



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E
GESTÃO AMBIENTAL

ÉLIDA DO SOCORRO MONTE DA SILVA

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO ENTORNO DO CANAL DE
NAVEGAÇÃO DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ**

TUCURUÍ – PA
2025

ÉLIDA DO SOCORRO MONTE DA SILVA

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO ENTORNO DO CANAL DE
NAVEGAÇÃO DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

Coorientador: Prof.º Dr. Carlos Benedito S. da S. Soares

TUCURUÍ – PA
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

- S586a Silva, Elida do S. Monte.
Análise da fragilidade ambiental no entorno do canal de navegação da eclusa de UHE Tucuruí / Elida do S. Monte Silva. — 2025.
95 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Coorientador(a): Prof. Dr. Carlos Benedito Santada da Silva Soares
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Tucuruí, 2025.
1. Ocupação desordenada. 2. Método de análise hierárquica. 3. Uso e ocupação da terra. 4. Hidrovia Tocantins. I. Título.

CDD 620

ÉLIDA DO SOCORRO MONTE DA SILVA

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO ENTORNO DO CANAL DE
NAVEGAÇÃO DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental.

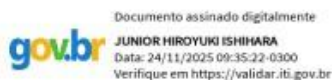
Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

Coorientador: Eng^o Dr. Carlos Benedito S. da S. Soares

Data de Aprovação 10/06/2025

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara
Orientador – PEBGA/NDAE/UFPA

Prof. Dr. Carlos Benedito S. da S. Soares
Coorientador – CENSIPAM/IFAM

Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa
Examinador Interno - PEBGA/NDAE/UFPA

Prof. Dr^a. Danielle Gomes da Silva Listo
Examinador Externo – CFHC/UFPE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a quem eu recorro para manter a calma e equilíbrio, sabedoria e discernimento em busca sempre de manter a paz para lidar com a vida, com as pessoas e com as circunstâncias.

A minha família de origem, mãe, pai, avó e irmã, que contribuíram desde a infância para formação da pessoa que me tornei.

A minha família que construí — meu esposo, Frank, por todo o apoio, por acreditar na minha capacidade de chegar até o fim, e nossa filha, Helena — minha motivação de parar se necessário e de continuar sempre.

Especialmente à nova geração da nossa família, minha filha Helena e meus sobrinhos Kalil, Antonella, Gabriella e Beatriz, lembrem que vida é feita de oportunidades e dificuldades, basta observar qual desses pontos irá conduzir a vida de vocês.

Aos profissionais da educação que passaram pela minha jornada ao longo desses anos e que somaram na minha trajetória com palavras, gestos, atitudes e conselhos. Em especial, às professoras Maria do Céu Luz, Selma Braga, Veridiana Pompeu, Janete Gaia e Elizabeth Souza.

A parceria profissional e pessoal da minha ex-aluna e amiga, engenheira florestal Soliane Mezzono, compartilhamos bem mais que trocas profissionais ao longo dessa jornada. Ao engenheiro florestal Júlio Ribeiro pela produção das cartas imagem que estão no trabalho.

Ao NDAE e todo corpo docente que contribuiu para a minha jornada acadêmica com grande competência e profissionalismo.

Ao professor orientador Dr. Júnior Ishihara que aceitou me conduzir pela estrada do conhecimento, obrigada pelo incentivo, compreensão e respeito pelo meu trabalho. Minha gratidão!

Ao professor coorientador Dr. Carlos Benedito Soares pela orientação extremamente atenciosa e detalhada na produção da metodologia da dissertação, sua expertise contribuiu grandemente no meu trabalho.

Obrigada!

RESUMO

A análise da fragilidade ambiental no entorno do canal de navegação da eclusa da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, no estado do Pará, se justifica pela crescente ocupação desordenada na área, que vem intensificando os impactos sobre o meio ambiente, região em questão apresenta elevada importância estratégica para o transporte hidroviário, sendo parte da Hidrovia Tocantins-Araguaia, e abriga diversas comunidades que se instalaram de forma não planejada. O objetivo geral do trabalho é realizar uma análise da fragilidade ambiental nesse entorno, considerando os efeitos do uso e ocupação da terra sobre a integridade da área. A metodologia adotada baseou-se no método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) que permitiu a ponderação dos critérios de declividade, uso e cobertura da terra e a área legal, possibilitando a geração de cartas temáticas e a classificação das áreas segundo graus de fragilidade. Demonstrando assim um avanço significativo da ocupação humana sobre áreas ambientalmente frágeis, e que essas ocupações estão situadas em áreas com alta ou muito alta fragilidade ambiental, agravando os riscos de erosão, assoreamento e perda da biodiversidade local. Além disso, a ausência de planejamento urbano, fiscalização e políticas públicas de regularização fundiária contribui para a intensificação desses processos. Ressaltando a é urgente a adoção de medidas de ordenamento territorial, controle ambiental e promoção do desenvolvimento sustentável na região.

Palavras-chave: ocupação desordenada; método de análise hierárquica; declividade; área legal; uso e ocupação da terra.

ABSTRACT

The analysis of environmental fragility in the area surrounding the navigation channel of the Tucuruí Hydroelectric Power Plant lock, in the state of Pará, is justified by the growing disorderly occupation of the area, which has been intensifying the impacts on the environment. The region in question has high strategic importance for waterway transportation, being part of the Tocantins-Araguaia Waterway, and is home to several communities that have settled in an unplanned manner. The methodology adopted was based on the Analytical Hierarchical Process (AHP) method, which allowed the weighting of slope, land use and land cover criteria, and legal area, enabling the Generation of thematic maps and the classification of areas according to degrees of fragility. This demonstrates a significant advance in human occupation of environmentally fragile areas, and that these occupations are located in areas with high or very high environmental fragility, aggravating the risks of erosion, silting, and loss of local biodiversity. In addition, the lack of urban planning, inspection, and public policies for land regularization contributes to the intensification of these processes. It is important to emphasize that it is urgent to adopt measures for territorial planning, environmental control, and the promotion of sustainable development in the region.

Keywords: disorderly occupation; hierarchical analysis method; slope; legal area; land use and occupation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – CANAL DE CORINTO, GRÉCIA, EM 2013	19
FIGURA 2 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA ECLUSA	21
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DAS ECLUSAS SOB RESPONSABILIDADE DO DNIT	22
FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE TUCURUÍ.....	24
FIGURA 5 – VISTA AÉREA DA ECLUSA 1, DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL DA UHE TUCURUÍ.....	25
FIGURA 6 – OBRAS DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL PELA ECLUSA 1 (1981 – 1989)	26
FIGURA 7 – RETOMADA DAS OBRAS DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL, DA UHE TUCURUÍ, EM 2007	26
FIGURA 8 – ARRANJO GERAL DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL DA UHE TUCURUÍ	27
FIGURA 9 – EXPRESSÃO MATEMÁTICA DO RISCO	35
FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DA RELAÇÃO ENTRE ESSES OS ELEMENTOS.....	35
FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO PEDRAL DO LOURENÇO.....	40
FIGURA 12 – PEDRAL DO LOURENÇO É UMA FORMAÇÃO ROCHOSA LOCALIZADA ENTRE MARABÁ E TUCURUÍ NO ESTADO DO PARÁ, QUE IMPACTA NA NAVEGABILIDADE DA BACIA TOCANTINS- ARAGUAIA.....	41
FIGURA 13 – COTA DO RIO TOCANTINS, ESTAÇÃO TUCURUÍ	46
FIGURA 14 – VAZÃO DO RIO TOCANTINS (RESERVATÓRIO UHE TUCURUÍ).....	46
FIGURA 15 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
FIGURA 16 – VISTA AÉREA DA ÁREA DE ESTUDO	48
FIGURA 17 – ORGANOGRAMA COM AS ETAPAS METODOLÓGICAS PARA A ELABORAÇÃO DA CARTA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	49
FIGURA 18 – ESTÁGIOS DO PROCESSO AHP	51
FIGURA 19 – UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DO LAGO DE TUCURUÍ, PARÁ.....	52
FIGURA 20 – HIERARQUIA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL	54
FIGURA 21 – ESCALA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL	57
FIGURA 22 – DECLIVIDADE DO ENTORNO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ.....	59
FIGURA 23 – ÁREA LEGAL DE APA E APP, NO ENTORNO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ	60

FIGURA 24 – USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DO ENTORNO NO CANAL DE NAVEGAÇÃO DA UHE – TUCURUÍ.....	61
FIGURA 25 – PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DOS MORADORES DA ILHA INTERLAGOS – AMIT, DE TUCURUÍ.....	62
FIGURA 26 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO DA AMIIT	63
FIGURA 27 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO DA AMIIT	64
FIGURA 28 – BALNEÁRIO E RESIDÊNCIA LOCALIZADOS NO CANAL DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ (ÁREA DO BAIRRO NOVA MATINHA).....	65
FIGURA 29 – ÁREAS LOTEADAS E SEM COBERTURA VEGETAL.....	65
FIGURA 30 – BALNEÁRIOS LOCALIZADOS NO CANAL DA ECLUSA DA UHE TUCURUÍ.....	66
FIGURA 31 – ÁREA DE LAZER E ÁREA DE APPS	66
FIGURA 32 – ÁREA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA DO CANAL DA ECLUSA UHE - TUCURUÍ (BAIRRO NOVA MATINHA).....	68
FIGURA 33 – ÁREA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA DO CANAL DA ECLUSA UHE - TUCURUÍ (BAIRRO NOVA MATINHA II)	69
FIGURA 34 – ÁREA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA DO CANAL DA ECLUSA UHE - TUCURUÍ (BAIRRO NOVA MATINHA III).....	70
FIGURA 35 – ÁREA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA DO CANAL DA ECLUSA UHE TUCURUÍ (BAIRRO SÍTIO DEUS É GRANDE - I).....	71
FIGURA 36 – ÁREA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA DO CANAL DA ECLUSA UHE TUCURUÍ (BAIRRO SÍTIO DEUS É GRANDE - II).....	72
FIGURA 37 – ÁREA DE OCUPAÇÃO DESORDENADA DO CANAL DA ECLUSA UHE TUCURUÍ (BAIRRO SÍTIO DEUS É GRANDE - III)	73
FIGURA 38 – FRAGILIDADE AMBIENTAL DO ENTORNO NO CANAL DE NAVEGAÇÃO ECLUSA DA UHE TUCURUÍ.....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DADOS GERAIS DE TODAS AS ECLUSAS DO BRASIL, SOB RESPONSABILIDADE DO DNIT	22
TABELA 2 – ESCALA DE SAATY COM OS 9 PESOS FUNDAMENTAIS DE JULGAMENTO COMPARATIVO	54
TABELA 3 – PARÂMETROS QUE SERÃO UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DA MATRIZ PAREADA	55
TABELA 4 – MATRIZ CALCULADA A PARTIR DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO	56
TABELA 5 – PESOS DOS COMPONENTES DA MATRIZ DE COMPARAÇÃO PAREADA DOS PI'S.....	56
TABELA 6 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO PAREADA DOS PI'S.....	56
TABELA 7 – INTERVALOS DE DECLIVIDADE COM RESPECTIVAS DENOMINAÇÕES DAS CLASSES ..	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHIMOR	Administração das Hidrovias do Amazônia Oriental
AHITAR	Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia
AHP	Analytical Hierrchy Process
AMIIT	Associação dos Moradores da Ilha Interlagos
ANM	Agência Nacional de Mineração
ANTAQ	Agência Nacional de Transporte Aquaviário
APAs	Áreas de Proteção Ambiental
APPs	Áreas de Preservação Permanente
BIT	Banco de Informações de Transporte
CGMAB	Coordenação Geral de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPAOR	Capitania dos Portos da Amazônia Oriental
DAQ	Diretoria de Infraestrutura Aquaviária
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil
ENERAM	Comitê Coordenador de Estudos Energéticos da Amazônia
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GEE	Gases de Efeito Estufa
HIS	Habitação de Interesse Social
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio ambiente dos Recursos Naturais e Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MCID	Ministério das Cidades
MDR	Ministério de Desenvolvimento Regional
MME	Ministério de Minas e Energia
NORMAM	Normas da Autoridade Marinha
MTR	Ministério dos Transportes
OLI	Operational Land Imager
PAC	Plano de aceleração do Crescimento
PDC	Plano Diretor da Cidade
PI	Plano de Informação
PORTOBRAS	Empresa de Portos do Brasil
PPO	Ponto de Parada Obrigatória
RDS	Reservas de Desenvolvimento Sustentável
RIM	Registro de Inscrição Marítima
ROIs	Regions of Interest
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
TCU	Tribunal de Contas da União
TM	Thematic Mapper
UC	Unidade de Conservação
UHE	Usina Hidrelétrica
USGC	Serviço Geológico dos Estados Unidos
ZEIS	Zonas Especiais de Interesse Social

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Barragens e Eclusas	16
2.1.1 Conceito de Barragem e Eclusas	16
2.1.2 Histórico das Barragens	17
2.1.3 Funcionamento de uma Eclusa	19
2.1.4 Eclusas do Brasil	21
2.2 Barragem e eclusa de Tucuruí	23
2.2.1 Histórico da construção da eclusa de Tucuruí	25
2.2.2 Caracterização da eclusa de Tucuruí	27
2.3 Regularização em áreas de eclusa	27
2.4 Ocupação não planejada	30
2.4.1 Uso e ocupação de terras às margens dos cursos d'água	30
2.4.2 Áreas de risco	32
2.5 Fragilidade Ambiental	36
2.5.1 Impactos ambientais em hidrovias de eclusas	37
2.5.2 A hidrovia Tocantins-Araguaia e suas implicações	39
2.5.3 Mudanças climáticas e vulnerabilidade aos riscos	41
2.5 O método de análise hierárquica	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 Caracterização da área de estudo	45
3.1.1 Identificação e localização da área de estudo	46
3.2 Etapas metodológicas	49
3.2.1 Etapas do Método AHP	50
3.2.3 Coleta e validação de dados	51
3.2.4 Estruturação da hierarquia de decisão	53
3.2.5 Construção da Matriz de Comparação Pareada	54
3.2.6 Priorização das alternativas e definição das classes de fragilidade ambiental	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 Carta de declividade, carta de área legal e carta de uso e ocupação do solo.	58
4.1.1 Processo de ocupação da área e formação da AMIT – Associação Dos Moradores da Ilha Interlagos	61

4.3.2 Diagnóstico <i>in loco</i> da ocupação da área de estudo -----	65
4.4 Carta de Fragilidade Ambiental-----	74
4.4.1 Identificação dos fatores de fragilidade ambiental no entorno da área de estudo	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS -----	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	83
APÊNDICE A – PESOS PARA MATRIZ AHP-----	94

1 INTRODUÇÃO

As barragens são estruturas fundamentais para a gestão de recursos hídricos, desempenhando papéis cruciais em diversas áreas, como armazenamento de água, controle de enchentes/inundações, irrigação agrícola, abastecimento urbano, geração de energia hidrelétrica e recreação.

Já as eclusas são estruturas essenciais para o transporte fluvial, permitindo que embarcações superem variações de nível de água em rios, canais e lagos desempenhando um papel crucial na facilitação da navegação em vias navegáveis interiores.

Cunha *et al.* (2018) destacam que a funcionalidade de uma eclusa reside principalmente em permitir a navegação em cursos de água onde existem obstáculos às embarcações. Fazendo assim com que as barragens eclusadas representem uma evolução importante na engenharia, combinando os benefícios das barragens tradicionais com a funcionalidade das eclusas, essas estruturas multifuncionais desempenham um papel importante na gestão de recursos hídricos e na facilitação da navegação em rios e canais.

Um exemplo notável de barragem eclusada é a Barragem de Yichang, localizada no rio Yangtzé, na China, esta barragem é a maior barragem eclusada do mundo, com um sistema de cinco eclusas duplas e uma capacidade de transposição de até 10 milhões de toneladas de carga por ano, a construção da barragem objetivou a geração de energia, reduzir o número de inundações e possibilitou a navegação ao longo de centenas de quilômetros do rio. (Berbieri, 2018)

De acordo com Pompermaya (2014), o Brasil se destaca por sua extensa costa marítima e diversos rios caudalosos, propícios à navegação, entretanto, esse não é o meio mais utilizado no país para a movimentação interna de cargas. Mesmo havendo um elevado potencial para se aproveitar os rios e lagos no interior do país para escoar a produção agrícola e mineral.

Já Dantas (2023) destaca que a região norte é sem dúvida a que mais se aproveita do potencial dessa matriz de transportes, sendo o principal meio de locomoção, muito influenciada pelo Amazonas e seus rios navegáveis.

Segundo Sayão e Mello (2015), com o objetivo de evitar os erros do passado e garantir o uso múltiplo dos recursos naturais, foi sancionada, em janeiro de 2015, a Lei nº 13.081¹ que passou a reger o aproveitamento de hidrelétricas com sistemas de transposição de embarcações.

No caso de Tucuruí, a construção da barragem, concluída em 1984, inviabilizou o transporte fluvial que existia entre Marabá e o litoral, porém, a construção da eclusa estava prevista desde o seu projeto original de modo a garantir a navegabilidade do rio até Belém. Entre obras e paralizações as eclusas de Tucuruí foram inauguradas em 30 de dezembro de 2010, conforme:

Na última terça-feira (30) o Governo Federal, na presença do presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, e do diretor-geral do DNIT, Luiz Antonio Pagot, inaugurou as Eclusas do Tucuruí, no rio Tocantins. O empreendimento viabilizará a navegação nos 495 quilômetros entre Marabá e Vila do Conde. A conclusão das obras das Eclusas representa um salto no desenvolvimento dos Estados do Pará e Tocantins, pois proporcionará o avanço de riquezas, negócios, investimentos e arranjos produtivos. O sistema de Transposição de Desnível de Tucuruí se tornará o canal de escoamento de produção da mineradora, ao mesmo tempo em que receberá o carvão importado de outros países (DNIT, 2010).

A relevância do assunto escolhido está na importância da eclusa da UHE Tucuruí, caracterizada como a maior do Brasil e com um elevado potencial de sistema de carga, possuindo a capacidade de transporte de comboio de 150 metros com capacidade de 6 toneladas (DNIT, 2010). E razões que levaram a escolha do tema estão relacionadas ao processo de ocupação desordenada que vem ocorrendo ao longo de seu canal intermediário e riscos que isso pode acarretar.

O estudo tem como objetivo geral demonstrar a análise da fragilidade ambiental no entorno do canal de eclusa da UHE Tucuruí, fato esse que será analisado sob o viés de múltiplos critérios, com destaque para o uso e ocupação da terra. Diante do exposto, tem-se como objetivos específicos:

- Analisar o processo de ocupação espaço temporal dos anos de 2010, 2018 e 2024 no entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí;

¹ A Lei 13.081, de 2 de janeiro de 2015, regula a construção e operação de eclusas e outros dispositivos de transposição hidroviária.

- Analisar os fatores que ocasionam a fragilidade ambiental no entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí;
- Analisar as áreas de fragilidade ambientais oriundas da ocupação da área no entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Barragens e Eclusas

2.1.1 Conceito de Barragem e Eclusas

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), as barragens têm historicamente como objetivo a construção de barreiras artificiais para o armazenamento de grandes quantidades de água oriunda das chuvas e da vazão do rio (Santos, 2023).

No âmbito da engenharia civil, uma barragem é entendida como qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, incluindo o barramento e as estruturas associadas. Essa definição abrange diversas formas e tamanhos de estruturas hidráulicas, cuja construção e operação têm impactos significativos no ambiente e na sociedade (DNIT, 2018).

Para Alves Junior *et al.* (2023), as barragens são estruturas construídas transversalmente à direção do escoamento de um rio, com a finalidade de criar um reservatório artificial para armazenamento de água, com a devida segurança.

Elas são importantes para a sociedade, porque proporcionam usos múltiplos da água (geração de energia, abastecimento de água, controle de cheias, irrigação, lazer etc.) e o desenvolvimento econômico e social de municípios, regiões e países.

De acordo com o DNIT (2010), a responsabilidade pela gestão das barragens varia conforme o propósito de sua construção. Se a finalidade da barragem for a acumulação de água, exceto para aproveitamento hidrelétrico, cabe à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos.

No caso de barragens destinadas à geração hidrelétrica, a responsabilidade recai sobre a entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico. Já para barragens destinadas à disposição temporária de rejeitos minerários, a entidade responsável é a Agência Nacional de Mineração (ANM) (Neves, 2018).

