecendo uma visão clara da magnitude de cada impacto ambiental.

Tabela 3 - Grau de magnitude dos impactos ambientais

Grau de Magnitude	Descrição	Extensão	Duração	Reversibilidade
Alta (A)	Impacto significativo	Extensa	Longa duração	Irreversível
Moderada (M)	Impacto moderado	Localizada	Temporária	Parcialmente reversível
Baixa (B)	Impacto leve	Pontual	Curta duração	Totalmente reversível

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para efeito de estudo ambiental, as áreas de influências de um empreendimento podem ser descritas como o espaço passível de alterações em seus meios físico, biótico e socioeconômico, sejam elas positivas ou negativas, decorrentes da sua implantação e operação. A delimitação desta área é essencial para a avaliação dos impactos ambientais, bem como, para a definição da área a ser objeto do diagnóstico e proposição de medidas e programas de controle e monitoramento

ambiental relativa às atividades a serem desenvolvidas. Na definição das áreas de estudo, foram levadas em conta, as seguintes variáveis:

- Características do projeto;
- Existência de outros empreendimentos no entorno;
- Legislação ambiental e demais pertinentes.

Área Diretamente Afetada (ADA): Para os meios físico, natural e socioeconômico, a área diretamente afetada é restrita à área onde está prevista a implantação e operação do empreendimento. A ADA fica definida como toda a área utilizada para a implantação do empreendimento dentro dos limites do terreno.

Área de Influência Direta (AID): Área onde os impactos das ações das fases de implantação e operação do empreendimento incidem diretamente e de forma primária sobre os elementos dos meios: físico (solo, ar e água); socioeconômico (uso e ocupação do solo, aspectos sociais e econômicos) e biótico (vegetação e fauna). No meio físico e biótico, será compreendido uma faixa de 250 metros em seu entorno de forma a garantir que todo impacto na área seja estudado, onde as ações podem ou não incidir de forma secundária (indireta) durante sua fase de implantação e operação da atividade. Como AID para o meio socioeconômico, foi considerada a comunidade do entorno onde será implantado o empreendimento.

Área de Influência Indireta (AII): compreende os locais passíveis de serem influenciados indiretamente, positiva ou negativamente pelo empreendimento. A AII para o meio socioeconômico foi delimitada como sendo o município de Juazeirinho/PB, uma vez que o empreendimento foi instalado nesse município e é para ele que serão direcionados os benefícios de sua implantação, como melhoria ambiental na região, arrecadação de impostos e geração de empregos. Na Figura 7, são representadas as áreas de ADA, AID e AII do empreendimento.

Figura 7 - Áreas de influência do empreendimento



Fonte: Autoria própria, 2024.

Área diretamente afetada	■
Área de influência direta	■
Área de influência indireta	■

3.6 Caracterização da área para diagnóstico ambiental

O diagnóstico ambiental tem como objetivo retratar a situação do meio físico e do meio biótico em que se encontram as áreas de influência da instalação e operação do empreendimento, além de uma análise integrada dos aspectos sociais, econômicos e culturais da população residente no município inserido na área de influência do referido empreendimento.

Para a elaboração deste diagnóstico, algumas ferramentas foram utilizadas, tais como coletas de dados *in loco* realizadas através de visitas ao local para observação direta, registros fotográficos, análise da vegetação existente e identificação de alterações no uso do solo, obtenção de dados secundários através de órgãos governamentais e outras entidades, além de consulta a referências bibliográficas para embasar os resultados obtidos no diagnóstico.

3.7 Meio Físico

Neste tópico destaca-se as características naturais e físicas da área de estudo, tais como: a vegetação, o clima, solos e relevo, ou seja, uma descrição geoambiental do objeto de estudo.

Vegetação: Com temperatura média anual de aproximadamente 23,3°C, a região de estudo está inserida no bioma Caatinga, nome também utilizado para designar a vegetação predominante. O termo “Caatinga” deriva do Tupi-Guarani e significa “mata branca”, em alusão à paisagem esbranquiçada observada durante o período de estiagem, quando as plantas perdem suas folhas, tornando o cenário árido e seco (Silva; Leal; Tabarelli, 2004). A vegetação da Caatinga possui características marcantes, como o predomínio de árvores de pequeno porte e arbustos caducifólios, que perdem suas folhas na estação seca, além de grande ocorrência de cactáceas (IBGE, 2021). As famílias botânicas mais frequentes são Fabaceae, Euphorbiaceae e Cactaceae, com destaque para os gêneros *Mimosa* (juremas) e *Croton* (marmeleiros), recorrentes nos levantamentos florísticos do bioma (Zappi *et al.*, 2015). Quanto à diversidade, estima-se que a Caatinga abriga mais de 4.963 espécies de angiospermas, das quais cerca de 2.622 são endêmicas, reforçando seu valor ecológico e a necessidade de conservação (Giulietti *et al.*, 2004; Zappi *et al.*, 2015).

Clima: O clima da região Semiárida é predominantemente quente e seco, (Bsh na escala de Köppen), e apresenta um reduzido volume de chuvas que podem chegar no máximo a 800 mm. Esta variabilidade climática, resulta em um contínuo processo de desertificação de núcleos regionais, como o caso de Cabaceiras, São João do Cariri e Boa Vista, localizados na Paraíba (Brasil, 2014; Souza, Melo e Medeiros, 2015).

Solos: A região do Seridó Oriental Paraibano é caracterizada por condições geomorfológicas que influenciam diretamente as características dos solos encontrados. Entre os tipos de solos mais predominantes na área estudada destacam-se os Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Planossolos Nátricos e o Latossolo Vermelho-Amarelo, os quais apresentam limitações quanto à fertilidade natural e à susceptibilidade à erosão (EMBRAPA, 1999). Na Figura 8 é evidenciada a área do empreendimento desprovida de vegetação, em virtude da supressão vegetal necessária para implantação da usina solar fotovoltaica. Este processo de remoção vegetal pode ter implicações significativas nas condições do solo e no ambiente local, requerendo atenção especial para mitigação de potenciais impactos ambientais.

Figura 8 - Área do empreendimento sem vegetação devido à supressão vegetal



Fonte: Autoria própria, 2024.

3.8 Geração de Empregos

De acordo com os dados levantados pela empresa responsável, o empreendimento contribuiu para o incremento e a valorização da zona em que está inserido, com a contratação de mão de obra para sua instalação e operação. Durante a fase de instalação da usina fotovoltaica, um total de 12 pessoas foram contratadas diretamente para trabalhar no projeto. Além disso, um número adicional de 36 pessoas foi empregado de forma indireta, contribuindo para as atividades de construção e montagem da usina. Esses dados demonstram o impacto positivo do empreendimento na geração de empregos na região.

3.9 Vias de Acesso

O acesso à área do empreendimento é realizado por estradas vicinais não pavimentadas, que conectam a zona rural ao centro urbano do município de Juazeirinho – PB. Embora não asfaltadas, essas vias apresentam condições razoáveis de trafegabilidade para veículos leves e caminhões, sendo adequadas para o transporte dos materiais e equipamentos necessários à implantação da usina. Durante o período chuvoso, podem surgir dificuldades de acesso, exigindo intervenções pontuais, como nivelamento ou reforço do leito das estradas.

Quanto ao uso e ocupação do solo, a área destinada à instalação da usina encontra-se em zona rural, com predomínio de pequenas propriedades agropecuárias e pastagens. O terreno

escolhido está desocupado, sem uso produtivo recente. Nas imediações, foram identificadas, em média, cinco residências situadas próximas à área do empreendimento. Apesar de não configurarem área urbana ou aglomerado residencial, a presença dessas moradias demanda atenção especial em relação a possíveis impactos durante a fase de obras, como emissão de poeira, ruídos e circulação de veículos. É recomendado, portanto, a adoção de medidas mitigadoras e diálogo com os moradores locais.

