



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FELIPE ARAÚJO DE OLIVEIRA**

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO COMPLEMENTO AO**  
**LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTÁICAS: UM ESTUDO DE**  
**CASO NO CEARÁ.**

**FORTALEZA**

**2026**

FELIPE ARAÚJO DE OLIVEIRA

VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO COMPLEMENTO AO LICENCIAMENTO  
AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTÁICAS: UM ESTUDO DE CASO NO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chagas da Silva.

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A689v Araújo de Oliveira, Felipe.  
VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO COMPLEMENTO AO LICENCIAMENTO  
AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTAICAS: UM ESTUDO DE CASO NO CEARÁ / Felipe Araújo  
de Oliveira. – 2026.  
75 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do  
Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chagas da Silva.

1. Licenciamento Ambiental. 2. Vulnerabilidade Ambiental. 3. Estudo de Impacto Ambiental. I. Título.  
CDD 333.7

---

FELIPE ARAÚJO DE OLIVEIRA

VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO COMPLEMENTO AO LICENCIAMENTO  
AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTÁICAS: UM ESTUDO DE CASO NO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Ciências Ambientais da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Ambientais.

Aprovada em: 09/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcus Vinícius Chagas da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Alexandra Sampaio de Almeida Nogueira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, Fco. David, Maria Araújo e Matheus Araújo pelo apoio e compreensão prestados durante o tempo ausente.

Ao Prof. Dr. Marcus Vinícius Chagas da Silva, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Fábio de Oliveira Matos e Profa. Alexandra Sampaio de Almeida Nogueira pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus amigos de curso, principalmente Mateus, Emanuel, Leonardo, Rodrigo e Pedro, que estiveram sempre presentes na minha caminhada compartilhando bons momentos.

Aos meus colegas de trabalho, principalmente meus superiores Prof. Marcus Vinícius e Luzanira Ribeiro, por acreditarem na minha qualificação enquanto colaborador e pela paciência.

“Olhando pela janela o mundo à fora pensando se a Mãe Terra sobreviverá, esperando que os homens parem de abusar dela, um dia.”  
(Osbourne *et al*, 2001).

## RESUMO

Para um desenvolvimento sustentável, é importante o auxílio de leis e diretrizes que possam mostrar o caminho de como evoluir economicamente sem agredir o meio ambiente, criando formas de controlar o avanço desordenado da utilização de recursos naturais, entre eles, destacando-se o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), no qual a avaliação da vulnerabilidade ambiental contribui para o aprimoramento do licenciamento. Este trabalho analisou a vulnerabilidade ambiental no Complexo Solar Lins 1 e 2, em São Gonçalo do Amarante (CE), identificando áreas de maior sensibilidade e demonstrando que limites naturais podem se sobrepor aos legais. A metodologia utilizou o método AHP (Analytic Hierarchy Process), que através de uma abordagem multicriterial, adaptado ao contexto local, hierarquizou variáveis como uso e cobertura do solo, tipos de solo, sistemas ambientais, declividade e presença de aglomerados residenciais. Ferramentas de geoprocessamento e SIG permitiram a elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental da área de influência do empreendimento. Os resultados indicaram áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade, com destaque para a presença de 36,76% de vulnerabilidade alta na Área Diretamente Afetada. Conclui-se que, embora a energia solar seja renovável, grandes usinas podem gerar impactos ambientais e sociais relevantes, e que o cálculo da vulnerabilidade ambiental é fundamental para o planejamento e a conservação dos ecossistemas, promovendo o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** vulnerabilidade ambiental; licenciamento ambiental; abordagem multicriterial.

## ABSTRACT

For sustainable development, the support of laws and guidelines is essential to outline a path for economic evolution without harming the environment. This involves creating mechanisms to control the disordered depletion of natural resources, most notably the Environmental Impact Study (EIS), in which environmental vulnerability assessment contributes to the improvement of the licensing process. This study analyzed the environmental vulnerability of the Lins 1 and 2 Solar Complex in São Gonçalo do Amarante (CE), identifying areas of greater sensitivity and demonstrating that natural limits can overlap with legal ones. The methodology employed the Analytic Hierarchy Process (AHP), which, through a multi-criteria approach adapted to the local context, prioritized variables such as land use and cover, soil types, environmental systems, slope, and the presence of residential clusters. Geoprocessing and GIS tools enabled the creation of environmental vulnerability maps for the project's area of influence. Results indicated areas with varying vulnerability levels, highlighting that 36.76% of the Directly Affected Area exhibits high vulnerability. The study concludes that although solar energy is renewable, large-scale plants can generate significant environmental and social impacts; therefore, calculating environmental vulnerability is fundamental for ecosystem planning and conservation, promoting sustainable development.

**Keywords:** environmental vulnerability; environmental licensing; multicriteria approach.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do objeto de estudo.....	46
Figura 2 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo.....	59
Figura 3 - Mapa dos Tipos de Solos.....	61
Figura 4 - Mapa de Setores Ambientais.....	62
Figura 5 - Mapa de Declividade das Áreas de Influência.....	64
Figura 6 - Mapa de Calor do Aglomerado de Moradias.....	65
Figura 7 - Mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Resoluções do CONAMA referentes ao licenciamento ambiental.....	22
Quadro 2	- Algumas Resoluções do COEMA acerca do licenciamento ambiental.....	25
Quadro 3	- Tipos de estudos ambientais previstos na legislação brasileira.....	29
Quadro 4	- Indicadores elaborados pela SOPAC.....	38
Quadro 5	- Variáveis selecionadas para o estudo de vulnerabilidade da bacia do rio Maranguapinho.....	43
Quadro 6	- Estrutura de uma matriz quadrada (n x n) de critérios (C).....	53
Quadro 7	- Valores e definições de peso ou importância dos critérios.....	53
Quadro 8	- Classificação dos Tipos de Solo da área.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Classificação da Declividade pela EMBRAPA.....	51
Tabela 2	- Matriz de comparação pareada com os critérios e pesos.....	55
Tabela 3	- Índice Randômico em função da ordem da matriz.....	56
Tabela 4	- Resultados da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação pareada.....	56
Tabela 5	- Classes e valores de vulnerabilidade ambiental para o Índice de Uso e Cobertura.....	58
Tabela 6	- Sistemas e Setores Ambientais na área estudada.....	61
Tabela 7	- Classificação da declividade encontrada na área estudada.....	63
Tabela 8	- Quadro de valores da vulnerabilidade produzidas na combinação dos critérios.....	66
Tabela 9	- Áreas de vulnerabilidade referentes ao perímetro do empreendimento.....	67

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	Lambda
%	Porcentagem
$\Sigma$	Sigma
§	Parágrafo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS GERAIS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Desenvolvimento Sustentável.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Direito Ambiental.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Licenciamento Ambiental.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliação de Impactos Ambientais.....</b>	<b>26</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Estudos Ambientais.....</i></b>	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>Vulnerabilidade Ambiental.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1</b>	<b><i>Vulnerabilidade Socioambiental.....</i></b>	<b>34</b>
<b>3.5.2</b>	<b><i>Análise da Vulnerabilidade Ambiental.....</i></b>	<b>35</b>
<b>3.6</b>	<b>Referencial Metodológico.....</b>	<b>37</b>
<b>3.6.1</b>	<b><i>Indicadores e Índices de Vulnerabilidade Social e Ambiental.....</i></b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Descrição da Área de Estudo e Estudo Ambiental.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Fluxo Processual do Licenciamento do Empreendimento pela SEMACE... </b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Determinação dos índices de vulnerabilidades ambiental utilizadas.....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>CÁLCULO DA VULNERABILIDADE.....</b>	<b>52</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização dos Critérios.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2</b>	<b>Combinação de Critérios.....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO A - CÓDIGOS DAS CLASSES DA LEGENDA DA COLEÇÃO 9 DO MAPBIOMAS BRASIL.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento acelerado das atividades econômicas, especialmente a industrialização e a manutenção de vastas culturas, levou a um expressivo aumento da utilização de matéria-prima disponibilizada na natureza. Esse fenômeno intensificou a pressão sobre os recursos naturais, muitos dos quais são finitos, evidenciando a necessidade urgente de alinhar o desenvolvimento econômico com os princípios do desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável é o conceito entendido como o progresso da humanidade atual, considerando que suas atividades econômicas possam ser executadas, mas de uma forma que a utilização dos recursos naturais não venha afetar gerações futuras no âmbito socioeconômico (ONU, 1983). Entretanto, a crescente exploração de recursos em áreas ecologicamente sensíveis revela ambientes vulneráveis, especialmente quando políticas públicas são frágeis ou a fiscalização é ineficiente, havendo a necessidade de se calcular o grau de vulnerabilidade ambiental desses ecossistemas, e assim, promover um desenvolvimento sustentável eficiente.

Vulnerabilidade Ambiental pode ser conceituada como a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental considerando a exposição deste sistema as pressões antropogênicas; a sensibilidade do sistema às pressões e interações exercidas nos meios físicos e bióticos característicos da região (tipo de solo, clima, vegetação) que tenham ocorrido antes de qualquer perturbação; e a capacidade de resposta do meio, avaliada através de ações que objetivam a conservação ou preservação ambiental mitigando ou reduzindo os efeitos negativos das pressões (Figueiredo, 2010).

A vulnerabilidade ambiental é calculada por meio de metodologias desenvolvidas por estudiosos sendo uma ferramenta importante no que se refere a avaliação dos impactos ambientais. O cálculo da vulnerabilidade é respaldada por legislações ambientais, difundidas no Direito Ambiental, que estabelecem normas para proteger o meio ambiente e mediar a utilização destes ambientes pela sociedade, assim como o estabelecem do modo como a apropriação econômica sobre esse recurso será realizada através do licenciamento ambiental (Antunes, 2000).

O licenciamento ambiental, processo por meio do qual o poder público autoriza a instalação e operação de atividades que utilizam recursos naturais ou que possam causar degradação ambiental. Esse procedimento garante que o empreendedor siga critérios técnicos e legais, visando minimizar impactos negativos ao meio ambiente, regulamentados pela

Resolução CONAMA nº 237/97, que estabelece critérios para o exercício do licenciamento ambiental. Parte essencial do licenciamento é a realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), que analisa os efeitos potenciais de um empreendimento sobre o meio ambiente e propõe medidas mitigadoras (Brasil, 1997). O EIA é fundamental para prever e controlar danos, contribuindo para decisões mais conscientes e transparentes.

Portanto optou-se por realizar o cálculo da vulnerabilidade ambiental como forma de apresentar a importância dessa temática no licenciamento ambiental do Complexo Solar Lins 1 e 2. A metodologia utilizada para composição do mapa de vulnerabilidade ambiental foi Método AHP - *Analytical Hierarchy Process*, elaborada por Saaty (1977) com algumas adequações para as condições da área de estudo. Essa metodologia define a variável Uso e Cobertura do Solo como o principal instrumento de síntese para análise da vulnerabilidade em conjunto com os tipos de solo, sistemas ambientais, declividade e aglomerados residenciais.

Para a execução da metodologia, foram empregadas ferramentas computacionais de Geoprocessamento, conhecidas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estas ferramentas possibilitam análises complexas, integrando dados de múltiplas fontes e criando bancos de dados georreferenciados. Elas expandem a base de informações sobre as alterações nos ecossistemas e representam técnicas que diminuem custos e tempo na identificação de áreas vulneráveis.

Desta forma, neste estudo, foi elaborado um mapa de vulnerabilidade ambiental, utilizando técnicas de geoprocessamento, com o objetivo de promover o planejamento ambiental e o ordenamento territorial.

## **2 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar a vulnerabilidade ambiental associada à implantação de uma usina fotovoltaica, utilizando geoprocessamento e análise multicritério (AHP), como ferramenta de apoio ao licenciamento ambiental, complementando o EIA analisado.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Explicar como a Vulnerabilidade está conectada diretamente com o desenvolvimento sustentável;
- Apresentar o fluxo processual do Licenciamento do Complexo Lins 1 e 2;
- Definir critérios e pesos para a vulnerabilidade ambiental;
- Calcular a vulnerabilidade ambiental nas áreas de influência do empreendimento;
- Produzir um mapa temático com as áreas suscetíveis a degradação na área do Complexo;
- Propor melhorias no processo regulatório e detalhamento dos estudos ambientais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para entendermos a importância da análise da vulnerabilidade que aqui será abordada, em processos de licenciamento, inicialmente, é necessário entender o contexto em que este conceito está inserido. Assim sendo, como o poder público trabalha este tema e como é reproduzido na dinâmica espacial.

A seguir será descrito conceitos importantes que estão interligados a vulnerabilidade como o desenvolvimento sustentável, que tem sua importância identificada em como um ambiente vulnerável pode se desenvolver respeitando seus limites a fim de que não haja impactos ao meio e/ou comunidade envolvida. O direito ambiental trará a historicidade de como almeja e gere a interação entre os espaços e a sociedade a fim de tornar esse meio equilibrado sem que haja impactos ao mesmo. O licenciamento ambiental abordará as leis e diretrizes referentes ao meio ambiente e as formas de gestão desses meios, trazendo os instrumentos necessários para a aquisição das licenças ambientais e de que forma elas trabalham quanto à vulnerabilidade ambiental, controlando atividades e empreendimentos em ambientes vulneráveis através da avaliação dos impactos ambientais.

#### 3.1 Desenvolvimento sustentável

Entende-se como desenvolvimento sustentável o progresso na humanidade atual, mas de uma forma que a utilização dos recursos não venha afetar gerações futuras no âmbito socioeconômico. Este conceito foi criado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas (ONU) em 1983 e ganhou força em 1987 com o Relatório de Brundtland (Bursztyn, 2018).

O relatório faz parte de uma série de iniciativas que tinham como objetivo, auxiliar os países industrializados a utilizar os recursos naturais de forma controlada. Nele, foi elaborado o relatório *Our Common Future*, onde surgiu a primeira definição para desenvolvimento sustentável (Comum, 1991).

O conceito defendido por Elkington (2001), possibilitou que muitas empresas pudessem defender que o desenvolvimento sustentável é a harmonia entre a economia e o ambientalismo, sendo esse, o verdadeiro significado. Isso fez com que essas as empresas trabalhassem com a idealização da redução de custos e eficiência dos produtos a fim de tomarem as decisões baseadas em seus interesses.

Dez anos após a Comissão, observou-se que as questões ambientais não foram suficientes para resolver os problemas de uma economia global sustentável, sendo necessário o movimento social mais incorporado ao seu conceito (Elkington, 2001). Durante a Conferência da ONU, ECO-92, o crescimento sobre os problemas do sistema foi discutido em função da relação do desenvolvimento socioeconômico e as transformações ecológicas, nesse contexto, o plano de sustentabilidade da Agenda 21 foi apresentado, no qual abordava as 3 áreas: economia, social e ambiental (Viola, 1996).

Na primeira seção da Agenda 21, são tratadas as esferas sociais e econômicas, assim como o auxílio internacional para agilizar o desenvolvimento sustentável nos países considerados em desenvolvimento, o combate à pobreza, a mudança nos padrões de consumo da população, a dinâmica demográfica, a saúde e a habitação. Na segunda seção, é tratada a conservação e gestão dos recursos naturais em conformidades ao desenvolvimento, a proteção dos oceanos, o controle e combate ao desmatamento das áreas florestadas, abordando temas como a proteção atmosférica, o planejamento e administração do solo, a administração dos ecossistemas considerado frágeis, a propagação da agricultura sustentável e o desenvolvimento rural, a conservação da diversidade biológica, o combate à desertificação com uso de plano e programas, a biotecnologia, a gestão dos recursos hídricos e a administração do uso dos produtos químicos perigosos e compostos radioativos (Siqueira, 2001).

Os grupos sociais referentes às minorias étnicas, as mulheres, as crianças e os jovens, os povos indígenas são tratados na terceira seção, assim como as diretrizes que determinam como as organizações não governamentais poderão atuar. Os trabalhadores e os sindicatos, as regras para as empresas e indústrias, as comunidades científicas e de tecnologia e as regras de atuação para os agricultores também são tratados nessa seção (Siqueira, 2001). Siqueira (2001) também cita que na quarta seção pode ser encontrados os meios de implementação da Agenda 21, todas as diretrizes que envolvem os meios financeiros, mecanismos, suporte, promoção de acessos para transferência de tecnologia, a promoção da educação ambiental também pode ser vista nessa seção.

Levando isso em consideração, entender o desenvolvimento sustentável, se torna uma peça fundamental para calcular a vulnerabilidade ambiental de um ambiente, pois permite equilibrar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais como será abordado no presente trabalho. Essa compreensão garante que as análises considerem não apenas os impactos ambientais, mas também os aspectos sociais e econômicos das áreas estudadas. Ao integrar esses fatores, é possível propor medidas mais eficazes e justas para

reduzir os riscos ambientais. Além disso, a sustentabilidade orienta decisões que minimizam danos a longo prazo, contribuindo para a resiliência dos ecossistemas e das comunidades.

### **3.2 Direito Ambiental**

O Direito Ambiental é um ramo do direito relativamente novo e surgiu após perceber-se a dificuldade da sociedade em geral em enfrentar situações complexas envolvendo o meio ambiente. A degradação da natureza pelo homem acabou se tornando um fator preponderante para iniciar assim a necessidade de proteção do planeta utilizando de diretrizes para regular as ações do ser humano.

De acordo com Antunes (2000), o Direito Ambiental é considerado por ele uma manifestação recente no mundo, que acabou tomando proporções distintas em diferentes países. No caso do Brasil, esses princípios tiveram partida apenas em 1981, quando foi legislada a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA (Lei 6.938/81) que acabou ficando marcada por especificidades econômicas, políticas e culturais, além de fatores externos que culminou em uma pressão política (Viana, 2007).