Por fim, quando se trata de barragens para a disposição de resíduos industriais, a responsabilidade é da entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação, cabendo ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) ou ao órgão estadual de meio ambiente. Essa distribuição de responsabilidades visa

garantir a segurança e a adequada gestão dessas estruturas, considerando seus diferentes impactos e finalidades (DNIT, 2018).

Paralelo a isso, Finger (2012), destaca que as eclusas de navegação são estruturas hidráulicas capazes de possibilitar a transposição de embarcações por diferentes desníveis, ocasionados por barreiras naturais, como corredeiras, ou artificiais, como barragens. O propósito dessa estrutura é elevar (enchimento) ou (reduzir) o nível da lâmina de água da câmara.

É fundamental garantir que o nível de lâmina da água no interior da eclusa nunca seja inferior ao calado da embarcação acrescido de uma folga, denominado colchão de água inicial. Essa precaução visa assegurar a segurança e a eficiência do processo de transposição das embarcações, evitando danos às estruturas e garantindo condições adequadas de navegação ao longo do percurso.

As eclusas são estruturas de engenharia que facilitam a navegação em cursos d'água ao permitir que embarcações superem desníveis, navegando rio acima ou abaixo em locais onde tais desníveis ocorrem. (DNIT, 2018).

Geralmente construídas em pontos como barragens, quedas d'água, corredeiras ou hidrelétricas, sua função primordial é possibilitar a transposição de obstáculos naturais ou artificiais, além de mitigar os efeitos das variações sazonais de chuva ao longo do ano. (Pimentel, 2004).

Essa infraestrutura não apenas aumenta a extensão de trechos navegáveis, mas também amplia o período no qual as embarcações podem trafegar, favorecendo assim o transporte fluvial e a conectividade entre diferentes regiões (DNIT, 2018).

Neste contexto, as eclusas das barragens têm um papel essencial no transporte nas hidrovias. Elas funcionam como escadas ou elevadores para embarcações superarem desníveis nos cursos d'água. Segundo Cunha (2018) as eclusas não são apenas estruturas chaves para o desenvolvimento e navegação de rios naturais, mas também infraestrutura estratégica para o desenvolvimento de portos.

Sendo crucial para garantir a continuidade do transporte fluvial, permitindo acesso a trechos antes inacessíveis, além de facilitar o fluxo de mercadorias, as eclusas contribuem para a integração econômica e o desenvolvimento regional.

2.1.2 Histórico das Barragens

A superação de obstáculos na navegação interior é anterior à era cristã, tendo sido iniciada pelos Romanos, Egípcios e Chineses através das barragens móveis, precursoras das eclusas. Estas civilizações, por meio de troncos de árvores, regularizavam os níveis dos rios e estabeleciam velocidades e profundidades desses cursos de água compatíveis com a navegação (Ussami, 1980).

Na Europa e Ásia, diques, canais e barragens vêm sendo há séculos utilizados na implantação de sistemas de navegação fluvial de cargas. Desde a Idade Média, chineses e ingleses navegam em seus rios e canais usando sistemas de transposição de barcos (Sayão; Mello, 2015).

O primeiro canal artificial para a navegação fluvial conhecido é o Grande Canal da China, construído no século VI, e a história relata a existência de canais no Egito, partindo do Rio Nilo, nunca encontrados. Na Europa, o canal "Navíglío Grande" ligou Milão ao Mar Adriático no século XI, e na Alemanha, o Canal de Stecknitz em 1398 (Santos, 2014).

As primeiras obras na Europa de que se tem notícia, com a finalidade de melhorar a navegação, datam do século X. Carlos Magno teria iniciado obras significativas por volta dos anos 800, visando a interligação entre as bacias do rio Reno e Danúbio (Silva, 2004).

Na França, o Rei Luís XIV construiu, nos anos 1600, o famoso Canal Real, um curso de água navegável com 240 km, para ligar o Mediterrâneo ao Atlântico. Após a Revolução, foram abolidas as referências ao período da realeza, e a obra passou a ser conhecida por Canal dos Dois Mares (Sayão; Mello, 2015).

Assim, na Europa, surgiram as primeiras eclusas pequenas e com operação rudimentar, melhorando a navegabilidade entre Florença e Pisa, na Itália, concepção essa de Leonardo da Vinci, projetando a eclusa de 2 pares de portas basculantes e sistema hidráulico de enchimento e esvaziamento, denominado de "acqua esclusa". Esse modelo foi utilizado na Itália e posteriormente na França, no Canal de Briare, construído entre 1604 e 1638 (Santos, 2014).

De seus estudos e observações, Da Vinci concluiu que a fragilidade da embarcação não poderia ser exposta à força e ao poderio da água, e propôs o modelo de eclusa, onde a entrada e saída da água eram sempre controladas de forma a evitar correntezas e ondas, projetando um sistema de canais e eclusas que resolveu o problema das enchentes na região de Milão (Santos, 2014).

Outros canais importantes foram construídos na Europa, como o Canal do Midi, do Reno ao Danúbio, o Canal do Norte, o Canal do Marne do Reno, do Reno ao Ródano, o Canal Kiel e o Canal Mittelland. Na Grécia, o Canal de Corinto (Figura 1) foi construído entre 1881 e 1893 e tem 6,3 km de comprimento, 21 m de largura e 8 m de profundidade (Santos, 2014).

Figura 1 – Canal de Corinto, Grécia, em 2013



Fonte: Lia Benthien (2013).

Antes, as estruturas utilizadas para vencer diferenças de nível em cursos d'água eram rudimentares, muitas vezes consistindo em simples barreiras móveis ou barragens improvisadas. Foi somente com o avanço tecnológico e a engenharia hidráulica do Renascimento que as eclusas começaram a ser concebidas e construídas de forma mais elaborada e padronizada.

Santos *et al.* (2023) ressalta que com o passar dos anos, as eclusas se tornaram cada vez mais sofisticadas e eficientes e atualmente são construídas com tecnologia avançada, com sistemas de controle remoto, sensores de pressão e computadores para otimizar o fluxo de água e garantir a segurança das embarcações.

2.1.3 Funcionamento de uma Eclusa

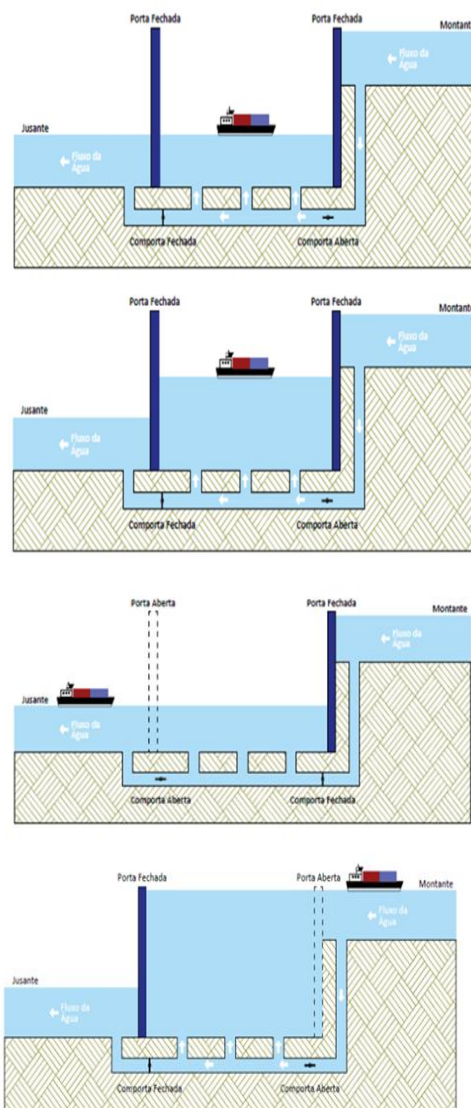
A função de uma eclusa de navegação é possibilitar a transposição do desnível por qualquer tipo de embarcação, de maneira a minimizar os custos de transporte dos produtos e evitar situações que possam colocar em risco as embarcações. Essas estruturas são compostas essencialmente por uma câmara, portas de montante e jusante, sistemas de enchimento e

esvaziamento, além de acesso, conforme descrito a seguir (Usace, 2006 *apud* Finger *et al.*, 2012):

- **Câmara:** É o reservatório onde ocorre a transposição das embarcações, delimitado por muros laterais e comportas localizadas a montante e a jusante.
- **Portas:** Posicionadas a montante e a jusante, permitem a entrada e saída de embarcações após a estabilização do nível da água.
- **Acesso a montante e jusante:** Refere-se aos canais de aproximação das embarcações até as câmaras, demarcados pelos muros guia.
- **Sistema de enchimento e esvaziamento:** Constitui o sistema responsável pelo enchimento e esgotamento da câmara. É composto por tomada de água, condutos e válvula de adução e esvaziamento, além de um sistema de distribuição e de restrição.

As eclusas desempenham a função de sistemas de transposição de desnível para embarcações, funcionando como degraus ou elevadores em cursos d'água, onde duas comportas separam os diferentes níveis. Após a entrada da embarcação, os portões são fechados, permitindo a passagem do ponto mais baixo para o mais alto. Em seguida, a comporta de jusante é fechada e a câmara é enchida com água, elevando a embarcação até o nível do reservatório superior. Somente então a comporta de montante pode ser aberta para a saída da embarcação. No sentido inverso, para descer o rio, a embarcação entra na câmara pelo lado montante. A comporta de montante realiza o esvaziamento gradual da câmara até atingir o nível do reservatório inferior. Posteriormente, a porta de jusante é aberta para a saída da embarcação (DNIT, 2021) (Figura 2).

Figura 2 – Esquema de funcionamento de uma eclusa



Fonte: DNIT (2018).

2.1.4 Eclusas do Brasil

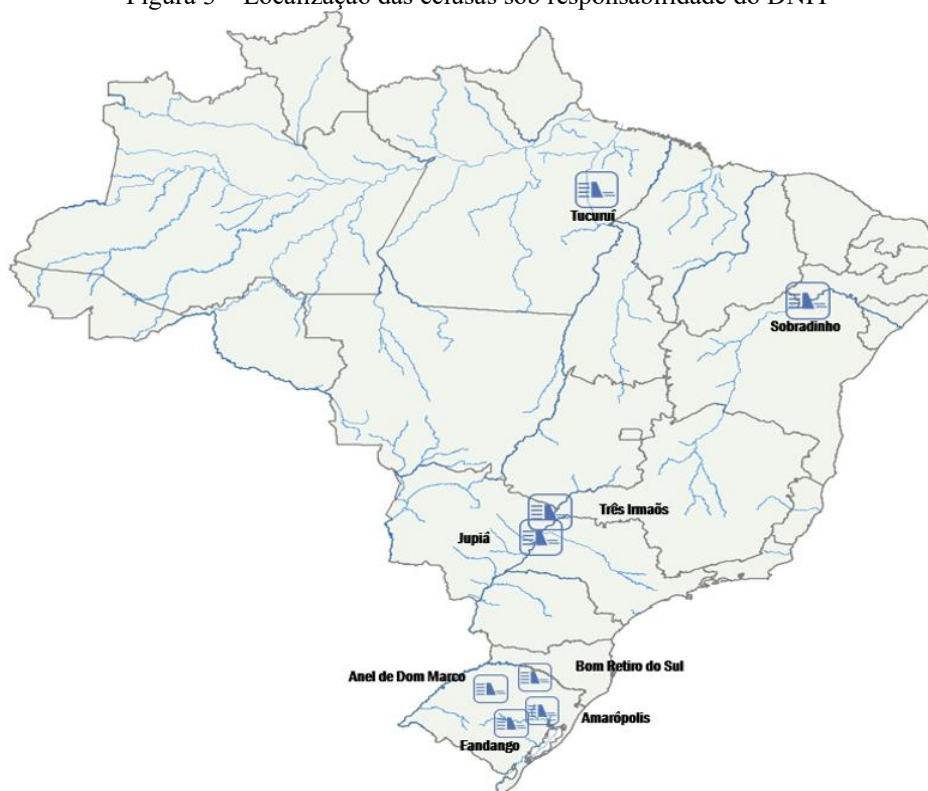
A primeira eclusa construída no Brasil foi no rio Caí, localizado no rio de mesmo nome, no Rio Grande do Sul, foi inaugurada em 1906 e permitiu a navegação fluvial de São Sebastião do Caí até Porto Alegre. No entanto, foi com a construção da Hidrovia Tietê-Paraná que o uso de eclusas se intensificou no Brasil (Santos *et al.*, 2023). Os autores destacam também a importância das eclusas para a economia brasileira, pois permitem o transporte de cargas de forma mais barata e eficiente, reduzindo custos logísticos e a emissão de gases poluentes.

Segundo o Ministério dos Transportes (MTR) no Banco de Informações de Transporte, BIT, o Brasil possui 16 eclusas: Tucuruí (PA); Sobradinho (BA), Barra Bonita (SP), Bariri (SP), Ibitinga (SP), Promissão (SP), Nova Avanhandava (SP), Jupia (SP), Três Irmãos (SP), Cebolão

(SP), Porto Primavera (PR), Amarópolis (RS), Anel de Dom Marco (RS), Bom Retiro (RS) e Fandango (RS) e São Gonçalo (RS) (Brasil, 2024).

Atualmente, existem 8 eclusas sob a responsabilidade do DNIT. Dessas, 4 estão localizadas no Rio Grande do Sul (Amarópolis, Bom Retiro do Sul, Dom Marco e Fandango), 2 em São Paulo (Jupiá e Três Irmãos), 1 no Pará (Tucuruí) e 1 na Bahia (Sobradinho), conforme ilustrado na Figura 3 e detalhado na Tabela 1 (DNIT, 2021).

Figura 3 – Localização das eclusas sob responsabilidade do DNIT



Fonte: Acervo ADQ/DNIT (2021).

Tabela 1 – Dados gerais de todas as eclusas do Brasil, sob responsabilidade do DNIT

Eclusas	Desnível máximo	Comprimento da câmara	Largura da câmara	Calado permissível da câmara
Amarópolis	5,00 m	120,00 m	17,00 m	2,50 m
Bom retiro do Sul	11,80 m	120,00 m	17,00 m	2,50 m
Anel de Dom Marco	7,10 m	120,00 m	17,00 m	2,50 m
Fandango	4,00 m	85,00 m	15,00 m	2,50 m
Jupiá	26,00 m	210,00 m	17,00 m	5,00 m
Três irmãos	50,00 m	142,00 m	12,10 m	3,50 m

Tucuruí	72,00 m	210,00 m	33,00 m	5,00 m
Sobradinho	32,50 m	120,00 m	17,00 m	2,50 m

Fonte: Elaborado pela autora com base no site do DNIT (2024).

2.2 Barragem e eclusa de Tucuruí

Orella e Congilio (2018) e Campos (2019) abordam sobre o contexto da edificação da UHE de Tucuruí, que emerge dentro do cenário histórico e geopolítico caracterizado pelo regime ditatorial que prevaleceu no Brasil entre os anos de 1964 e 1985.

Este empreendimento reflete os esforços voltados para o controle e a dominação da região amazônica, como parte de uma estratégia mais ampla visando o desenvolvimento econômico nacional. A construção da UHE de Tucuruí, localizada no curso do rio Tocantins, foi concebida com o propósito principal de suprir a demanda por energia elétrica, especialmente para o setor de produção de alumínio, em parceria com investidores estrangeiros (Campos, 2019).

Este empreendimento representa uma etapa significativa na busca pela autonomia energética e pela inserção do Brasil no mercado global, mediante a exploração dos recursos naturais disponíveis na região amazônica.

A execução da obra esteve a cargo da Eletronorte, uma subsidiária da Eletrobrás estabelecida em 1973, com foco primordial na condução do projeto de Tucuruí. A Eletronorte sucedeu ao Eneram (Comitê Coordenador de Estudos Energéticos da Amazônia), entidade instituída em 1968 pelo Ministério de Minas e Energia (MME) com a finalidade de realizar o levantamento do potencial hidrelétrico dos rios na região Norte do país. Essas informações são baseadas em dados fornecidos pelas Centrais Elétricas do Norte do Brasil - ELETRONORTE (2004), conforme citado por Campos (2019).

O represamento do rio Tocantins e a consequente formação do reservatório a montante resultaram em um considerável desnível de 69 m, exigindo a realização de estudos detalhados para identificar alternativas viáveis de transposição desse desnível. Como resultado, o projeto de aproveitamento de Tucuruí incluiu a implementação de um Sistema de Transposição de Desnível, cujo propósito é assegurar a navegabilidade contínua no trecho da hidrovia que foi interrompida pela construção da barragem. Esses aspectos estão ilustrados na Figura 4, conforme descrito por Nogueira e Lima (2016).

Figura 4 – Localização do sistema de transposição de Tucuruí



Fonte: Eletronorte (2016).

Conforme discutido por Kempla (2011), o Brasil é caracterizado por uma densa malha hidrográfica, composta por rios extensos e profundos. Estes rios são predominantemente encontrados nas regiões sul e sudeste, em vales encaixados que apresentam grandes desníveis topográficos. Estes desníveis são fundamentais para a produção de energia hidrelétrica, porém, um desafio à navegabilidade fluvial.

Diante desse cenário, é imperativo encontrar um equilíbrio entre os setores de transporte fluvial e geração de energia. Isso implica em desenvolver soluções que permitam aproveitar o potencial energético dos desníveis sem comprometer significativamente a viabilidade do transporte fluvial. Este equilíbrio é essencial para garantir o desenvolvimento, conciliando as demandas de diferentes setores da economia.

Segundo Santos (1993), o Brasil se defronta com sérias limitações de expansão de fronteiras agrícolas, dada a insuficiência de corredores ferro-hidroviários. A rede hidrográfica brasileira, conforme considerada pelo Ministério dos Transportes (MTR), abrange uma extensão total de 26.662 km.

No entanto, apenas cerca de 10.000 km dessas vias fluviais são efetivamente utilizadas para o transporte de cargas. Essa disparidade entre a extensão total da rede hidrográfica e a sua utilização real revela um significativo potencial ainda a ser explorado (Santos,1993).

Entretanto, Plec *et al.* (2011) ressalta que é necessário que, associadas às usinas, sejam construídas diversas outras obras de engenharia, como portos, sistemas de transposição, canalizações e eclusas de navegação, para que assim o país possa dispor de uma rede fluvial com adequadas características de navegabilidade.

As eclusas podem ser classificadas em função de seus desníveis, sendo divididas em baixa, média e alta queda. A classificação mais aceita é a do *United States Army Corps of Engineers* (2006), que estabelece o seguinte critério: baixa queda, para desníveis de até 9 metros; média queda, para desníveis entre 9 e 15 metros; e alta queda, para desníveis acima de 15 metros.

Kempla (2011) observa que no Brasil existe uma tendência nas barragens de eclusas de alta queda, isto é, com mais de 15 metros, devido ao aproveitamento hidrelétrico, como é o caso da eclusa da UHE de Tucuruí, conforme visualizado na Figura 5. Surgindo a necessidade de se implantar um Sistema de Transposição de Desnível com o objetivo de permitir que a área do rio Tocantins entre os trechos de Belém e Marabá se tornasse navegável.

Figura 5 – Vista aérea da Eclusa 1, do Sistema de Transposição de Desnível da UHE Tucuruí



Fonte: DNIT (2023).

2.2.1 Histórico da construção da eclusa de Tucuruí

Iniciada em 1980 pela extinta Empresa de Portos do Brasil (Portobras), a construção das eclusas de Tucuruí teve andamento normal até 1984, quando o ritmo foi reduzido

gradativamente até a paralisação, em 1989 (Figura 6). Em 1998, os serviços foram reiniciados, mas houve nova desaceleração por determinação do Tribunal de Contas da União (TCU). Reativadas mais uma vez em 2004, as obras seguiram por mais um ano. No entanto, em março de 2007, com a inclusão da obra no PAC (Plano de Aceleração do Crescimento) e a assinatura do contrato entre DNIT e Eletronorte, foi possível retomar a obra, que será inaugurada e entregue à população (DNIT, 2010).

Figura 6 – Obras do sistema de transposição de desnível pela eclusa 1 (1981 – 1989)



Fonte: Eletronorte (2007).

De acordo com Nogueira e Lima (2016), em 1997, atualizou-se o Projeto Básico, necessário à conclusão das Eclusas de Tucuruí. Em 1998, assinou-se o contrato nº 009/98-MT para a retomada das obras. Em 2004, as obras civis gradativamente desaceleraram e paralisaram totalmente em 2005. Em 02/04/2007, as obras foram novamente retomadas, com a previsão de operação do sistema de transposição em 30/06/2010. Em 30.11.2010, o Sistema de Transposição de Desnível foi inaugurado, entrando em operação em 01/07/2011 (Figura 7).