O empreendimento está em conformidade com o Plano Diretor e o Plano Geral de Uso e Ocupação do Solo do município de Juazeirinho, respeitando os parâmetros legais para a instalação de projetos de geração de energia em zona rural. Também não foram identificados conflitos com áreas de preservação permanente ou outras restrições legais. Assim, a localização da usina é tecnicamente viável, juridicamente regular e socialmente sensível, respeitando o contexto local e o ordenamento territorial.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação dos instrumentos de *Checklist* e Matriz de Interação, com base nas visitas técnicas realizadas na usina solar fotovoltaica de 1 MW localizada no município de Juazeirinho, Paraíba. Também são analisados os impactos ambientais e sociais observados durante as fases de implantação, instalação e operação da usina, bem como as medidas mitigadoras propostas.

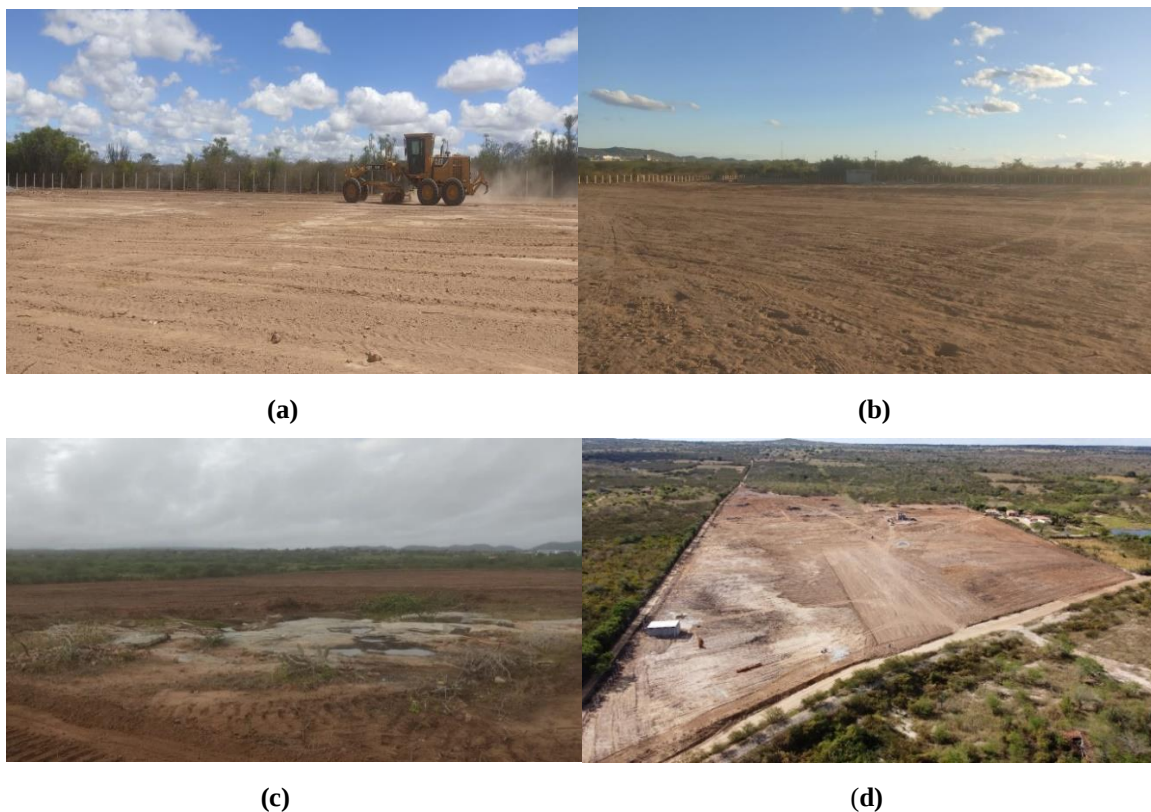
5.1 Impactos Ambientais por Fase do Empreendimento

5.1.1 Fase de Implantação

Durante a fase de implantação da usina solar, foram observados impactos ambientais significativos, especialmente relacionados à movimentação de solo e remoção da vegetação nativa. Como demonstrado nas Figuras 7(a) e 7(b), a movimentação intensa do solo resultou em sua compactação e no aumento do risco de erosão, comprometendo a estrutura e a qualidade do solo, que são aspectos críticos em regiões com características ambientais sensíveis como o bioma da Caatinga. A remoção total da vegetação nativa, conforme registrado nas Figuras 9(c) e 9(d), contribuiu para a perda de *habitat* e a redução da biodiversidade local. Entretanto, no ecossistema da Caatinga a vegetação local é essencial para várias espécies de fauna adaptadas ao clima

semiárido, que dependem das formações vegetais para abrigo e alimentação. Embora não tenham sido registradas imagens diretas de fauna durante a visita, sabe-se que a retirada de cobertura vegetal provoca uma perda de *habitat* que pode impactar negativamente a biodiversidade regional, reduzindo a oferta de recursos para as espécies nativas e alterando o equilíbrio ecológico do local.

Figura 9 - (a) Movimentação de máquina no solo; (b) Erosão laminar na área de instalação; (c) Remoção de espécie nativa; (d) Área já preparada para implantação da usina



Fonte: Autoria própria, 2024.

Além disso, foi identificada a prática indevida de queima da vegetação suprimida, como mostrado nas Figuras 10(a) e 10(b), em desacordo com as recomendações ambientais. Essa ação resultou na emissão de gases de efeito estufa e na degradação do solo, ocasionando impactos ambientais evitáveis. Alternativas recomendadas para o manejo incluem a:

Compostagem: Transforma a vegetação em composto orgânico, melhorando a qualidade do solo, doação ou uso para projetos de reflorestamento.

Fragmentação para biomassa: Geração de energia de forma sustentável.

Cobertura morta (mulching): ajuda na retenção de umidade, controle da erosão e adição de nutrientes ao solo.

Adotar essas práticas evita emissões desnecessárias e promove o uso sustentável dos recursos no projeto.

Figura 10 - (a, b) Queima indevida da vegetação suprimida



Figura a

Figura b

Fonte: Autoria própria, 2024.

Outro ponto observado foi o descarte inadequado de materiais de construção, conforme registrado na Figura 11, onde materiais como pedras e entulho foram depositados de forma irregular dentro da área da usina, aumentando o risco de contaminação do solo e obstrução da drenagem natural do terreno.

Figura 11 - Descarte inadequado de materiais



Fonte: Autoria própria, 2024.

Também foi constatada a construção de uma residência permanente e a perfuração de um poço artesiano dentro do terreno da usina, ambos destinados ao apoio dos trabalhadores durante a obra, conforme ilustrado nas Figuras 10(a) e 10(b). Embora essas estruturas sejam necessárias para o suporte dos trabalhadores, representaram uma alteração do uso do solo dentro da área destinada à usina, que poderia ter sido mitigada com um planejamento mais adequado. Alternativas sustentáveis incluiriam o uso de estruturas temporárias, como contêineres móveis, ou acomodações fora da área da usina, reduzindo a extensão do impacto e facilitando a recuperação ambiental após a conclusão das obras.

Figura 12 - (a) Construção de residencia temporária; (b) poço artesiano



Figura a

Figura b

Fonte: Autoria própria, 2024.