Segundo Freire (2000), o Direito Ambiental estuda as normas que tratam das relações entre a sociedade e o espaço em que elas o compõem, garantindo a qualidade de vida do cidadão que vive e interage com esse ambiente. A principal aplicação do Direito Ambiental é a organização da utilização dos recursos ambientais pela sociedade, assim como estabelecer o modo com que a apropriação econômica sobre esse recurso será realizada (Antunes, 2000).

Sendo assim, o Direito Ambiental deve ser visto como matéria dependente, uma vez que o ambiente compreende todas as relações entre o ser humano e o meio em que estes vivem, podendo interagir com outros ramos do direito (Oliveira, 2012). Portanto, pode-se considerar o Direito Ambiental como um ramo interdisciplinar, pois envolve diversos ramos do direito, tais como o Direito Administrativo, o Direito Penal, o Direito do Trabalho, o Direito Constitucional, o Direito Civil entre outros (Oliveira, 2012).

Segundo Machado (2011), muitos educadores entendem que o Direito Ambiental é apenas uma ramificação do Direito Administrativo, pois percebe-se que muitos dos princípios deste guiam o ambiental e que os princípios daquele desempenham importante papel resolvendo as questões pertinentes à proteção do meio ambiente.

Portanto, o Direito Ambiental se torna um ramo de grande importância quando se trata na manutenção de um ambiente equilibrado, devendo-se levar em conta que os interesses sociais sempre serão dominantes em detrimento aos interesses individuais. As normas definidas

pelo Direito Ambiental reconhecem a existência de áreas frágeis como corpos hídricos, topos de morro, nascentes, relevos com declividade acentuadas e etc, e exigem cuidados especiais na sua ocupação, uso e manejo, reforçando a importância de diagnósticos precisos sobre sua vulnerabilidade para garantir a efetividade da legislação ambiental. A vulnerabilidade ambiental e o direito ambiental estão intimamente relacionados, pois ambos buscam proteger o meio ambiente e garantir o uso sustentável dos recursos naturais. O cálculo da vulnerabilidade ambiental irá identificar áreas mais suscetíveis a impactos negativos, como desmatamento, poluição ou ocupações irregulares, o que orienta políticas públicas e ações preventivas.

### **3.3 Licenciamento Ambiental**

Com a evolução de diretrizes associadas ao meio ambiente, muitos procedimentos surgiram para auxiliar cada vez mais na manutenção do mesmo. O Licenciamento Ambiental acabou por ser um destes procedimentos administrativo preventivo ou corretivo onde o empreendedor que busca licenciar a localização, a construção, a instalação, a ampliação, a alteração e o funcionamento de empreendimentos além de atividades utilizadores de recursos ambientais, consideradas efetivas, potencialmente poluidoras ou degradadoras ambientais, necessita preencher os requisitos normativos exigidos pelos órgãos ambientais que tem como competência, validar ou não o licenciamento (Viana, 2007).

A nível federal, a primeira lei a tratar desse assunto foi a Lei Federal nº 6.803/80, que estabelecia as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas onde a poluição traria mais malefícios. Entretanto, a Lei Federal nº 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (atualmente regulamentada pelo Decreto nº 99.274/90) tornou o Licenciamento Ambiental melhor trabalhado no ordenamento jurídico brasileiro se referindo ao mesmo como um dos principais instrumentos da PNMA na realização do gerenciamento de riscos.

Essa Lei também institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que possibilita à administração pública gerenciar os riscos ambientais com maior facilidade, uma vez que, os órgãos administrativos possuem grande relevância na prevenção desses riscos, pois se apresentam como esferas de decisões mais sensíveis às questões multidisciplinares (Carvalho *et al.*, 2009).

Godoy (2005) opina que a importância da Lei nº 6.938/81 é validada pois considera que ela seria o marco zero da conscientização ambiental no Brasil, uma vez que, a partir dela,

conceitos de meio ambiente como, Direito Ambiental, desenvolvimento sustentável, equilíbrio ecológico, entre outros, passaram a ser divulgados e trabalhados no nosso país.

Posteriormente, em 1988, a Constituição Federal também trouxe em seu texto abordagens sobre a proteção do meio ambiente instituindo o licenciamento ambiental. Entretanto, observando a necessidade de revisão dos processos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, com objetivo de efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, surgiu a Resolução CONAMA nº 237/97, que estabelece critérios para o exercício do licenciamento ambiental.

O Licenciamento Ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA 237/97 em seu art. 1º, é assim definido:

Art. 1º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

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

[...]

Vale ressaltar que a natureza jurídica das licenças ambientais não é aceita com unanimidade entres os doutrinadores de direito. Para Martins *et al.* (2005), as licenças previstas nas Resoluções do CONAMA são inconstitucionais, por promover a violação dos princípios da legalidade. O autor concorda que as normas válidas para o tema seriam apenas o art. 225 §1º, IV da Constituição Federal e os art. 9º, IV e 10 da Lei Federal nº 6.938/81.

A Resolução CONAMA 237/97 conceitua as licenças ambientais como:

II - Licença Ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

Atualmente, as licenças ambientais exigidas para regulamentar algumas atividades de acordo com o PNMA e a Resolução CONAMA 237/97, são:

I - Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observando os planos municipais, estaduais ou federais de uso de solo;

II - Licença de Instalação (LI), autorizando o início da implantação de acordo com as especificações constantes do projeto executivo aprovado; e

III - Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o fundamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação.

Para além dessas resoluções citadas, os órgãos ambientais estaduais aperfeiçoaram seus procedimentos onde foram publicadas outras normas aplicáveis a determinados tipos de empreendimentos conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Resoluções do CONAMA referentes ao licenciamento ambiental.

<b>Resoluções CONAMA</b>	
6, de 16/9/1987	Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos do setor elétrico
23, de 7/12/1994	Dispõe sobre licenciamento ambiental de atividades de exploração, perfuração e produção de petróleo e gás natural
264, de 26/8/1999	Dispõe sobre o licenciamento para o coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer para fabricação de cimento
273, de 29/11/2000	Torna obrigatório o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de derivados de petróleo e outros combustíveis
279, de 27/1/2001	Estabelece procedimento simplificado para o licenciamento de empreendimentos de geração e transmissão de energia elétrica com pequeno potencial de impacto ambiental
284, de 30/8/2001	Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação e os classifica em três categorias
305, de 4/7/2002	Dispõe sobre licenciamento e EIA de atividades e empreendimento com organismos geneticamente modificados e seus derivados
312, de 29/7/2002	Dispõe sobre licenciamento ambiental dos empreendimentos de carcinicultura na zona costeira
335, de 3/4/2003 368, de 28/3/2006 402, de 17/11/2008	Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios
350, de 6/7/2004	Dispõe sobre o licenciamento ambiental específico das atividades de aquisição de dados sísmicos marítimos e em

<b>Resoluções CONAMA</b>	
	zonas de transição
398, de 11/6/2008	Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos e outras instalações
404, de 11/11/2008	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.
412, de 14/5/2009	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à construção de habitações de interesse social
413, de 26/6/2009 459, de 16/10/2013	Dispõe sobre o licenciamento o ambiental da aquicultura
428, de 20/12/2010	Dispõe sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação
454, 2012	Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.
458, 2013	Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental em assentamento de reforma agrária, e dá outras providências.
465, 2014	Dispõe sobre os requisitos e critérios técnicos mínimos necessários para o licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens de agrotóxicos e afins, vazias ou contendo resíduos.
479, 2017	Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos ferroviários de baixo potencial de impacto ambiental e a regularização dos empreendimentos em operação.

Fonte: Sánchez, 2013

No SISNAMA o órgão central responsável pelo planejamento, coordenação, supervisão e controle da PNMA como órgão federal é o Ministério do Meio Ambiente (MMA). Ainda no âmbito federal, o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) são considerados órgão executores, ou seja, têm a finalidade de executar as leis, através de fiscalização, licenciamento e controle ambiental em função da gestão ambiental da União (Soluções Ambientais, 2017). Vale destacar que o ICMBio foi criado através da Lei Federal nº 11.516/07 e tem o objetivo de gerir as Unidades de Conservação (UC) criadas pela União

incluindo a emissão de parecer técnico, prévio, referente a pedidos de licenciamento ambiental conduzidos pelo IBAMA ou órgãos estaduais, para atividades e empreendimentos que possam causar impactos nessas UCs.

No âmbito estadual, utilizando o estado do Ceará como exemplo, é possível identificar o Sistema Estadual de Meio Ambiente que organiza as instituições responsáveis pela gestão ambiental estadual onde fazem parte o Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA), a Secretaria do Meio Ambiente e Mudanças do Clima (SEMA) e a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE).

A Política Estadual do Meio Ambiente atribuída pela Lei Estadual nº 11.411/87 traz as competências designadas ao COEMA que são as de propor e assessorar o Governo Estadual nas gerências da gestão ambiental estadual, além da deliberação sobre normas e padrões de qualidade ambiental, de licenciamento e autorizações ambientais, de definição das atividades de impacto local conforme a Lei Complementar nº 140/2011 e analisar o parecer da SEMACE referentes aos licenciamentos ambientais de significativo impacto ambiental, submetidas pelo EIA/RIMA (Soluções Ambientais, 2017).

A SEMA, criada pela Lei nº 15.773/15, tem como objetivo zelar pelo cumprimento dos princípios de administração pública com as seguintes competências (Soluções Ambientais, 2017):

- Elaborar, planejar e implementar a política ambiental do Estado;
- Monitorar, avaliar e executar a política ambiental do Estado;
- Promover a articulação interinstitucional de cunho ambiental nos âmbitos federal, estadual e municipal;
- Propor, gerir e coordenar a implantação de Unidades de Conservação sob jurisdição estadual;
- Coordenar planos, programas e projetos de Educação Ambiental;
- Fomentar a captação de recursos financeiros através da celebração de convênios, ajustes e acordos, com entidades públicas e privadas, nacionais e internacionais, para a implementação da política ambiental do estado;
- Propor a revisão e atualização da legislação pertinente ao sistema ambiental do estado;
- Coordenar o Sistema Ambiental Estadual;
- Analisar e acompanhar as políticas públicas setoriais que tenham impacto ao meio ambiente, articular e coordenar os planos e ações relacionados à área ambiental;

- Exercer outras atribuições necessárias ao cumprimento de suas finalidades nos termos do regulamento.

Ainda sobre a competência estadual sobre o gerenciamento ambiental, a Lei Estadual nº 11.411/87 trouxe a SEMACE como órgão de Autarquia Estadual responsável pelo cumprimento às normas estaduais e federais de proteção, controle e utilização racional dos recursos ambientais, assim como a fiscalização de sua execução. No âmbito municipal, ficou decidido que o Estado terá competência de licenciar atividades e empreendimentos em municípios que não atendam estrutura mínima para executar o licenciamento ambiental e quando o município estiver preparado para executar tal função, o Estado passará a licenciar ambientalmente apenas atividades de impacto regional (Soluções Ambientais, 2017).

Assim como as Resolução do CONAMA trazem diretrizes sobre o licenciamento ambiental, o COEMA também possui suas resoluções onde algumas estão descritas no quadro abaixo (Quadro 2):

Quadro 2 - Algumas Resoluções do COEMA acerca do licenciamento ambiental.

<b>Resoluções</b>	<b>Definições</b>
1, de 28/2/2000	As placas de identificação, indicativas de licenciamento ambiental, em suas três fases, pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE.
9, de 29/5/2003	O Termo de Compromisso de Compensação Ambiental, e estabelece normas e critérios relativos a fixação do seu valor, modo, lugar e tempo do pagamento, bem como a quem deve ser pago e a aplicação desses recursos à gestão, fiscalização, monitoramento, controle e proteção do meio ambiente no Estado do Ceará.
9, de 5/6/2014	A criação de uma Câmara Técnica para discussão dos critérios para o exercício da competência do licenciamento ambiental municipal no âmbito do Estado do Ceará.
10, de 5/6/2014	Procedimentos específicos para o licenciamento ambiental simplificado observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade de pequeno impacto ambiental.
10, de 11/6/2015	A atualização dos procedimentos, critérios, parâmetros e custos aplicados aos processos de licenciamento e autorização ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE.
26, de 10/12/2015	Altera, no âmbito do Estado do Ceará, a metodologia de cálculo do grau de impacto ambiental para fixação do percentual de valoração da compensação ambiental.

Fonte: Soluções Ambientais, 2017

Sendo assim, conforme descrito anteriormente, qualquer empreendimento que tenha um potencial de poluir o ambiente em que ele venha a ser inserido ou até mesmo possa degradar aquele meio, estará sujeito ao licenciamento ambiental, com a obtenção de forma sucessiva das licenças acima por meio de um Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e seu referido Relatório de Impactos ao Meio Ambiente (RIMA). Mesmo aquele empreendimento que não cause impacto ambiental significativo, estará sujeito a um licenciamento que diferente da primeira hipótese, passará pela avaliação de um estudo ambiental simplificado ou estudo específico (Viana, 2007).

### **3.4 Avaliação de Impactos Ambientais**

Rocha *et al.*, (2005), explica que os fundamentos do processo de avaliação de impactos ambientais (AIA) foram inicialmente estabelecidos nos Estados Unidos por volta de 1969 e 1970 e que dispunha sobre os princípios da política ambiental americana. O autor também esclarece que esse instrumento exigia a responsabilidade de empreendimentos potencialmente poluidores quanto a proteção ambiental a partir da observação da identificação de impactos ambientais, efeitos ambientais negativos da proposta, as alternativas da ação, relação entre a utilização dos recursos ambientais em curto prazo e a manutenção ou a melhoria do seu padrão em longo prazo e a definição clara quanto aos possíveis comprometimentos dos recursos ambientais, para o caso de implantação da proposta.

Já na década de 1970, houve uma importância bastante significativa para as questões ambientais no Brasil. Sánchez (2013) afirma que essa década foi marcada pelo expressivo crescimento de atividades econômicas e de suas fronteiras internas, causadas pela incorporação econômica do mercado a partir de vastas áreas de domínio dos cerrados e da Amazônia, impulsionadas por investimentos governamentais importantes em projetos de infraestrutura. Entretanto, ao mesmo tempo que esses avanços econômicos surgiam através dos projetos de infraestrutura, começava-se a lapidar no País um pensamento ecológico bastante crítico desse mesmo modelo de desenvolvimento aplicado (Lago; Pádua, 1984).

Os pesquisadores da época, já iniciavam pesquisas relacionadas aos impactos ambientais de grandes projetos como por exemplo, as barragens localizadas no baixo curso do rio Tietê, em São Paulo. A Avaliação de Impactos Ambientais foi incluída como instrumento da PNMA 1981 com objetivo: de conciliar o desenvolvimento econômico e social com a proteção ambiental; definir áreas prioritárias de ação governamental para proteção; estabelecer critérios e padrões de qualidade ambiental e diretrizes para uso e manejo de recursos ambientais;

preservar e restaurar os recursos ambientais “com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida; obrigar o poluidor e o predador a recuperar e/ou indenizar os danos (Sánchez, 2013).

Segundo Sánchez (2013), a avaliação de impactos ambientais chegou ao Brasil inicialmente através de legislações estaduais antes mesmo de se firmar nas legislações federais. A implementação desse instrumento se deu por leis voltadas para os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde no caso do Rio de Janeiro se deu também como pontapé para a criação dos estudos de impactos ambientais.

Posteriormente, a AIA passou a se firmar no Brasil por meio da Lei Federal nº 6.803/80, que naquele momento, surgia para subsidiar o planejamento territorial dos locais denominados como “áreas críticas de poluição” anteriormente firmada pelo Decreto-lei nº 1.413/1975. Esse Decreto-lei que tratava sobre o zoneamento industrial passou por uma avaliação de uma comissão mista do Congresso Nacional antes de ser votado em plenário, onde foram apresentadas 17 emendas, onde 8 delas propunham a introdução do estudo de impactos (Machado, 2011).

Tendo em vista os avanços necessários voltados para as diretrizes sobre a AIA, foi a partir da PNMA, que efetivamente esse instrumento foi destrinchado na legislação brasileira que acabou recebendo fortalecimento com o art. 225 da Constituição Federal de 1988 e através de diversas constituições estaduais e leis orgânicas municipais (Sánchez, 2013).

A PNMA também trouxe como aliada na administração da proteção ambiental o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que é composto por representantes do governo federal, governos estaduais, municipais e de entidades da sociedade civil e responsável pela adoção de medidas de natureza consultiva e deliberativa referentes ao Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) (MMA, 2018). O SISNAMA por sua vez reúne os órgãos dos diferentes entes, assim como as fundações instituídas pelo Poder Público, especificando suas responsabilidades pela proteção e melhoria da qualidade ambiental (MMA, 2025).

O CONAMA no que lhe diz respeito, usando da prerrogativa de que lhe havia sido atribuído uma série de atribuições para regulamentação da AIA, acabou por aprovar a Resolução nº 1 de 1986, em 23 de janeiro, estabelecendo uma série de requisitos estabelecendo (Brasil, 1986):

- Lista de atividades sujeitas a Avaliação de Impactos Ambientais como condição para aquisição de licenças ambientais;
- Diretrizes gerais para a produção de um estudo de impactos ambientais;

- Conteúdo mínimo que deve ser inserido em um estudo de impactos ambientais e seu referido relatório de impacto ambiental;
- Responsáveis pela produção do estudo, sendo esses, uma equipe multidisciplinar independente ao empreendimento;
- Que o empreendedor será responsável por arcar com as despesas de elaboração do estudo;
- Que o estudo deve ser acessível ao público através do Relatório de Impacto Ambiental e que este deve ter participação no processo.

Pode-se observar que na legislação brasileira, o processo de avaliação de impactos ambientais está vinculado diretamente ao licenciamento ambiental e que cada estado tem a responsabilidade de mediar o andamento dos processos de licenciamento através de seus órgãos ambientais. Em casos em que a União deve licenciar as atividades de um empreendimento, a responsabilidade fica por conta do IBAMA. Com isso, muitos estados viram a necessidade de se estruturarem para receber e analisar os pedidos de licenças (Sánchez, 2013).