Figura 7 – Retomada das obras do Sistema de Transposição de Desnível, da UHE Tucuruí, em 2007



Fonte: Eletronorte (2007).

2.2.2 Caracterização da eclusa de Tucuruí

O arranjo final do sistema de transposição do desnível de 72 m, criado com a construção da barragem, resultou de uma análise técnica e econômica de diversas alternativas, tendo sido levados em conta aspectos da implantação das estruturas, esquemas construtivos, aspectos geológico-geotécnicos e tipos de equipamentos eletromecânicos (Comissão Mundial de Barragens, 2020).

O sistema vence um desnível total de cerca de 72 m, sendo composto por duas eclusas e um canal intermediário de 5,5 km de extensão, o qual viabiliza a realização de manobras e cruzamentos de comboios e embarcações. Cada eclusa possui uma câmara de 210 m de comprimento, 33 m de largura e 5 m de calado, sendo que ambas as eclusas podem operar de forma totalmente independente. O Canal intermediário é formado por diques de terra e tem largura mínima de 140 m e 5,5 km de extensão. A Eclusa 2, ou Eclusa de Jusante, permite a ligação entre o Canal Intermediário e o leito da HN-200 Rio Tocantins, vencendo um desnível de 35m (Figura 8) (DNIT, 2018).

Figura 8 – Arranjo geral do Sistema de Transposição de Desnível da UHE Tucuruí



Fonte: Eletronorte (2016).

2.3 Regularização em áreas de eclusa

O DNIT é responsável por administrar e gerenciar a execução de programas de construção, operação, manutenção e restauração da infraestrutura aquaviária, conforme a Lei nº 10.233, de 05 de junho de 2001, que dispõe sobre a criação do DNIT, especificamente a Diretoria de Infraestrutura Aquaviária (DAQ).

À DAQ compete administrar e gerenciar a execução de programas de construção, operação, manutenção e restauração da infraestrutura aquaviária; exercer o poder normativo relativo à utilização das vias navegáveis, eclusas ou outros dispositivos de transposição hidroviária de níveis em hidrovias situadas em corpos de água de domínio da União (DNIT, 2023).

Atualmente, existem várias leis, decretos e diretrizes que regem o setor de transporte aquaviário brasileiro, tais como:

- Lei nº 13.081/2015: Dispõe sobre a construção e a operação de eclusas ou de outros dispositivos de transposição hidroviária de níveis em vias navegáveis e potencialmente navegáveis. (Brasil, 2015).
- Lei 9.433/1997: Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; (Brasil, 1997)
- Lei 9.432/1997: Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional; (Brasil, 1997).
- Projeto de Lei 3.009/1997: Estabelece a obrigatoriedade da inclusão em eclusas de equipamento e procedimento de proteção à fauna aquática dos cursos da água quando da construção de barragens. (Brasil, 1997).

A Lei Federal nº 13.081, datada de 05 de janeiro de 2015, promove alterações nas Leis nº 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.984, de 17 de julho de 2000, 10.233, de 5 de junho de 2001, e na 12.712 de 30 de agosto de 2012. A referida legislação estabelece disposições detalhadas nos seguintes artigos: (Brasil, 2015).

Art. 1º: Determina que a construção de barragens para geração de energia elétrica em vias navegáveis ou potencialmente navegáveis deve ocorrer de forma concomitante com a construção, total ou parcial, de eclusas ou de outros dispositivos de transposição de níveis, conforme regulamentação estabelecida pelo Poder Executivo do ente da Federação detentor do domínio do corpo de água.

Art. 2º: Estabelece que deve ser garantida a separação e a independência dos aproveitamentos de cada uso do recurso hídrico no que diz respeito aos custos, tarifas, licitações, estudos, projetos, licenciamento ambiental, construção, operação, manutenção e processos administrativos, respeitadas as áreas de competência de cada órgão responsável pelos respectivos usos (Brasil, 2015).

Sendo assim, conforme previamente disposto, as questões relacionadas ao licenciamento ambiental das eclusas estão atreladas à UHE a ela interligada. A Marinha do Brasil também apresenta normas e regulamentos às atividades relacionadas às eclusas, como o

Registro de Inscrição Marítima (RIM) e a Norma da Autoridade Marinha (NORMAM) 02/DPC, que trata das embarcações empregadas na navegação interior, especificamente no capítulo 09 sobre Navegação e canais artificiais, com diversos pontos de destaque para o estudo da Eclusa de Tucuruí (Brasil, 2013).

Por exemplo, a área de segurança é demarcada pelo Ponto de Parada Obrigatória (PPO) de montante e jusante, incluindo a eclusa, sendo controlado o tráfego pela operadora da eclusa. Os canais de acesso às eclusas e a área nas proximidades das usinas hidrelétricas são considerados áreas de segurança, com limites fixados e divulgados pela administração. A permanência de embarcações miúdas, prática de esqui aquático, paraquedas rebocado, operações de mergulho amador, regatas e competições ou exposições públicas aquáticas são proibidas na área de segurança (DNIT, 2022).

Outro ponto relevante está nas normas voltadas para o tráfego no canal intermediário, como a proibição de estacionamento, fundeio e travessia de embarcações dentro do canal artificial. As NORMAM's, influenciam as atividades relacionadas às eclusas e ao transporte aquaviário. Tais como:

- NORMAM 03/DPC - Amadores, Embarcações de Esporte e/ou Recreio e para Cadastramento e Funcionamento das Marinas, Clubes e Entidades Desportivas Náuticas; (Brasil, 2013).
- NORMAM 08/DPC - Tráfego e Permanência de Embarcações em Águas Jurisdicionais Brasileiras; (Brasil, 2013).
- NORMAM 13/DPC – Normas da Autoridade Marítima para Aquaviários; (Brasil, 2013)
- NORMAM 29/DPC – Transporte de Cargas Perigosas. (Brasil, 2013).

Em julho de 2011, foram publicadas as normas de tráfego das eclusas da hidrovía do Tocantins, visando disciplinar a navegação nos trechos compreendidos entre os canais de acesso a montante e a jusante das eclusas da UHE – Tucuruí com o objetivo de orientar o funcionamento das eclusas e proporcionar condições de segurança aos que utilizarem o referido sistema de transposição. Tais normas foram elaboradas com base em informações técnicas disponibilizadas pelo DNIT, Administração das Hidrovias do Amazônia Oriental (AHIMOR), Capitania dos Portos da Amazônia Oriental (CPAOR) e Eletronorte (Marinha do Brasil, 2011).

No capítulo IV – Sobre as condições para passagem nas eclusas e canal intermediário, destaca-se o Artigo 9º, que proíbe o tráfego e fundeio de embarcações miúdas, a prática de esqui-aquático, paraquedas rebocado, operações de mergulho amador, pesca, regatas e

competições ou exposições públicas aquáticas, salvo em ocasiões especiais e com autorização do Operador da eclusa e da Autoridade Marítima. (Brasil, 2013).

2.4 Ocupação não planejada

2.4.1 Uso e ocupação de terras às margens dos cursos d'água

A história das cidades está intimamente ligada à proximidade da água. Swyngedouw (2001) aponta que podemos construir, e conseqüentemente teorizar, o processo de urbanização tendo a água como ponto de partida. Assim as áreas nas margens de corpos hídricos são de grande importância ambiental e urbanística por dois fatores: estão intimamente ligadas ao curso d'água, sendo definidas como espaços tridimensionais que contêm vegetação, solo e rio, constituindo-se das áreas mais dinâmicas da paisagem; tanto em termos hidrológicos, como ecológicos e geomorfológicos (Lima, 2008 *apud* Rezende; Araújo, 2016).

Segundo Mello (2008), as proximidades dos corpos d'água orientaram (e orientam) a estruturação das cidades ao longo da história. Isso se deve às múltiplas funções urbanas relacionadas à água, como a necessidade vital de abastecimento, razões utilitárias, bioclimáticas e topoceptivas. Assim, com o crescimento das cidades, muitos desses corpos hídricos urbanos receberam tratamento urbanístico, em detrimento da proteção e conservação ambiental.

Portanto, nota-se que a formação das cidades é a ação humana de maior impacto na superfície terrestre, sendo que o crescimento urbano das cidades brasileiras, planejado ou não, provoca impactos significativos na população e no meio ambiente, principalmente às margens de seus rios (Rezende; Araújo, 2016).

No contexto do contínuo processo de urbanização que ocorreu em território nacional, a supressão de áreas ambientais para dar lugar a novas vias, edifícios e até mesmo novas cidades foi algo recorrente. O impacto gerado por esse processo persiste até os dias atuais. Áreas de margens de rios, encostas de morros e outras regiões de fragilidade ambiental passam a ser palco de uma crescente ocupação (Croce, 2020).

Para Campelo *et al.* (2020) a ocupação humana nas margens dos rios tem definido, historicamente, a formação das cidades na Amazônia, impulsionando o processo degradante e impactante sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Esses impactos são resultantes do desmatamento de Áreas de Preservação Permanente (APPs) para uso e ocupação do solo que promovem sua compactação e o carreamento de particulados para o leito do rio, tornando-o, com o passar do tempo, assoreado, a ações dos cidadãos que destinam o esgoto

sem tratamento e resíduos sólidos para o leito dos rios, além da falta de planejamento e fiscalização dos gestores em relação à expansão das cidades.

Visando a proteção desses locais, também denominados espaços fluviais, e como forma de garantir a manutenção do ciclo hidrológico e biológico natural inerente às bacias hidrográficas, criaram-se diversas leis que estabelecem medidas para sua proteção. No âmbito federal, o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) define as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APP), como:

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

A obrigatoriedade de serem respeitadas as APP em área urbana foi regulamentada em lei a partir de 1989, com a promulgação da Lei nº 7.803, pois se tratava de outro contexto, no qual o Brasil já era predominantemente urbano. No artigo 1º, I, da referida lei, alterou-se o artigo 2º da Lei 4.771, de 1965, para estipular as delimitações das áreas de preservação permanente conforme a largura dos cursos d'água, onde foi mencionado em seu parágrafo único que no caso de áreas urbanas, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo.

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), segundo o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), incluem áreas ao redor de nascentes, encostas com declividade superior a 45º, restingas, manguezais, tabuleiros, chapadas, topos de morro e locais que podem ser definidos como tais a partir de avaliação do Chefe do Poder Executivo, quando destinadas à proteção e manutenção da biodiversidade (Brasil, 2012).

Outro marco importante para a gestão ambiental urbana brasileira foi a aprovação da Resolução nº 369 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), publicada em 2006, por regulamentar questões complexas como a possibilidade de intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente, em casos excepcionais de utilidade pública, interesse social, ou atividade de baixo impacto ambiental (Conama, 2006).

No âmbito local, Tucuruí iniciou sua política ambiental com a Lei Orgânica Municipal nº 323, apresentada como instrumento de gestão ambiental urbana. A Lei Orgânica da Cidade também instituiu o Plano Diretor da Cidade (PDC), buscando promover o controle ambiental das ações da coletividade em harmonia com suas atividades socioeconômicas. Desde 2003,

Tucuruí conta com a Política Municipal de Meio Ambiente nº 5.846, que utiliza como instrumentos de ação o Zoneamento Ecológico Econômico e o Licenciamento Ambiental Municipal (Tenório; Lima, 2013).

No que tange às Unidades de Conservação, existem oficialmente na área ou em parte da área territorial do município de Tucuruí as seguintes Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental do Lago de Tucuruí (APA do Lago de Tucuruí), a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Alcobaça (RDS Alcobaça) e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Pucuruí-Ararão (RDS Pucuruí-Ararão), criadas pela Lei Estadual nº 6.451, de 8 de abril de 2002, (PARÁ, 2002) em território sob jurisdição do Estado do Pará. Existe também a Terra Indígena Trocará, dos indígenas Assurinís, gerenciada pela Fundação Nacional do Índio (FUNAI) (PDMT, 2006).

De acordo com as leis que regem as questões ambientais no município de Tucuruí, as áreas das margens de rios, igarapés, lagoas e do reservatório da UHE Tucuruí são, todas, áreas de preservação permanente, e têm a proteção legal do Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, no Art. 3º) (Brasil, 2012).

As atividades humanas, econômicas e de lazer no lago, suas margens e entorno passam a ser disciplinadas com a criação de um mosaico de unidades de conservação ambiental: Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e duas Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDSs), estando previstas ainda a demarcação de uma Estação Ecológica e de um Refúgio de Vida Silvestre, este já em operação (MMA, 2015).

As Áreas de Preservação Permanentes (APPs) são fundamentais para a manutenção da vegetação nativa de determinadas regiões com o objetivo de manter equilibrado o uso da terra, que deve estar coberta pela vegetação original. As APPs atualmente estão submetidas a grandes extensões de degradação devido à intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, dessa forma observa-se um processo de substituição das paisagens naturais por outros usos e ocupações da terra e a conversão das áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, comprometendo o meio ambiente e, em muitos casos, afetando a disponibilidade de recursos naturais importantes à vida (Espírito Santo, 2006).

2.4.2 Áreas de risco

Os riscos socioambientais têm sido crescentemente discutidos devido ao aumento tanto em número quanto em intensidade de eventos de diversas naturezas. Segundo o Ministério das

Cidades (MCID), o nível de risco é determinado pela probabilidade da ocorrência de um perigo natural, cujas consequências variam conforme a vulnerabilidade, influenciada pelo gerenciamento (MME, 2018).

A noção de risco é amplamente difundida e objeto de debates, análises e estudos em diversos setores, como acadêmico, governamental e empresarial. O termo "risco" é frequentemente qualificado por adjetivos como: ambiental, social, tecnológico, financeiro e natural. Geralmente, está associado a acidentes naturais, segurança pessoal, saúde, habitação, trabalho, transporte, proteção da criança e do adolescente, violência, investimentos financeiros e ao cotidiano da sociedade moderna (Beck, 1992).

Existem diversas perspectivas de trabalho sobre risco, além de variadas abordagens para conduzir as diferentes tipologias. Assim, a análise de risco se divide em três categorias principais: risco ambiental ou natural, risco tecnológico e risco social. No entanto, autores como Veyret (2007) e Marandola Jr. e Hogan (2004) argumentam que essa classificação está se tornando cada vez menos utilizada, pois é cada vez mais difícil dissociar as três categorias devido à interligação existente entre elas e à complexidade envolvida.

Rocha (2019) destaca que estudos acerca dos riscos e vulnerabilidades tem se evidenciado nos últimos anos e ganhado grande importância, especialmente no que tange ao gerenciamento dos riscos de desastres por parte das entidades públicas e ao conhecimento dos riscos aos quais a sociedade está submetida ou poderá estar submetida. Tal ideia se relaciona diretamente com a problemática ambiental atual, bem como as questões socioeconômicas que caracterizam o nosso modelo de sociedade.

Segundo Girão *et al.* (2018), para entendemos que a existência de riscos associados às fragilidades e vulnerabilidades considera a necessidade da existência de, pelo menos, um dos fatores, as condições de vida da população e sua capacidade de resposta ao risco (vulnerabilidade social); o uso e a ocupação irregular dos espaços e a fragilidade natural do ambiente (susceptibilidade ao risco) e as condições físicas e fatores sociais interagindo de forma desordenada ou em desacordo com as normas de proteção ambiental e de seguridade sanitária (risco socioambiental).

Estudos realizados por Rocha e Barbosa (2023) trazem uma análise que mostram como o processo de ocupação e uso do solo, trazem impactos socioambientais que decorrem da ocupação das áreas de risco, na cidade de Teresina, Piauí, fundamentando suas análises sob a vulnerabilidade como instrumentos de estudo do espaço geográfico e constatando assim a

fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social presentes em várias zonas da cidade, principalmente nas planícies fluviais da sua área de estudo.

Já Silva *et al.* (2023) abordam em seus estudos uma análise da ocupação da terra em áreas de risco em um bairro da cidade de Manaus – AM. Estes já abordam em sua pesquisa que as áreas de risco são locais em que não se aconselha a ocupação devidos fins, uma vez que são expostas a fenômenos naturais, contudo as áreas são ocupadas.

Dessa forma, as pesquisas citadas consolidam a hipótese em torno da afirmação de que o uso e a ocupação inadequada do solo expõem a existência de suscetibilidade, gerando maior exposição aos riscos. E que principalmente, a vulnerabilidade social fomenta tudo isso, especialmente se considerarmos as condições de capacidade de resposta ao perigo pela sociedade. Reforçando assim a importância de estudos que evidenciem essas fragilidades.

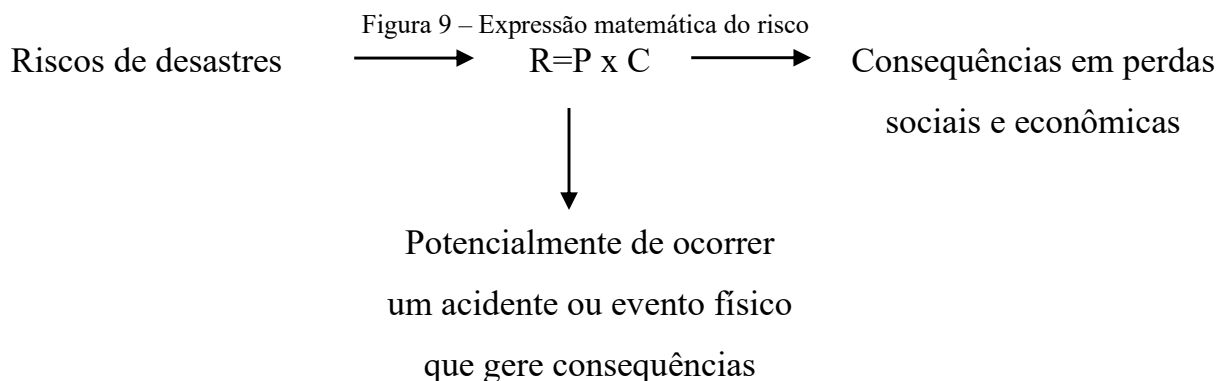
Rocha e Almeida (2019) ressaltam que o risco é uma construção social, a sua construção perpassa o entendimento de que os agentes envolvidos percebem que uma determinada ação significa um estado de perigo a si próprios, em suma, o risco é onipresente em todas as escalas de análise, bem como classes sociais e que tal se relaciona diretamente com a problemática ambiental atual, bem como as questões socioeconômicas que caracterizam o nosso modelo de sociedade.

Assim o risco surge da intenção entre a possibilidade de ocorrências de um evento prejudicial (ameaça) e a fragilidade das pessoas ou bens expostos a esse risco. Sendo assim o risco não gera suscetibilidade, mas o inverso. Perceber a existência do risco é fundamental para analisar a situação e compreender a gravidade e alcance e para que sejam adotadas práticas específicas para enfrentá-los (MDR, 2021).

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional (2021) os riscos são naturais e estão ligados a forma como a sociedade modifica o ambiente, apropria-se de seus recursos e organiza suas atividades no território. Em geral os riscos são resultados de baixo desenvolvimento socioeconômico ou de problemas não resolvidos do desenvolvimento (Romero; Maskrey, 1993). Essas ameaças podem ser resultado do processo natural, socioambiental ou tecnológico, mas o risco sempre é resultado de relações do desenvolvimento sociopolítico, cultural e econômico nos territórios susceptíveis a tais ameaças.

Para simplificar o que não é simples, consolidou-se a expressão matemática (Figura 9) em que risco de desastre (R) é a relação entre a potencialidade (P) de ocorrência de um processo

físico que gera danos (acidentes) e consequências (C) de seu impacto na vida de pessoas ou comunidades (como a perda de vida humana e os danos a estrutura, como equipamentos públicos, vias e habitações (MDR, 2021).



Fonte: Adaptado do Ministério de Desenvolvimento Regional (2021).

Porém, o foco é nas consequências, e não nas causas, deixa de considerar o contexto socioambiental no qual ocorrem os desastres e a vulnerabilidade de pessoas, bens e infraestrutura atingidos.

Entender essa dimensão “é fundamental para identificar quais opções temos para reduzir tragédias que já estão anunciadas” (Marchezini, 2015, p. 84).

Trazer a vulnerabilidade como ponto de partida para a análise dos riscos e desastres permitiu entender por que os mesmos processos físicos causam danos mais amplos e consequências mais profundas nos territórios mais pobres e menos organizados socialmente. Essa compreensão coloca o risco como resultado da interação entre a possibilidade de ocorrência de um processo físico danoso (Ameaça) e a fragilidade das pessoas ou bens em risco (Vulnerabilidade) (MDR, 2021).