Além disso, como parte da infraestrutura de apoio às atividades de construção, foi construída uma fossa séptica e um sumidouro, conforme ilustrado na Figura 11. Embora essas estruturas sejam importantes para a gestão sanitária durante a obra, a ausência de impermeabilizantes ou barreiras de contenção ao redor dessas instalações pode representar um risco de contaminação do solo e da água subterrânea. A adoção de práticas como a utilização de fossas com revestimento adequado, de acordo com as normas ambientais, poderia mitigar esses impactos e contribuir para uma gestão sanitária mais sustentável.

Figura 13 - Construção de fossa séptica e sumidouro



Fonte: Autoria própria, 2024.

As residências próximas, conforme ilustrado na Figura 14, podem ser impactadas pela movimentação de máquinas, pela poeira e pelos ruídos durante a instalação da usina. O lago, também visível na Figura 14, apresenta risco de assoreamento e potencial contaminação por sedimentos devido às atividades de retirada de vegetação e movimentação de solo. Embora não tenham sido identificados indícios claros de assoreamento ou contaminação no período da obra, medidas de contenção, como barreiras de sedimentos e programas de revegetação, seriam recomendadas para mitigar possíveis impactos adversos.

Figura 14 - Entorno da área da usina fotovoltaica



Fonte: Autoria própria, 2024.

Em resumo, a fase de instalação da usina trouxe alterações significativas no solo e na vegetação local, elevando o risco de erosão e impactos ambientais para as áreas adjacentes. A retirada da cobertura vegetal e a movimentação de solo foram elementos críticos que, embora necessários para o desenvolvimento da infraestrutura, representam desafios ambientais importantes, especialmente para o lago e as residências próximas. Essas observações reforçam a necessidade de medidas mitigadoras rigorosas para minimizar os impactos adversos durante a implementação.

5.2.2 Fase de Instalação

Durante a fase de instalação da usina solar fotovoltaica, foram realizadas atividades fundamentais para a montagem dos suportes, módulos solares e conexões elétricas que permitiriam a futura operação da usina. Essa fase envolveu o uso de maquinário pesado para a movimentação e fixação de componentes, o que gerou impactos ambientais como aumento de poeira e ruído, além de compactação do solo nas áreas de montagem. A presença constante de veículos e equipamentos também causou distúrbios temporários nas proximidades, afetando a qualidade do ar e o nível de ruído para as comunidades vizinhas.

Por outro lado, a fase de instalação também trouxe benefícios econômicos significativos para a região. Foram criados aproximadamente 10 empregos diretos e 27 indiretos, ocupados por

trabalhadores locais em funções como montagem, serralheria, operação de máquinas e auxílio técnico. Essa fase também impulsionou o comércio local, uma vez que fornecedores e prestadores de serviços locais foram contratados para suprir as demandas de materiais e alimentação dos trabalhadores.

5.2.3 Fase de Operação

Na fase de operação, a usina solar fotovoltaica contribui diretamente para a geração de energia limpa, ajudando a reduzir a dependência de fontes fósseis e as emissões de gases de efeito estufa. Esse impacto positivo reforça o papel da usina na mitigação das mudanças climáticas e na promoção da sustentabilidade ambiental.

Além dos benefícios ambientais, a operação mantém alguns empregos locais, especialmente para manutenção e monitoramento, garantindo que as operações sigam padrões ambientais e técnicos. O impacto visual também é relevante, pois a ocupação do solo altera a paisagem local. A fase de operação exige monitoramento contínuo das condições ambientais para prevenir contaminações e assegurar práticas sustentáveis a longo prazo. (Barbosa Filho *et al.*, 2016).

5.2 Impactos ambientais identificados

Na avaliação dos impactos ambientais, assume-se que a realização de qualquer empreendimento provocará alterações no meio ambiente. Da mesma forma, essas repercussões resultantes da instalação e operação do empreendimento poderão melhorar ou piorar a qualidade ambiental da área e do ambiente no entorno do local onde será localizado o projeto que se pretende implementar. No caso dos impactos negativos, será necessário programar um conjunto de ações que anulem, ou se isto não for possível, que ao menos reduzem as repercussões. Essas ações são denominadas de Medidas Mitigadoras. (Sánchez, 2013)

Durante a análise dos impactos ambientais, foram identificados aspectos significativos em cada fase do processo de instalação e operação da usina solar fotovoltaica. Esses aspectos foram resumidos no Quadro 1, que apresenta os principais impactos ambientais identificados em cada fase. Essas informações serão fundamentais para a elaboração da matriz de interação, que permitirá avaliar a inter-relação entre esses impactos e as medidas mitigadoras propostas.

Quadro 1 - Impactos ambientais observados e projetados por fase do empreendimento

Fase do Processo	Aspectos Ambientais	Impactos Ambientais Potenciais
Limpeza e Preparação da Área	- Supressão da vegetação nativa - Alteração da paisagem local - Risco de erosão do solo - Perda de habitat para a fauna local	Redução da biodiversidade devido à destruição do <i>habitat</i> natural
Construção e Instalação	- Emissão de gases de escape dos veículos e maquinário - Geração de resíduos de construção e demolição - Consumo de recursos hídricos e Materiais - Ruído	Poluição do ar e do solo devido à emissão de gases e geração de resíduos
Operação e Manutenção	- Ausência de regeneração da vegetação nativa - Alterações no comportamento de aves e insetos - Geração de resíduos de módulos solares e inversores	Prejuízo à biodiversidade local Efeitos sobre fauna devido ao reflexo e calor dos painéis Acúmulo de resíduos sólidos e eletrônicos se não houver descarte adequado
Desativação e Desmontagem	- Necessidade de descarte adequado de módulos solares e componentes eletrônicos - Reabilitação da área para uso futuro - Potencial risco de contaminação do solo e da água	Caso não sejam adotadas medidas adequadas, pode haver risco de contaminação por metais, vidros e resíduos eletrônicos A ausência de plano de reabilitação pode comprometer a recuperação da área

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Com base nos impactos ambientais observados e projetados por fase do empreendimento, conforme apresentado no Quadro 1, elaborou-se um *checklist* consolidado com os principais impactos identificados. Esse levantamento servirá de base para a construção da matriz de interação, que permitirá avaliar a inter-relação entre os impactos e as medidas mitigadoras propostas.

5.3 Análise Quantitativa: *Checklist* e Matriz de Interação

De ponto de vista ambiental, foram identificados alguns impactos ambientais e sociais relacionados as fases do empreendimento no local proposto. Apesar disso, esses impactos são mitigáveis e podem ser gerenciados adequadamente. O zoneamento local e o uso do solo não apresentam restrições significativas, e embora haja considerações ambientais a serem avaliadas e medidas a serem tomadas para mitigar esses impactos, não foram identificados elementos ambientais no entorno que exijam preservação permanente. No entanto, a seguir está a síntese dos aspectos ambientais identificados e sua classificação como positivos ou negativos, conforme detalhado na Tabela 4 de *Checklist*:

Tabela 4 - Tabela de listagem de controle (*Checklist*)

Aspecto Ambiental	Positivo	Negativo
Supressão da Vegetação Nativa	-	1
Alteração da Paisagem	-	1
Risco de Erosão do Solo	-	1
Perda de Habitat para Fauna	-	1
Emissão de Gases de Escape	-	1
Geração de Resíduos	-	1
Impacto sobre a Vegetação	-	1
Impacto sobre a Fauna	-	1
Impacto sobre Recursos Hídricos	-	1
Ruído	-	1
Geração de Energia Renovável	1	-
Redução das Emissões de Carbono	1	-
Criação de Empregos Locais	1	-
Benefícios Socioeconômicos	1	-
Total	4	10

Fonte: Autoria Própria, 2024.