### ***3.4.1 Estudos Ambientais***

Os estudos técnicos necessários para a aquisição das licenças ambientais devem ser definidos pelo órgão ambiental responsável pelo licenciamento para avaliar os impactos ambientais, à saúde humana e ao bem-estar da população local do empreendimento. Entretanto, para um empreendimento que gere impactos significativos ao meio ambiente, sempre será solicitado o Estudo de Impactos Ambientais.

O termo “estudos ambientais” foi definido através da Resolução CONAMA nº 237 de 1997 e engloba vários tipos de documentos que podem ser produzidos para fins de licenciamento como é o caso dos relatórios ambientais, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de áreas degradadas e análise preliminar de risco e têm como objetivo de prever os possíveis efeitos negativos do empreendimento ou atividade. O quadro a seguir mostra uma síntese dos tipos de estudos ambientais previstos na legislação brasileira (Quadro 3) (Sánchez, 2013).

Quadro 3 - Tipos de estudos ambientais previstos na legislação brasileira.

<b>Denominação</b>	<b>Referência Legal</b>	<b>Aplicação</b>
Estudos Ambientais	Resolução CONAMA 237/97	“são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação do empreendimento ou atividade, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida” (Art. 1º, III)
Estudo Prévio de Impacto Ambiental	Constituição Federal, art. 225, 1º, IV (1988)	Instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação ambiental
EIA - Estudo de Impacto Ambiental; RIMA - Relatório de Impacto Ambiental	Resolução CONAMA 1/86	Licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente exemplificadas no Art. 2º da referida Resolução
PBA - Projeto Básico Ambiental	Resolução CONAMA 6/87	Obtenção de licença de instalação de empreendimentos do setor elétrico
PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas	Decreto Federal nº 97.632/89	Obrigatoriedade de apresentação para todo empreendimento de mineração; deve ser incorporado ao EIA para novos projetos
PCA - Plano de Controle Ambiental	Resolução CONAMA 9/90 Resolução CONAMA 286/01 Resolução CONAMA 23/94	Obtenção de licença de instalação de empreendimentos de mineração: “(...) conterà os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais (...)”; Obtenção de licença de instalação de empreendimentos de irrigação; Obtenção de licença de operação para produção de petróleo e gás.

<b>Denominação</b>	<b>Referência Legal</b>	<b>Aplicação</b>
RCA - Relatório de Controle Ambiental	Resolução CONAMA 10/90 Resolução CONAMA 23/94	Obtenção de licença de instalação de empreendimento de extração de bens minerais de uso imediato na construção civil; Obtenção de licença prévia para perfuração de poços de petróleo.
EVA - Estudo de Viabilidade Ambiental	Resolução CONAMA 23/94	Obtenção de licença prévia para pesquisa da viabilidade econômica e de um campo petrolífero
RAA - Relatório de Avaliação Ambiental	Resolução CONAMA 23/94	Obtenção de licença de instalação para perfuração de poços de petróleo
EVQ - Estudo de Viabilidade de Queima	Resolução CONAMA 264/00	Licenciamento de coprocessamento de resíduos em fornos de cimento
Plano de Encerramento	Resolução CONAMA 273/00	Desativação de postos de combustíveis
RAS - Relatório Ambiental Simplificado	Resolução CONAMA 279/01	Obtenção de licença prévia de empreendimentos do setor elétrico de pequeno potencial de impacto ambiental
Plano de Emergência Individual	Resolução CONAMA 293/01	Licenciamento de portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas e instalações de apoio
Plano de Contingência Plano de Emergência Plano de Desativação	Resolução CONAMA 316/02	Licenciamento de unidades de tratamento térmico de resíduos; Encerramento de atividades dos sistemas de tratamento térmico de resíduos
RAP - Relatório Ambiental Preliminar	Resolução SMA-SP 42/94	Para instruir requerimentos de licenciamento ambiental de empreendimentos que possam causar impactos significativos

<b>Denominação</b>	<b>Referência Legal</b>	<b>Aplicação</b>
EAS - Estudo Ambiental Simplificado	Resolução SMA-SP 54/04	Para analisar e avaliar as consequências ambientais de atividades e empreendimentos considerados de impactos ambientais muito pequenos e não significativos
EAR - Estudo de Análise de Riscos; PGR - Programa de Gerenciamento de Risco; PAE - Plano de Ação de Emergência.	Norma Técnica CETESB SP 4.261/03	Para o licenciamento de atividades industriais perigosas
Plano de Desativação	Decreto Estadual SP nº 47.400/02	Para o encerramento de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental

Fonte: Sánchez, 2013

O Estudo de Impactos Ambientais faz uma investigação de todos os possíveis impactos ambientais que podem vir a ser gerados por empreendimento ou atividades que possuem potencial de degradar o meio ambiente ou que sejam efetivamente degradantes. Além disso, o EIA tem a função de propor medidas mitigadoras, ou seja, medidas que funcionam para atenuar o impacto ou até mesmo impedir que eles aconteçam (Soluções Ambientais, 2017). O EIA deve conter no mínimo quatro seções, são elas: Diagnóstico Ambiental; Análise dos Impactos Ambientais; Medidas Mitigadoras; e Plano de Monitoramento.

Já o Relatório de Impactos Ambientais deve conter os possíveis impactos do empreendimento ou atividade, as medidas mitigadoras que serão tomadas para cada impacto listado, o plano de monitoramento desenvolvido e as conclusões obtidas após elaboração do EIA. O RIMA deve ser acessível para a população em geral, trazendo uma linguagem de fácil entendimento e informações claras e diretas para que seja possível o entendimento dos benefícios e malefícios socioambientais do empreendimento ou atividade (Brasil, 1986).

Além do EIA/RIMA, alguns estudos ambientais podem ser solicitados durante o processo de licenciamento de um empreendimento e serão solicitados conforme a necessidade apresentada no quadro anterior (Quadro 3). Entre eles pode ser citado o PCA que usualmente é solicitado para empreendimentos ou atividades voltados para a mineração de todas as classes. O RCA normalmente é solicitado para licenciamento de empreendimentos ou atividades de mineração da Classe II (jazidas de substâncias minerais de emprego imediato na construção

civil) para a obtenção da LP caso não seja solicitado o EIA/RIMA. O PRAD inicialmente, foi designado para licenciar empreendimento ou atividades voltadas para a mineração com o objetivo de promover a recuperação dos ambientes degradados pela atividade, mas que posteriormente passou a ser utilizado em casos de empreendimentos ou atividades com potencial de degradação ou poluição dos ecossistemas naturais.

No âmbito da vulnerabilidade ambiental, o estudo de caso analisado no presente trabalho aborda um EIA que traz esse tema baseando-se no que é solicitado em um Termo de Referência (TR). Um TR típico (ex. nº 95/2019) determina a entrega de um “mapa de vulnerabilidade ambiental, em escala mínima 1:2.000, definindo potencialidades e limitações de uso e ocupação” e lista ainda mapas de áreas críticas (inundações, drenagem, risco) que devem dialogar com o de vulnerabilidade. Assim, no procedimento executado no estado do Ceará, o mapeamento de vulnerabilidade é uma peça cartográfica obrigatória e serve de eixo para a análise de alternativas, o desenho do plano de controle ambiental e a definição das condicionantes da licença, embora que, neste mesmo documento, o tópico da vulnerabilidade seja incorporado como “Documentação Complementar” e não solicite a metodologia da definição dos graus de vulnerabilidade, faz-se um importante incremento ao licenciamento ambiental.

### **3.5 Vulnerabilidade Ambiental**

A vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o grau em que um sistema natural está apto ou não a lidar com efeitos causados por interações externas àquele sistema, sejam elas decorrentes de características ambientais naturais como no caso de desastres naturais ou de pressão causada por atividades antrópicas, ou seja, atividades causadas pelo ser humano (Aquino *et. al.*, 2017).

Para Santos (2007), os sistemas naturais são um conjunto de elementos que possuem relação entre si onde possam dar suporte aos seres vivos. Para o autor, elementos como o solo, recursos hídricos, vegetação, campos agrícolas entre outros, possuem um relacionamento que funciona através de fluxos e ciclos e que quando há alguma perturbação no equilíbrio estabelecido entre esses elementos, as relações do meio podem ser bastante diferentes considerando as características locais naturais e da ocupação humana.

Vale destacar que para Santos (2007), para a percepção de uma área vulnerável, deve-se considerar a resiliência e a persistência daquele sistema, onde a persistência

corresponderá a medida do quanto aquele sistema, após eventos de perturbação, se afastará de seu equilíbrio ou se estabilizar sem mudar essencialmente seus estados.

Já Tricart (1977), define que sistema é como um conjunto de fenômenos que se encadeiam mediante fluxos de matéria e energia. Esse conjunto de fenômenos possuem uma relação de dependência através do fluxo entre eles, originando uma essência global nova, mais dinâmica.

Vulnerabilidade Ambiental pode ser conceituada como a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental considerando a exposição deste sistema as pressões antropogênicas; a sensibilidade do sistema às pressões e interações exercidas nos meios físicos e bióticos característicos da região (tipo de solo, clima, vegetação) que tenham ocorrido antes de qualquer perturbação; e a capacidade de resposta do meio, avaliada através de ações que objetivam a conservação ou preservação ambiental mitigando ou reduzindo os efeitos negativos das pressões (Figueiredo, 2010). Para Souza (2000), sistemas com dinâmica ambiental alta são classificados como sistemas de vulnerabilidade ambiental alta e sustentabilidade baixa, e sistemas com dinâmica ambiental baixa possuem vulnerabilidade ambiental baixa e sustentabilidade alta.

Alguns ambientes com alta vulnerabilidade pode ser citados: montanhosos, acidentados, encostas geologicamente instáveis, baixas planícies costeiras, vulcânicas, pequena massa de terra em relação à grande biodiversidade, lagos, lagoas, restingas, manguezais. Estas regiões são consideradas sensíveis aos impactos ambientais adversos gerados pelas pressões, por apresentarem baixa capacidade de recuperação. Porém, vale ressaltar a necessidade de elaboração de ferramentas que possam auxiliar o estudo da vulnerabilidade real dos sistemas, facilitando o seu uso como instrumento na gestão dos recursos naturais (Aquino *et. al.* 2017).

A vulnerabilidade ambiental pode ser confundida com outros termos distintos, mas que estão diretamente interligados, por mais que muitos estudiosos utilizem esses termos de formas semelhante (Carvalho, 2025). Um desses conceitos é o da fragilidade ambiental, que segundo Ross (1994), é a susceptibilidade das próprias características intrínsecas relacionadas ao meio físico podendo ser compreendida como a sensibilidade dos sistemas naturais a alterações impostas por fatores antrópicos ou naturais.

Tendo isso em mente, entende-se que são conceitos que caminham para a mesma direção, possuindo a capacidade de identificar a susceptibilidade desses ambientes em sofrerem com a pressão natural ou antrópica e os riscos que isso pode trazer ao meio em que estão situados. Por sua vez, o risco ambiental pode ser definido como magnitude e probabilidade de

um efeito adverso ocorrerem, determinando o dano e a exposição com objetivo de preservar a saúde humana e ambiental (Embrapa, 2021).

### **3.5.1 Vulnerabilidade Socioambiental**

A Vulnerabilidade Social está ligeiramente no mesmo sentido da ambiental, mas nesse caso, as mudanças bruscas e significativas ocorrem diretamente na vida do indivíduo, sendo estes referentes à educação, à saúde, à cultura, ao lazer e ao trabalho. Nesse caso, a vulnerabilidade é vista como um impacto negativo a vida do ser humano a partir da relação entre a disponibilidade dos recursos materiais ou simbólicos dos indivíduos ou grupos e o acesso à estrutura de oportunidades sociais, econômicas, culturais que são promovidas pelo Estado, mercado e da sociedade (Abramovay, 2002).

Assim como em sistemas ambientais, os grupos sociais também sofrem de forma distintas entre si, e é preciso entender como e porque diferentes grupos têm possibilidades diferentes de ascender a maiores níveis de bem estar. As famílias que vivem em condições precárias de saúde, habitação, educação, que não tem acesso à informações, oportunidades, saneamento básico e trabalho, estão sujeitas a riscos, são consideradas frágeis e conseqüentemente vulneráveis, uma vez que, tendem a permanecerem presos a cenários de inseguranças, instabilidade e marginalidade (Abramovay, 2002).

De acordo com Paulilo *et al.* (2009) a vulnerabilidade social é apresentada principalmente entre crianças, jovens e idosos, pois, por muitas vezes, são indivíduos que dependem de terceiros para sobreviver. O autor ainda conta que os jovens são os grupos considerados ponto chave para o desenvolvimento, entretanto são os grupos que mais sofrem com a vulnerabilidade social, pois sofrem um risco de exclusão social muito grande, devido a um conjunto de desequilíbrios associados ao mercado, as mudanças físicas, conflitos de identidade e necessidade de encontrar um grupo social que se identificam para fazer parte.

O ambiente em que os jovens vivem são responsáveis por definir essas condições, a partir do acesso às políticas públicas de lazer, educação, projetos socioeducativos, valores religiosos e familiares, condição financeira da família e pelo contexto social que permitem esse jovem uma maior ou menor suscetibilidade aos riscos. Essas situações de riscos podem agravar o aumento da violência e da criminalidade (Paulilo *et al.*, 2009).

Assim como os jovens, os idosos também são alvos da vulnerabilidade social, quando se encontram em situações de risco, como baixas na saúde, resultante de recursos econômico, social, psicológico, familiar, cognitivo ou físico adequado e assim como em outros

grupos, o apoio familiar se mostra efetivo quando trata-se de influenciar numa maior ou menor vulnerabilidade. Portanto, as ações governamentais se mostram necessárias para evitar esta vulnerabilidade (Pavarini *et al.*, 2009).

A avaliação da vulnerabilidade social gera um diagnóstico identificando quem está em risco, quais riscos os indivíduos podem estar sujeitos e onde esses riscos estão inseridos. Esse diagnóstico volta-se para a etapa de planejamento do gerenciamento de risco incluindo medidas de previsão, prevenção, proteção e mitigação (Davis, 1994).

Portanto, a vulnerabilidade socioambiental pode ser conceituada como a relação espacial entre grupos sociais pobres, discriminados e com alta privação, que vivem ou circulam em áreas de risco ou de degradação ambiental (Cartier *et al.*, 2009). Segundo esse autor, esse tipo de abordagem tem como objetivo esclarecer que alguns dos problemas enfrentados por grupos sociais em meio ao ambiente são decorrentes do atual modelo de desenvolvimento econômico, dos processos de deslocação e desregulamentação, que intensificam as relações entre grupos sociais vulneráveis e áreas de risco ambiental.

### ***3.5.2 Análise da Vulnerabilidade Ambiental***

A análise da vulnerabilidade ambiental do ambiente pode ser realizada de acordo com o Método Geossistêmico, pois há a necessidade de integrar todos os fatores e processos envolvidos. De acordo com Oliveira (2011), os estudos dos geossistemas visam analisar as relações que ocorrem em seu interior. As interrelações que ocorrem nesses sistemas, traduzem sua dinâmica permitindo que os estudos busquem a compreensão do ambiente anterior e o ambiente posterior a possível degradação ambiental. As atividades antrópicas podem influenciar de várias formas, conduzindo para a ruptura do equilíbrio ambiental, promovendo condições de instabilidade no ambiente.

Instrumentos como o Sistema de Informação Geográfica podem ser adicionados à avaliação da vulnerabilidade, facilitando assim, a localização de áreas mais vulneráveis. O geoprocessamento é utilizado para fornecer ferramentas que venham auxiliar a análise das evoluções de espaço-tempo das interações entre ser humano e natureza e suas interrelações para tomada de decisão (Paula *et al.*, 2011). De acordo com Silva (2003), dentre as ferramentas de geoprocessamento ou técnicas para análise da vulnerabilidade ambiental identifica-se a álgebra de mapas cumulativa e a não cumulativa, sendo a primeira, a técnica capaz de produzir mapas fundidos e a segunda capaz de produzir mapas integrados.

Uma das metodologias comumente utilizadas é o Método AHP - *Analytical Hierarchy Process* ou Processo Hierárquico Analítico (Saaty, 1977), que é um método multicriterial para modelar dados e atenuar a subjetividade das interpretações, com o objetivo de obter uma maior confiança dos resultados.

Para Sena (2008), esse método é uma ferramenta de auxílio para fugir da dificuldade de se obter uma ordenação objetiva, avaliando a importância e influência de cada variável escolhida. O autor ainda explica que o método AHP permite ao pesquisador tomar uma decisão baseada em critérios qualitativos e quantitativos além de ser simples, fácil e rápido de ser entendido e desenvolvido.

Essa forma de construção do método também pode trazer complicações a partir da subjetividade dos critérios utilizados, pois faz-se necessário que seja definido pelo pesquisador empregador do método, definir os índices e seus valores com base em pesquisas já realizadas que contenham características semelhantes. Além disso, a necessidade realizar o cálculo de Índice Randômico para atestar a eficácia das escolhas dos valores, traz questões sobre essa subjetividade na avaliação da vulnerabilidade ambiental.

Em estudos realizados na Bacia Potiguar, Costa *et al.* (2006) produziu mapas de vulnerabilidade ambiental a partir de mapas de geologia, solos, vegetação, geomorfologia e de uso e ocupação do solo, onde possibilitou o diagnóstico de áreas sensíveis a pressões e permitindo recomendações para um melhor aproveitamento das atividades realizadas naquele local para controle e proteção.

A lógica ou possibilidade *Fuzzy* está inserida na categoria de análises algébricas de mapas integrados, junto com a simultaneidade Booleana e a probabilidade Bayesiana e pode ser definida como parte da matemática que se dedica aos princípios formais do raciocínio incerto, a qual se aproxima do pensamento humano e da linguagem natural (Katinsky, 1994).