Figura 10 – Representação simplificada da relação entre esses os elementos

$$\text{Risco} = \text{Ameaça} \times \text{Vulnerabilidade}$$

Fonte: Adaptado de Ministério de Desenvolvimento Regional (2021).

Os trabalhos de Wisner *et al.* (2004) apontam diferentes escalas, tempos e espaços que explicam a progressão da vulnerabilidade diante das ameaças, as causas profundas: o modelo de organização social e as ideologias políticas e econômicas de desenvolvimento que produzem e reproduzem desigualdades estruturais (como pobreza, racismo); As pressões dinâmicas: os processos que produziram o cenário de risco (como a falta de controle do uso e ocupação do solo, de investimento em habitação social, saneamento); E as condições inseguras: os elementos concretos (como moradias em áreas de risco).

2.5 Fragilidade Ambiental

Fragilidade ambiental é o resultado da combinação entre a fragilidade potencial e o uso e ocupação do solo. É uma forma de analisar as limitações e potencialidades de um ambiente, para que se possa gerir os recursos de forma eficiente e a susceptibilidade do ambiente de sofrer intervenções, ou de ser alterado, assim, quando é quebrado o estado de equilíbrio dinâmico, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de risco (Schiavo, 2016).

Segundo Sporn e Ross (2004) a desestabilização do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais quanto antrópicos. Já Genaro (2020) aborda que fragilidade ambiental é o resultado da combinação entre a fragilidade potencial mais o uso e ocupação do solo. Santos (2015) define a fragilidade ambiental como uma avaliação qualitativa das condições ambientais, apresentando o resultado das relações de conectividade e interdependência das componentes ambientais com as atividades humanas.

Referindo-se às transformações que a sociedade promove nas paisagens, Tricart (1977) afirma que o homem participa efetivamente dos ambientes onde vive modificando-os permanentemente para atender seus anseios e necessidades. Ao enfatizar a importância das relações intrínsecas entre a sociedade e a natureza, Ross (1994) ensina que as sociedades humanas não devem ser tratadas como elementos estranhos à natureza, e, portanto, aos ambientes onde vivem, ao contrário, devem ser vistas como parte fundamental do sistema de relações.

Essas interferências variam conforme o grau de desenvolvimento tecnológico e dos processos histórico-culturais, desencadeando adaptações nos sistemas ambientais para que esses possam se adequar a essas mudanças. O entendimento desse imbricado jogo de relações pode ser alcançado mediante a realização de estudos integrados que considerem a complexidade dessas interdependências numa perspectiva analítica, integradora e sintética na definição das fragilidades ambientais (Santos, 2015)

A análise da fragilidade do ambiente é uma proposta de investigação cujo princípio básico é definir os diferentes níveis de fragilidade dos ambientes naturais, modificados ou não pelas atividades antropogênicas, em face do desenvolvimento das atividades humanas (Ross, 1994).

Segundo Santos (2015) a retirada da cobertura vegetal, os assoreamentos, os aterros de corpos hídricos, a ocupação das áreas de maior declividade, das planícies fluviais, lacustres e

fluviomarinhas, o aumento da impermeabilização e da quantidade e velocidade do escoamento superficial interferem significativamente nos processos naturais, desencadeando impactos e riscos emergentes.

Nos ambientes urbanos esses problemas assumem maior visibilidade devido à escassez de espaços, aos elevados níveis de transformação antropogênica, a concentração demográfica, e a segregação territorial, configurando, em alguns territórios, as chamadas áreas de risco.

Segundo Donha *et al.* (2006) para se determinar as potencialidades dos recursos naturais é necessário um estudo dos componentes que dão suporte à vida, sendo eles: solos, relevo, geologia, água, clima e vegetação. Na análise da fragilidade, esses componentes devem ser avaliados de maneira integrada, levando em consideração as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes naturais.

Em função disso, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico-territorial, não só com enfoque socioeconômico, mas também ambiental, levando-se em consideração não apenas as potencialidades, mas, principalmente, a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas (Donha *et al.*, 2016).

A avaliação de fragilidade ambiental de uma área engloba a valoração de alguns dos atributos e características apresentados pelo ecossistema, a princípio de forma isolada e, *a posteriori*, integradamente, possibilitando que se obtenha uma percepção do conjunto. Outro, relaciona-se ao fato de que, dentre os fatores bióticos, não se deve esquecer do homem, suas interferências e o grau de modificação que estas imprimem aos ecossistemas. Considerando as crescentes tendências de urbanização e suas características, já se pode considerar a ecologia urbana como um dos ramos da ciência ecológica (Sutton; Harmon, 1977 *apud* Guapyassú; Hardt, 1998).

Assim as unidades de fragilidade potencial estão associadas aos ambientes estáveis que se encontram em condições de equilíbrio dinâmico, portanto, que foram menos afetados em sua estrutura e funcionamento pelas atividades humanas. Embora apresentem condições de ambientes estáveis, possuem instabilidade potencial qualitativamente previsível face às suas características naturais e ao desenvolvimento das atividades humanas (Santos, 2015).

2.5.1 Impactos ambientais em hidrovias de eclusas

O transporte hidroviário é o modal mais economicamente viável para o transporte de mercadorias e pessoas e o que menos causa prejuízos ao meio ambiente e em relação à quantidade de cargas transportada, o modal hidroviário é eficiente e seguro. Também emite em menor escala o GEE – Gases de Efeito Estufa, se configurando como o de menor intensidade energética e maior sustentabilidade, devendo-se levar em conta que as obras necessárias para seu desenvolvimento, devendo ser trabalhadas com o mínimo de impacto ao meio ambiente, assegurando a navegabilidade adequada dos cursos d'água considerados (Chaves *et al.*, 2014).

Devido à necessidade de adequação do DNIT à nova realidade jurídico-ambiental foi criada a Coordenação Geral de Meio Ambiente – CGMAB, com a finalidade de desenvolver e preparar os estudos para o licenciamento ambiental das atividades e empreendimento nas hidrovias onde são consideradas as atividades como o balizamento, desobstrução de canais, derrocamento/dragagem, diques, eclusas, espigões, guias corrente e sinalização, sendo que algumas destas interferências podem não necessitar de licenciamento/autorização ambiental (Junior *et al.*, 2021).

Sanchez (2008) *apud* Jesus (2021) afirmam que um dos objetivos da avaliação ambiental é a previsão das mudanças nos sistemas naturais e sociais que através de um estudo fornecerá um diagnóstico da situação atual e um prognóstico da situação futura do ambiente afetado, visando propor medidas que minimizem os impactos provocados, além do mais buscam-se informações que contribuam para avaliar os impactos ambientais.

Os trabalhos deverão apresentar compatibilidade, de tal modo que permitirão uma análise mais confiável quanto aos aspectos socioambientais tais como os recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, sedimentometria, qualidade da água, limnologia, meio físico e ecossistemas terrestres, caracterização socioeconômica, base econômica da bacia hidrográfica, políticas, planos e programas com abrangência nas bacias, impactos potenciais e medidas mitigadoras para a hidrovias (Junior *et al.*, 2021).

Segundo Almeida (2004, p. 65) implantar e operar uma hidrovias implica uma série de impactos positivos e negativos sobre o meio ambiente e sua área de influência, a despeito de estarem associados ao processo de crescimento e desenvolvimento econômico, os impactos econômicos positivos representam benefícios e os negativos são vistos como custos que devem ser considerados na análise da viabilidade econômica da implantação e operação hidroviária.

Bucher e Huszar (1995), destacam entre os impactos negativos, o aumento do risco de erosão e do assoreamento dos rios e canais, causando perda de qualidade da água e da

biodiversidade, principalmente de espécies de peixes, poluição por defensivos, resíduos urbanos, industriais ou de extração mineral, bem como por óleo combustível oriundo das próprias embarcações, introdução de novas doenças na região, diante do aumento da migração populacional induzida pela hidrovia.

2.5.2 A hidrovia Tocantins-Araguaia e suas implicações

A hidrovia pode ser entendida como uma via navegável por onde circulam barcos, utilizando rios para estabelecer as rotas. Os projetos de hidrovia consideram condições de navegação, segurança e garantia de tráfego, se possível o ano inteiro, na época da cheia e da seca. Essa via navegável é uma faixa imaginária sobre o rio, que não existe fisicamente, mas que consta nas cartas e mapas náuticos das embarcações e conseguem obedecer com precisão, orientadas pelas boias e placas de sinalização (Almeida, 2024).

Segundo a Agência Nacional de Transporte Aquaviário - ANTAQ (2013), a bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia possui uma área de mais de 960.000 quilômetros quadrados e abrange territórios dos estados do Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e Distrito Federal. É formada por diversos rios, sendo os principais o rio Araguaia, o rio Tocantins e o rio das Mortes.

A hidrovia é gerida pela Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia (AHITAR), quando forem finalizadas as obras de melhoria e viabilidade necessárias, a extensão da hidrovia poderá alcançar aproximadamente 3.000 quilômetros, atravessando as regiões Centro Oeste e Norte do país (Oliveira, 2016).

A hidrovia Tocantins – Araguaia projetada é constituída pelos rios das Mortes, Araguaia e Tocantins. No rio das Mortes, ela abrange 551 km entre Nova Xantina MT e sua foz no rio Araguaia. No rio Araguaia, ela compreende de 1230 km, entre Aranã (GO) e Xambioá (TO) e Estrito (MA). Juntos esses trechos significam cerca de 2.200 km de um canal navegável que concluído, atenderá aos estados de Goiás, Tocantins, Pará e Maranhão. Essa é a alternativa para o transporte de grãos do cerrado oriental reduz de 5.000 km de distância (Almeida, 2024).

Desde o regime militar brasileiro (1964-1984), a Bacia Tocantins-Araguaia, localizada entre as regiões Norte e Centro-Oeste do país, é alvo de projetos visando sua ocupação, integração e contribuição para o chamado “desenvolvimento” regional e nacional. O rio Tocantins, por sua vez, o principal rio junto com o Araguaia, foi historicamente utilizado para

a instalação de usinas hidrelétricas (UHEs), como as UHEs Tucuruí (PA), Estreito (TO), Serra da Mesa e Cana Brava (GO), segundo aponta Jordana Ayres (2022).

A bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia tem uma importância estratégica para o Brasil. Conforme estudos de Pereira *et al.* (2022), isso se dá em razão de sua extensão geográfica, de caráter inter-regional, ligando o centro-oeste com a Amazônia. Além disso, há grande influência de integração em decorrência da sua navegabilidade e papel estratégico na articulação dos centros produtores de *commodities* e os mercados internacionais (Pereira *et al.*, 2022, p. 180).

A hidrovía Tocantins-Araguaia é um projeto antigo de governo, cujo objetivo é ampliar a integração do país pelas águas. A ideia principal por trás da empreitada é o favorecimento de uma via navegável pelo rio para otimizar e ampliar o fluxo de grandes embarcações transportadoras de *commodities*. Entretanto, isso implica na derrocagem de uma área denominada Pedral do Lourenço (Figura 11 e 12), fragmento essencial para a viabilização dos modos de vida das populações locais e da pesca na região (Almeida, 2004).

Figura 11 – Localização geográfica do Pedral do Lourenço



Fonte: Silva (2020).

Figura 12 – Pedral do Lourenço é uma formação rochosa localizada entre Marabá e Tucuruí no estado do Pará, que impacta na navegabilidade da bacia Tocantins-Araguaia



Fonte: Silva (2020).

As eclusas de Tucuruí idealizadas para criar uma hidrovia de 2 mil quilômetros entre o Araguaia e Tocantins, exemplificam o desperdício de recursos públicos. Inaugurada há 15 anos, o prejuízo custou R\$ 2,9 bilhões em valores ajustados. Em 2024, a manutenção das estruturas consumiu R\$8,64 milhões e em 2023, o DNIT desembolsou outros R\$ 9,1 milhões. Entre 2010 e 2022, mais de R\$7,2 milhões foram gastos. Apesar de investimentos contínuos, as eclusas permanecem subutilizadas devido ao trecho “Pedral do Lourenço”, um segmento de 43 quilômetros no Rio Tocantins com afloramento rochoso que dificulta a navegação (Revista Oeste, 2025).

O Ministério de Portos e Aeroportos está empenhado em obter o licenciamento ambiental para a remoção dessas rochas, com expectativas de conclusão do processo até março de 2025. A resistência dessa obra vem dos moradores locais, que manifestam preocupações sobre os impactos ambientais e a forma como essas comunidades serão afetadas (Revista Oeste, 2025).

2.5.3 Mudanças climáticas e vulnerabilidade aos riscos

A atual crise climática tem levado a eventos extremos e desastres ambientais de grandes proporções em todo o mundo, atingindo todos os continentes. É notório que as pessoas que mais sofrem com estes eventos são os trabalhadores mais pobres, que vivem em áreas de risco, com infraestruturas deficitárias. Os estudos apontam que somente no Brasil quase dez milhões de pessoas vivem hoje nestas áreas de risco. Logo, a crise climática está posta e é sentida por toda

a população global, mas não da mesma maneira. É importante observar que no último ano testemunhamos várias situações extremas de enchentes, deslizamentos e secas severas, inclusive na Amazônia (MAB, 2024).

A mudança do clima como uma ameaça importante à segurança das barragens. “No Brasil, temos pelo menos dez mil barragens de pequeno a grandes portes. A maior parte construída com base em premissas hidrológicas pré-mudanças climáticas, ou seja, sem considerar os riscos advindos da intensificação dos eventos extremos”. Para o caso de adaptar as barragens às chuvas mais intensas, devem ser consideradas a direção das mudanças climáticas e as metodologias mais apropriadas para barragem ou sistema específico. Ele observa ainda a necessidade de investimentos em estudos hidrológicos, considerando análises mais robustas, incluindo verificação de hipóteses de estacionalidade de séries, análises de riscos e cenários das cheias máximas prováveis, para garantir que as barragens existentes sejam resilientes às mudanças climáticas (Souza, 2023).

Vulnerabilidade refere-se ao nível de reação de um determinado sistema para uma mudança climática específica. O IPCC define vulnerabilidade como “o grau de suscetibilidade de um sistema aos efeitos adversos da mudança climática, ou sua incapacidade de administrar esses efeitos, incluindo variabilidade climática ou extremos”. Vulnerabilidade é função do caráter, dimensão e taxa de variação climática ao qual um sistema é exposto, sua sensibilidade e capacidade de adaptação (Nobre, 2004).

Assim a vulnerabilidade às mudanças climáticas é a capacidade de um sistema ser afetado por eventos climáticos adversos ou a sua incapacidade de gerir esses efeitos. Essa vulnerabilidade pode variar entre comunidades, regiões, países e sociedades, e pode mudar ao longo do tempo.

Para Nobre (2004) o Brasil apresenta sensíveis vulnerabilidades e riscos às mudanças climáticas e à variabilidade climática natural que podem se apresentar como determinantes óbices ao seu desenvolvimento sustentável. Esta questão ainda não sensibilizou a comunidade científica brasileira em profundidade e o resultado disso não é assunto prioritário para políticas públicas de mitigação dos impactos adversos e adaptação.

2.5 O método de análise hierárquica

O método de análise hierárquica é um dos métodos muito utilizados e difundidos no mercado mundial, em inglês esse método é conhecido como *Analytic Hierarchy Process* sendo muito usada a sua sigla de referência AHP. Foi desenvolvido em meados da década de 1970 pelo pesquisador americano Thomas L. Saaty, quando se começava a abordar problemas

complexos sob a visão de múltiplos critérios simultâneos, seus usuários começaram a utilizá-lo, estruturando critérios, atribuindo valores e selecionando alternativas (Lyra; Corrar, 2009).

O professor se baseou em conceitos de matemática e psicologia. O fundamento do método de análise hierárquica é por decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho, fornecendo um procedimento compreensivo e racional para modelar um problema de decisão, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (Curto, 2017).

Atualmente é aplicado para a tomada de decisão em diversos cenários complexos em que pessoas trabalham em conjunto para tomar decisões e em que percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo (Bhushan; Rai, 2004). O método fornece um procedimento compreensivo e racional para modelar um problema de decisão, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências.

O processo AHP se inicia pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios ou atributos que são mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente. A partir do momento em que essa hierarquia lógica é construída, a etapa seguinte do processo AHP é avaliar sistematicamente as alternativas por meio da comparação, duas a duas, sob a ótica de cada um dos critérios ou atributos, essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação (Saaty, 2005).

Segundo Cruz e Carvalho (2003) existem algumas restrições quanto ao uso do processo AHP, dentre as quais pode-se citar a quantidade de comparações paritárias necessárias que dependendo do problema pode crescer muito rapidamente, isto é, os critérios e pesos são resultados de julgamentos humanos, não simplesmente informações matemáticas.

O AHP, portanto, não é um modelo de observação da realidade, é um modelo que converte as preferências (ou julgamentos humanos) em valores numéricos para construir um modelo de tomada de decisão. Os pesos representam a prioridade dada a cada elemento ou critério, que podem ser organizados em hierarquias. (Curto, 2017).

Considerando que a percepção humana não é capaz de analisar simultaneamente todos os critérios e preferências, o AHP permite a construção de um modelo hierárquico de pesos e critérios para auxiliar na tomada de decisão. Além disso, em problemas complexos, por existir

uma grande variedade de alternativas, não é humanamente possível analisar todas as soluções individualmente nem as comparar (Galiotto, 2014).

Segundo Vieira (2006), o método está construído sobre três princípios:

1. Construção de hierarquias: um problema complexo geralmente requer a estruturação dos critérios em uma hierarquia por ser um procedimento natural do raciocínio humano. O método AHP permite a estruturação dos critérios, sendo a estruturação em árvore a mais utilizada, na qual o critério de mais alto nível é decomposto a níveis mais detalhados.
2. Definição de prioridades: tais prioridades são definidas a partir de comparações dos elementos, à luz de determinado critério.
3. Consistência lógica: o método permite, por meio da proposição de índices, avaliar a consistência da definição de prioridades, ou seja, é capaz de verificar a consistência dos julgamentos.

As pessoas têm maior facilidade para expressar preferência entre critérios utilizando julgamentos verbais do que valores numéricos. Dessa maneira, relações entre números e termos linguísticos foram propostas como forma de apoiar os tomadores de decisão no processo de definição das prioridades (Vieira, 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Tucuruí pertence à mesorregião do Sudeste do Pará, microrregião de Tucuruí, zona do Alto Tocantins. Situado à margem esquerda do rio Tocantins, o município é banhado por este rio de sul a norte. Possui uma área territorial de 2.086,20 km², sendo 33,22 km² de área urbana e 2.095,48 km² de área rural (Pará, 2012).

A UHE Tucuruí está situada na bacia do rio Tocantins, no curso principal do rio, no estado do Pará, cerca de 7,5 km a montante da cidade de Tucuruí e a 300 km em linha reta de Belém (MME, 2018). A sede municipal localiza-se nas coordenadas 03°45'58" de latitude sul e 49°40'21" de longitude oeste, a uma altitude de 42 metros em relação ao nível do mar. O município limita-se ao norte com Baião, ao sul com Novo Repartimento, a Leste com Breu Branco, do qual é separado pelo lago de Tucuruí, e a oeste com o município de Pacajá (PDMT, 2006).

A hidrelétrica de Tucuruí está implantada na bacia Tocantins-Araguaia, que percorre 2.500 km de sul a norte, desde suas nascentes no planalto central até a foz, no estuário do Rio Amazonas (Eletronorte, 2018). O rio Tocantins e seus tributários são classificados como rios de águas claras, pobres em nutrientes, com baixa concentração de íons e carga de sedimentos (Junk *et al.*, 2020; Sioli, 1985).

Juntamente com seu principal afluente, o Araguaia, constitui uma bacia própria, ora denominado de Bacia do Tocantins-Araguaia. Nascido no planalto central brasileiro percorre grandes extensões recobertas por cerrado antes de penetrar em áreas de floresta amazônica densa, já no Estado do Pará, onde está localizada a UHE Tucuruí (CMB, 2000).