A partir de uma análise detalhada do diagnóstico ambiental da área através da utilização do *Checklist*, serão identificados os impactos ambientais associados nas fases de instalação e operação do empreendimento. Esses impactos estão diretamente relacionados à atividade a ser

realizada e ao local de implantação do empreendimento, e serão classificados quanto à sua magnitude em: Baixa (B), Moderada (M) e Alta (A). A Tabela 4 apresenta a matriz de interação consolidada com os principais impactos identificados nas fases de implantação, instalação, operação e descomissionamento da usina. Essa matriz foi elaborada com base na observação in loco, *checklist* e critérios técnicos, como intensidade, duração, reversibilidade e área de influência dos impactos.

Observou-se que a fase de implantação concentrou os impactos de maior magnitude negativa, como a supressão da vegetação (alta magnitude, irreversível e permanente). Por outro lado, a fase de operação destacou-se pelos impactos positivos, como a geração de energia limpa (alta magnitude positiva e de abrangência regional).

A matriz também evidencia a importância de medidas mitigadoras específicas, especialmente para os impactos classificados como moderados e irreversíveis, como o risco de contaminação no descomissionamento e a interferência nas áreas vizinhas durante a instalação.

Tabela 5 - Matriz de interação dos impactos ambientais

<i>Meio</i>	<i>Impacto</i>	<i>Fase</i>	<i>Intensidade</i>	<i>Duração</i>	<i>Reversibilidade</i>	<i>Área de Influência</i>	<i>Magnitude</i>
<i>Meio Físico</i>	Risco de Erosão do Solo	Implantação	M	L	PR	Local	A
	Emissão de Gases de Escape	Instalação	M	C	TR		B
	Geração de Resíduos	Instalação	M	C	TR	Local	M
	Impacto sobre Recursos Hídricos	Instalação	M	C	TR	Local	B
<i>Meio Biótico</i>	Ruído	Instalação	B	C	TR	Local	B
	Supressão da Vegetação Nativa	Implantação	A	P	I	Local	A
	Perda de Habitat para Fauna	Implantação	A	P	I	Local	A
	Impacto sobre a Vegetação	Instalação	M	C	PR	Local	M
<i>Meio Antrópico / Socioeconômico</i>	Impacto sobre a Fauna	Instalação	M	C	PR	Local	M
	Alteração da Paisagem	Implantação	M	L	PR	Local	A
	Geração de Energia Renovável	Operação	A	L	—	Regional	A+
	Redução das Emissões de Carbono	Operação	A	L	—	Regional	A+
	Criação de Empregos Locais	Instalação e Operação	A	C-L	—	Local	A+
	Benefícios Socioeconômicos	Instalação e Operação	A	C-L	—	Local	A+

Legenda

Intensidade

A = Alta
M = Moderada
B = Baixa

Duração

L = Longa
C = Curta

Reversibilidade

I = Irreversível
PR = Parcialmente reversível
TR = Totalmente reversível

Magnitude

A = Alta negativa
M = Moderada negativa
B = Baixa negativa
A+ = Alta positiva

Fonte: Autoria própria, 2025.

A análise dos dados apresentados na Tabela 5 permitiu observar que os impactos ambientais mais expressivos se concentram na fase de implantação da usina solar. Dentre eles, destacou-se a supressão da vegetação nativa, classificada como de alta magnitude, irreversível e permanente, o que reforça a vulnerabilidade ecológica da Caatinga e a necessidade de medidas compensatórias específicas ao bioma. Outros impactos relevantes nessa fase incluem a perda de habitat para fauna silvestre e o risco de erosão do solo, ambos com potencial de provocar alterações significativas no meio biótico e físico.

Ainda na fase de implantação, a alteração da paisagem foi considerada de magnitude moderada e de longa duração, com implicações estéticas e, possivelmente, no uso do solo. Impactos como emissão de gases de escape, geração de resíduos e ruídos temporários foram classificados como de curta duração e reversíveis, representando efeitos localizados e de menor intensidade.

Por outro lado, os impactos positivos associados à fase de operação foram destacados por sua contribuição socioeconômica e ambiental. A geração de energia renovável e a redução das emissões de carbono foram classificados como impactos positivos de alta magnitude e abrangência regional, reforçando o papel da energia solar na transição para uma matriz energética mais limpa. Adicionalmente, a criação de empregos locais e os benefícios econômicos diretos e indiretos decorrentes da implantação e operação da usina demonstram efeitos positivos relevantes, com impacto direto na renda das famílias e no dinamismo do comércio local.

De forma geral, a aplicação da matriz de interação permitiu não apenas classificar os impactos segundo critérios técnicos, como intensidade, duração e reversibilidade, mas também identificar efeitos que normalmente são subestimados em estudos simplificados, como a compactação do solo e a alteração visual do território. A sistematização desses dados contribuiu para uma análise mais precisa da realidade local e para a proposição de medidas mitigadoras condizentes com o contexto ambiental e social de Juazeirinho. Essa abordagem reforça o caráter aplicado da pesquisa e seu potencial de replicação em outros empreendimentos de pequeno porte no semiárido brasileiro.

5.3 Medidas Preventivas e Mitigadoras

As medidas sugeridas neste estudo foram definidas com base no que é reportado na literatura sobre AIA (Sánchez, 2006; Glasson *et al.*, 2013), nos dados obtidos com o *checklist*, na matriz de interação e nas observações feitas durante as visitas técnicas. Mesmo sem exigência legal de licenciamento, é evidente que o empreendimento causou impactos relevantes, principalmente na fase de implantação.

Diante disso, é recomendada a adoção de medidas simples, viáveis e compatíveis com a realidade do projeto. Entre elas, destaca-se a recomposição da vegetação nativa em áreas degradadas, preferencialmente com espécies da Caatinga, como forma de compensar a supressão vegetal. Também é indicada a aplicação de práticas de conservação do solo, como cobertura orgânica e contenção de enxurradas, para reduzir os efeitos da compactação e do risco de erosão.

Além disso, a elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) é essencial para organizar o descarte adequado de materiais utilizados na instalação e operação da usina. Outras ações importantes incluem o monitoramento das condições ambientais (solo, vegetação e fauna) e a promoção de atividades de educação ambiental voltadas aos trabalhadores e à comunidade local.

O Quadro 2 apresenta a classificação das medidas ambientais propostas neste estudo, organizadas segundo sua natureza e finalidade, com base na literatura de AIA. Essas medidas devem ser adaptadas conforme o andamento do projeto e a sensibilidade ambiental da área, priorizando ações de baixo custo, mas com potencial de evitar danos cumulativos ao ecossistema local.

Quadro 2 - Classificação de medidas ambientais

Natureza da Ação	Descrição
Preventivos	Compreendem ações destinadas à prevenção e controle dos impactos ambientais avaliados como negativos, porém passíveis de intervenção, podendo ser evitados, reduzidos ou controlados. Essas ações devem ser implantadas antes que ocorra a ação que deflagra o impacto ambiental de modo a controlar os efeitos negativos sobre o ambiente;
Corretivos	Englobam as ações direcionadas à mitigação dos impactos ambientais considerados reversíveis, através de ações de recuperação e recomposição das condições ambientais satisfatórias e aceitáveis;
Monitoramento	Compreende medidas destinadas ao acompanhamento e registro da ocorrência, verificação da intensidade dos impactos e do estado dos componentes ambientais afetados, de modo a propiciar a correção ou mitigação dos efeitos negativos em tempo hábil. Esses programas configuram compromissos do empreendedor no sentido de adequar as atividades do empreendimento às potencialidades, e fragilidades dos componentes sociais e ambientais.