Segundo Silva (2001), a lógica *Fuzzy* é indicada para analisar áreas onde se observam as discontinuidades, as incertezas. O autor Paula *et al.* (2011) explica que alguns componentes naturais, os limites entre as superfícies contínuas não são visualmente perceptíveis, como por exemplo, na distinção de relevo e sua declividade, percebe-se uma gradual passagem de uma característica para outra, por vezes não ocorrendo essa transição de forma brusca, criando-se áreas descontínuas.

A utilização desse método de análise permite um aumento na possibilidade de acerto nas áreas de transição, auxiliando na certeza de tomada de decisão. A lógica *Fuzzy* vem sendo bastante utilizada em estudos de análise espacial desenvolvidos em SIG e possui inúmeras vantagens quando comparada aos modelamentos convencionais, como a lógica booleana, que

forçam os especialistas a definirem regras bipartidas rígidas com contatos normalmente artificiais, na qual diminui a habilidade de articular eficientemente sobre soluções para problemas complexos, bastante comuns em processos naturais (Paula *et al.*, 2011).

### **3.6 Referencial Metodológico**

#### ***3.6.1 Indicadores e Índices de Vulnerabilidade Social e Ambiental***

O gerenciamento da vulnerabilidade surge como ferramenta estratégica do desenvolvimento sustentável com o objetivo de indicar pontos que merecem uma melhor atenção do poder público e com isso nos últimos anos, uma demanda vem surgindo focado na produção de indicadores por parte da comunidade científica para direcionar as diretrizes sobre conservação de grupos sociais e sistemas ambientais (Villa *et al.*, 2002).

O desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade social e ambiental tem sido descrito como complexo, uma vez que a quantificação e a qualificação da vulnerabilidade ambiental não podem ser decididas de modo geral, além disso, a integridade de um ecossistema não pode ser medida de forma direta ou expressa por meio de um único indicador (Villa *et al.*, 2002).

Segundo Tricart (1977), o grau de vulnerabilidade de um sistema é adquirido a partir de uma análise dos componentes do meio físico local (geologia, geomorfologia, pedologia, clima e fitogeografia), levando em consideração todos os processos de morfogênese e pedogênese assim com a interferência antrópica nesses processos na qual o autor denomina de ecodinâmica.

Já o autor Ross (1990; 1994), levando em consideração que a paisagem apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos, destaca que os procedimentos para a sistematização dessas paisagens exigem inicialmente estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso e ocupação das terras e cobertura vegetal para que, posteriormente, as informações sejam analisadas de forma conjunta, gerando um produto síntese que possa expressar os diferentes graus de fragilidade do ambiente: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

Sendo assim, o autor entende que a fragilidade é entendida de duas formas distintas: a Fragilidade Ambiental Potencial e a Fragilidade Ambiental Emergente, onde a primeira considera a fragilidade natural do ambiente a que uma determinada área está submetida, levando em consideração a declividade da área e o tipo de solo, e a segunda considera os

elementos naturais acrescido de interações humanas, a partir da forma como este utiliza o ambiente (Ross, 1990; 1994).

Um Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) foi desenvolvido pela *South Pacific Applied Geoscience Commission* (SOPAC) em conjunto com a *United Nations Environmental Programme* (UNEP) e seus parceiros podendo ser utilizado como um indicador de vulnerabilidade social e econômica projetando os processos que podem interferir no desenvolvimento sustentável dos países (Paula *et al.*, 2011).

De acordo com o IVA elaborado pela SOPAC em 2004, foram escolhidos indicadores que pudessem estimar quantitativamente a condição dos recursos ecológicos, a magnitude do stress, a exposição do componente biológico ao stress, ou total mudança na condição. Portanto foram utilizados 50 indicadores com a capacidade de capturar extensos números de elementos em um sistema interativo complexo ao mesmo tempo que mostrou como os valores obtidos se relacionam com alguma condição ideal. No Quadro 4 pode-se observar os indicadores utilizados, bem como uma definição detalhada dos principais sinais dos quais é representante.

Quadro 4 - Indicadores elaborados pela SOPAC

Indicadores	Descrição
1-Ventos Fortes	Média anual do excesso de velocidade do vento durante os últimos cinco anos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.
2-Períodos de Seca	Déficit da média anual de precipitação (mm) durante os últimos cinco anos para todos os meses com mais de 20% de redução de chuva do que os 30 anos mensalmente medidos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.
3-Períodos de Chuva	Média anual do excesso de precipitação (mm) durante os últimos 5 anos para todos os meses com mais de 20% de aumento de chuva do que os 30 anos mensalmente medidos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.
4-Períodos Quentes	Média anual do excesso de calor (graus) durante os últimos cinco anos para todos os dias 5°C (9 F) mais quente do que as médias máximas mensais de 30 anos, calculada

Indicadores	Descrição
	sobre todas as estações climáticas de referência.
5-Períodos Frios	Déficit da média anual de calor (graus) durante os últimos cinco anos para todos os dias 5°C (9°F) mais frio do que as médias mínimas mensais de 30 anos, calculada sobre todas as estações climáticas de referência.
6-Temperatura dos Oceanos	Desvio médio anual da Temperatura da Superfície dos Oceanos (TSO) nos últimos 5 anos em relação às médias mensais de 30 anos.
7-Vulcões	Risco acumulado de vulcões como número ponderado de vulcões com potencial de erupção maior ou igual a 2 do Índice de Explosividade Vulcânica (IEV), dentro de 100 km da fronteira do país.
8-Terremotos	Energia acumulada de terremotos dentro de 100 km da fronteira do país medida como Magnitude Local (ML) $\geq 6,0$ e ocorrendo a uma profundidade menor ou igual a 15 km em cinco anos.
9-Tsunamis	Número de tsunamis ou marés de tempestade com espraiamento de ondas maior do que 2 metros acima da Média Alta das Águas da Primavera por 1000 km de litoral desde 1900.
10-Deslizamentos	Número de deslizamentos registrados nos últimos cinco anos, divididos por área de terra.
11-Área de Terra	Total da área de terra (km <sup>2</sup> ).
12-Dispersão do País	Razão da extensão das fronteiras (terrena e marítima) do total de área de terra.
13-Isolamento	Distância em quilômetro do continente mais próximo.
14-Relevo	Diferença de altitude (ponto mais alto subtraído do mais baixo do país).
15-Terras Baixas	Porcentagem da área de terra menor ou igual a 50 metros acima do nível do mar.

Indicadores	Descrição
16-Fronteiras	Número de fronteiras terrenas e marítimas divididas com outros países.
17-Desequilíbrio do Ecossistema	Média ponderada da mudança no nível trófico desde o início da pesca.
18-Transparência Ambiental	Média anual dos fretes de importação (Dólar Dos Estados Unidos) nos últimos cinco anos por qualquer meio por km <sup>2</sup> de área.
19-Migrações	Número de espécies conhecidas que migraram para fora da área territorial em qualquer momento durante o período de vida/área de terra.
20-Endêmicas	Número de espécies endêmicas conhecidas por milhão de km <sup>2</sup> de área.
21-Introduções	Número de espécies introduzidas por 100 km <sup>2</sup> de área.
22-Espécies Ameaçadas	Número de espécies ameaçadas e vulneráveis por 100 km <sup>2</sup> de área.
23-Extinção	Número de espécies conhecidas por 100 km <sup>2</sup> de área que, desde 1900, têm se tornado extintas.
24-Cobertura Vegetal	Porcentagem de cobertura vegetal natural e de regeneração remanescentes.
25-Perda de Cobertura	Mudança na porcentagem líquida da cobertura vegetal natural durante os últimos cinco anos.
26-Fragmentação do habitat	Extensão total de todas as rodovias em um país dividido por área de terra.
27-Degradação	Porcentagem de área de terra que é severamente ou muito severamente degradada.
28-Reservas Terrestres	Porcentagem de áreas terrestres legalmente não utilizadas para servirem como reservas.
29-Reservas Marinhas	Porcentagem de plataformas continentais legalmente designadas como Área Marinha Protegida (AMP's).
30-Agricultura Intensiva	Produção anual em toneladas dos produtos

Indicadores	Descrição
	animais cultivados intensivamente durante os últimos cinco anos 100 km <sup>2</sup> de área.
31-Fertilizantes	Média anual da intensidade do uso de fertilizantes sobre a área total durante os últimos cinco anos.
32-Pesticidas	Média anual em kg/km <sup>2</sup> /ano dos pesticidas utilizados sobre a área total durante os últimos cinco anos.
33-Biotecnologia	Número acumulado de ensaios de campo deliberados para organismos geneticamente modificados conduzidos no país desde 1986.
34-Produtividade da Sobrepesca	Razão média de produtividade: captura da pesca nos últimos cinco anos.
35-Esforço de Pesca	Número médio anual de pescadores por quilômetro de litoral nos últimos cinco anos.
36-Água Renovável	Média anual do consumo de água em porcentagem de fontes de água renovável nos últimos cinco anos.
37-Emissão de Dióxido de Enxofre	Média anual de emissões de dióxido de enxofre nos últimos cinco anos.
38-Resíduos	Quantia líquida anual de tóxicos gerados e importados, resíduos perigosos e municipais por km <sup>2</sup> de área nos últimos cinco anos.
39-Tratamento de Resíduos	Porcentagem média anual de resíduos perigosos, tóxicos e municipais efetivamente gerenciados e tratados nos últimos cinco anos.
40-Indústria	Média anual do consumo de eletricidade da indústria durante os últimos 5 anos por km <sup>2</sup> de área.
41-Derramamento	Número total de derramamentos de óleo e substâncias perigosas maiores do que 1000 litros em terra, em rios ou em águas terrestres por milhão de quilômetros de costa marítima durante os últimos cinco anos.
42-Mineração	Produção média anual de mineração por km <sup>2</sup> de área nos últimos cinco anos.

<b>Indicadores</b>	<b>Descrição</b>
43-Saneamento	Densidade da população sem acesso a um saneamento seguro.
44-Veículos	Número de veículos por km <sup>2</sup> de área.
45-População	Densidade total da população humana (número por km <sup>2</sup> de área).
46-Crescimento da População	Taxa anual de crescimento da população humana nos últimos cinco anos.
47-Turistas	Número médio anual de turistas internacionais por km <sup>2</sup> de área nos últimos cinco anos.
48-Povoados Costeiros	Densidade de pessoas vivendo em povoados costeiros.
49-Acordos Ambientais	Número de tratados ambientais em vigor em um país.
50-Conflitos	Número médio de conflitos armados por década dentro de um país nos últimos 50 anos

Fonte: Adaptado de SOPAC, 2004.

Com base nisso, pode-se alegar que os índices de vulnerabilidade são ferramentas importantes, pois os pesquisadores, ecologistas, órgãos ambientais e governamentais podem avaliar as condições ambientais comparando os resultados com um padrão, ou com outros países. Vale destacar que essa ferramenta é limitada, pois o meio ambiente tem uma natureza dinâmica, uma vez que o índice reflete o estado atual do meio ambiente e portanto, deve-se então ser constantemente avaliado para atualizar os índices computados anteriormente para assegurar a precisão (SOPAC, 2009).

No caso da vulnerabilidade social, muitos doutrinadores defendem que para os índices de vulnerabilidade social é imprescindível relacionar uma série de fatores ou variáveis. Esses doutrinadores, onde muitos estão vinculados a comunidade científica das Ciências Sociais, consentem que alguns fatores influenciam diretamente a vulnerabilidade social, são algumas delas: classe social, etnia, gênero, incapacidades, faixa etária que denotam condições de desvantagem social (Almeida, 2012).

O autor Almeida (2012), em sua pesquisa sobre a vulnerabilidade social da bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho elencou algumas variáveis que estão intrínsecos ao local

de estudo, ou seja, variáveis que caracterizam amplas dimensões de vulnerabilidades e desvantagens sociais. O autor após várias análises elencou 21 variáveis onde podem ser visualizadas no Quadro 5 de acordo com os critérios de avaliação.

Quadro 5 - Variáveis selecionadas para o estudo de vulnerabilidade da bacia do rio Maranguapinho.

<b>Critério de avaliação da vulnerabilidade social</b>	<b>Variáveis</b>
Educação	Média do número de anos de estudo das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes
Condições de habitação e infraestrutura	Domicílios particulares precários
	Domicílios particulares sem abastecimento de água da rede geral
	Domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário sem esgotamento sanitário via rede geral de esgoto pluvial ou fossa séptica
	Domicílios particulares permanentes sem banheiro
	Domicílios particulares permanentes com lixo não coletado
	Domicílios particulares de mais de 4 moradores
Estrutura etária	Responsáveis por domicílios particulares permanentes com 10 a 19 anos de idade
	Responsáveis por domicílios particulares permanentes de mais de 64 anos de idade
Educação e estrutura etária	Responsáveis por domicílios particulares permanentes não alfabetizados
	Responsáveis por domicílios particulares permanentes não alfabetizados com 10 a 19 anos de idade
	Responsáveis por domicílios particulares permanentes não alfabetizados com mais de 64 anos de idade

<b>Critério de avaliação da vulnerabilidade social</b>	<b>Variáveis</b>
Renda	Responsáveis por domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal de até 3 salários mínimos
	Responsáveis por domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal
Gênero e estrutura etária	Mulheres responsáveis por domicílios particulares permanentes com 10 a 19 anos de idade
	Mulheres responsáveis por domicílios particulares permanentes com mais de 64 anos de idade
Gênero e educação	Mulheres não-alfabetizadas responsáveis por domicílios particulares permanentes
Estrutura etária	Pessoas com 0 a 14 anos de idade
	Pessoas de mais de 64 anos de idade
Educação e estrutura etária	Pessoas não alfabetizadas com 5 a 14 anos de idade
	Pessoas alfabetizadas com mais de 64 anos de idade

Fonte: Almeida (2009)

Sendo assim, a elaboração desse índice de vulnerabilidade voltado para a bacia hidrográfica do rio Maranguapinho teve como objetivo criar um modelo espaço temporal do risco de ser atingido por inundações mediante a espacialização dos eventos de inundação, de acordo com a probabilidade de ocorrência representada pela frequência desses eventos (Almeida, 2012).

#### **4 ESTUDO DE CASO**

As atividades de geração de energia por meio de empreendimentos que geram energia renovável, apesar da proposta inicial desta modalidade, pode trazer impactos negativos ao meio ambiente e sociedade a partir do local onde são instalados. A energia renovável é o tipo

de fonte de energia que não é possível determinar um fim temporal para a sua utilização, ou seja, são virtualmente inesgotáveis apesar de serem limitadas quanto a sua quantidade momentânea, onde se destacam: a energia solar, o álcool, o vento, o calor da terra, o carvão vegetal e o biogás (Moreira *et. al*, 2010).

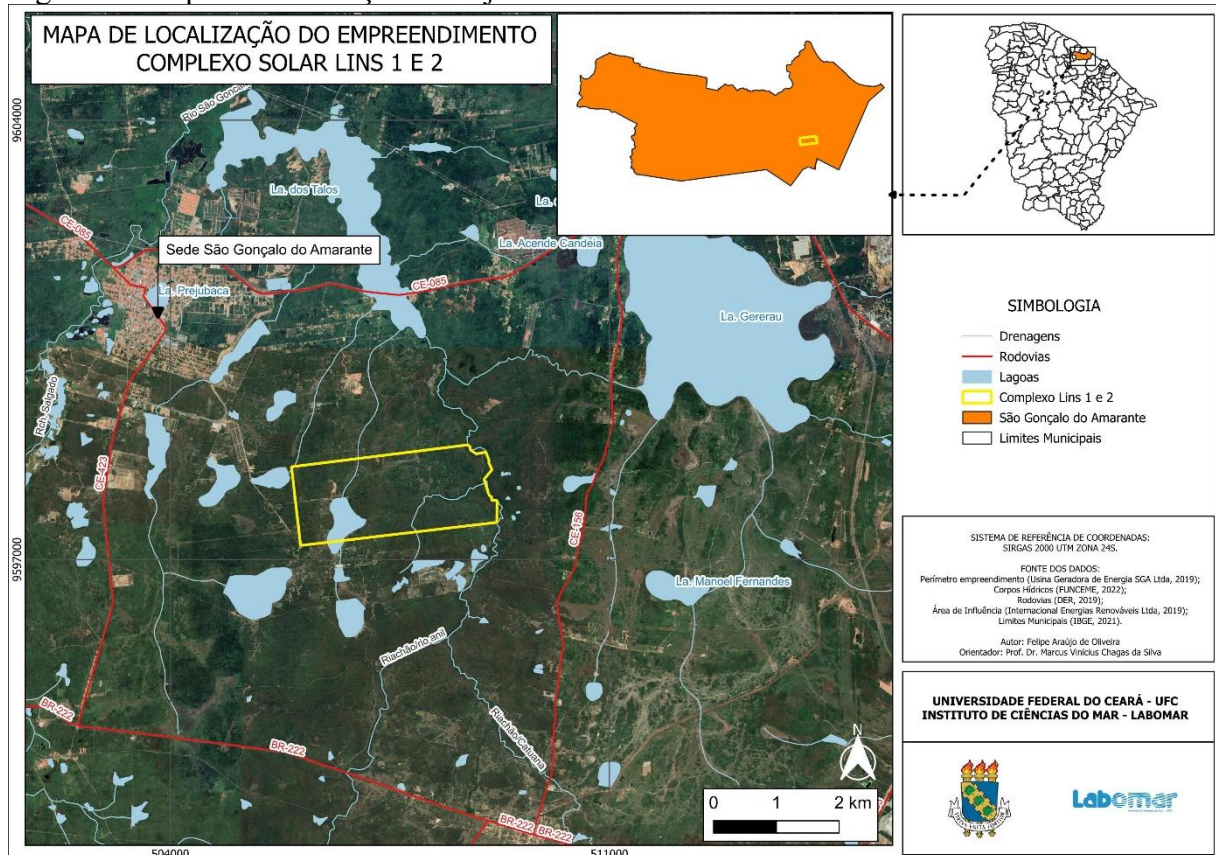
Neste tópico será abordado o Estudo de Impactos Ambientais de um empreendimento que produzirá energia solar. A energia solar pode ser produzida direta ou indiretamente, onde a forma direta consiste em células fotovoltaicas que só produzem corrente quando iluminadas pela luz solar, que ao atingir as células, é diretamente convertida em eletricidade. Já de forma indireta, são construídas usinas em áreas com alto grau de insolação, onde são instaladas centenas de espelhos côncavos direcionados para um local específico, que pode ser uma tubulação de aço (Moreira *et. al*, 2010).