A cota média do rio Tocantins pode variar consideravelmente ao longo de seu curso, desde sua nascente em Goiás até sua foz no Pará. Essa variação ocorre devido a diversos fatores, incluindo topografia, barragens e regimes de chuva, sendo necessário consultar dados de uma estação hidrométrica em um ponto específico do rio, como da Estação Hidrométrica de Tucuruí, onde a presença da barragem afeta significativamente a cota do rio, a cota média pode ser mais alta e controlada. O reservatório funciona com a cota máxima de 74 m, com vertedouro medindo 580 m de comprimento, possuindo 23 comportas e uma capacidade de vertimento de até 110.000 m³/s de água (Eletronorte, 2018), Figuras 13 e 14:

Figura 13 – Cota do Rio Tocantins, estação Tucuruí



Fonte: SimpaHidro (2024).

Figura 14 – Vazão do Rio Tocantins (Reservatório UHE Tucuruí)



Fonte: SimpaHidro (2024).

A construção da barragem de Tucuruí no rio Tocantins teve como finalidade primordial a geração de energia elétrica. O barramento do rio e a consequente formação do reservatório a montante resultaram em um desnível de 69 metros, tornando necessários estudos de alternativas para a transposição deste desnível (Nogueira; Lima, 2016).

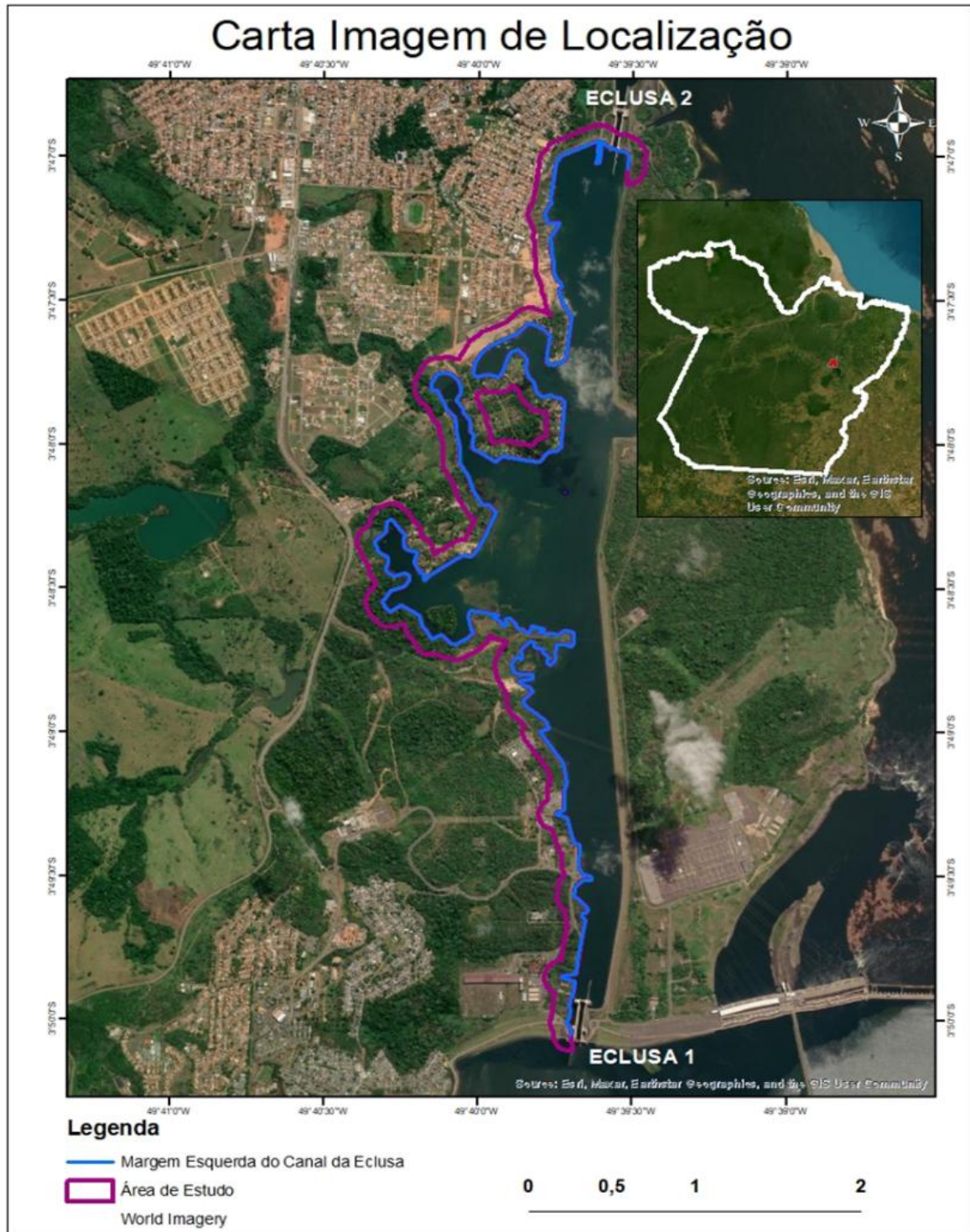
Assim, o Sistema de Transposição de Desnível faz parte do empreendimento da UHE Tucuruí, inaugurado em 30 de novembro de 2010. Inicialmente era operado e mantido pela empresa Eletronorte, com apoio pontual e institucional do DNIT, porém posteriormente o DNIT tornou-se responsável pela operação e manutenção das eclusas, focando na manutenção de equipamentos e sistemas prioritários para que a transposição fosse possível (DNIT, 2020).

3.1.1 Identificação e localização da área de estudo

A área de estudo desta pesquisa foi delimitada a partir do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí, entre os limites das eclusas 1 e 2, conforme observado na Figura 15. A margem direita do canal é uma área restrita que pertence à Eletronorte, com acesso restrito a funcionários, já a margem à esquerda é a área que está sofrendo o processo de ocupação, especificamente a área da pesquisa. O quadro da Figura 16, são imagens aéreas que apresentam

construções que se formaram ao longo do canal e que os moradores chamam popularmente de ilhas.

Figura 15 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 16 – Vista aérea da área de estudo



Fonte: Wanzeler (2024).

A delimitação de 100 metros a partir da margem do curso d'água, como área de análise da área legal, está fundamentada na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Esta lei considera como Área de Proteção Permanente (APP) as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a calha do leito regular, com largura mínima de 30 metros em zonas urbanas (Lei nº 12.651/2012) (Brasil, 2012).

Outro ponto importante na lei está no trecho que dispõe sobre a implantação de APP em áreas de reservatório d'água artificial destinado à geração de energia ou abastecimento público. É obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das Áreas de Preservação Permanente criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental. Deve-se observar a faixa mínima de 30 m e máxima de 100 m em área rural, e a faixa mínima de 15 m e máxima de 30 m em área urbana (Lei nº 12.651/2012).

O Plano Diretor do Município de Tucuruí prevê que a área de estudo (bairro localizado nas proximidades do canal da eclusa) se trata de uma Zonas Especiais de Interesse Social – ZEIS. Essas ZEIS são zonas com relativa ocupação por população de baixa renda e habitações de característica subnormal, com delimitação de terrenos precária e elevado índice de terrenos desocupados ou subutilizados, ausência de regularização fundiária e de equipamentos e serviços públicos, além da falta de áreas de lazer comunitárias e são destinadas a regularização fundiária dos lotes já ocupados e dos lotes vazios, destinada os lotes vazios prioritariamente para abrigar programas de Habitação de Interesse Social – HIS para população de baixa renda, advinda, principalmente, de áreas de remoção (PDMT, 2006, p.147).

3.2 Etapas metodológicas

Neste capítulo serão abordados os procedimentos metodológicos adotados para a caracterização das unidades declividade, área legal e de uso e ocupação da terra, assim como as classes de fragilidade ambiental. O fluxograma da Figura 17 exemplifica as etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 17 – Organograma com as etapas metodológicas para a elaboração da carta de fragilidade ambiental



Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Durante o mês de junho de 2024 e fevereiro de 2025 foi realizada o reconhecimento em campo da área de estudo, identificando as principais formas de uso e cobertura da terra presentes, assim como validando as informações geradas pela cartografia elaborada.

3.2.1 Etapas do Método AHP

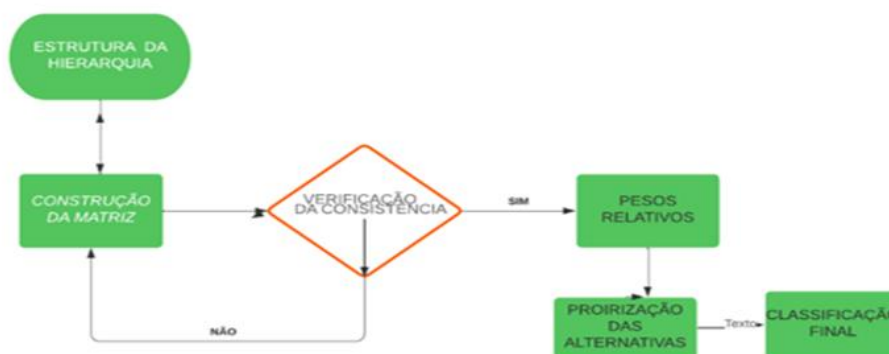
Segundo Costa (2002) na construção e utilização de um modelo de estabelecimento de prioridades fundamentado no uso de AHP são desenvolvidas as seguintes etapas: construção de hierarquia, identificando: foco principal, critérios, subcritérios (quando houver) e alternativas. Estes elementos formam a estrutura da hierarquia. Aquisição de dados ou coleta de julgamentos de valor emitidos por especialistas; Síntese dos dados obtidos dos julgamentos, calculando-se a prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal; e análise da consistência do julgamento, identificando o quanto o sistema de classificação utilizado é consistente na classificação das alternativas viáveis. Vale registrar que o sistema é composto pela hierarquia, pelos métodos de aquisição dos julgamentos de valor e pelos avaliadores.

O resultado é um modelo que permite analisar várias alternativas e as comparar rapidamente, por isso conhecido como um método de decisão, tornando-se muito útil para reduzir falhas nesse processo.

O processo de decisão utilizando AHP desenvolve-se ao longo de seis etapas, agrupadas em três estágios (Figura 18).

- Estágio 01 - Estruturação da hierarquia de decisão: estruturação da hierarquia;
- Estágio 02 - Construção da matriz de comparação pareada: construção da matriz; verificações de consistência; definir o valor da importância relativa (peso) de cada fator;
- Estágio 03 - Priorização das alternativas e definição das classes de fragilidade: priorização das alternativas; classificação final.

Figura 18 – Estágios do processo AHP



Fonte: Adaptado de Silva; Nunes (2009).

3.2.3 Coleta e validação de dados

Para realizar o mapeamento da fragilidade ambiental da área estudada foi necessário o mapeamento e cruzamento de três fatores considerados decisivos para a determinação desta fragilidade: declividade, área legal e uso e ocupação da terra (Silva; Nunes, 2009).

Os estudos de Júnior e Rodrigues (2012) utilizaram o mapeamento e o cruzamento de quatro critérios de análises considerados decisivos para a determinação desta fragilidade: declividade, uso e ocupação da terra, pedologia e geologia.

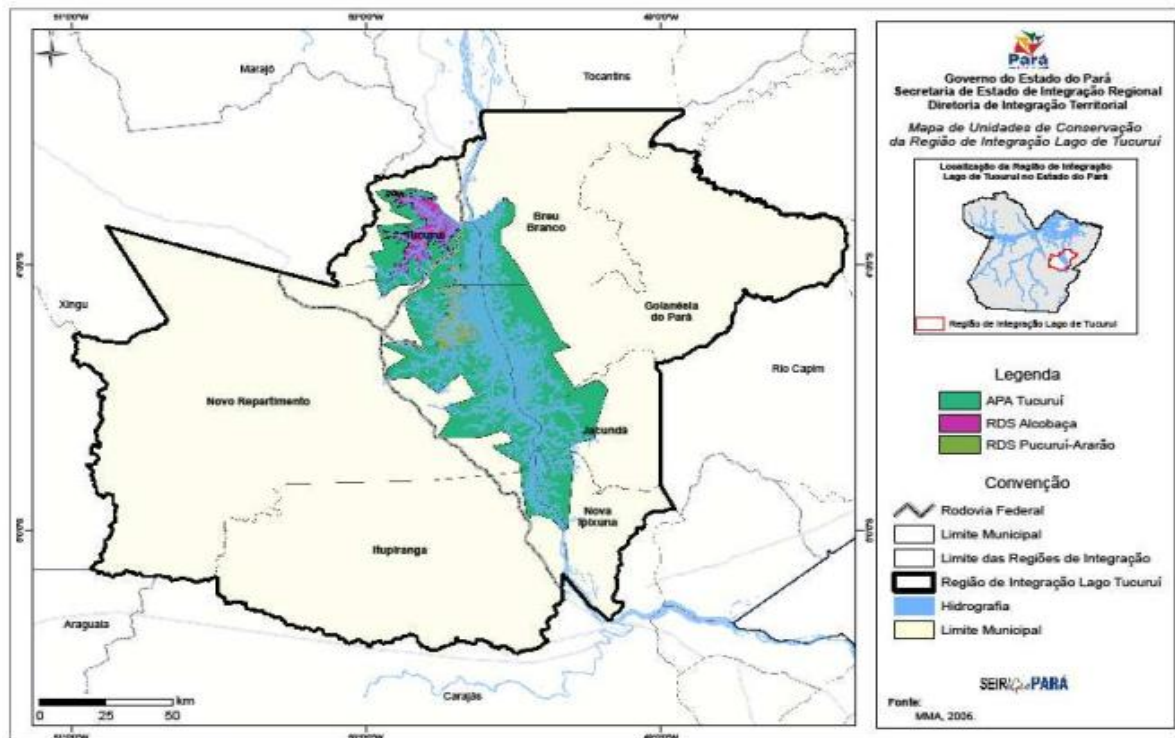
Já Prata (2020) utilizou na avaliação de seus estudos diversos temas e características, prezando por diferentes variáveis nas cinco cartas temáticas que tinham como finalidade a confecção da carta de fragilidade ambiental da área de estudo, dentre os temas selecionados como critérios foram: geomorfologia, pedologia, geologia, vegetação, e uso e ocupação da terra.

O Plano de Informações - PI de declividade foi gerado em porcentagem (PERCENT) seguindo a distribuição da área dentro dessas faixas de declividade sugeridas por Embrapa (1999) levando em consideração, à pouca variação do relevo na região (Souza; Demettê, 2008).

De acordo com Morgan (2005), a declividade é uma variável importante para estudos de vulnerabilidade dos solos, pois a perda de solos tende a aumentar com o aumento da declividade e do comprimento de rampa das vertentes como resultado do aumento da velocidade e do volume do escoamento de água na superfície.

O Plano de Informações - PI denominado área legal foi baseada na Lei nº 6.451 de 08/04/2002 de que trata da Área de Proteção Ambiental do Lago de Tucuruí (APA do Lago de Tucuruí), e que corresponde a uma área total de 568.667 ha que engloba em sua totalidade, o reservatório da UHE Tucuruí, abrangendo parte dos territórios de sete municípios da região, Figura 19:

Figura 19 – Unidade de Conservação do Lago de Tucuruí, Pará



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

A Área de Proteção Ambiental é regulada pela Lei Federal nº 9.985, de 18/07/2000 - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) pertencente ao grupo de Unidade de Conservação de Uso Sustentável, como o nome já indica, admite-se o uso sustentável de parte dos recursos naturais, sendo áreas em geral extensas, que permitem certo grau de ocupação humana e que visam proteger a biodiversidade, conciliando o processo de ocupação e o uso sustentável dos recursos naturais. Assim como outras categorias de unidades de conservação, podem ser federais, estaduais ou municipais

As áreas federais são administradas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), enquanto as estaduais e municipais são administradas por órgãos ambientais das respectivas esferas governamentais. A sua gestão conta também com a participação de atores locais que formam o Conselho da UC, elas podem ser estabelecidas em terras públicas ou privadas. No caso das áreas de domínio público, as condições para realização de pesquisa científica e visitação pública são definidas pelo órgão gestor da unidade. Já nas áreas sob propriedade privada, as condições podem ser estabelecidas pelo proprietário, desde que sejam respeitados os limites legais.

Outro parâmetro legal utilizado para a determinação da área legal é o Novo Código Florestal - Lei nº 12.651 de 25/05/2012, no seu Art. 4º, é considerada Área de Preservação

Permanente (APP), a julgar pela largura do referido “canal”, deveria ser preservado uma faixa marginal de floresta e demais forma de vegetação de aproximadamente 100 metros de cada lado da sua mata ciliar.

O mapeamento para gerar o PI de uso e ocupação da área de estudo foi produzido através da imagem do satélite Landsat 5, sensor TM (Thematic Mapper) e duas imagens do satélite Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), obtidas por meio de download gratuito no catálogo de imagens do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), com datas de 26/07/2010, 16/07/2018 e 16/07/2024, Órbita 224 e Ponto 63, com recobrimento de nuvens que variam de 0 a 15%, possibilitando assim, a visualização do objeto de estudo. Foi empregado o sistema de projeção UTM SIRGAS-2000, zona 22S.

Com base nessa imagem orbital foi gerada uma classificação supervisionada é o processo de segmentar uma imagem, com bandas espectrais distintas, em regiões (classes) que sejam de interesse. São coletadas amostras e criadas Assinaturas Espectrais para cada classe. A partir das assinaturas, é possível classificar a imagem por completo, identificando regiões com as mesmas características.

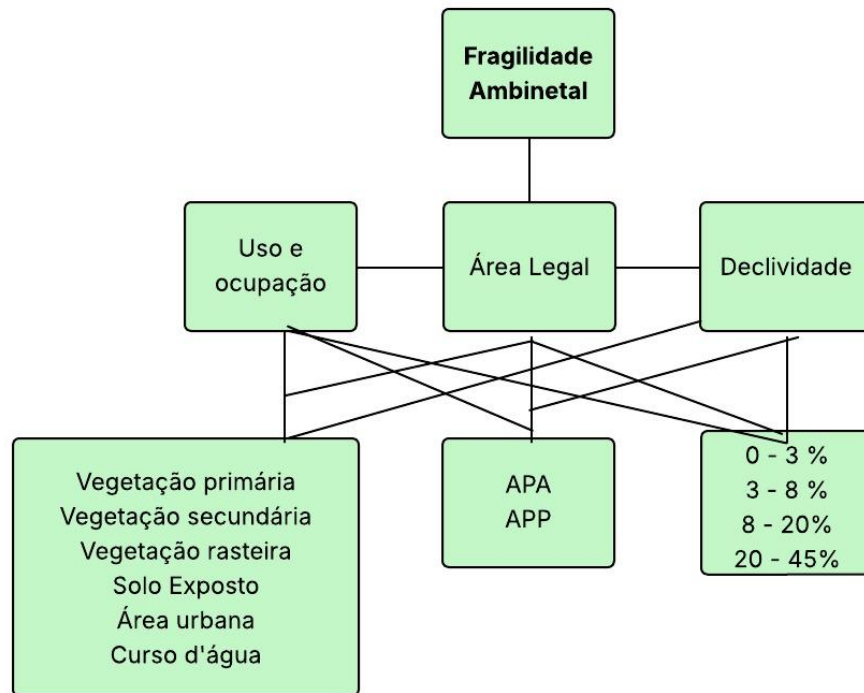
As ferramentas disponíveis no SCP realizam o pré-processamento de imagens de Sensoriamento Remoto, o pós-processamento de classificações e a álgebra de mapas. Com o SCP, é possível criar áreas amostrais, denominadas Regions of Interest (ROIs), de forma rápida e salvá-las em formato shapefile. As Assinaturas Espectrais são calculadas automaticamente e podem ser visualizadas graficamente. Também podem ser calculadas as distâncias espectrais entre as assinaturas, as quais podem ser exportadas ou importadas de fontes externas (Araújo, 2006).

3.2.4 Estruturação da hierarquia de decisão

Esta etapa consiste na estruturação de uma hierarquia possibilitando definir a influência mútua entre eles, onde as entidades de um grupo influenciam as de outro e são influenciadas pelas entidades de apenas outro (Silva; Nunes, 2009).

No topo da hierarquia está o objetivo, no caso definir a fragilidade ambiental. No segundo nível estão os atributos que irão determinar as classes de fragilidade, compostos pelos PIs Vegetação / Uso e Ocupação, área Legal e declividade. No último nível estão as feições mapeadas em cada um dos PIs que compõem o segundo nível (Silva; Nunes, 2009) Figura 20.

Figura 20 – Hierarquia da fragilidade ambiental



Fonte: Adaptado pela autora (2025).