Fonte: Autoria própria, 2025.

Esses programas devem ser compromissos do empreendedor para garantir que as atividades da usina estejam alinhadas com as características sociais e ambientais da região. Por isso, identificou-se a necessidade de criar e implementar programas para controlar esses aspectos, conforme mencionados no Quadro 3.

Quadro 3 - Medidas ambientais propostas para mitigação dos impactos identificados

Medida Proposta	Descrição
Recomposição Vegetal	Plantio de espécies nativas da Caatinga em áreas degradadas.
Conservação do Solo	Aplicação de cobertura orgânica e contenção de enxurradas para evitar erosão.
Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)	Destinação adequada dos resíduos da instalação e operação da usina.
Monitoramento Ambiental	Acompanhamento periódico das condições do solo, vegetação e fauna.
Educação Ambiental	Atividades educativas para trabalhadores e comunidade local.
Plano de Reabilitação da Área	Diretrizes para recuperação da área após o encerramento das atividades.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

5.4 Plano de Monitoramento Ambiental

O monitoramento ambiental é uma etapa importante para acompanhar os efeitos do empreendimento ao longo do tempo e garantir que os impactos sejam minimizados. Segundo

Glasson *et al.* (2013), o monitoramento permite verificar se as medidas propostas estão sendo eficazes e se ajustes são necessários durante a execução do projeto.

No Quadro 4, são apresentadas medidas recomendadas para cada fase do empreendimento, com foco no controle de impactos e na prevenção de danos ambientais, caso o projeto venha a ser regularizado e executado conforme as boas práticas. Essas medidas ainda não foram implantadas e sua execução dependerá do andamento do projeto e da disponibilidade de recursos.

Quadro 4 - Plano de monitoramento e medidas mitigadoras

Fase do Processo	Medida Mitigadora	Descrição
Limpeza e Preparação da Área	PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	Gerenciamento adequado dos resíduos gerados na supressão da vegetação.
Construção e Instalação	Controle de emissões	Monitoramento das emissões de gases e resíduos durante a construção.
Operação e Manutenção	Monitoramento ambiental	Acompanhamento periódico de solo, vegetação e fauna com medidas corretivas.
Desativação e Desmontagem	Inspeção e descarte adequado	Garantia do descarte responsável de painéis e componentes eletrônicos.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

Até o momento, as medidas propostas no plano de monitoramento não foram implantadas. No entanto, a adoção dessas medidas será fundamental para controlar os impactos identificados em todas as fases do empreendimento e garantir maior segurança ambiental. O monitoramento contínuo contribui para antecipar problemas, ajustar práticas e promover a sustentabilidade da usina, mesmo em contextos onde o licenciamento ambiental não seja exigido de forma imediata.

5.4.1 Benefícios Ambientais e Socioeconômicos Observados

A implantação e operação da usina solar em Juazeirinho – PB promoveram uma série de benefícios ambientais e socioeconômicos, observados ao longo das visitas técnicas. Entre os principais aspectos positivos estão a geração de empregos, o estímulo à economia local, a produção de energia limpa e a valorização da região.

No Quadro 5 apresentam-se potenciais os aspectos positivos organizados por fase do empreendimento, indicando benefícios diretos e indiretos para o ambiente e a comunidade local.

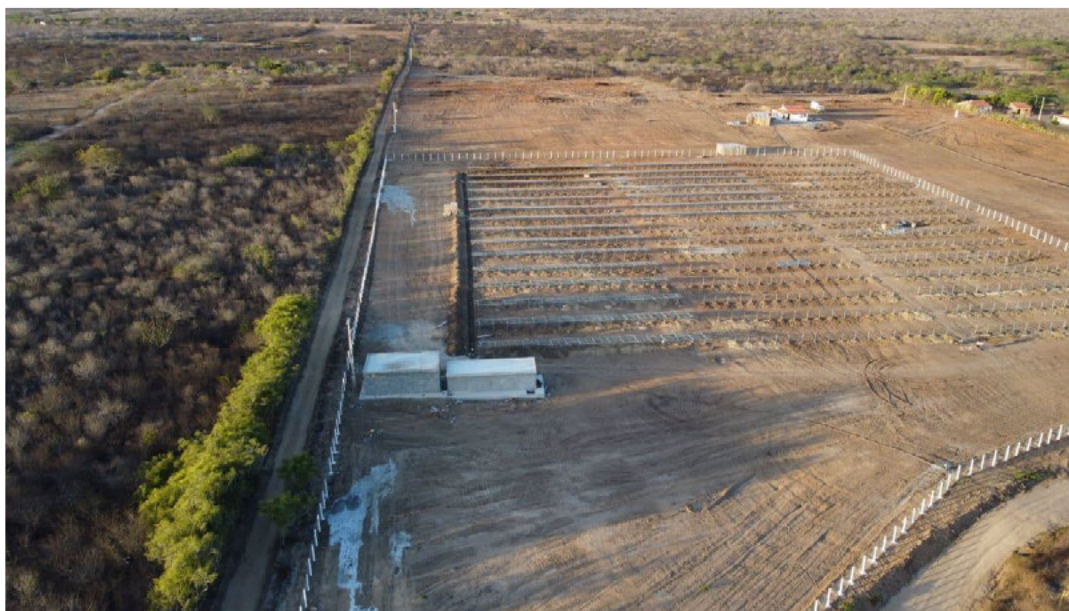
Quadro 5 -Aspectos ambientais positivos

Fase do Processo	Aspectos Positivos Potenciais	Benefícios Ambientais e Socioeconômicos
Limpeza e Preparação	Potencial para recuperação da área e reflorestamento com espécies nativas.	Possibilidade de restaurar o ecossistema local e favorecer a biodiversidade regional.
Construção e Instalação	Geração de empregos; estímulo ao comércio e redução da dependência de energia fóssil.	Geração de renda, fortalecimento da economia local e promoção da sustentabilidade.
Operação e Manutenção	Geração de energia renovável; redução de emissões de gases de efeito estufa.	Contribuição para a matriz limpa e mitigação das mudanças climáticas.
Desativação e Desmontagem	Reaproveitamento de materiais e recuperação da área para novos usos sustentáveis.	Promoção da economia circular e uso consciente da área após o encerramento da usina.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Durante a fase de instalação, destacou-se a geração de mais de 36 empregos diretos e indiretos e o fortalecimento do comércio local, especialmente em setores como alimentação, hospedagem, transporte e serviços terceirizados. Na Figura 15 ilustra-se o início das obras, com movimentação de solo e início das contratações.

Figura 15 - Fase inicial da obra



Fonte: Autoria própria, 2024.

À medida que a instalação avançava conforme mostrado na Figura 16, observou-se um crescimento na demanda por fornecedores e prestadores de serviços locais, o que estimulou a economia e gerou novas oportunidades para microempreendedores. Empresas de apoio, como segurança, limpeza e manutenção, também foram mobilizadas.

Figura 16 - Fase final da instalação da usina



Fonte: Autoria própria, 2024.

Com a conclusão da obra, demonstrada na Figura 17, consolidaram-se benefícios como a valorização dos imóveis no entorno da usina e o aumento da arrecadação municipal. A produção de energia gerada será destinada a empresas locais e regionais, ampliando a atratividade para novos investimentos em fontes renováveis.

Figura 17 - Conclusão da instalação da usina



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.4.2 Prognóstico Ambiental

O prognóstico ambiental consiste na identificação antecipada de possíveis alterações na área do empreendimento, considerando a sua implantação e operação. A análise permite prever mudanças na ocupação do solo, na dinâmica local e nas condições ambientais da área de influência.