Portanto, a seguir será abordado informações sobre a área de estudo utilizada para solicitação das licenças ao órgão ambiental, informações sobre o fluxo processual exigidos ao empreendimento, utilizando como base a Lei complementar Nº 140/2011, informações sobre os índices utilizados para determinar a vulnerabilidade da área em que está sendo proposta a instalação do empreendimento e como o Termo de Referência (TR) analisa esses índices de vulnerabilidade.

#### **4.1 Descrição da Área de Estudo e Estudo Ambiental**

O Complexo Lins 1 e 2, área de estudo a ser analisada, está localizado no município de São Gonçalo do Amarante (CE), contendo área equivalente a 393,18 hectares com distância de aproximadamente 3 km ao sul da sede do município e é limitada a leste pelo Rio Anil. A área está localizada dentro da Bacia Metropolitana, além de estar dentro das delimitações do CIMPORT, área definida pelo Plano Diretor Participativo de São Gonçalo do Amarante como região própria para a instalação de empreendimentos capazes de produzir energia renovável (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização do objeto de estudo



Fonte: Autor, 2025

Inicialmente o empreendimento possuía o nome de Complexo Mundo Novo I, II, III e IV que ao longo do processo de licenciamento optou-se pela alteração desse nome, passando a ser conhecido como Lins 1 e 2. Em suas adjacências a região é composta por matas de tabuleiro, fazendas e áreas especuladas para outros empreendimentos da mesma categoria, embora este seja o primeiro a sair.

O estudo ambiental definido para este tipo de empreendimento, trata-se do Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e seu referido resumo, também conhecido como RIMA. O estudo foi dividido nos seguintes tópicos:

- Apresentação;
- Identificação do Empreendimento e da Consultoria;
- Justificativa do Empreendimento;
- Planos e Programas Co-Localizados;
- Metodologia Adotada e Definição das áreas de Influência;
- Diagnóstico Ambiental das Áreas de Influência;
- Estudo da Análise de Risco;

- Prognóstico Ambiental;
- Estudo de Alternativas Locacionais e Tecnologias do Projeto;
- Compensação Ambiental;
- Análise Integrada;
- Medidas Mitigadoras;
- Planos de Controle e Monitoramento Técnico e Ambiental;
- Legislação Pertinente.

Para se chegar nesse escopo, foi necessário que a consultoria responsável pelo estudo seguisse as diretrizes de licenciamento do estado conforme pode ser observado no tópico a seguir.

#### **4.2 Fluxo Processual do Licenciamento do Empreendimento pela SEMACE**

O licenciamento ambiental do empreendimento inicialmente segue as diretrizes da Lei Complementar (LC) nº 140/2011. Esta LC foi publicada em dezembro de 2011 regulamentando o art. 23, parágrafos únicos e incisos III, VI e VII da Constituição Federal e dispõe sobre a cooperação entre União, estados, Distrito Federal e municípios, na competência comum relativa às ações de proteção do meio ambiente. Portanto a LC 140/11 teve o papel de descentralizar as regulamentações atribuídas à União, Estados e Municípios na proteção do meio ambiente utilizando como argumento a agilidade na análise dos licenciamentos ambientais sem que isto revelasse uma fragilização dos mecanismos de proteção e defesa do meio ambiente (Von Zuben, 2012).

A LC 140/2011 permite que a gestão ambiental seja praticada de forma autônoma pelos estados (incluindo Distrito Federal) e os municípios, decidindo o que pode e o que não pode ser feito. Esta LC, além de outorgar aos estados e municípios a responsabilidade pela emissão da maioria das licenças ambientais, também estabelece que a fiscalização ambiental de um empreendimento deve ser realizada pelo ente que emitiu a licença. Essa determinação, na prática, impede a fiscalização por órgãos federais ou estaduais, que geralmente possuem maior expertise e capacidade técnica nesse tipo de atividade (Von Zuben, 2012).

O empreendimento aqui abordado foi licenciado pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), órgão do âmbito estadual, que de acordo com a LC 140 foi responsável pelo licenciamento ambiental por possuir impactos a nível regional (mais de um

município), e está enquadrado como Potencial Poluidor Degrador (PPD) de nível médio de acordo com Resolução do COEMA 10/2015 sendo classificado sob o código 11.10 sendo possível a aplicação de uma Autorização Ambiental (AA), assim como a Licença de Operação (LO), por ser de caráter não temporário. A Resolução do COEMA 03/2016 ainda traz que para usinas geradoras de energia renovável com geração de energia acima de 5 MW, independentemente do local de instalação, requer a necessidade de produzir um EIA/RIMA que foi o caso desse empreendimento.

A SEMACE também disponibiliza o site do [natuur.semace.ce.gov.br](http://natuur.semace.ce.gov.br) para auxiliar os empreendimentos que necessitam de licenciamento, onde é possível realizar uma simulação do empreendimento ou atividade informando o porte do mesmo baseado nos limites disponibilizados pela ferramenta. Vale destacar que essas atividades normalmente são realizadas por consultorias ambientais através de profissionais qualificados.

A Instrução Normativa da SEMACE nº 02/2014 define que projetos a serem leiloados podem apresentar um Relatório Ambiental Simplificado (RAS) na fase de Licença Prévia (LP) conforme informado na Resolução CONAMA nº 279/2001 que terá que se basear no Termo de Referência (TR). Essa documentação, porém, precisa ser complementada com um Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) ou outro estudo específico solicitado pela SEMACE na fase de Licença de Instalação (LI) (Ramos *et. al.*, 2023).

Assim como no caso do RAS, junto à LP, é emitido um TR para a apresentação do EIA/RIMA na LI, independentemente do tamanho do projeto. Essa documentação deve ser protocolada juntamente com os Projetos Básicos Ambientais (PBA's) e outros documentos relevantes. É durante a fase de LI que se busca a aprovação de órgãos como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), entre outros. Com essa organização, o tempo para a emissão da LP tende a ser significativamente menor, agilizando a análise técnica. Após a implantação do empreendimento, é possível solicitar a Licença de Operação (LO) (Ramos *et. al.*, 2023).

Se o complexo não for submetido a leilão, o licenciamento seguirá as diretrizes da Resolução COEMA nº 06/2018 (energia solar fotovoltaica) ou 07/2018 (energia eólica). Essas resoluções definem se o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) são obrigatórios ou não. Se o empreendimento for considerado de alto impacto ambiental, o EIA/RIMA deve ser apresentado na fase de Licença Prévia (LP). Caso contrário, um Relatório Ambiental Simplificado será necessário, de acordo com as diretrizes do Termo de Referência (TR) da Instrução Normativa (IN) nº 01/2018 da SEMACE. Após a

obtenção da LP, a próxima licença a ser solicitada dependerá do porte do empreendimento, conforme a classificação do Anexo III da Resolução COEMA nº 02/2019 (Ramos *et. al.*, 2023).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 237/1997, o posicionamento sobre o licenciamento ambiental, sem a necessidade de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), deve ser emitido em até 6 meses. No entanto, se o EIA/RIMA for necessário, o prazo para análise aumenta para até 1 ano. É importante lembrar que esses prazos não incluem o tempo que o empreendedor precisa para realizar as complementações nos estudos.

Alguns fatores podem atrasar o processo de licenciamento, como:

- Documentação incompleta enviada pelo empreendedor;
- Alta demanda de processos no órgão ambiental;
- Necessidade de diversas complementações nos estudos;
- Dependência de outros órgãos para a análise.

O TR, documento emitido pela SEMACE para orientar o empreendedor e consultoria contratada na produção do estudo ambiental, dá diretrizes informando quais conteúdos são importantes abordar de acordo com o tipo de empreendimento ou atividade e é respaldado pela PNMA em seu Art. 6º.

Dentre os diversos tópicos do TR, que possibilita à consultoria contratada descrever características do empreendimento, características ambientais e as atividades executadas, a AIA é um dos instrumentos do estudo e que a partir dela é feita a mensuração de valores designados à natureza do impacto, efeito, frequência, importância, ordem, periodicidade e duração. Após identificação dos impactos, é realizada a contabilidade deles através de uma síntese classificando-os em impactos positivos e negativos e onde eles podem mais ser frequentes, meio biótico, meio físico ou meio socioeconômico (Brasil, 1986).

Com o levantamento dos impactos que possivelmente podem ser gerados no empreendimento, é possível definir os Planos e Programas referentes às medidas mitigadoras. Estas medidas têm como objetivo propor soluções para atenuar e/ou compensar os impactos gerados pelo empreendimento em questão.

A Análise Integrada do Diagnóstico Ambiental também é outra etapa de avaliação em um EIA, através dela pode-se compreender as interações entre os meios, transformando-se em um banco de dados para definir os impactos listados na AIA além de trazer a vulnerabilidade

como parâmetro de análise do estudo. O TR aborda a vulnerabilidade de uma forma superficial onde as diretrizes a serem cumpridas pela equipe multidisciplinar responsável pela produção do EA tem a tarefa de apresentar os riscos individuais e sociais relacionados a acidentes.

Enquanto isso, a vulnerabilidade ambiental é trabalhada como documentação complementar com apenas o mapa, definindo potencialidades e limitações, quanto ao uso e ocupação da ADA, em função das condições naturais do terreno, face às características do uso/ocupação proposta. Portanto, faz necessário apresentar uma metodologia eficaz que possa indicar os principais índices a serem considerados a fim de validar todas as informações descritas em relação ao diagnóstico dos meios estudados.

### **4.3 Determinação dos índices de vulnerabilidades ambiental utilizadas**

A vulnerabilidade para o estudo do referido empreendimento foi tratada de forma pontual em seu EIA, apresentando contexto de riscos de acidentes em relação ao tipo de estrutura encontrado em uma usina fotovoltaica. Para os devidos fins, a análise da presente monografia evidencia a necessidade de trabalhar a vulnerabilidade natural e ambiental em conjunto com o zoneamento ambiental da área para que a implementação desse tipo de empreendimento possa ter mais uma forma de avaliação para além do aspecto social.

Para definir os índices de vulnerabilidade natural e ambiental, foram observados diversos autores e pesquisadores que tratam do tema para que fosse escolhido a melhor forma de representar as características naturais presentes na região e assim, definir valores correspondentes a essas características e, seguindo a metodologia escolhida, realizar o cálculo da vulnerabilidade ambiental.

Portanto, foram definidos os seguintes índices:

- Geomorfologia;
- Solo;
- Moradias;
- Uso e cobertura do solo;
- Sistemas ambientais

Levando isso em consideração, o presente trabalho irá basear-se na metodologia proposta por Ross (1994) em conjunto com a utilizada por Falcão (2013), trazendo

modificações para conseguir se adequar às características naturais existentes na área pré-definida, além da escala constituída de maiores detalhes. A primeira adaptação será a construção da vulnerabilidade ambiental envolvendo a elaboração e cruzamento de mapas de declividade, pedologia, uso e cobertura, aglomerados de moradias e os sistemas internos geoambientais da área.

Outra modificação está relacionada ao índice geomorfológico na qual passou-se a utilizar a declividade como índice considerando as classes propostas por Ross (1994) onde o autor explica que a utilização desse critério se refere a casos onde a escala de detalhe possui maior detalhe (ex: 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000). Para esse índice, foi considerado o critério proposto por Ross (1994) mas com a utilização das classes de declividade proposta pela Embrapa (1979) (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da Declividade pela EMBRAPA

<b>Classes Declividade</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	75 <

Fonte: Embrapa, 1979

O índice de vulnerabilidade dos sistemas internos geoambientais baseou-se no setor ambiental dos Sertões Aplainados pertencente ao sistema Depressão Sertaneja e o setor de baixadas que abrange as lagoas, planícies e áreas inundáveis. A escolha desse índice se dá ao fato de que esse sistema é considerado medianamente estável/vulnerável em virtude do terreno cristalino com rochas predominantemente graníticas de baixa denudação (Souza *et al.* 2024).

O critério de uso e cobertura do solo foi selecionado pois, de acordo com Santos (2014), a forma como as terras são utilizadas refletem as relações entre a sociedade e natureza, definindo o grau de conservação, preservação e degradação dos recursos naturais a partir dos processos produtivos. O autor ainda explica que a qualidade da cobertura vegetal, protege o solo da ação do escoamento das chuvas, onde os locais que não possuem boas condições sofrem

com agentes morfogenéticos de forma mais incisiva, aumentando a vulnerabilidade do ambiente.

Crepani *et al.* (1996), reforçam a relevância do estudo da vulnerabilidade do solo, explicando que a evolução deste é o produto da interação entre morfogênese e pedogênese. Essa interação revela se a erosão (morfogênese) prevalece, gerando solos jovens, ou se a estabilidade permite a pedogênese, formando solos maduros, com lixiviação e bem estruturados.

A classificação da vulnerabilidade do solo se baseia na análise de suas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de ligação entre partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Estes atributos estão diretamente vinculados ao relevo, à composição da rocha e ao clima, fatores-chave na formação do solo (pedogênese) e determinantes de suas propriedades físicas e químicas (Ross, 1994). O autor analisou diversos estudos de diferentes pesquisadores sobre a erodibilidade dos solos. A partir dessas análises, ele propôs uma classificação hierárquica da vulnerabilidade dos solos.

Santos (2011) aproveitando da base de informações construídas por Ross (1994), adaptou as informações de acordo com a região de seu estudo, levando em consideração as diferenças dos solos existentes para as diferentes regiões do Brasil, ou seja, em regiões mais temperadas, o solo possui características diferentes de solos em regiões tropicais. Portanto, no presente trabalho, foi utilizado essa classificação para embasamento da vulnerabilidade do solo no local do estudo.

O índice de vulnerabilidade de Moradias foi escolhido por ser um fator importante na avaliação dos impactos sociais, uma vez que quanto mais pessoas residirem em um determinado local, mais pessoas podem sofrer com esses impactos, afetando desde a saúde da comunidade até a degradação de suas terras que podem ter como fonte as atividades realizadas nas etapas de implantação e operação do empreendimento ou o próprio manejo do solo por parte da população local.

## **5 CÁLCULO DA VULNERABILIDADE**

Como já mencionado anteriormente, aqui será calculado a vulnerabilidade ambiental a partir do cruzamento dos índices de declividade, solos, moradias, uso e cobertura, e sistemas ambientais. A classificação utilizada para a escala da área do Complexo Solar é representada em cinco classes hierárquicas: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. A metodologia escolhida para o presente trabalho baseia-se no método utilizado por Falcão (2013). O método multicritério utilizado pelo autor foi proposto inicialmente por Saaty (1977)

e trata-se do Processo de Análise Hierárquica - AHP (*Analytic Hierarchy Process*) na qual é uma metodologia de comparação de pesos a critérios relativos ou fatores tendo como estrutura uma matriz quadrada  $n \times n$  contendo os índices escolhidos pelo pesquisador nas linhas e colunas (Quadro 6).

Quadro 6 - Estrutura de uma matriz quadrada ( $n \times n$ ) de critérios (C).

	<b>Critério 1</b>	<b>Critério 2</b>	<b>Critério 3</b>
<b>Critério 1</b>	$C_{11}=1$	$C_{12}$	$C_{13}$
<b>Critério 2</b>	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{22}=1$	$C_{23}$
<b>Critério 3</b>	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{32}=1/C_{23}$	$C_{33}=1$

Fonte: Adaptados de Falcão (2013)

O valor que representa a importância relativa do critério de linha (i) em relação ao critério da coluna (j) está representado na matriz como ( $C_{ij}$ ), onde os critérios iguais sempre terão valor de importância (1). Para o restante da matriz deve-se inicialmente definir o grau de importância entre coluna e linha  $C_{ji}$  onde o inverso dessa relação será calculado a partir de  $C_{ij} = 1/C_{ji}$ .

A escala de referência utilizada para definir a intensidade de importância para as comparações dos critérios foi referenciada a partir do estudo proposto por Falcão (2013), onde o valor do peso de importância pode ser escolhido em uma escala de 1 a 9 com definição de Importância igual à importância absurdamente melhor (Quadro 7).

Quadro 7 - Valores e definições de peso ou importância dos critérios.

<b>Valor do peso ou da importância</b>	<b>Definição do peso ou da importância</b>
1	Importância Igual
2	Importância um pouco melhor
3	Importância algo melhor
4	Importância moderadamente melhor
5	Importância melhor
6	Importância bem melhor
7	Importância muito melhor
8	Importância criticamente melhor

Valor do peso ou da importância	Definição do peso ou da importância
9	Importância absurdamente melhor

Fonte: Falcão, 2013

Entende-se que na análise multicriterial, por apresentarem índices com diferentes características, é necessário padronizar os valores através de uma metodologia conhecida como Normalização de critérios onde ela é capaz de uniformizar esses valores para uma mesma escala numérica (Calijuri *et al.*, 2002). Para este trabalho segue-se a padronização para a escala numérica de 0 a 1 através do método proposto por Eastman (1997), citado por Falcão (2013), que afirma que a melhor forma de realizar essa padronização é através da equação a seguir:

$$Xi = (Ri - Rmin) / (Rmáx - Rmin) * \text{Intervalo Normalizado}$$

Onde:

Ri= Valor a ser normalizado

Rmin= Valor mínimo para o critério

Rmáx= Valor máximo para o critério

Inicialmente, partindo para a manipulação dos dados do trabalho, foi necessário definir valores de 0 a 1 de cada classe dos índices de uso e cobertura, solos, sistemas ambientais e realizar a normalização os valores dos índices de aglomeração de moradias e declividade, para depois produzir a matriz a partir da ponderação de critérios, definindo a importância para o processo de degradação das terras:

1. Primeira maior importância - Uso e Cobertura do Solo;
2. Segunda maior importância - Tipos de Solo;
3. Terceira maior importância - Sistemas Ambientais;
4. Quarta maior importância - Declividade;
5. Quinta maior importância - Aglomeração de Moradias.