3.2.5 Construção da Matriz de Comparação Pareada

De acordo com Silva *et al.* (2004) a técnica AHP baseia-se numa matriz quadrada de $n \times n$, de comparação entre os n critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios, sendo o resultado igual à importância relativa do critério da linha face ao critério da coluna.

Assim os valores de entrada nas matrizes foram obtidos com base na comparação dois-a-dois dos fatores que influenciam na fragilidade ambiental da área. A partir desta comparação pareada foi definido o critério de importância relativa entre os fatores, conforme uma escala pré-definida de 1 a 9, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro, Tabela 2:

Tabela 2 – Escala de Saaty com os 9 pesos fundamentais de julgamento comparativo

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância equiparada	Contribuição equiparada para o objetivo
3	Importância moderada	Ligeiramente favorável em detrimento de outro
5	Importância forte	Fortemente favorável em detrimento de outro,
7	Importância absolutamente forte	Muito fortemente favorável em detrimento do outro
9	Importância absoluta	Maior ordem de afirmação possível de um objeto em detrimento de outro

2,4,6,8

Valores intermediários

Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos

 Fonte: Adaptado de Carvalho e Mingoti (2005).

Diante da ausência de referências específicas para os atributos selecionados, utilizou-se como alternativa a entrevista com um painel de especialistas. Desse modo, foram selecionados 10 profissionais na área de Gestão e Planejamento do Uso da Terra para realização do julgamento comparativo entre esses critérios, sendo profissionais de instituições de diferentes estados da região Norte.

Para se chegar aos valores utilizados para a análise dos critérios foi utilizado o método Delphi que segundo Marques (2018) *apud* Facione (1990) permite reunir um conjunto de opiniões de especialistas separados geograficamente, levando a resultados densos sobre temáticas complexas e abrangentes. O método Delphi é definido como “um método para estruturar um processo de comunicação coletiva de modo que este seja efetivo, ao permitir a um grupo de indivíduos, como um todo, lidar com um problema complexo (Marques, 2018 *apud* Linstone; Turoff, 2002, p. 3).

No formulário aplicado durante as entrevistas (Apêndice A), via Google Forms, os especialistas utilizaram a Escala Fundamental de Saaty para avaliar a importância relativa de cada atributo em relação aos outros, resultando em uma matriz de comparação paritária personalizada com a utilização da mediana para atribuição do valor correspondente. Essa matriz foi utilizada para calcular os pesos relativos de cada critério, adaptados ao contexto específico deste estudo.

A partir dessa análise foi gerada a Tabela 3 com parâmetros que serão levados em consideração para a análise da matriz pareada e seus respectivos valores, de acordo com a importância de cada critério. Já na Tabela 4 foi realizado o cálculo da matriz normalizada a partir da matriz de comparação e por último na Tabela 5, temos o peso dos critérios resultantes dos cálculos da matriz de comparação pareada de cada PIs - Plano de Informação, sendo esses os componentes que serão levados em consideração para a posterior análise da fragilidade ambiental do entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí.

Tabela 3 – Parâmetros que serão utilizados para a análise da matriz pareada

Parâmetros	Vegetação/Uso e ocupação	Área Legal	Declividade
Uso e ocupação	1	5	9
Área Legal	1/3	1	3

Declividade	1/9	1/3	1
-------------	-----	-----	---

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Tabela 4 – Matriz calculada a partir da matriz de comparação

Parâmetros	Vegetação/Usos e ocupação	Área Legal	Declividade
Uso e ocupação	0,7627	0,6923	0,5556
Área Legal	0,1525	0,2308	0,3333
Declividade	0,0847	0,0769	0,1111

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Tabela 5 – Pesos dos componentes da matriz de comparação pareada dos PI's

PI	Pesos
Uso e ocupação	0,763
Área Legal	0,158
Declividade	0,077

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Agora se faz necessário extrair de cada matriz de comparação seus autovetores, que correspondem ao grau de importância relativa para cada fator considerado. Os autovetores resultantes são da matriz de cada conjunto de tributos, ou seja, as feições mapeadas em cada PI, são chamadas PESOS (Tabela 6).

Tabela 6 – Matriz de comparação pareada dos PI's

PI de Uso e ocupação	PESO	PI de Área Legal	PESO	PI de Declividade	PESO
Solo exposto	0,310	APA	0,7231	0 – 3%	0,5652
Área urbana	0,241	APP	0,2157	3 – 8 %	0,2609
Vegetação rasteira	0,172	Demais áreas	0,0612	8- 20%	0,1172
Vegetação secundária	0,138			20 – 45%	0,0567
Vegetação primária	0,103				
Curso d'água	0,034				

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

3.2.6 Priorização das alternativas e definição das classes de fragilidade ambiental

Esse estágio trata-se do último processo de decisão utilizando o método AHP, onde os vetores e pesos, resultantes das matrizes de avaliação são utilizados para compor a classificação

final dos PI resultantes do cruzamento das três PIs mapeados, refletindo na fragilidade ambiental da área estudada.

A partir dos processos de atribuições de pesos dos critérios foram geradas as classes de fragilidade ambiental da área de estudo, sendo definido com base na escala 0 a 1.

Silva e Nunes (2009) trabalham com o termo vulnerabilidade, que seria a combinação de fatores que influenciam a resposta de um sistema a um impacto ambiental e consequentemente um ambiente frágil pode ser mais vulnerável se estiver exposto a atividades que agravam a fragilidade. Os autores subdividiram tais classes de em 4 categorias, sendo: baixa, moderada, alta e muito alta, está mesma subdivisão será utilizada para a análise da vulnerabilidade em nossa área de estudo.

Para realizar a avaliação da vulnerabilidade ambiental, utilizou-se uma gama de critérios para demonstrar a ocorrência de um determinado fenômeno. Neste caso, os critérios adotados foram (i) uso e ocupação; (ii) área legal; e (iii) a declividade do terreno.

Os arquivos vetoriais da PI do uso e ocupação e da área legal foram convertidos para arquivos *raster*, para posteriormente, as informações dos três critérios serem reclassificadas, onde os pesos foram aplicados nas diferentes classes para composição do mapa final de vulnerabilidade ambiental utilizando-se da operação de Álgebra de Mapas (Figura 21). O SIG realizou a média aritmética das três classes, para cada pixel, multiplicadas pelo peso que foi atribuído a cada uma delas.

Figura 21 – Escala de vulnerabilidade ambiental

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \times N_k)$$

Fonte: Silva e Nunes (2009).

Onde: A_{ij} = Pixel resultante do cruzamento entre os PI's; n = Número de PI's utilizados; P_k = Peso atribuído à feição dentro do contexto de seu PI; N_k = Nota atribuída ao PI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Carta de declividade, carta de área legal e carta de uso e ocupação do solo.

Para elaboração da carta de declividade da área de estudo foi estabelecido três classes, estes variando de plano forte ondulado seguindo a classificação da EMBRAPA (2009) e recebendo adaptações de acordo com os declives apresentadas na área de estudo, onde as classes foram delineadas da seguinte forma: de 0 – 3%; de 3 – 8%; de 8 – 20%; de 20 – 45%, sendo estas denominadas de Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, respectivamente (Tabela 7). O intervalo de 3 - 8% (suave – ondulado) não foi apresentado no mapa devido a área não apresentar essa característica, por se tratar de desníveis artificiais.

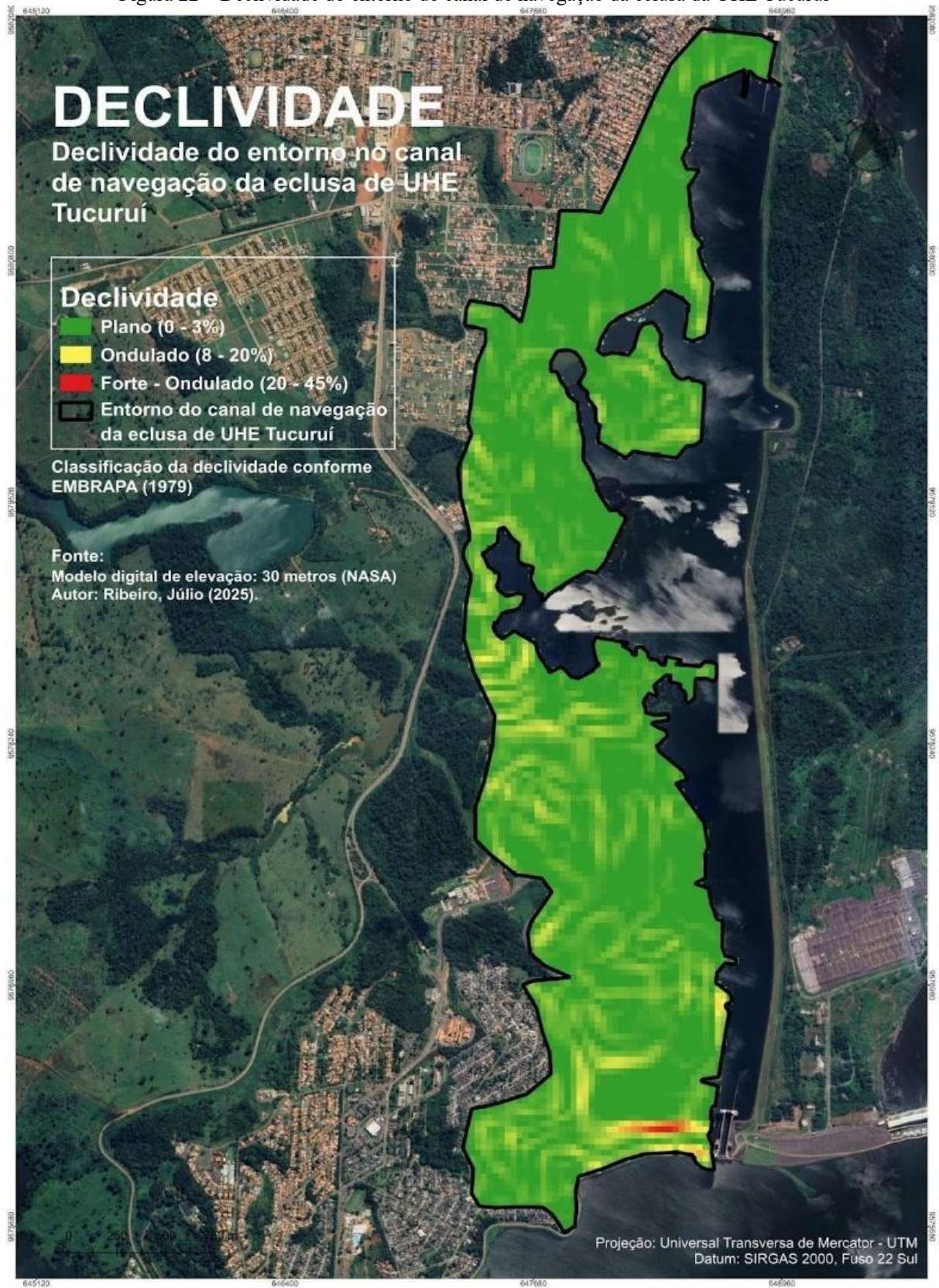
Tabela 7 – Intervalos de declividade com respectivas denominações das classes

Intervalo de declividade	Classe atribuída
0 – 3%	Plano
3 – 8 %	Suave Ondulado
8 – 20%	Ondulado
20 – 45%	Forte – ondulado

Fonte: EMBRAPA (2009).

Face a isso, a elaboração de mapas de declividade tem grande importância para estudos da fragilidade das terras, particularmente os estudos sobre os processos erosivos, como apresentado no mapa de declividade da área do entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí (Figura 22):

Figura 22 – Declividade do entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A área de estudo denominada área legal se restringe a margem esquerda do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí, na qual está sofrendo o processo de ocupação ao longo dos anos e a margem direita é uma área de acesso restrito e de uso da Eletronorte (Figura 23).

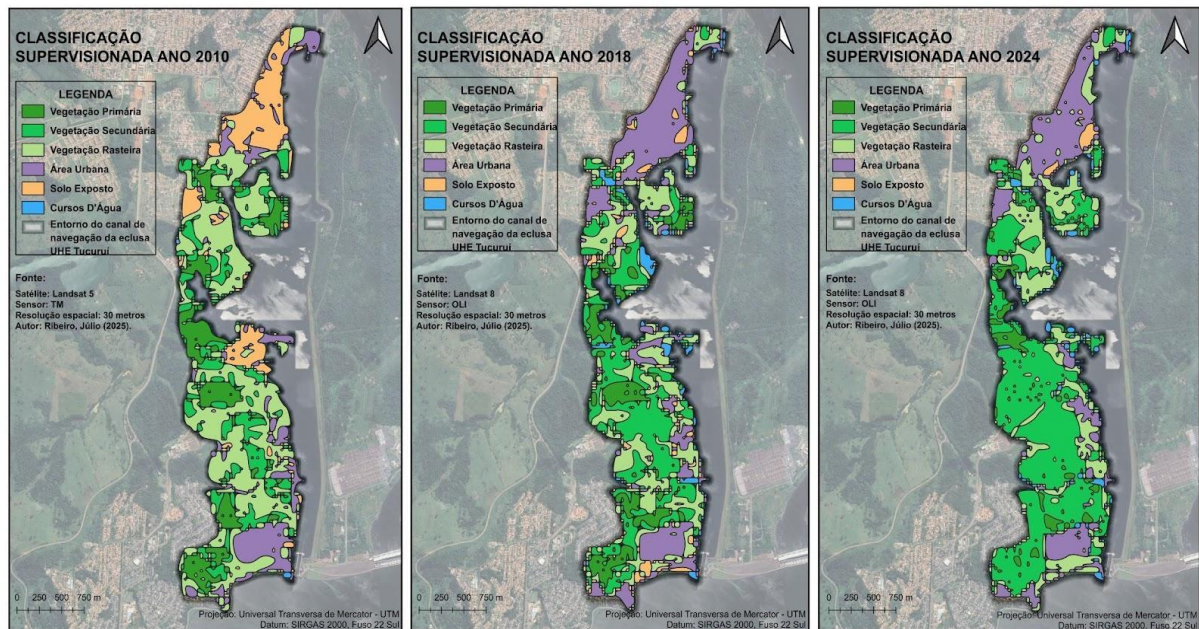
Figura 23 – Área legal de APA e APP, no entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As classes de uso e ocupação da terra foram definidas como vegetação primária, vegetação secundária, vegetação rasteira, solo exposto, área urbana e curso d'água, conforme utilizada nos estudos de Santos (2020). Após a delimitação e classificação dos agrupamentos de uso e cobertura da terra, foi feito o cruzamento entre o mapa de uso da terra obtido neste trabalho para o ano de 2010, 2018 e 2024. Desta forma foi possível quantificar o uso presente nas principais tipologias de vegetação e solo, Figura 24.

Figura 24 – Uso e ocupação da terra do entorno no canal de navegação da UHE – Tucuruí



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.1.1 Processo de ocupação da área e formação da AMIT – Associação Dos Moradores da Ilha Interlagos

A ocupação desordenada e os riscos ambientais na área do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí necessitam de análise sob algumas perspectivas, especialmente relacionadas a ocupação próximas às margens dos cursos d'água, como um fenômeno recorrente no processo de urbanização. Essa ocupação indiscriminada, por um lado, reflete a dificuldade de acesso à habitação formal pela população de baixa renda e, por outro, a busca pela valorização do "natural" por parte da população de maior renda, evidenciada pelo surgimento de condomínios fechados, conforme apontado por Croce (2020).

O processo de invasão iniciou-se em 2014, inicialmente com cerca de 60 familiares para ocupar a área, que legalmente estava sob a posse da Eletronorte e DNIT, após a indenização dos antigos proprietários da área. Em discurso proferido por Max da Silva Wanzeler, presidente da associação em 19 de fevereiro de 2025, ele cita:

Só que abandonaram essa área lá, eles deixaram abandonada, por quê? Porque havia muita violência ali dentro, quando tava só uma mata fechada, uma coisa, o que que acontecia? Todo furto, roubo, o que tinha dentro de Tucuruí, eles se escondiam pra lá, os ladrões, traficantes e aí a polícia não saía de dentro daquela mata procurando as coisas. Aí foi que um certo dia dentro daquela área aconteceu lá, até um estupro ali dentro daquela área, aí o que aconteceu, nós reunimos um povo, uma sequência de mais ou menos na época 60 familiares. Aí a gente resolveu ocupar.

Por causa dessa situação da violência a gente já não aguentava mais as violências, tudo que aconteci pra ali, então quando a gente resolveu ocupar a área em 2014, a gente achou muito desmanche de carros, de motos, objetos, lá dentro, como televisão, então, tinha muitas coisas ilegais. Então o nosso motivo de ocupar foi essa! A Eletronorte indenizou e abandonou a área toda, aí se tornou uma área de periculosidade dentro de Tucuruí, uma área vermelha (informação verbal²).

Em 2015 foi formada uma associação devido ao aumento de número de pessoas que já ocupavam a área, denominada de AMIIT - Associação dos Moradores da Ilha Interlagos, nome esse relacionado ao fato de que no momento de construção e abertura do canal foram se formando canais dentro da área, chamado pelos moradores de ilhas, Figura 25.

Figura 25 – Placa de identificação da Associação dos Moradores da Ilha Interlagos – AMIT, de Tucuruí



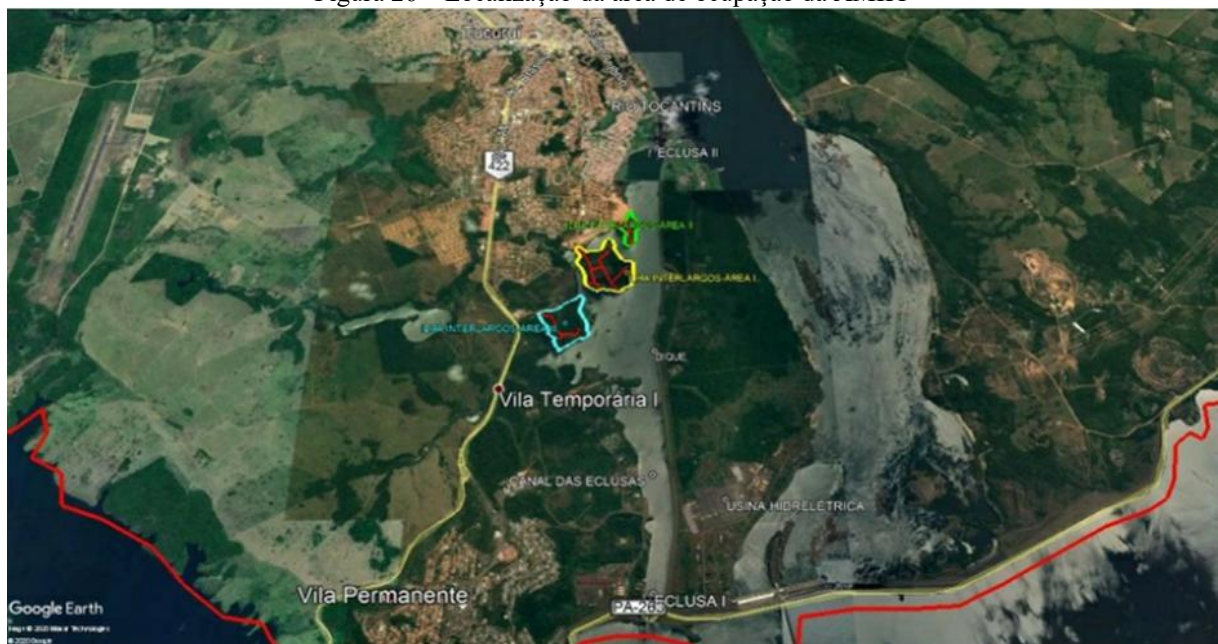
Fonte: Wanzeler (2020).

² Informação fornecida pelo presidente da Associação – Max da Silva Wanzeler em 19/02/2025.

No dia 15 do mês agosto de 2018 houve a oficialização da AMIIT com registro no cartório 1º ofício – Silva Soares, com a ata da assembleia geral de fundação, aprovação do estatuto e eleição da diretoria, conselho fiscal e constituição dos associados.