Durante a fase de implantação, espera-se que os ruídos gerados pelas atividades de construção apresentem baixo impacto, devido à localização da usina em área rural com baixo adensamento populacional. A circulação de veículos pesados ocorrerá principalmente no período inicial da obra e tende a não interferir significativamente no tráfego local, considerando a curta duração e a infraestrutura já em estágio avançado de execução.

Os efluentes gerados pelas instalações sanitárias e pelas atividades diárias dos trabalhadores serão encaminhados para o sistema hidrossanitário instalado no local, minimizando riscos de contaminação. No longo prazo, espera-se que a operação da usina fotovoltaica promova efeitos positivos contínuos, como a redução das emissões de carbono e a valorização ambiental da região, desde que sejam seguidas as boas práticas de manutenção e descarte de materiais.

5.4.3 Análise Geral dos Resultados

Após a identificação dos impactos ambientais e sociais utilizando o *checklist* e a matriz de interação, observou-se que a fase de implantação da usina solar concentrou os efeitos mais significativos, principalmente relacionados à supressão da vegetação, compactação do solo e alteração da paisagem. Esses impactos são característicos de projetos de infraestrutura no semiárido, conforme já apontado por Lima *et al.* (2022), e reforçam a necessidade de medidas de mitigação adaptadas às condições locais.

Entre os impactos negativos, a supressão da vegetação nativa se destaca como um fator crítico, pois compromete a biodiversidade regional e pode contribuir para processos de desertificação, especialmente em áreas de Caatinga, como o município de Juazeirinho. A compactação do solo, por sua vez, foi identificada como moderada, mas requer atenção a longo prazo, já que pode afetar a infiltração de água e a regeneração natural da vegetação.

Em contrapartida, os impactos positivos identificados foram expressivos, especialmente no aspecto socioeconômico. A geração de empregos diretos e indiretos durante a fase de instalação impulsionou a economia local, promovendo melhoria de renda para diversas famílias e estimulando o comércio da região.

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que, embora existam impactos ambientais relevantes, a implantação da usina solar trouxe benefícios importantes para a economia local, e que, com a implementação adequada das medidas mitigadoras propostas, é possível equilibrar os efeitos negativos e maximizar os positivos. Assim, reforça-se a importância da Avaliação de Impacto Ambiental como ferramenta essencial para a gestão responsável de empreendimentos de energia renovável no semiárido. A Tabela 6 sumariza a síntese dos impactos mais relevantes identificados na implantação da usina solar, destacando, além dos níveis de significância, observações *in loco* e efeitos socioeconômicos frequentemente subestimados em estudos similares.

Tabela 6 - Principais impactos identificados e destaques não convencionais

Aspecto Avaliado	Impacto Identificado	Nível de Significância	Comentário / Destaque
Supressão da vegetação	Redução da cobertura vegetal nativa (Caatinga)	Alto	Potencial contribuição à desertificação – destaque crítico em biomas frágeis
Compactação do solo	Redução da infiltração e regeneração	Moderado	Alerta não usual em análises padrões – identificado por observação <i>in loco</i>
Alteração da paisagem	Mudança visual do ambiente natural	Moderado	Relevante em contextos culturais e turísticos locais
Geração de empregos	Empregos temporários e impulsionamento econômico	Alto	Benefício socioeconômico direto para o município
Estímulo ao comércio local	Aumento da circulação de renda durante implantação	Alto	Efeito indireto positivo pouco explorado em estudos automatizados

Fonte: Autoria própria, 2025.

A análise dos impactos identificados reforça a importância de uma abordagem metodológica que vá além dos estudos teóricos e incorpore a observação direta e o uso estruturado de ferramentas da AIA. Os efeitos negativos levantados, como a supressão da vegetação e a compactação do solo, ainda são frequentemente subestimados em usinas de pequeno porte, sobretudo em regiões ambientalmente sensíveis como o semiárido. Por outro lado, os benefícios socioeconômicos também se mostraram relevantes, revelando a necessidade de uma avaliação integrada, que considere tanto os riscos ecológicos quanto as oportunidades sociais. Assim, os dados obtidos neste estudo não apenas validam a aplicação prática da matriz de interação e do *checklist* ambiental, como também contribuem para o aprimoramento das diretrizes de gestão e licenciamento de empreendimentos solares de menor porte.

6 CONCLUSÕES

A partir da análise dos impactos ambientais e sociais gerados pela implantação de uma usina solar fotovoltaica de 1 MW em Juazeirinho, Paraíba, foi possível identificar efeitos relevantes e propor medidas mitigadoras alinhadas à realidade local. Através da aplicação prática do *checklist* e da matriz de interação, foi possível identificar e classificar os impactos mais relevantes durante as fases de implantação e operação da usina. Entre os principais impactos ambientais, destacaram-se a supressão da vegetação nativa, a compactação do solo e a alteração da paisagem. Já no aspecto social, observou-se um efeito positivo para a economia local, com a geração de empregos e o aumento da arrecadação tributária, fortalecendo o comércio e a renda da população.

Além disso, o estudo evidenciou a importância de aplicar metodologias sistematizadas na AIA, mesmo em projetos de pequeno porte, como o analisado. A adaptação e aplicação do *checklist* ambiental e da matriz de interação permitiram uma análise mais precisa e estruturada dos impactos, especialmente em um contexto pouco explorado pela literatura, como o semiárido paraibano. Essas ferramentas possibilitaram a identificação de impactos não frequentemente destacados em AIA convencionais, como a compactação do solo e a alteração da paisagem local, além de reforçarem a necessidade de medidas específicas para o bioma Caatinga. A metodologia adotada demonstrou ser eficaz para orientar tanto o diagnóstico quanto a proposição de medidas mitigadoras, contribuindo para uma gestão ambiental mais contextualizada, replicável e alinhada à realidade dos territórios com baixa exigência regulatória. Tal abordagem reforça a contribuição prática e acadêmica do estudo ao preencher lacunas metodológicas apontadas na revisão bibliográfica.

Uma limitação deste estudo foi a ausência de dados ambientais anteriores à implantação da usina, o que dificultou uma análise comparativa mais aprofundada das mudanças ocorridas ao longo do tempo. Caso essas informações estivessem disponíveis desde a fase inicial de preparação da área, seria possível estabelecer correlações mais robustas entre os impactos ambientais identificados e as medidas mitigadoras propostas, ampliando a consistência da análise. Ainda assim, a metodologia adotada neste trabalho demonstrou-se eficaz e pode ser diretamente aplicada

em outros empreendimentos semelhantes, inclusive desde a fase de planejamento, sem necessidade de adaptações significativas.

Embora o foco deste estudo tenha sido a aplicação prática e qualitativa das ferramentas de avaliação ambiental, futuros trabalhos podem incorporar análises estatísticas e espaciais para aprofundar a interpretação dos dados. O uso de *softwares* como Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), o R (R Core Team) e o Quantum Geographic Information System (QGIS), pode ampliar a precisão das análises, permitindo identificar correlações, tendências e variações espaciais de forma mais detalhada. Além disso, recomenda-se o monitoramento contínuo da operação da usina, a avaliação da eficácia das medidas de mitigação e a replicação da metodologia em diferentes contextos do semiárido brasileiro, fortalecendo as práticas de planejamento e gestão ambiental em empreendimentos de energia solar.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. B. de O. *Análise comparativa do inversor string e microinversor para sistemas de geração de energia solar fotovoltaica*. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/77977>. Acesso em: 25 jan. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 fev. 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html> . Acesso em: 22 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera dispositivos da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que dispõe sobre o sistema de compensação de energia elétrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 nov. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/resolucao-n-6872015> . Acesso em: 22 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). *PB chega a 400 MW de geração própria de energia solar*. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-foradoeixo-rec-br-pb-chega-a-400-mw-de-geracao-propria-de-energia-solar/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Badza, K., Soro, Y.M. & Sawadogo, M. Avaliação do ciclo de vida de uma usina solar fotovoltaica

de 33,7 MW no contexto de um país em desenvolvimento. *Sustentar Environ Res* **33**, 38 (2023). <https://doi.org/10.1186/s42834-023-00201-x>.