A matriz foi produzida no software Excel e foi preenchida com os critérios acima e seus respectivos valores de comparação pareada, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz de comparação pareada com os critérios e pesos.

	<b>Uso e Cobertura</b>	<b>Solos</b>	<b>Sistemas Ambientais</b>	<b>Declividade</b>	<b>Moradias</b>
<b>Uso e Cobertura</b>	1,00	5,00	4,00	6,00	8,00
<b>Solos</b>	0,20	1,00	2,00	3,00	7,00
<b>Sistemas Ambientais</b>	0,25	0,50	1,00	3,00	6,00
<b>Declividade</b>	0,17	0,33	0,33	1,00	2,00
<b>Moradias</b>	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00

Fonte: Autor, 2025

Com os valores da matriz definidos, foi possível realizar o cálculo para obtenção da razão de consistência no valor de 0,087, o que significa que os valores utilizados na matriz estão de acordo com a metodologia elaborada por Saaty (1980), citado por Falcão (2013), ou seja, valor inferior a 0,1. Os passos para se chegar nesse valor estão descritos abaixo:

- Passo 1: Somar as linhas;
- Passo 2: Normalização das somas;
- Passo 3: Cálculo do produto vetorial - autovetor;

$$[D * W_n]$$

- Passo 4: Cálculo da Lambida ( $\lambda$ ) - autovalor;

$$\left[ \frac{D * W_n}{W_n} \right]$$

- Passo 5: Cálculo do Lambda Máximo;

$$\text{Média} \left[ \frac{D * W_n}{W_n} \right]$$

- Passo 6: Cálculo do RC = IC / IR.

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1) \cdot RI}$$

Onde:

D= Linhas dos critérios

W= Autovetor

n= Número de Critérios

IC= Índice de Consistência

IR= Índice Randômico

O índice randômico é um valor tabelado que será definido conforme o número de critérios escolhidos. A Tabela 3 apresenta os valores tabelados a serem observados para conferência.

Tabela 3 – Índice Randômico em função da ordem da matriz

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Marchezetti, 2011

Portanto, com base nisso foi possível respaldar também os valores de ponderação para cada critério utilizado. A matriz de processamento dos dados gerou os pesos de cada índice que posteriormente foi utilizado em combinação com os dados rasterizados (Tabela 4). A descrição da base cartográfica de cada índice está contida na sequência deste capítulo.

Tabela 4 - Resultados da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação pareada.

<b>Critérios</b>	<b>Pesos</b>
Uso e Cobertura	0,447
Tipos de Solo	0,246
Setores Geoambientais	0,200
Declividade	0,071
Moradias	0,036

<b>Total</b>	<b>1,00</b>
--------------	-------------

Fonte: Autor, 2025

A combinação dos critérios foi feita através do método de Combinação Linear Ponderada, que nada mais é do que o critério vezes o peso definido pela ponderação destes critérios vezes a constante de normalização dada pela equação abaixo:

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i)$$

Onde:

$X_i$ = Critério

$U_i$ = Peso do Critério

$K_i$ = Constante variando de 0 a 1\*

\* Esta constante entra na equação no momento da normalização dos dados e na definição dos valores de vulnerabilidade.

## 5.1 Caracterização dos Critérios

- Uso e Cobertura do Solo

No critério de Uso e Cobertura foi utilizada a imagem construída pelo projeto MapBiomas Brasil que utilizaram mosaicos de Landsat e a partir daí construíram as classificações que resultam nos mapas de cobertura e uso da terra para cada ano (MAPBIOMAS, 2023). O arquivo utilizado neste trabalho está datado do ano de 2023 e possui classificação para o Brasil inteiro, por conta disso a escala utilizada na classificação supervisionada do projeto traz alguns problemas.

Um dos problemas encontrado no tratamento dos dados é a apresentação da imagem em maior escala (poucos detalhes), que quando realizada a aproximação de uma área de menor escala (maior detalhe) apresenta as informações pixeladas. Então foi realizada a conversão desse raster em um arquivo vetorial (ShapeFile) a fim de redefinir a delimitação das classes existentes no produto para uma maior precisão espacial.

Após correção espacial do arquivo, foi necessário identificar quais classes estavam sendo apresentadas, uma vez que o produto traz os dados em formato numérico. Através do próprio site gerenciado pelo projeto MapBiomias, é disponibilizado arquivos em formato PDF contendo os códigos das classes da legenda para cada uma das coleções disponíveis (ANEXO A).

Neste arquivo está disponibilizado para além do código, as classes referentes aquele código, as cores a serem utilizadas na legenda e o Hexacode numérico referente aquela cor. Após identificação das classes foram definidos os valores de vulnerabilidade para cada uma dela respeitando a escala numérica de 0 a 1, dispensando assim a necessidade de normalização dos dados. Os dados mencionados neste parágrafo estão sendo apresentados na Tabela 5.

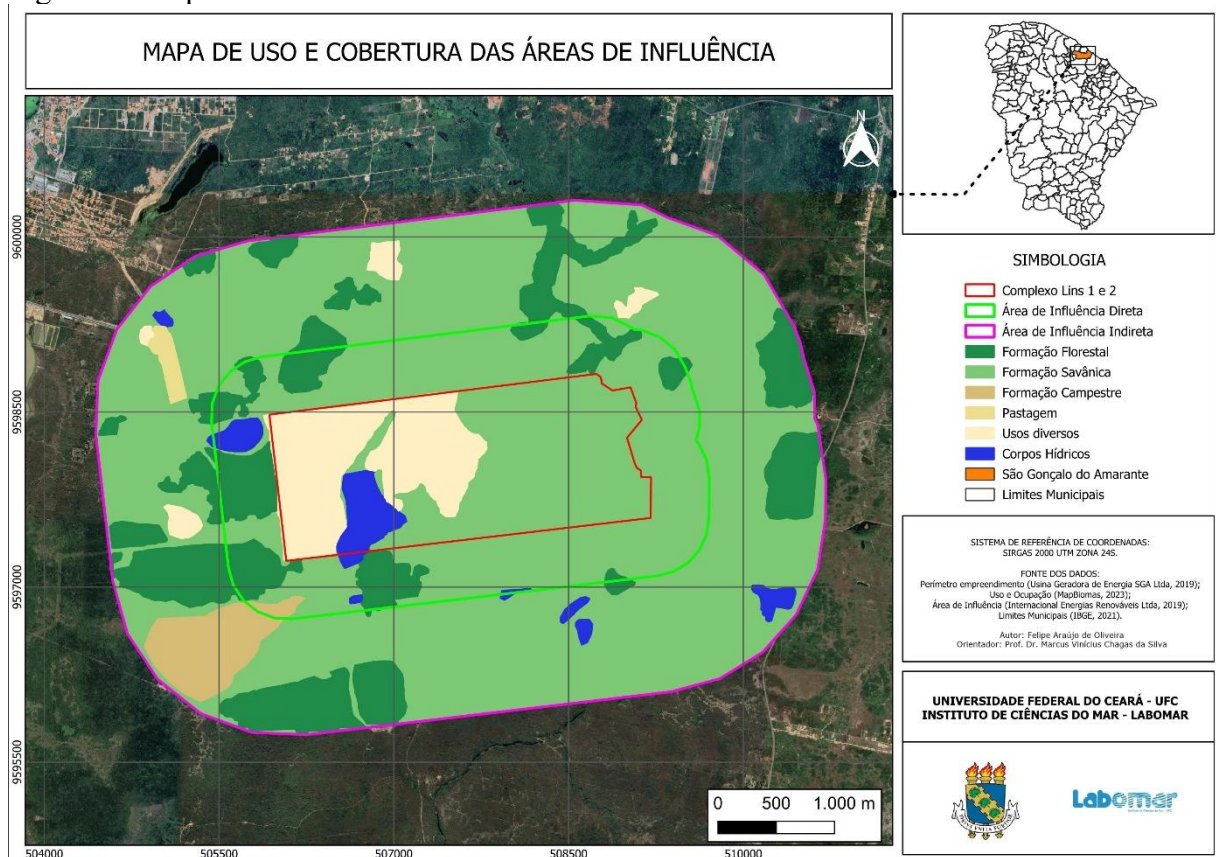
Tabela 5 - Classes e valores de vulnerabilidade ambiental para o Índice de Uso e Cobertura.

<b>Classes de Uso e Cobertura</b>	<b>Valores de Vulnerabilidade</b>
Formação Florestal	0,12
Formação Savânica	0,25
Formação Campestre	0,37
Pastagem	0,85
Mosaico de usos diversos	0,85
Corpos Hídricos	1,00

Fonte: Autor, 2025

Esses valores para vulnerabilidade foram definidos após a leitura de fontes diversas com o objetivo de encontrar a melhor forma de representar o grau de importância. Com os valores definidos, a última etapa no tratamento dos dados do arquivo de uso e ocupação foi a conversão do arquivo ShapeFile para arquivo Raster que será utilizado na composição final. A seguir pode ser observado o mapa criado para este critério (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo



Fonte: Autor, 2025

- Tipos de Solo

O perímetro do empreendimento e suas áreas de influência encontram-se em um ambiente que possui pouca variação de tipos de solos, por ser uma escala menor, os detalhes na espacialização deste critério trazem uma caracterização mais restrita. Para trabalhar este critério, foram utilizados os dados de levantamento do solo produzidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2024).

O arquivo vetorial foi adquirido através de e-mail enviado junto a FUNCEME e trabalhado com o recorte para a Área de Influência Indireta. Esse recorte apresentou a presença dos solos tipo ARGISSOLO AMARELO e PLANOSSOLO NÁTRICO e suas respectivas associações (Quadro 8).

Quadro 8 - Classificação dos Tipos de Solo da área

PAe8		SNo24	
Descrição	Inclusões	Descrição	Inclusões

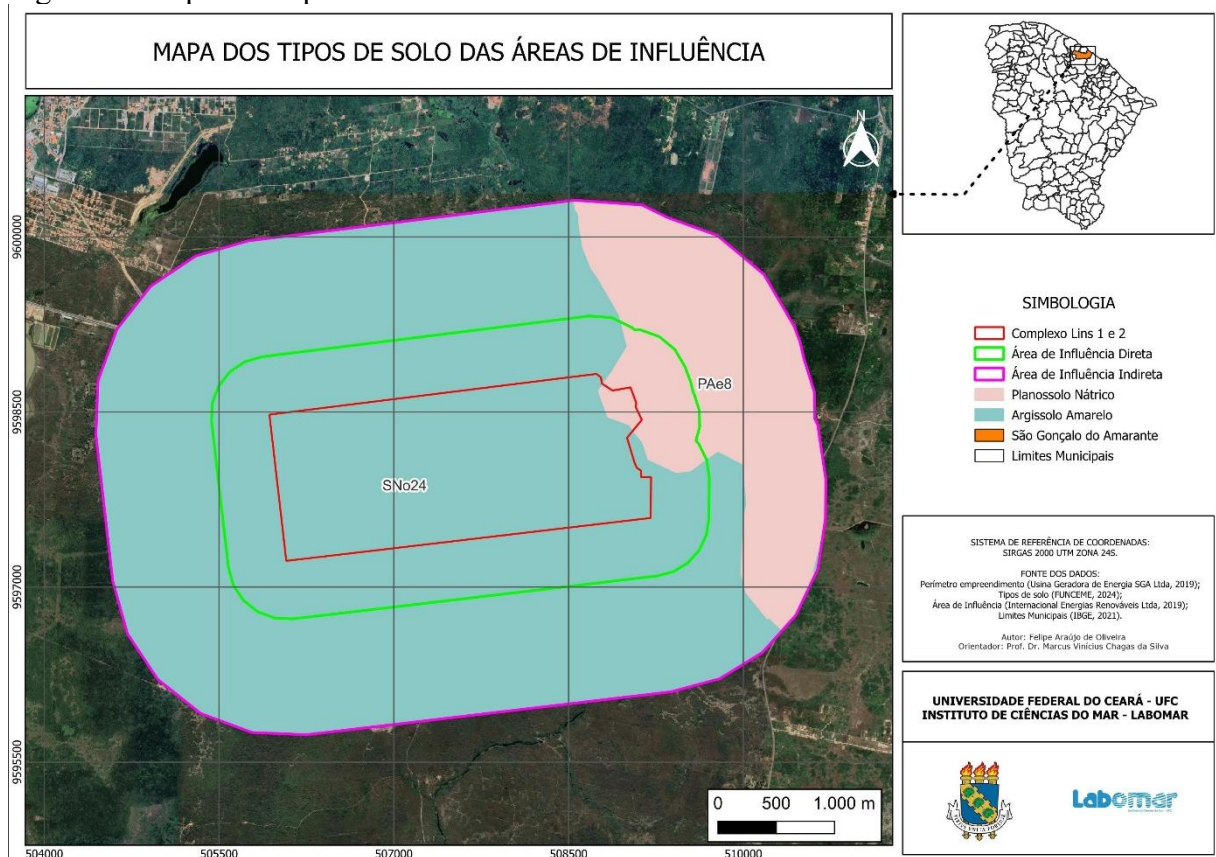
<p>Ass.: ARGISSOLO AMARELO Eutrófico abrupto endorredoxico e plintossolico, textura arenosa/média + ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico arênico e endorredoxico, textura arenosa/média, ambos fase caatinga hipoxerófila, relevo plano e suave ondulado (60% + 40%).</p>	<p>- ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico  -NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico  -PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico</p>	<p>Ass.: PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico arênico, méxico e salino + PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico, méxico, solódico e típico, ambos textura arenosa e média/média cascalhenta ou não, fase pedregosa ou não + ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto, endorredoxico e planossolico, textura média/média cascalhenta ou não, todos fase caatinga hipoxerófila, relevo plano e suave ondulado (40% + 30% + 30%).</p>	<p>-ARGISSOLO AMARELO Distrófico  -ARGISSOLO AMARELO Eutrófico  -ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico  -ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico</p>
---	---	--	---

Fonte: Funceme, 2024

Com essas informações foi possível definir valores de vulnerabilidade para as duas associações de solo com base em suas características e propensão à degradação. Os valores foram definidos em 0,52 e 0,65 para os solos PLANOSSOLO NÁTRICO e ARGISSOLO AMARELO respectivamente sendo considerada uma vulnerabilidade moderada. Com os valores definidos, o arquivo ShapeFile foi convertido para um arquivo Raster para uma futura composição com os outros critérios.

A seguir pode ser observado o mapa confeccionado contendo os tipos de solo da área analisada (Figura 3).

Figura 3 - Mapa dos Tipos de Solos



Fonte: Autor, 2025

- Setores Ambientais

Para o índice de setores ambientais, os dados vetoriais foram extraídos diretamente da Plataforma Estadual de Dados Espaciais Ambientais do Ceará (PEDEA-CE), onde está reunido grande parte dos dados vetoriais do estado do Ceará. O arquivo disponibilizado na plataforma por meio da Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), contou com informações acerca dos sistemas ambientais bem como os setores incorporados a eles.

Na área analisada no trabalho foi identificado dois Sistemas Ambientais e cinco setores incorporados como pode ser observado na Tabela 6. Para a definição dos valores de vulnerabilidade desse critério, foi preciso analisar estudos dessa temática que pudessem nortear a escolha dos valores mais justos, que por fim chegou-se ao estudo produzido por Souza (2024), auxiliando na definição dos valores abaixo.