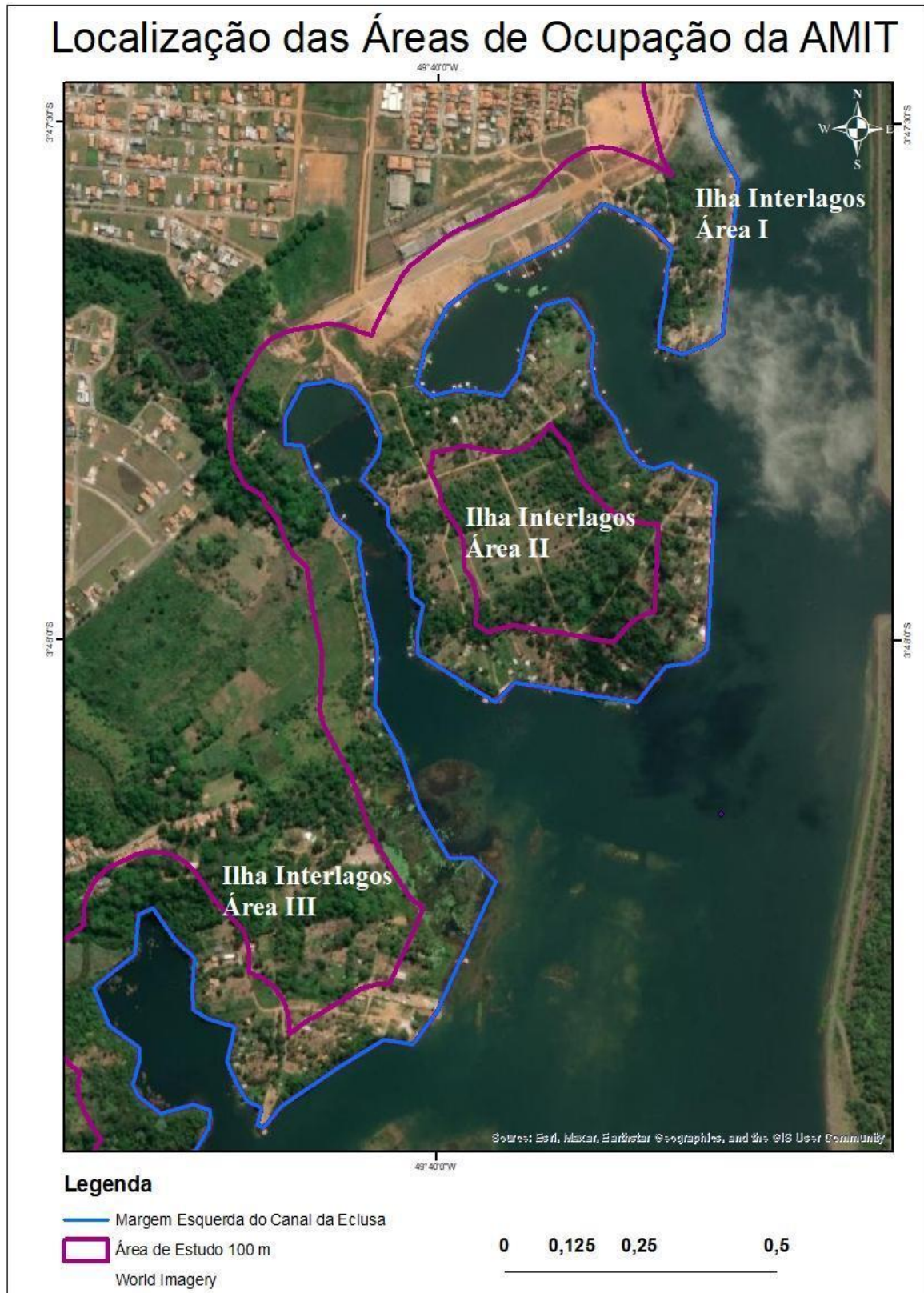
Geograficamente, as áreas denominadas de “Ilha Interlagos”, administrada pela AMIIT - ASSOCIAÇÃO DOS MORADORES DA ILHA INTERLAGOS e analisadas no estudo estão demarcadas em lotes, jusante da eclusa 2, que faz a interface entre o canal intermediário e o leito do rio Tocantins, sendo a primeira área nas coordenadas 03°47'44,71" Latitude (S) e 049°40'04,96" Longitude (W), a segunda nas coordenadas 03°47'33,95" Latitude (S) e 049°39'50,27" Longitude (W) e a terceira nas coordenadas 03°48'12,46" Latitude (S) e 049°40'16,73" Longitude (W), de acordo com a Figuras 26 e 27.

Figura 26 – Localização da área de ocupação da AMIIT



Fonte: Centro de Perícias Científicas Renato Chaves (2019).

Figura 27 – Localização da área de ocupação da AMIIT

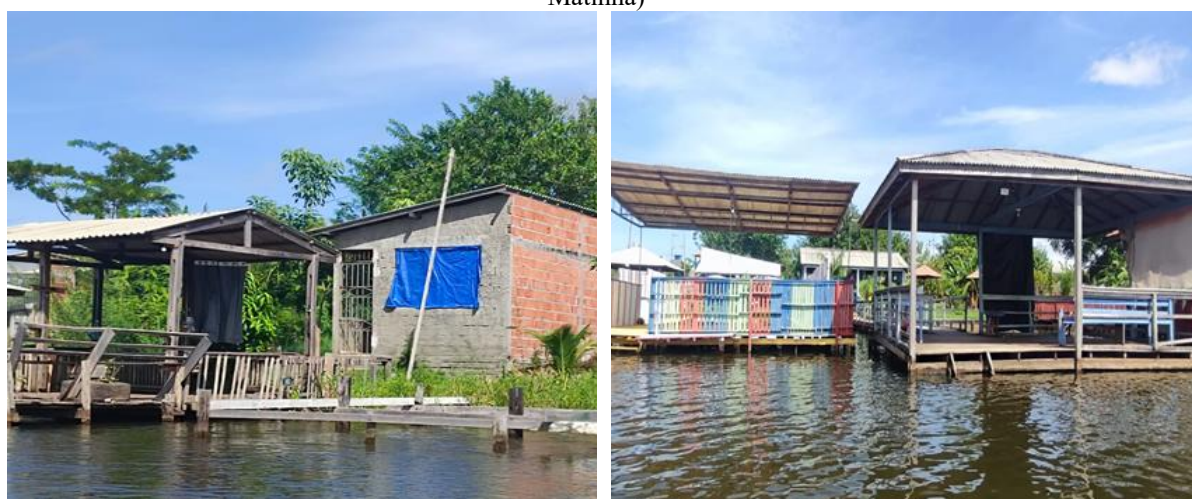


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.3.2 Diagnóstico *in loco* da ocupação da área de estudo

Na pesquisa de campo foi possível observar uma distinção entre as áreas ocupadas, já que uma dessas áreas está na influência do bairro da Nova Matinha com população majoritariamente de baixa renda, onde é possível perceber locais de lazer (balneários) assim como algumas propriedades residenciais, sendo estas com uma menor infraestrutura, e em sua maioria de madeira. Esta área também está loteada e possui um baixo índice de cobertura vegetal, conforme ilustram as Figuras 28 e 29.

Figura 28 – Balneário e residência localizados no canal da eclusa da UHE Tucuruí (área do bairro Nova Matinha)



Fonte: Autora (2024).

Figura 29 – Áreas loteadas e sem cobertura vegetal



Fonte: Autora (2024).

Já em outra área é possível perceber que os balneários e propriedades, algumas em fase de construção, são maiores, mais estruturados, bem como apresentam uma preservação da vegetação original, assim como vegetação secundária, evidenciando uma população de maior renda e a busca pelo “natural” (Figura 30).

Figura 30 – Balneários localizados no canal da eclusa da UHE Tucuruí



Fonte: Autora (2024).

O Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) define as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e estabelece diretrizes para sua proteção, além disso, a legislação municipal de Tucuruí, incluindo a Lei Orgânica Municipal e o Plano Diretor da Cidade que estabelecem diretrizes com o intuito de promover o controle ambiental das atividades urbanas em harmonia com as atividades socioeconômicas. Esses pontos podem evidenciados nas imagens a seguir (Figura 31), já que as áreas apresentam pontos de preservação, além do desenvolvimento de atividades econômicas como o lazer e o turismo.

Figura 31 – Área de lazer e área de APPs



Fonte: Autora (2024).

No entanto, há uma discordância em relação às políticas e leis de proteção ambiental que visam conter essa ocupação desordenada. Enquanto há consenso sobre a necessidade de medidas para proteger as APPs, há variações na interpretação e implementação dessas leis em níveis federal e municipal. Embora haja uma estrutura legal estabelecida para proteger as áreas ambientais em Tucuruí, a ocupação desordenada e a falta de controle sobre as atividades

humanas continuam a representar desafios significativos, sendo este fato objeto de debates e preocupações.

Portanto, enquanto há concordância sobre a gravidade da ocupação desordenada e a importância das leis de proteção ambiental, as discordâncias surgem em relação à implementação efetiva dessas leis e à complexidade da análise e gestão dos riscos ambientais enfrentados pela comunidade de Tucuruí.

As figuras abaixo representam pontos diferentes de maior ocupação no canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí, distribuídas em diferentes bairros, onde foram identificados diferentes perfis de ocupação. É importante ressaltar o perfil socioeconômico desses locais e a influência disso no processo de ocupação e nas características distintas encontradas nas áreas.

As Figuras de 32, 33 e 34 ilustraram as áreas localizadas próximas ao bairro da Nova Matinha. Já as Figuras 35, 36 e 37 representam as áreas, em pontos distintos, mais próximas ao bairro Sitio Deus é Grande.

Figura 32 – Área de ocupação desordenada do canal da eclusa UHE - Tucuruí (bairro Nova Matinha)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 33 – Área de ocupação desordenada do canal da eclusa UHE - Tucuruí (bairro Nova Matinha II)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 34 – Área de ocupação desordenada do canal da eclusa UHE - Tucuruí (bairro Nova Matinha III)



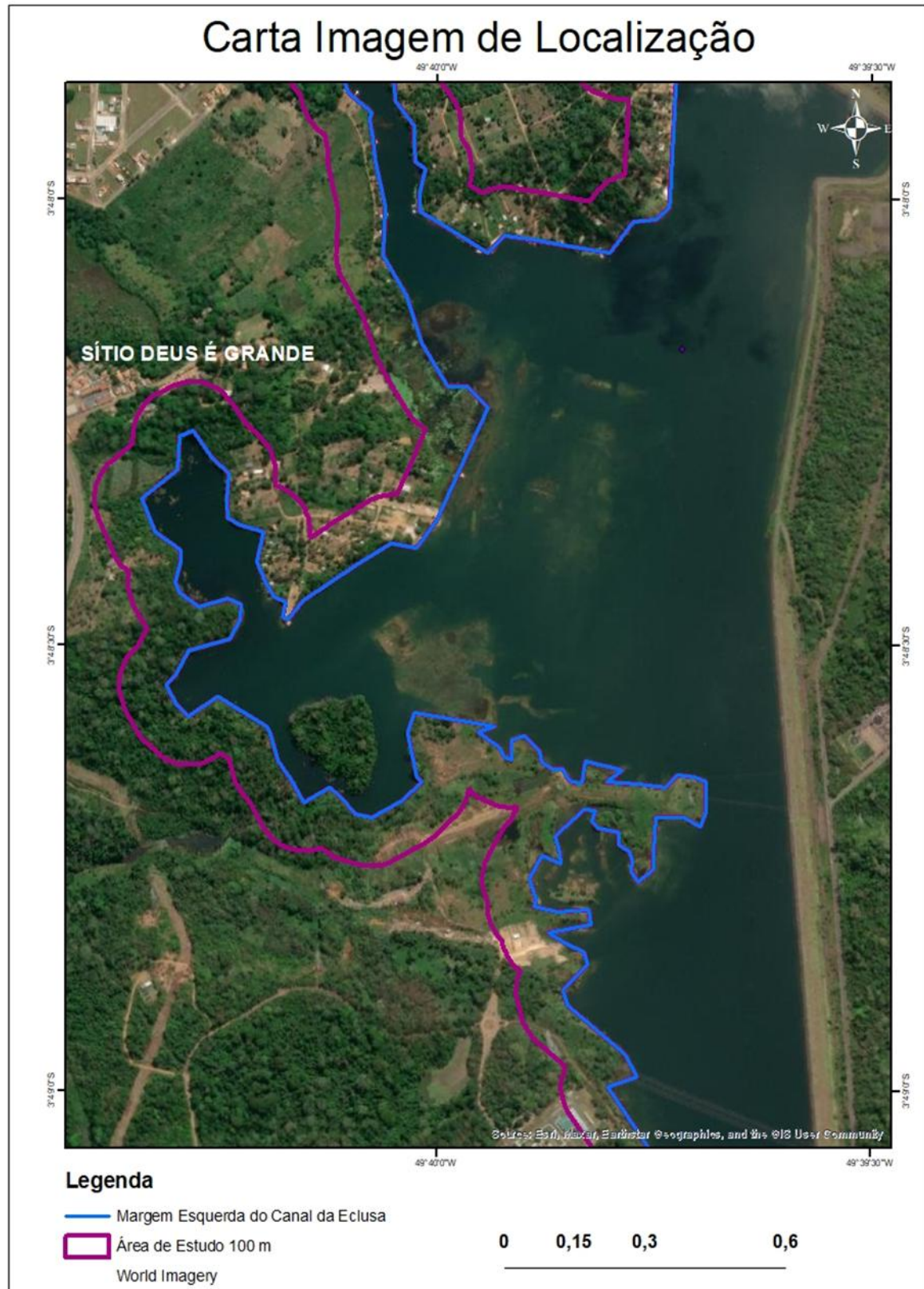
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 35 – Área de ocupação desordenada do canal da eclusa UHE Tucuruí (bairro Sítio Deus é Grande - I)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 36 – Área de ocupação desordenada do canal da eclusa UHE Tucuruí (bairro Sítio Deus é Grande - II)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 37 – Área de ocupação desordenada do canal da eclusa UHE Tucuruí (bairro Sítio Deus é Grande - III)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.4 Carta de Fragilidade Ambiental

O PI de Fragilidade Ambiental obteve valores variando entre 0 e 0,4278 onde 0 representa a ausência e 0,4278 o máximo de fragilidade. Estes valores foram divididos em quatro classes distintas de fragilidade (Figura 40).

Com base no PI Vegetação / Uso e Ocupação foi possível observar que essa região vem sofrendo um forte desequilíbrio de suas funções ambientais causado pelo desmatamento indiscriminado e processo de ocupação desordenada.

De acordo com o mapeamento as áreas consideradas como alta fragilidade ambiental, estão localizadas na porção norte da área de estudo (próximo na eclusa 2), no bairro da Nova Matinha, e são as áreas de maior ocupação, onde concentra-se residências, áreas de lazer, sítios e balneários.

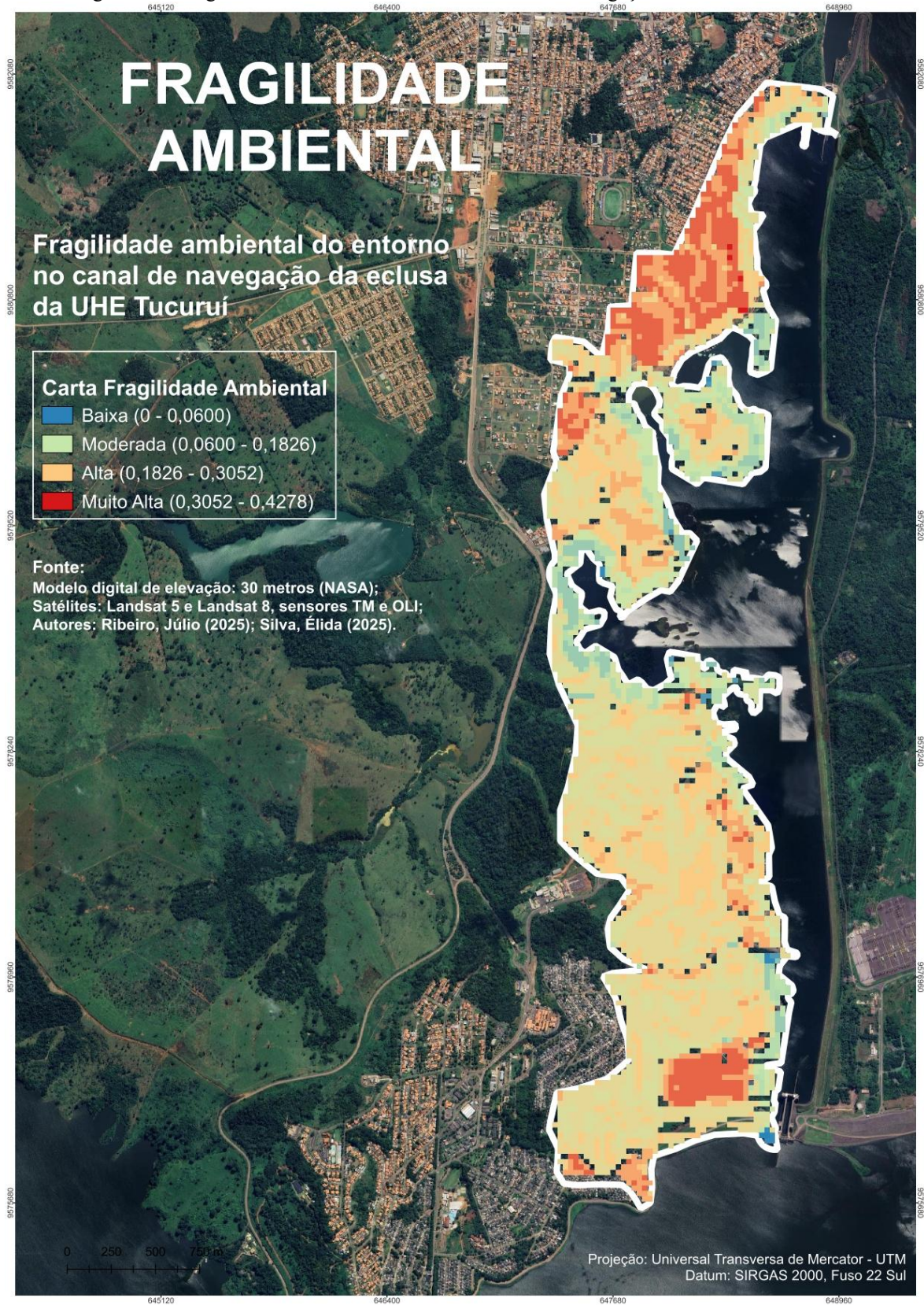
Nessas áreas, além do intenso processo de ocupação foram identificadas as maiores incidências da retirada da cobertura vegetal, agricultura extensiva, exploração de madeira e poluição, principalmente de resíduos sólidos.

Na porção sul tem-se um ponto de destaque de alta fragilidade, devido uma grande área onde está localizada galpões da empresa Camargo Correia, empresa de engenharia e construção civil que atuou em Tucuruí na construção da usina e nas obras da construção das eclusas.

Analisando o mapeamento realizado no PI de declividade fica evidente que este critério não exerce forte influência por esse fator na fragilidade deste ambiente, já que de acordo com o mapeamento a área é considerada plana com alguns trechos ondulados. Vale salientar que essa classificação diz respeito à fragilidade natural da declividade e existe uma influência da forma e do uso em sua superfície, de modo que, quanto mais desprotegido o solo mais vulnerável aos efeitos erosivos.

Ao analisar o PI de Área Legal fica evidente as fragilidades ambientais da área estudada, principalmente na porção norte. Segundo o mapeamento a área estudada está enquadrada como APP, com base na resolução do CONAMA nº 303 de março de 2002, justificando assim a necessidade de um planejamento que garanta a sustentabilidade desta região.

Figura 38 – Fragilidade Ambiental do entorno no canal de navegação eclusa da UHE Tucuruí



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.4.1 Identificação dos fatores de fragilidade ambiental no entorno da área de estudo

Os principais fatores de fragilidade ambiental observados durante a visita *in loco* na área do entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí, são fatores condicionantes à integridade da flora, relacionados a agentes antrópicos, incluindo o desmatamento, já que a construção de estradas e outras atividades de infraestrutura, além da agricultura, reduzem a área e a qualidade dos habitats florestais impactando negativamente a flora.

A poluição contribui significativamente para a contaminação do solo, água e ar, e pode afetar o crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas. A exploração de recursos naturais (como madeira) e a pesca predatória podem levar à extinção ou à redução da população de espécies vegetais e animais, alterando a estrutura e a função dos ecossistemas.

Os fatores condicionantes relacionados a fauna estão relacionados a qualidade do habitat, pois a vegetação nativa com estrutura adequada é fundamental para a fauna, já que o desmatamento e a poluição podem levar à perda de espécies e à redução da biodiversidade.