Barbosa Filho, W. P., Ferreira, W. R., Azevedo, A. C. S., & Costa, A. L. (2016). Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. *Revista Brasileira de Energia*, 22(2), 1-15.

BARBOSA, R. R. *et al.* Energia solar fotovoltaica no semiárido: potencial, cenário atual e perspectivas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2., 2017, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: [s.n.], 2017.

Bošnjaković, M.; Škoro, N.; Dukić, S. (2023). Environmental impact of PV power systems. *Sustainability*, 15(15), 11888. DOI: 10.3390/su151511888.

BRASIL. *Constituição (1988)*. Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10645661/artigo-225-da-constituicao-federal-de-1988>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BRASIL. *Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983*. Regulamenta a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D88351.htm. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRASIL. *Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990*. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRASIL. *Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022*. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução nº 279, de 27 de junho de 2001*. Dispõe sobre o licenciamento ambiental simplificado para empreendimentos elétricos. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2001/res_conama_279_2

[001_licenciamentoambientalsimplificadoparaempreendimentoseltricos.pdf](#). Acesso em: 17 jan. 2024.

BURSZTYN, M. Energia solar e desenvolvimento sustentável no semiárido: o desafio da integração de políticas públicas. *Estudos Avançados*, v. 34, p. 167–186, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/HRtVCv9DddGGWWD3ZGmHvfK/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

CAVALCANTE, M. de A. *et al.* Os impactos da tecnologia de energia solar On-Grid e Off-Grid para o meio ambiente e seus aspectos positivos. *e-Acadêmica*, v. 3, n. 3, p. 1–7, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.52076/eacad-v3i3.382>. Acesso em: 24 abr. 2025.

CANEPPELE, Fernando. Energia solar fotovoltaica: o motor das cidades inteligentes e sustentáveis. *PV Magazine Brasil*, 13 jan. 2025. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2025/01/13/energia-solar-fotovoltaica-o-motor-das-cidades-inteligentes-e-sustentaveis/>. Acesso em: 12 out. 2025.

CHABLA-AUQUI, L.; OCHOA-CORREA, D.; VILLA-ÁVILA, E.; ASTUDILLO-SALINAS, P. Distributed Generation Applied to Residential Self-Supply in South America in the Decade 2013–2023: A Literature Review. *Energies*, v. 16, n. 17, p. 6207, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16176207>.

COUGO DA CRUZ, A. *et al.* Avaliação dos impactos ambientais da implantação de sistemas fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 6, n. 2, p. 99–106, 2014.

COSTA, E. R. C.; SILVA, R. D. S.; AGUIAR, V. P. B. *An analysis of energy efficiency actions and photovoltaic energy in public buildings in a semi-arid region: the requirements for positive energy and net-zero energy buildings in Brazil*. *Sustainability*, v. 17, n. 11, p. 5157, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17115157>.

DA SILVA BRASIL, F. *et al.* Análise dos impactos financeiros de uma usina de geração de energia fotovoltaica junto à carga com aplicação da Lei 14.300. *Revista de Tecnologia Aplicada*, v. 12, n. 1, p. 86–99, 2023. Disponível em: <http://cc.faccamp.br/ojs-2.4.8-2/index.php/RTA/article/view/1968>. Acesso em: 25 jan. 2024.

Dias, P. R.; *et al.* *Comprehensive recycling of silicon photovoltaic modules incorporating organic*

solvent delamination – technical, environmental and economic analyses. Resources, Conservation and Recycling, v. 165, p. 105241, 2021. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105241. Acesso em: 13 out. 2025.

Dos Reis, A. K. C. (2021). Energia fotovoltaica: historicidade e legislação pertinente. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 65012–65032. DOI: 10.34117/bjdv7n6-736.

DOS SANTOS, M. R.; DE BRITO, J. L. R.; SHIBAO, F. Y. Economia circular e a energia solar fotovoltaica. *Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 19, n. 1, p. 293–311, jan./mar. 2022. Disponível em: <http://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/2378>. Acesso em: 25 jan. 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

FINUCCI, M. *Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial de plantio de transgênicos*. 2010. 230 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

FLORÊNCIO, M.; TRIGOSO, F. B. M. Percepção de professores e alunos sobre a inserção do conhecimento de energias renováveis no ensino profissionalizante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – CBENS, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1036>. Acesso em: 25 jan. 2024.

FONSECA, L. D. *et al.* Comparativo dos potenciais de energia solar fotovoltaica e de biomassa no norte de Minas Gerais. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/366683345>. Acesso em: 25 jan. 2024.

GARLET, T. B.; RIBEIRO, J. L. D.; SAVIAN, F. D.; SILUK, J. C. M. Competitiveness of the value chain of distributed generation of photovoltaic energy in Brazil. *Energy for Sustainable Development*, [S. l.], v. 71, p. 447–461, 2022. DOI: 10.1016/j.esd.2022.10.019. Acesso em: 13 out. 2025.

GEMIGNANI, M. M. F.; KAGAN, N.; CASTRO, G. M. Energia solar na matriz energética: impactos técnicos e econômicos no sistema interligado nacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE ENERGIA SOLAR, 5., 2014, Recife. Anais [...]. Recife: ABENS, 2014.

GIROTTI, C.; MARINS, K. R. C.; LARA, A. H. Análise da morfologia urbana para maximização de geração de energia fotovoltaica no Belenzinho, em São Paulo. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 4, p. 7–22, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/Yq87GRpCFNBWNZVym5RYKwc/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

GIULIETTI, A. M. *et al.* Diagnóstico da biodiversidade da Caatinga. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

GLASSON, J.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. *Introdução à Avaliação de Impacto Ambiental*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GÓES, A. *et al.* Resíduos de painéis solares fotovoltaicos: uma revisão sistemática de literatura. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 777–791, 2023.

Goh, K. C., Kurniawan, T. A., Goh, H. H., Zhang, D., Jiang, M., Dai, W., ... (2024). *Harvesting valuable elements from solar panels as alternative construction materials: A new approach of waste valorization and recycling in circular economy for building climate resilience*. *Sustainable Materials and Technologies*, 41, e01030. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01030>.

Gómez-Catasús, J.; Pérez-García, J. M.; López, M. D. (2024). *Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps*. *Conservation Letters*. DOI: 10.1111/conl.13025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Renewables 2022: analysis and forecast to 2027*. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>. Acesso em: 08 jun. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Renewables 2023: analysis and forecast to 2028*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable energy statistics 2025. Abu Dhabi: IRENA, 2025. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_DAT_RE_Statistics_2025.pdf.

Acesso em: 12 out. 2025.

JANNUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas. *Informática Pública*, v. 11, n. 1, p. 69–87, 2009.

JUNQUEIRA, R. C.; UTURBEY, W. Valoração econômica de impactos ambientais da energia solar fotovoltaica: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 8, n. 1, p. 50–58, 2017.

KALOGIROU, S. A. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. 2. ed. Boston: Academic Press, 2014.

Lima, Paulo & Neto da Silva, Manoel & Abrahão, Raphael. (2022). Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 15. 1260. 10.26848/rbgf.v15.3.p1260-1273.