Tabela 6 - Sistemas e Setores Ambientais na área estudada

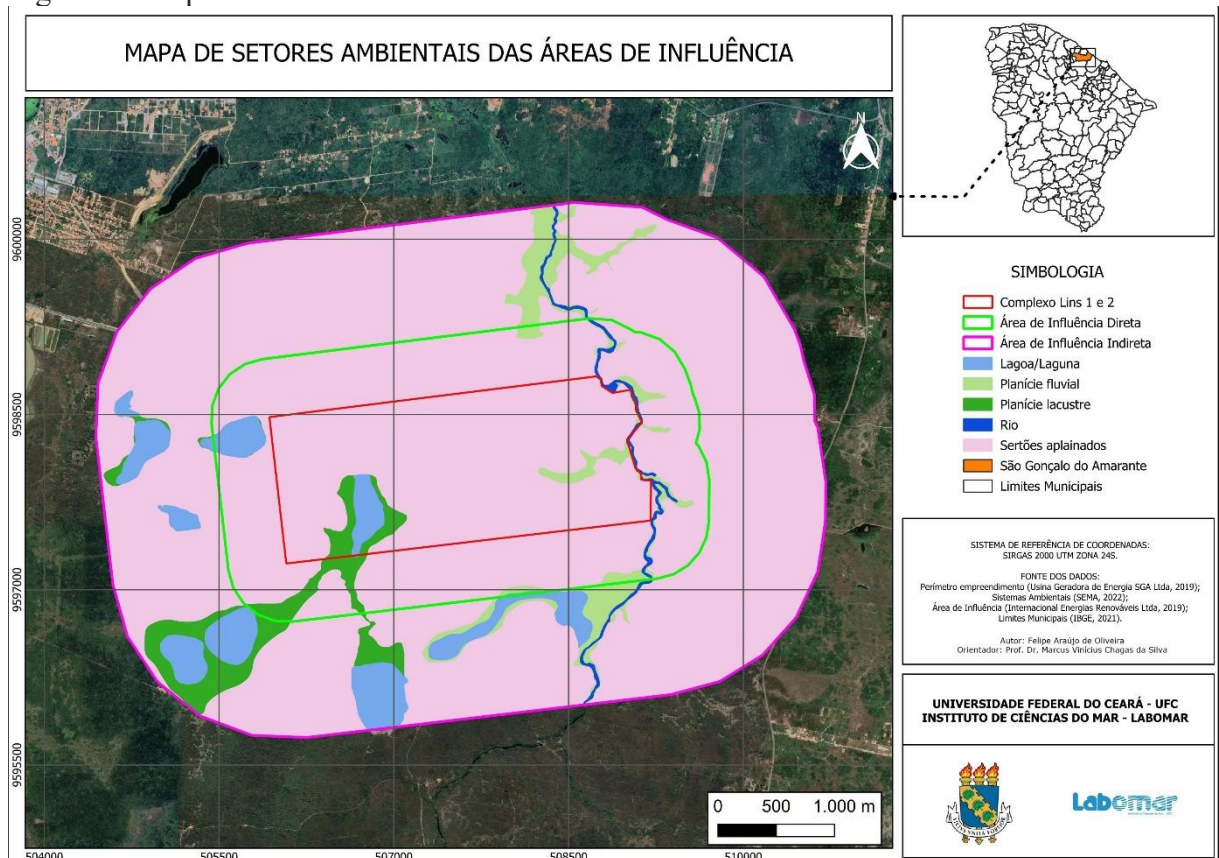
Sistemas Ambientais	Setores Ambientais	Valores
Depressão Sertaneja	Sertões Aplainados	0,45

Sistemas Ambientais	Setores Ambientais	Valores
Baixadas: lagoas, planícies e áreas inundáveis	Planície Fluvial	0,77
	Planície Lacustre	0,70
	Lago/Laguna	1,00
	Rio	1,00

Fonte: Autor, 2025

Como os valores definidos, seguindo a mesma metodologia dos critérios de uso e ocupação e solos, não foi necessário a normalização dos dados pois os valores estão dentro do intervalo de 0 a 1, mas o arquivo vetorial foi convertido para um dado do tipo raster que na sequência seria utilizado na composição do mapa final. Abaixo pode ser visualizado o mapa construído para esse critério (Figura 4)

Figura 4 - Mapa de Setores Ambientais



Fonte: Autor, 2025

- Declividade

A classificação da vulnerabilidade a partir da declividade foi avaliada de acordo com a porcentagem referente a inclinação do terreno. As classes de declividade, que se refere à inclinação do relevo em relação ao horizonte, com os respectivos graus de vulnerabilidade foram definidas de acordo com a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), a partir de imagens tipo raster do *Copernicus Global DSM* de 30 metros adquiridos pelo plugin *Open Topography DEM* no Software Qgis versão 3.34.6, em forma de Modelo Digital de Elevação (MDE). Posteriormente o raster foi reprojetoado para o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000 UTM zona 24s e através das ferramentas de raster presentes no software, foi possível extrair a declividade do MDE em porcentagem (%).

Com o raster de declividade criado, foi necessário reclassificar os valores referentes aos pixels, realizando a classificação de declividade de acordo com a metodologia descrita por Ross (1994) (Tabela 7). Esse critério evidencia o grau de resistência à erosão e conseqüentemente a dinâmica ambiental que as ocorrências distintas de relevo impõem no ambiente.

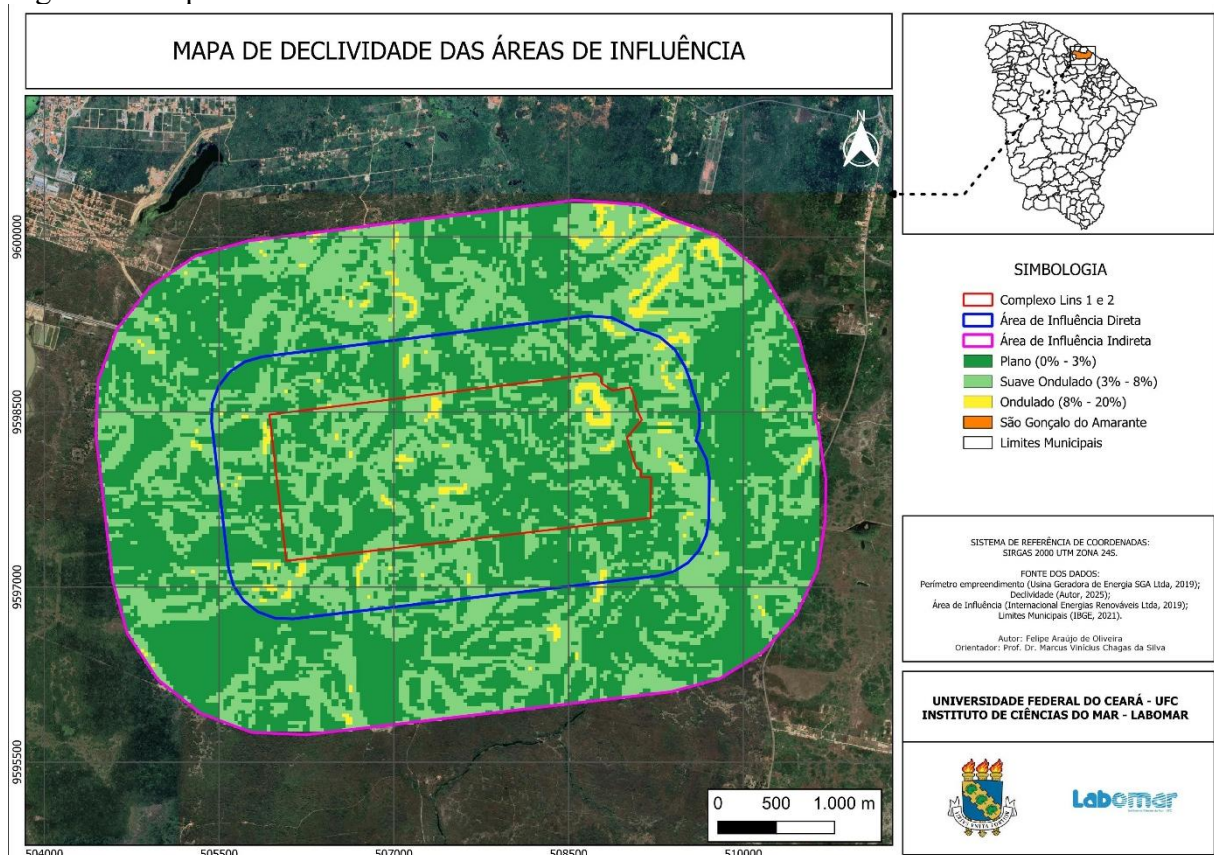
Tabela 7 - Classificação da declividade encontrada na área estudada

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 18,24

Fonte: Autor, 2025

Com os valores de declividade reclassificados, observa-se que para a metodologia escolhida os valores obtidos não se encaixam na escala numérica de 0 a 1, na qual optou-se pela normalização dos dados através da equação descrita anteriormente. A seguir pode-se observar o mapa construído para este índice (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de Declividade das Áreas de Influência



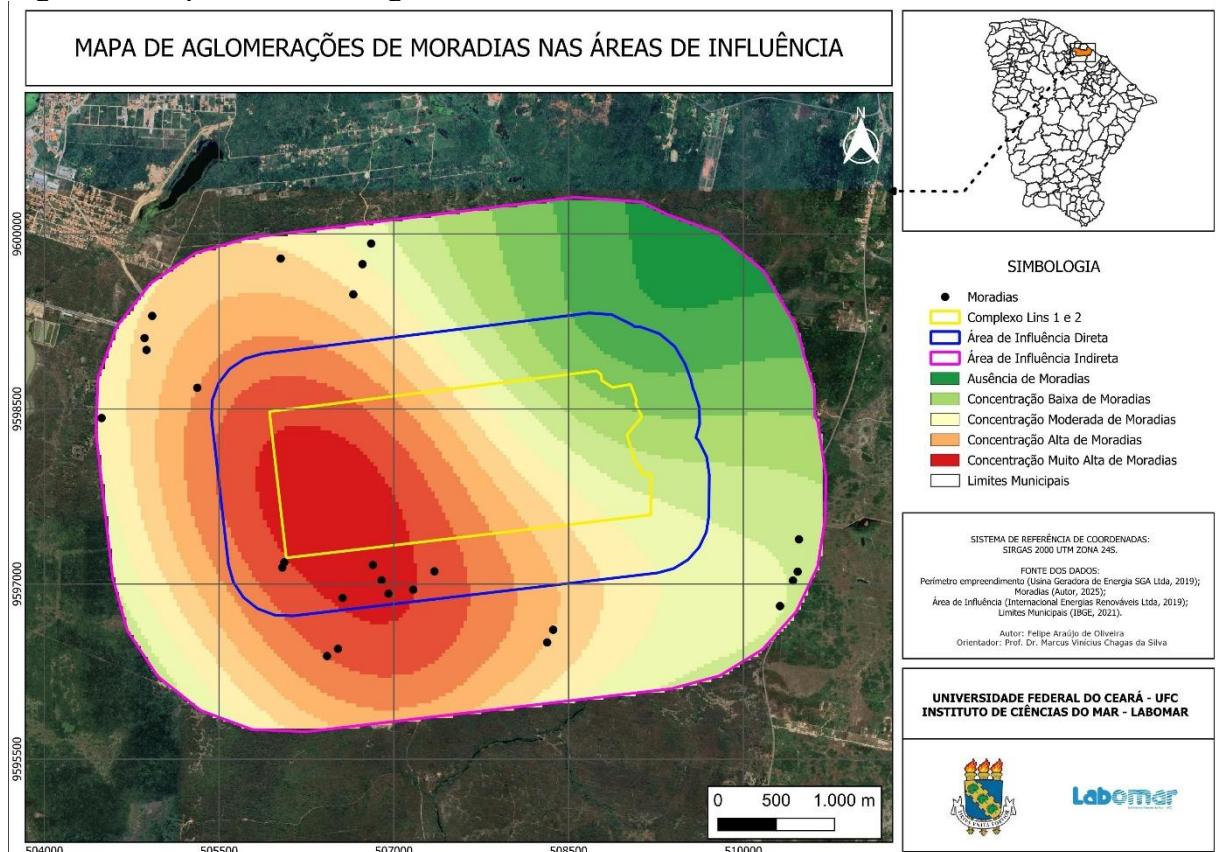
Fonte: Autor, 2025

- Moradias

Para o critério de moradias, foi levado em consideração a aglomeração das estruturas dentro da área estipulada para o trabalho, onde as áreas que possuem a maior aglomeração são consideradas mais vulneráveis à degradação. A metodologia para construção dos dados desse critério teve como primeira etapa o georreferenciamento das residências através de imagens de satélite e do Diagnóstico do Meio Socioeconômico presente no Estudo de Impactos Ambientais do Complexo Solar.

Foram encontradas 10 residências dentro dos limites da AII do empreendimento. A partir dessa informação, foi feito um arquivo raster através de uma ferramenta de mapa de calor pela Estimativa de densidade Kernel presente no software Qgis versão 3.34.6. Como o valor construído inicialmente para este critério está fora do intervalo satisfatório para a metodologia utilizada, foi necessário normalizar os dados com a mesma forma do critério de declividade. A seguir, pode ser observado o mapa de calor contendo na área de cor vermelha, a maior aglomeração de residências e assim, constituindo um maior grau de vulnerabilidade (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de calor do aglomerado de moradias



Fonte: Autor, 2025; Internacional Energias Renováveis Ltda, 2019

## 5.2 Combinação de Critérios

Com os valores dos pesos de cada variável definida e os seus respectivos dados rasterizados produzidos, com valores dentro do intervalo de 0 a 1, a próxima etapa foi combinar todas essas informações utilizando a equação de Combinação Linear Ponderada, gerando um plano de informações correspondendo ao mapa de vulnerabilidade ambiental, com valores apresentados em faixas de amplitude constantes.

Os dados obtidos na combinação dos critérios variam desde o valor mais baixo (0,27), correspondendo a níveis menores de vulnerabilidade, até o valor maior (0,86), correspondendo a níveis maiores de vulnerabilidade, não alcançando os extremos inferiores e superiores, mantendo assim, a característica da metodologia com a compensação entre os critérios a partir da distribuição de pesos, ou seja, um peso menor de um critério foi compensado por um peso maior presente em outros critérios.

A classificação foi dividida em 5 classes, são elas: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. Os valores correspondentes a cada classe estão dispostos na Tabela 8, onde é possível ver os limites máximos e mínimos de cada uma das classes.

Tabela 8 - Quadro de valores da vulnerabilidade produzidas na combinação dos critérios

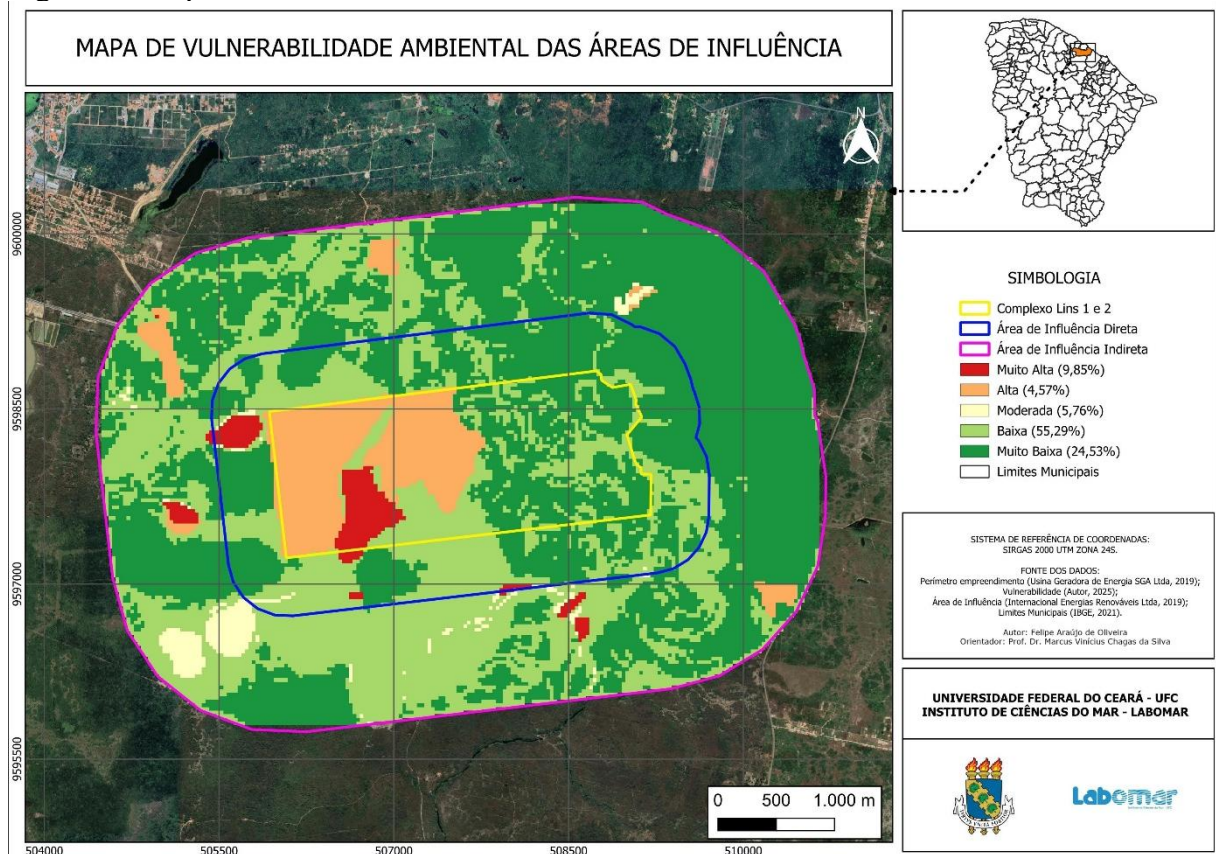
<b>Grau de vulnerabilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>Intervalos</b>
Muito Baixa	552,96	24,53	0,27 - 0,39
Baixa	1.246,23	55,29	0,39 - 0,51
Moderada	129,87	5,76	0,51 - 0,63
Alta	102,96	4,57	0,63 - 0,74
Muito Alta	221,94	9,85	0,74 - 0,86

Fonte: Autor, 2025

O mapa com as classes foi confeccionado no Software Qgis versão 3.34.6, utilizando o um gradiente de cores que vai do verde (menor grau de vulnerabilidade) até a cor vermelha (maior grau de vulnerabilidade) com objetivo de facilitar o entendimento das análises das classes de níveis do risco de degradação, com respectivas distribuições espaciais, o que pode auxiliar na condução de ações de planejamento na área.

O mapa temático apresenta as classes de nível da vulnerabilidade ambiental das áreas de influência do Complexo Lins 1 e 2 (Mundo Novo) contendo: a faixa de vulnerabilidade Muito Alta de maiores valores sendo representada por exclusivamente por corpos hídricos; a faixa de vulnerabilidade Alta sendo representada por pastagens e usos múltiplos da terra (cultura, desmatamentos, áreas de empréstimo, solo exposto); a faixa de vulnerabilidade Moderada sendo representada por corpos hídricos, áreas de empréstimo e planícies lacustres; a faixa de vulnerabilidade Baixa sendo representada por área de formação savânica e campestre e áreas de proteção permanente; e a faixa de vulnerabilidade Muito Baixa sendo representada por áreas de formação florestal, terrenos planos e os demais critérios (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de Vulnerabilidade Ambiental



Fonte: Autor, 2025

Pode-se observar que os valores encontrados em sua grande maioria estão associados ao grau de vulnerabilidade baixa com cerca de 55% da área total, em contra partida, das classes mais críticas a vulnerabilidade muito alta representou a maior área com cerca de 9% de presença. Isso mostra que os corpos hídricos envolvidos nessa classe, podem sofrer diretamente com as características dos ambientes adjacentes, principalmente quando se trata de descampados ou área com pouca vegetação.

Pode-se observar também que maior concentração das classes mais vulneráveis estão localizadas à oeste do perímetro do empreendimento, que são área mais antropizadas, com presença massiva de diversos tipos de cultura, e ambientes cuja a vegetação já sofreu com algum tipo de alteração.

Para o recorte da área diretamente afetada, os valores encontrados se alteram, onde apenas as classes vulnerabilidade muito baixa, vulnerabilidade baixa, vulnerabilidade alta e vulnerabilidade muito alta foram identificadas. Levando em consideração que o perímetro do empreendimento possui cerca de 393,18 hectares, as áreas encontradas apresentam porcentagens e dimensões que necessitam de uma melhor análise da viabilidade de implantação

do empreendimento no local, se possui ferramentas mitigadoras suficientes, eficazes ou se os impactos condizem com a realidade (Tabela 9).

Tabela 9 – Áreas de vulnerabilidade referentes ao perímetro do empreendimento

<b>Grau de vulnerabilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Muito Baixa	118,95	30,25
Baixa	100,77	25,63
Alta	144,52	36,76
Muito Alta	28,94	7,36

Fonte: Autor, 2025

A Área Diretamente Afetada, por sua vez, obteve a maior área dentro de seu perímetro relacionada ao grau de vulnerabilidade Alta, correspondendo a um percentual de 36,76% com cerca de 144,52 hectares. Esse dado demonstra que o empreendimento está sendo preterido a uma área bastante vulnerável e que necessitaria de uma avaliação de conformidade junto com outros locais propostos.

Em contra partida, observa-se que o grau de vulnerabilidade Muito Alta obteve a menor área com cerca de 28,94 hectares ocupando uma área de 7,36 %, o que indica que os demais graus de vulnerabilidade possuem bastante relevância quando comparado a maior área encontrada apesar de possuírem menor grau de vulnerabilidade.

Em um ambiente com essas características, podem ser identificados impactos referentes principalmente a corpos hídricos por meio do assoreamento, além de ambientes susceptíveis a erosão por falta de um solo com boa capacidade de suporte. Vale destacar também que esta região está designada para a implantação de outros empreendimentos do ramo de energia renovável e que se faz necessário essa avaliação mais aprofundada quanto a vulnerabilidade da região.

## 6 CONCLUSÃO

Com o mapa de vulnerabilidade construído e a identificação das áreas que o compõem é fácil visualizar que principalmente a oeste do perímetro do empreendimento é composto por uma Vulnerabilidade Alta que precisa de atenção redobrada quanto a identificação dos riscos, impactos, planos e programas ambientais no EIA. Essa identificação destaca que o empreendimento foi construído, em grande parte, em uma área bastante

vulnerável e que necessitaria fazer uma avaliação da viabilidade de manutenção do empreendimento nesse mesmo espaço.

Com a identificação das áreas vulneráveis, é possível estabelecer procedimentos de implementação dos planos e programas adaptados para as características da região e até mesmo identificar a necessidade de mudança para suas alternativas locacionais através da mesma metodologia aplicada nessa monografia. Os mapas gerados aqui, podem auxiliar a estruturação do próprio empreendedor no que diz respeito as decisões tomadas pelo mesmo e aos órgãos competentes pelo licenciamento ao conseguirem visualizar ambientes vulneráveis a implantação de empreendimentos com grau de poluição elevado.

Vale destacar que a vulnerabilidade abordada no estudo está vinculada aos riscos de acidente nas etapas de implantação e operação do complexo solar, o que demonstra a falta de padronização nas solicitações por parte da SEMACE através do Termo de Referência. O TR deve ser uma ferramenta utilizada para definir os aspectos a serem analisados pelo corpo analítico do órgão ambiental de forma consistente com o que o documento solicita.

Atualmente o Complexo Lins 1 e 2 está na etapa de implantação e prestes a começar a operar, o que corrobora que este tipo de análise da vulnerabilidade abordada neste trabalho, auxiliaria tanto os profissionais que produziram o estudo, identificando os impactos com maior facilidade, criando medidas mitigadoras e alocando os respectivos planos e programas, quanto os analistas do órgão licenciador que poderiam tecer diretrizes mais rígidas ou até mesmo impedir que a implantação ocorra neste local.

Com base nisso, é importante também, recomendar diretrizes mais eficazes, não rígidas, em relação a implantação do empreendimento em locais de distintas vulnerabilidades e ações que possam auxiliar na evolução dos estudos ambientais e das análises desses estudos. Considerando o foco da vulnerabilidade no estudo do complexo em riscos de acidentes, sugere-se que nos Termos de Referências sejam padronizados a solicitação da produção deste tópico considerando tanto a Vulnerabilidade Ambiental quanto a Vulnerabilidade Social deixando à critério dos profissionais das consultorias a definição de critérios de acordo com a realidade da região em que se pretende realizar o estudo.

Outra sugestão é a padronização da solicitação do estudo de vulnerabilidade para as alternativas locacionais, essa menos detalhada, pois surge a necessidade de entender o contexto de escolha da área escolhida para além dos motivos sociais e estruturais. E por fim, no contexto da disponibilidade dos estudos ambientais estarem disponibilizados na plataforma da SEMACE, surge a necessidade de sempre estarem atualizados de acordo com as versões finais após a emissão das Licenças de Implantação e Operação.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, M. et al. **Juventude, Violência e Vulnerabilidade Social na América Latina: Desafios para Políticas Públicas**. Brasília: UNESCO, BID, 2002.

ALMEIDA, L. Q. de; PASCOALINO, A. **Gestão de risco, desenvolvimento e meio ambiente no Brasil - Um estudo de caso sobre os desastres naturais de Santa Catarina**. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, v. 13, p. 2009, 2009.

\_\_\_\_\_, L. Q. de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. (Coleção PROPG Digital - UNESP). ISBN 9788579832895.

ANTUNES, P. de B. **Dano Ambiental: Uma abordagem conceitual**. Rio de Janeiro: Lumen Júris, 2000, p. 242.

AQUINO, A. R. de; LANGE, C. N.; LIMA, C. M. de; AMORIM, E. P. de; PALETTA, F. C.; FERREIRA, H. P.; BORDON, I. C. A.; ALMEIDA, J. R. de; GOMES, M. A. U. G.; ZAMPIERI, M. C. T.; OLIVEIRA, M. J. A. de; CORREIA JUNIOR, P. de A.; SOUZA, R. R. de; MATTIOLO, S. R.; RODRIGUES, S. G. **Vulnerabilidade ambiental**. p. 15-28. Vulnerabilidade ambiental. São Paulo: Blucher, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 30841-30844, 22 dez. 1997.

BURSZTYN, M. A. **Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade**. Editora Garamond, 2018.

CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O.; LORENTZ, J. F. **Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão**. Informática Pública. v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CARTIER, R.; BARCELLOS, C.; HÜBNER, C.; PORTO, M. F. **Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação de injustiça ambiental**. Caderno de Saúde Pública, v. 25, n. 12, p. 2695-2704. 2009.

CARVALHO, D. W. de; CAPPELLI, S.; LECEY, E. L. da S. **Sistema constitucional brasileiro de gerenciamento dos riscos ambientais**. Revista de Direito Ambiental. Ano 14, no 55. São Paulo: Revista dos Tribunais, julho-setembro 2009, p. 60-61.

CARVALHO, G. O. T. de; SALVIO, G. M. M.; FIGUEIREDO, M. do A. **Vulnerabilidade e fragilidade ambiental em unidades de conservação: uma revisão sistemática**. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 35, n. 81, p. 611, 2025. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2025v35n81p611. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/35777>. Acesso em: 17 jan. 2026.

CEARÁ. Lei nº 15.773, de 10 de março de 2015. Altera a estrutura organizacional básica da administração pública estadual, extingue o Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente (Conpam) e vincula a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Semace) à Secretaria do Meio Ambiente (Sema), e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Ceará**, Fortaleza, CE, 10 mar. 2015. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/titulos-de-utilidade-publica/item/3505-lei-n-15-773-de-10-03-15-d-o-10-03-15>. Acesso em: 15 jan. 2026.

COMUM, N. F. Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. **Rio de Janeiro: FGV**, 1991.

COSTA, F. H. S.; PETTA, R. A.; LIMA, R. F. S.; MEDEIROS, C. N. **Determinação da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Potiguar, Região de Macau (RN), Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 58, n. 2, p. 119-127. 2006.

CREPANI, E. et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, DF: CONAMA, 1986. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=745](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745). Acesso em: 16 jan. 2026.

DAVIS, I. **Assessing community vulnerability**. In: Uk Idndr Committee Medicine in The International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR). Research preparedness and response for sudden impact disasters in the 1990s. Londres: UK IDNDR Committee, 1994. p. 11-3

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: user's guide**. Worcester: Clark University. 1997.

ELKINGTON, J. **Canibais com garfo e faca**. São Paulo: Makron Books, 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10ª reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

\_\_\_\_\_. - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Risco e impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/manejo/avaliacao-de-risco/risco-e-impacto-ambiental>. Acesso em: 17 jan. 2026.

FALCÃO, E. C. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista - PB**. 2013. 126f. (Tese de Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2013. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/jspui/handle/riufcg/28007>. Acesso em: 10 de mar de 2025

FIGUEIREDO, M. C.B. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2010.

FREIRE, W. **Direito Ambiental Brasileiro**. 2a ed. Rio de Janeiro: Aide, 2000, p. 23.

GODOY, A. V. de. **A eficácia do licenciamento ambiental como um instrumento público de gestão do meio ambiente**. Brasília: OAB editora, 2005, p. 10.

KATINSKY, M. **Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems**. 1994. MsC Thesis, University of Wisconsin-Madsin - USA, 1994.

LAGO, A.; PÁDUA, J. A. **O que é ecologia**. São Paulo: Brasiliense, 1984.

MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 19ª ed. São Paulo: Malheiros, 211.

MAPBIOMAS – **Coleção 9 da série anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2023. através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em 01 de jun de 2025.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. **Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares**. Ambiente Construído, v. 11, p. 173-187, 2011.

MARTINS, R. M.; BENJAMIN, A. H. V.; MILARÉ, É. **Regime Jurídico da Licença Ambiental**. Revista de Direito Ambiental. Ano 10, no 40. São Paulo: Revista dos Tribunais, outubro-dezembro 2005, p. 189.

MMA. **O que é o CONAMA - CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 2018. Disponível em: <<https://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama>>. Acesso em: 02 jul. 2025.

MMA. **Conheça o SISNAMA**. Disponível em: <[https://www.gov.br/mma/ptbr/composicao/secex/dsisnama/conheca\\_o\\_sisnama](https://www.gov.br/mma/ptbr/composicao/secex/dsisnama/conheca_o_sisnama)>. Acesso em: 2 jul. 2025

MOREIRA, C. E. S.; CARDOSO, A. M. **Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente**. Bolsista de Valor, v. 1, p. 397-402, 2010.

OLIVEIRA, C. M. F. de V. **Licenciamento ambiental**. 2012. Monografia (Especialização em Direito Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Direito, Faculdade de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, J. M. **Ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental da zona estuarina do Rio Zumbi, litoral oeste do Ceará**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia. Fortaleza, 2011.

OSBOURNE, O.; FREDERIKSEN, M. H.; JONES, M. L. Dreamer. *In*: OSBOURNE, O. **Down to Earth**. New York: Sony Music Group, 2001. Faixa 3. 1 CD.

PAULA, E. M. S. de; SOUZA, M. J. N. de. **Sistemas de informações geográficas na análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia do Rio Ceará-CE**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 63, n. 4, p. 515-525, 2011.

PAULILO, M. A. S.; BELLO, M. G. D. **Jovens no contexto contemporâneo: vulnerabilidade, risco e violência**. Disponível em: [https://www.uel.br/revistas/ssrevista/c\\_v4n2\\_marilia.htm](https://www.uel.br/revistas/ssrevista/c_v4n2_marilia.htm). Acesso em 08 jan. 2025.

PAVARINI, S. C. L.; BARHA, E. J.; MENDIONDO, M. S. Z; FILIZOLA, C. L. A; FILHO, J. F. P.; SANTOS, A. A. **Família e Vulnerabilidade Social: um estudo com octogenários**. Rev. Latino-Americano de Enfermagem. v. 17, n. 3, 2009.

RAMOS, T. F. de B.; PEREIRA, A. L. F. F.; PESSOA, E. V.; ALBUQUERQUE, C. C. de. **Análise dos Procedimentos de Licenciamento Ambiental dos Complexos De Energia Solar Fotovoltaica e Eólica no Ceará**. Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), [S. l.], v. 24, n. 2, p. 364–388, 2023. DOI: 10.35701/rcgs.v24.858. Disponível em: [//rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/858](http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/858). Acesso em: 25 fev. 2025.

ROCHA, E. C.; CANTO, J. L. do; PEREIRA, P. C. **Avaliação de impactos ambientais nos países do Mercosul**. Ambiente & Sociedade, v. 8, p. 147-160, 2005.

Ross, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto. p. 85, 1990.

\_\_\_\_\_, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. FFLCH-USP, São Paulo, n.8, p.63-74, 1994.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Oficina de textos, 2ª ed. São Paulo. 2013.

SAATY, T. L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures**. Journal of Mathematical Psychology, v.15, n.3, p. 234-281, 1977.

\_\_\_\_\_, T. L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 287p. 1980.

SANTOS, J. et al. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. DOI 10.5216/bgg. v34i2. 31730. Boletim Goiano de Geografia, v. 34, n. 2, p. 215 232, 2014.

\_\_\_\_\_, J. de O. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza CE: contribuições ao ordenamento territorial**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos**. MMA, Brasília, 2007.

SENA, J. N. **O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira - São Paulo, 2008.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informação Georeferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas-SP: Editora da UNICAMP, 2003.

SIQUEIRA, T. V. de. **Desenvolvimento sustentável: antecedentes históricos e propostas para a Agenda 21**. 2001.

SOLUÇÕES AMBIENTAIS, A. **Curso Licenciamento Ambiental**. Ambientagro Soluções Ambientais. Edição revisada e ampliada. 111 f. : il. color. 2017.

SOPAC – **Pacific Islands Applied Geoscience Commission**. SOPAC Secretariat. Disponível em: <http://www.sopac.org/evi>. Acesso em 11 jan. 2025.

SOUZA, M. J. N. **Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará**. In. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: FUNECE, 2000. p. 05-104.

SOUZA, S. D. G. D.; SOUZA, A. C. N. D.; SOUSA, M. L. M. D.; NASCIMENTO, F. R. D. **Vulnerabilidade natural à erosão como indicador de suscetibilidade à desertificação na Bacia Hidrográfica do Rio Ap**. William Morris Davis - Revista de Geomorfologia, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 41–51, 2024. DOI: 10.48025/ISSN2675-6900.v5n3.2024.655. Disponível em: [//williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/329](http://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/329). Acesso em: 20 jul. 2025.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria Técnica – SUPREN, 1977.

VIANA, M. B. **Licenciamento ambiental de minerações em Minas Gerais: novas abordagens de gestão**. 2007. 305 f., il. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

VILLA, F.; McLEOD, H. **Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision making: guidelines and applications**. Environmental Management, v. 29, n. 3, p. 335-348, 2002.

VIOLA, E. **A multidimensionalidade da globalização, as novas forças sociais transnacionais e seu impacto na política ambiental no Brasil, 1989-1995**. Incertezas de sustentabilidade na globalização. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1996.

VON ZUBEN, E. **O licenciamento ambiental e a lei complementar nº. 140/2011**. Cadernos de Direito, v. 12, n. 23, p. 11-44, 2012.

## ANEXO A - CÓDIGOS DAS CLASSES DA LEGENDA DA COLEÇÃO 9 DO MAPBIOMAS BRASIL

 <b>MAPBIOMAS</b>		Códigos das classes da legenda da Coleção 9 do MapBiomas Brasil		
COLEÇÃO 9 - CLASSES	COLLECTION 9 - CLASSES	Code ID	Hexacode Number	Color ID
<b>1. Floresta</b>	<b>1. Forest</b>	1	#f8d49	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#f8d49	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#7dc975	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#04381d	
1.4. Floresta Alagável	1.4 Floodable Forest	6	#007785	
1.5. Restinga Arbórea	1.5. Wooded Sandbank Vegetation	49	#02d659	
<b>2. Vegetação Herbácea e Arbustiva</b>	<b>2. Herbaceous and Shrubby Vegetation</b>	10	#d6bc74	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#519799	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	#d6bc74	
2.3. Apicum	2.3. Hypersaline Tidal Flat	32	#fc8114	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#ffaa5f	
2.5. Restinga Herbácea	2.5. Herbaceous Sandbank Vegetation	50	#ad5100	
<b>3. Agropecuária</b>	<b>3. Farming</b>	14	#ffefc3	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#edde8e	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#E974ED	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#C27BA0	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#f5b3c8	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#db7093	
3.2.1.3. Arroz	3.2.1.3. Rice	40	#c71585	
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	#ff69b4	
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.5. Other Temporary Crops	41	#f54ca9	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#d082de	
3.2.2.1. Café	3.2.2.1. Coffee	46	#d68fe2	
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	#9932cc	
3.2.2.3. Dendê	3.2.2.3. Palm Oil	35	#9065d0	
3.2.2.4. Outras Lavouras Perenes	3.2.2.4. Other Perennial Crops	48	#e6ccff	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#7a5900	
3.4. Mosaico de Usos	3.4. Mosaic of Uses	21	#ffefc3	
<b>4. Área não Vegetada</b>	<b>4. Non vegetated area</b>	22	#d4271e	
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	#ffa07a	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#d4271e	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#9c0027	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	#db4d4f	
<b>5. Corpo D'água</b>	<b>5. Water</b>	26	#2532e4	
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#2532e4	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#091077	
6. Não observado	6. Not Observed	27	#ffffff	