LIMA, Paulo de Tarso Dantas. *Análise dos processos de avaliação de impacto ambiental em usinas fotovoltaicas e o potencial biofísico no Nordeste do Brasil*. 2021. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24048>. Acesso em: 14 out. 2025.

LINCOT, Daniel. *The new paradigm of photovoltaics: From powering satellites to powering humanity*. *Comptes Rendus Physique*, v. 18, n. 7–8, p. 381–390, 2017. DOI: 10.1016/j.crhy.2017.09.003.

LINS, E. A. M. Aplicação da Matriz de Leopold na Avaliação dos Impactos Ambientais do Derramamento de Petróleo. Conresol – Congresso Nacional de Resíduos Sólidos, 2020. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/I-003.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. *Metodologia científica: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga*. Brasília: MMA, 2019.

Ndaloka, Z. N., Nair, H. V., Alpert, S., & Schmid, C. (2024). Solar Photovoltaic Recycling Strategies. *Solar Energy*, 270, 112379. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112379>.

NASCIMENTO, B. J. do; SILVA, A. P.; LIMA, G. S. *Analysis of environmental impacts in the construction of a photovoltaic plant at the Academic Unit of Cabo de Santo Agostinho, Brazil*. Research, Society and Development, v. 12, n. 7, e7412732354, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i7.32354.

Nascimento, M. G. do. (2022). *Impactos ambientais associados à instalação e ao funcionamento de usinas solares fotovoltaicas*. Revista Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, 8(1), 1-15.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. A energia solar é um caminho para reduzir o aquecimento global? 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/04/a-energia-solar-e-um-caminho-para-reduzir-o-aquecimento-global>. Acesso em: 30 jan. 2024.

OLIVEIRA, A. de S. *Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica*. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília.

Padoan, F. C. S. M.; Altimari, P.; Pagnanelli, F. *Recycling of end of life photovoltaic panels: a chemical prospective on process development*. Solar Energy, v. 177, p. 746–761, 2019. DOI: 10.1016/j.solener.2018.12.003. Acesso em: 13 out. 2025.

PAULINO, Gildeilson Silva; SEVERO, Fernanda Kelly de Lima; SOARES, Joyce Aristércia Siqueira. *Energia renovável: um esboço da energia solar fotovoltaica no Sertão Paraibano*. 2022.

PERAZZOLI, D. L.; GOBBI, E. F.; TIEPOLO, G. M. Proposta de critérios norteadores e requisitos mínimos para licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas no Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 2, p. 333-344, mar./abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020187883>.

PEREIRA, N. C. P.; FERNANDES, B. C. A. O uso da energia solar no Brasil como um facilitador à consecução do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 12., 2021, Salvador. Anais [...]. Salvador: IBEAS, 2021.

Piedrahita, A., Cárdenas, L. M., & Zapata, S. (2025). Solar Panel Waste Management: Challenges, Opportunities, and the Path to a Circular Economy. *Energies*, 18(7), 1844. <https://doi.org/10.3390/en18071844>.

PINTO, G. X. A.; NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. Assessing the economic viability of BESS in distributed PV generation on public buildings in Brazil: A 2030 outlook. *Renewable Energy*, [S. l.], v. 225, p. 120252, 2024. DOI: 10.1016/j.renene.2024.120252. Acesso em: 13 out. 2025.

POLLI, D. J. et al. *Mammal diversity responses to anthropic, environmental, and seasonal changes within Caatinga seasonal dry forest landscapes*. **Journal of Arid Environments**, [S. l.], v. 220, p. 105001, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/7d5d35b8-9970-4ac7-9a9c-b256f2dc5d32>. Acesso em: 14 out. 2025.

PIVATTO, M. *et al.* Estado da arte de indicadores ambientais do ciclo de vida da energia solar fotovoltaica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 10., 2024, Natal. Anais [...]. Natal: ABENS, 2024.

PRONADOV, C. C.; FREITAS, E. C. *Metodologia do trabalho*. São Paulo: Atlas, 2020.

PORTAL SOLAR. Energia solar atraiu R\$ 54,9 bilhões em investimentos no Brasil em 2024. 16 jan. 2025. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/energia-solar-atraiu-r-54-9-bi-em-investimentos-no-brasil-em-2024>. Acesso em: 12 out. 2025.

PUPIN, P.C. Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida. 2019. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

SÁNCHEZ, L. E. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. 2. ed. São Paulo: Oficina

de Textos, 2013.

SANTOS, A. C. *et al.* Desertificação na Caatinga: uma análise regional. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 3, p. 1123–1138, 2020.

SANTOS, P. S. dos; SANTOS, M. E. de G.; SANTOS, R. Uso e ocupação do solo: reflexão sobre impacto ambiental. *Revista Agri-Environmental Sciences*, Palmas-TO, v. 7, e021005, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v7i1.5208>.

SCHULTZ, G.; CARVALHO, R. C. C. Energia solar fotovoltaica e seus impactos ambientais positivos. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 33–46, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/86789>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SILVA, J. L. da et al. *Conceito de sistemas agrovoltáticos no Nordeste: uma solução de desenvolvimento ecossustentável para o Semiárido nordestino*. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 46, p. 62-78, 2023. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/189543>. Acesso em: 14 out. 2025.

SILVA, J. L. de S.; OLIVEIRA, T. A.; MORAES, F. R. *Case study on photovoltaic system: Impact of solarimetric stations on simulations and anomaly detection*. *Revista Eletrônica de Potência (SOBRAEP)*, v. 30, n. 2, p. 150–162, 2025. DOI: 10.21562/sobraep2025.30215.

SILVA, J. M. C. da; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. *Caatinga: Ecologia e Conservação do Bioma Brasileiro*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2004.

Silva, H. M. F. da ., & Araújo, F. J. C. . (2022). ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, 8(3), 859–869. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i3.4654>

SIMÕES-MOREIRA, J. R.; ROCHA, M. da S. Energia e panorama energético. In: *Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética*. Rio de Janeiro: LTC, 2024. p. 558. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/5b30af47-b50e-4ef6-98b3-d18ae3828d65/3225005.pdf>. Acesso em: 07 maio 2025.

SOUZA, F. A. S.; MELO, V. S.; MEDEIROS, R. M. de. Eventos de precipitação extrema para

Cabaceiras – PB, Brasil. In: Anais do 10º Workshop Internacional de Análise Espacial e Cartografia Temática (WIASB), 2015. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/wiasb/2015/TRABALHO_EV044_MD4_SA1_ID316_10092015102551.pdf. Acesso em: 14 out. 2025.

Tawalbeh M, Al-Othman A, Kafiah F, Abdelsalam E, Almomani F, Alkasrawi M. Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Sci Total Environ*. 2021 Mar 10;759:143528. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143528. Epub 2020 Nov 16. PMID: 33234276.

WANG, Z.; FAN, W. Economic and environmental impacts of photovoltaic power with the declining subsidy rate in China. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 87, 2021.

WEIRICH, C. S. *et al.* Análise do potencial brasileiro para a geração de eletricidade a partir das fontes de energia solar fotovoltaica e o biogás no contexto da geração distribuída. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 8, 2022.

ZAPPI, D. C. *et al.* Plantas da Caatinga. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – RELAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DO AUTOR

Título	Publicação	Autores
SUSTENTABILIDADE EM SUA DIMENSÃO AMBIENTAL: IMPACTO AMBIENTAL DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 1MW EM JUAZEIRINHO - PB	Sustentare & Wipis 2024 – Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos	Maria Gomes Raphael Leite Monica Carvalho