A ausência de perturbações como a poluição, em particular, pode ter efeitos diretos nos animais, como a contaminação dos alimentos e da água, ou indiretos, ao afetar a qualidade dos habitats. A manutenção da biodiversidade é um indicador da saúde do ecossistema e da sua capacidade de suportar mudanças. Ademais a perda de biodiversidade pode levar à desestabilização do ecossistema e à redução da resiliência dos animais face a fatores externos.

O Quadro 1 mostra os fatores de fragilidade ambiental identificados na área de estudo e suas condicionantes correspondentes. Como podemos observar a ação antrópica, mediante ao processo de ocupação da área é a principal causa da pressão sobre os recursos naturais no entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí.

A ocupação desordenada do entorno acarretou a expansão da área urbana, ocasionando impactos diretos na retirada da cobertura vegetação com a extração da madeira e o acúmulo de lixo em vários pontos da área, uma vez que são fatores condicionantes dessa fragilidade.

Apesar de ser uma área de preservação ambiental permanente, o entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí hoje é uma área particular, que sofre um processo de ocupação. Inicialmente com um pequeno grupo de famílias, mas que atualmente abrange áreas de lazer (como chácaras, sítios e balneários) e áreas de habitação.

Existe um processo de integração de posse da área desde 2018 em andamento por parte da Eletronorte contra os moradores, com a finalidade de desocupação da área. A Eletronorte



ressalta que as áreas ocupadas possuem influência direta com o canal da eclusa e que precisa realizar ajustes na operação e manutenção. Essas áreas de influência do empreendimento, como as áreas invadidas objeto da presente demanda, não foram repassadas formalmente ao DNIT tendo em vista as ocupações irregulares (Pará, 2018)

Segundo Eletronorte a propriedade e tais áreas encontram-se próximas ao canal das eclusas onde existe a trafegabilidade de embarcações e que não é permitida moradia, laser e outros. A posse da autora consistia em manter a área livre e monitorada uma vez que se trata de área afeta ao canal da eclusa de Tucuruí, onde transita embarcações, cuja ocupação representa risco para os ocupantes e para o próprio empreendimento. Registre-se que nos períodos de “cheia” muitas áreas são alagadas e impactam diretamente nas ocupações indevidas causando riscos aos que ali se encontram. Registre-se que é público e notório a construção das Eclusas de Tucuruí e que as áreas são de influência do canal do empreendimento, portanto, todo o entorno deve ser preservado até para garantir a trafegabilidade da área (Pará, 2018, p. 2025).

Em 2019, após denúncias feitas a Divisão Especializada em Meio Ambiente, foi realizado uma perícia técnica de constatação da possível prática de danos ambientais no imóvel/terreno, sendo essa perícia realizada pelo Centro de Perícia Científicas Evandro Chagas, do Governo do Estado do Pará.

Que observou e analisou “*in loco*” que a referida área em questão denominada de Ilha Interlagos, encontrava-se realmente ocupada de forma irregular por diversas pessoas associadas à pessoa jurídica denominada de Associação dos Moradores da Ilha Interlago, porém em relação as questões ambientais no momento da realização da perícia não foram constatadas nenhum tipo de supressão vegetal (desmatamento e queimada) em área de preservação permanente com características recentes.

Quadro 1 – Principais fatores de fragilidade ambiental evidenciado do entrono do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí

<p>Poluição</p>	
<p>Retirada da cobertura vegetal</p>	

Extração de
madeira



Ocupação
desordenada



Construção
de estrada



Agricultura



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como objetivo central a análise da fragilidade ambiental no entorno do canal de navegação da eclusa da UHE Tucuruí, no estado do Pará, com base na integração de critérios físico-territoriais (declividade, uso e ocupação da terra e área legal) e do método de Análise Hierárquica (AHP). A pesquisa demonstrou de maneira clara como a ocupação desordenada das margens desse canal compromete a integridade ambiental da região, destacando a urgência de ações planejadas que aliem desenvolvimento urbano com conservação ambiental.

O estudo revelou que, mesmo se tratando de uma Área de Preservação Permanente (APP) inserida em uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (APA Lago de Tucuruí), os processos de ocupação intensificados, tanto por populações de baixa renda quanto por construções voltadas ao lazer e turismo têm promovido a degradação ambiental. Fatores como a retirada da cobertura vegetal, a expansão urbana não regularizada, a poluição e a construção de acessos desordenados apontam para uma crescente pressão antrópica que interfere diretamente na funcionalidade da eclusa e nos serviços ecossistêmicos da região.

A aplicação do método AHP mostrou-se eficaz na identificação e priorização dos fatores de fragilidade. O critério de uso e ocupação da terra foi o mais relevante, seguido pela presença de áreas legalmente protegidas e pela declividade. Esses elementos, ao serem cruzados e ponderados, possibilitaram a elaboração de uma carta de fragilidade ambiental que categoriza a área em quatro classes distintas: baixa, moderada, alta e muito alta. As áreas de maior fragilidade coincidem com os locais de maior densidade de ocupação irregular, refletindo não apenas uma fragilidade ambiental, mas também social e institucional.

O diagnóstico *in loco* reforçou os achados obtidos por meio das análises geoespaciais, foi possível verificar diferenças significativas entre os tipos de ocupação observados, com destaque para as áreas vinculadas à AMIT – Associação dos Moradores da Ilha Interlagos, e para as zonas influenciadas pelos bairros Nova Matinha e Sítio Deus é Grande. Essas ocupações refletem distintos perfis socioeconômicos e distintos impactos ambientais. De modo geral, a precariedade da infraestrutura, a ausência de políticas públicas efetivas e a fragilidade da governança territorial contribuem para a intensificação da fragilidade.

Apesar da existência de uma estrutura normativa sólida – incluindo o Novo Código Florestal, o Plano Diretor do Município de Tucuruí e a legislação específica da APA do Lago de Tucuruí – o descompasso entre a legislação e sua efetiva aplicação compromete os esforços

de mitigação dos impactos ambientais. A divergência entre os diferentes níveis de gestão ambiental, aliada à ausência de fiscalização sistemática, contribui para que a ocupação irregular persista e se amplifique.

Diante desse cenário, conclui-se que a fragilidade ambiental observada na área de estudo é resultante de múltiplas causas que envolvem desde a ausência de planejamento urbano até a fragilidade das políticas ambientais locais. A metodologia empregada mostrou-se eficiente para diagnosticar essa complexidade, possibilitando a construção de cenários analíticos e propositivos para a gestão do território. Torna-se imprescindível que os órgãos responsáveis – especialmente o poder público municipal, a Eletronorte e o DNIT – promovam ações integradas de regularização fundiária, recuperação ambiental e ordenamento territorial.

A pesquisa reafirma a importância da integração entre conhecimento técnico-científico e políticas públicas efetivas. O mapeamento da fragilidade ambiental com base em critérios múltiplos é uma ferramenta potente para subsidiar decisões e orientar estratégias de intervenção mais justas e sustentáveis. Portanto, não se encerra em si mesmo, mas propõe-se como um ponto de partida para novas investigações, ações colaborativas e políticas inclusivas que assegurem o equilíbrio entre desenvolvimento e conservação no entorno da UHE Tucuruí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JUNIOR, Francisco Moreira; KOBİYAMA, Masato; CORSEUIL, Cláudia Weber. FLOOD RISK INDEX MAPPING OF AN AREA DOWNSTREAM OF A DAM IN CASE OF A BREAK. *Mercator*, [S.L.], v. 22, n. 2023, p. 1-23, 31 dez. 2023. Federal University of Ceará. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22004>. Acesso em 26 maio. 2024.

ALMEIDA, Alivinio de. **Hidrovia Tocantins – Araguaia: importância e impactos econômicos locais**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. São Paulo, 2004. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ac01/aedae0df1774928951816727a722f0a8bb28.pdf>. Acesso em 9 set. 2024.

ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil –Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2006/Teses/ARAUJO_CB_06_t_M_geo.pdf Acesso em: 15 fev. 2017.

BARBIERE, Mariana Delgado. Conflitos socioambientais na construção de hidrelétricas e os dilemas da produção energética: o caso de três gargantas (China). *Revista PerCursos*, Florianópolis, v. 19, n. 41, p. 28–49, 2019. Disponível em: file:///C:/Users/elida/Downloads/Conflitos_socioambientais_na_construcao_de_hidrele.pdf. Acesso em 5 jun. 2024

BECK, U. **Risk society: towards a new modernity**. Londres: Sage Publications, 1992. Disponível em: <http://www.riversimulator.org/Resources/Anthropology/RiskSociety/RiskSocietyTowardsAnewModernity1992Beck.pdf>. Acesso em 01 de abr. 2025

BRASIL. Controladoria-Geral da União. **Serviço de Informações ao Cidadão da Controladoria-Geral da União (SIC/CGU)**. [Brasília]: CGU, [2022?]. Disponível em: <https://www.gov.br/cgu/pt-br/acesso-a-informacao/servico-informacao-cidadao-sic>. Acesso em: 26 maio 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Banco de Informações de Transportes – BIT. **Mapa aquaviário, 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>. Acesso em 04 de jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em 04 de jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.081, de 05 de janeiro de 2015**. Dispõe sobre a construção e a operação de eclusas ou de outros dispositivos de transposição hidroviária de níveis em vias navegáveis e potencialmente navegáveis. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/L13081.htm. Acesso em: 06 de maio de 2024.

BRASIL. **Lei 9.433/2015 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em 06 de mar de 2025.

BRASIL. **Lei Nº 9.432, De 8 De Janeiro De 1997**. Dispõe sobre a ordenação do transporte aquaviário e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19432.htm. Acesso em 07 de mar de 2025.

BRASIL. **Projeto de Lei Nº 3.009/1997**. Estabelece a obrigatoriedade da inclusão de eclusas e de equipamentos e procedimentos de proteção à fauna aquática dos cursos d'água, quando da construção de barragens. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=766751&filename=Tramitacao-PL%203009/1997. Acesso em 07 de mar de 2025

BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 369, De 28 De Março De 2006**. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5486>. Acesso em 31 de mar. 2025

BRASIL. Marinha do Brasil. **Normas da autoridade marítima para amadores, embarcações e/ou recreio para cadastramento e funcionamento das marinhas, clubes e entidades desportivas náuticas**: NORMAM-03/DPC. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/cpap/sites/www.marinha.mil.br/cpap/files/normam03.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

BRASIL. Marinha do Brasil. **Normas da Autoridade Marítima para tráfego e permanência de embarcações em águas jurisdicionais brasileiras**: NORMAM-08/DPC. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2013. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br/dpc/files/normas/normam08_0.pdf. Acesso em: 05 abr. 2020.

BRASIL. **Marinha do Brasil. Normas da Autoridade Marítima para aquaviários**: NORMAM-13/DPC. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/cft/sites/www.marinha.mil.br/cft/files/normam13.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

BRASIL. **Marinha do Brasil. Normas da Autoridade Marítima para transporte de cargas perigosas**: NORMAM-29/DPC. Brasília, DF: Marinha do Brasil, 2013. Disponível em: <https://appasp2019.cnen.gov.br/seguranca/transporte/documentos/DPC-Marinha-NORMAM-29.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020.

BRASIL. **Marinha do Brasil. Capitania dos Portos da Amazônia Oriental. Normas de tráfego nas eclusas da hidrovia do Tocantins**. 2011. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/www.marinha.mil.br/cpaor/files/normaseclusas.pdf>. Acesso em: 20 de abr. de 2024.

BRUSHAN, N e Rai, K. **Strategic decisioan making applyng, the analytic hierarchy process**. New York Springer. 2004. Disponível em: file:///C:/Users/elida/Downloads/StrategicDecisionMaking_ApplyingtheAnalyticHierarchyProcessDecisionEngineeringPDFDrive.pdf. Acesso em 01 de abr. 2025

BUCHER, Enrique H.; HUSZAR, Paul C.. Critical environmental costs of the Paraguay-Paraná waterway project in South America. **Ecological Economics**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 3-9, out. 1995. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00038-b](http://dx.doi.org/10.1016/0921-8009(95)00038-b).

CAMPELO, Fabiana Rocha; SOUZA, José Camilo Ramos de; DRAY, Wescley Tavares. IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DO CURSO D'ÁGUA NO LAGO MACURANY/IMPACTS OF LAND USE AND WATER COURSE ON LAKE MACURANY. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 10, p. 81618-81631, 2020. Brazilian Journal of Development. DOI: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n10-550>.

CAMPOS, Pedro Henrique Pedreira. Ditadura, interesses empresariais e desenvolvimentismo: a obra da usina hidrelétrica de Tucuruí. **Revista Tempo e Argumento**, [S.L.], v. 11, n. 26, p. 255-286, 15 abr. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina. DOI: <http://dx.doi.org/10.5965/2175180311262019255>. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/tempo/article/view/2175180311262019255>. Acesso em: 26 maio 2024.

CHAVES, E. A., LEITE, G. B. G., DE JESUS, J. C. R., GONÇALVES, A. L. 2014. **Transporte hidroviário de cargas: uma proposta para a Baixada Santista**. Universidade Santa Cecília. Disponível em: <http://docplayer.com.br/1371999-Transporte-hidroviario-de-cargasuma-proposta-para-a-baixada-santista.html>. Acesso em: 08 de dez 2024.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS-CMB. **Estudo de Caso: UHE Tucuruí – Relatório Final**. Laboratório Intedisciplinar de Meio Ambiente. Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. LIMA/COOPE/UFRJ. 2000. Disponível em: <http://www.dams.org>. Acesso em: 04 maio. 2024

COSTA, Helder Gomes. **Introdução ao método de análise multicritério no auxílio de decisão**. XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – Niterói - RJ, 2002. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf>. Acesso em 01 de abr. 2025

CROCE, Rômulo. A ocupação urbana das margens do rio doce, em Colatina-ES. **Revista de Arquitetura Universidade Federal do Espírito Santo**, Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 27, n. 40, 2020. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/Arquiteturaurbanismo/article/view/23900/18140>. Acesso em 22 de nov. 2024.

CRUZ, A. T. Jr.; CARVALHO, M.M. Obtenção da voz do consumidor, estudo de um caso em um hotel ecológico. **Revista Produção**, v. 13, n. 3, p. 88 – 100, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/bTKCmh6t3VPHW3rgcWVW5gs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 13 de jan. 2025.

CUNHA, Miguel; RAMOS, Pedro; PÊGO, João. **Dimensões hidráulicas de sistemas de nivelamento de eclusas: investigação de diferentes métodos simplificados a sua aplicabilidade**. 12ª jornada de Hidráulica, recursos hídricos e Ambientais. Faculdade de Engenharia do Porto. 2018. file:///C:/Users/elida/Downloads/16_MCunha_DimensionamentoHidraulico.pdf. Acesso em 04 jun. 2024.

CURTO, Hayla. **Problema na tomada de decisão? Saiba como o método AHP pode te ajudar**. Blog net project 2017. Disponível em: [https:// netproject.com.br](https://netproject.com.br). Acesso em: 08 de dez 2024.

DANTAS, A. A. N.; SANTOS, M. C. S.; FRAGA, Y. S. B. **A importância do transporte hidroviário para o escoamento de grãos na região Sul do Estado do Goiás a partir do ponto de São Simão**. COLÓQUIO – Revista do Desenvolvimento Regional - Faccat - Taquara/RS - v. 20, n. 1, jan./mar. 2023. Disponível em: [file:///C:/Users/elida/Downloads/2868-Texto%20do%20Artigo-7765-1-10-20230530%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/elida/Downloads/2868-Texto%20do%20Artigo-7765-1-10-20230530%20(5).pdf). Acesso em 10 de dez. 2024.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Conclusão das obras das Eclusas de Tucuruí representa vitória do Governo Federal**, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/conclusao-das-obras-das-eclusas-de-tucuru-i-representa-vitoria-do-governo-federal>. Acesso em: 18 abr. 2024.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Presidente Lula inaugura eclusa de Tucuruí. Sistema de transposição entrará em funcionamento em março**, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/presidente-lula-inaugura-eclusas-do-tucuru-i>. Acesso em: 11 de jun. 2024

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria De Infraestrutura Aquaviária - DAQ. **O Pedral do Lourenço e a Navegação no Rio Tocantins**, 2023. Disponível em: <https://hidroviaveis.com.br/wp-content/uploads/2023/08/3-Pedral-do-Lourenco-e-Navegacao.pdf>. Acesso em: Acesso em: 26 maio 2024.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Eclusa**. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/eclusas/eclusas_nova. Acesso em: 26 maio 2024.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT tem 100% de suas eclusas operacionais**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-tem-100-de-suas-eclusas-operacionais>. Acesso em 29 de maio 2024.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Rio Tocantins: sistema de transposição do Tucuruí é restabelecido**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2020/maio/rio-tocantins-sistema-de-transposicao-do-tucuru-i-e-restabelecido>. Acesso em 28 de maio de 2025.

DONHA. Annelissa G.; SOUZA. Luiz C. de P.; SUGAMOSTO. Maria L. Determinação de fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte a decisão e SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 1, p. 175 – 181. UFCG, Campina Grande, PB. Agriambi. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/RGGxMhT3T9LpKq7J9zxyZVz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 02 de fev. 2025.

ELETRONORTE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil. **Manual do Sistema de Gestão Ambiental** – UHE Tucuruí/PA. 2018 Pág. 34. Disponível em: <http://www.eletronorte.gov.br/opencms/export/sites/eletronorte/pilares/meioAmbiente/sistema>

Gest ao/MANUAL_DO_SISTEMA_DE_GESTAO_AMBIENTAL_UHE_TUCURUx.PDF. Acesso em 02 abr. 2025.

ESPÍRITO SANTO. Governo Do Estado Do Espírito Santo. Coordenação Estadual De Defesa Civil. **ARES: Atlas das áreas com potencial de riscos do Estado do Espírito Santo**. Vitória: Imprensa Estadual, 2006. 125 p. Disponível em: [https://www.mundogeomatica.com.br/Livro_Atlas_ARES%20\(editado\).pdf](https://www.mundogeomatica.com.br/Livro_Atlas_ARES%20(editado).pdf). Acesso em: Acesso em 02 abr. 2025.

FINGER. Guilherme Ruschel. **Esforços sobre embarcações em eclusas – Elaboração de um sistema de medição de esforços**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/55986/000851497.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 22 fev. 2024.

GALIOTTO. Juliane C. **Proposta para avaliação de fornecedores em empresas com gestão LEAN**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/114467/000952857.pdf;jsessionid=BF7BF7DE0A77A1136671183244D4CCF8?sequence=1#:~:text=hierarquia%20do%20AHP%20permite%20que%20elementos%20distintos%2C,de%20um%20modelo%20hier%C3%A1rquico%20de%20pesos%20e>. Acesso em 05 abr. 2025.

GENARO, Vinicius. **Fragilidade ambiental dos serviços ecossistêmicos de suporte e provisão no município de Teodoro Sampaio-SP, no Pontal do Paranapanema: mapeamento e diagnóstico das prioridades de conservação**. Tese de doutorado. PPGeo. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. 2020. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/srv-c0003-s01/api/core/bitstreams/5083e2a0-1d69-4385-86e1-4ef39e007c15/content>. Acesso em: 26 nov. 2024

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M, E. Análise teórica dos conceitos: Riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. **REGNE, Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 71- 83, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273/9468>. Acesso em: 19 ago. 2024.

GUAPYASSÚ, Maísa dos Santos; HERDT, Leticia Peret Antunes. Avaliação da fragilidade ambiental: uma nova abordagem metodológica para as unidades de conservação de uso indireto em áreas urbanas. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 55 – 67, jan/dez 1998. Disponível em: <https://www.floram.org/article/588e2255e710ab87018b4739/pdf/floram-5-%C3%BAnico-55.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2024.

JESUS, M.S. *et al.* Método de avaliação de impactos ambientais: uma revisão bibliográfica. **Brazilia Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p. 38039-38070.2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/28128/22273>. Acesso em: 08 dez. 2024.

JUNIOR. J. F. P; RODRIGUES. S. C. O método de análise hierárquica – AHP como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 23, p. 4 – 26, 2012.

JUNIOR, Moacir de Freitas et al. **Hidrovias Brasileiras questões ambientais e de aplicação na logística integrada na sua implantação e operação**. XII FATECLOG – Gestão de cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual. FETEC Mogi das Cruzes – SP / Secretaria de desenvolvimento econômico. Governo de São Paulo. 2021.

Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2021/parte2/985-1362-1-RV.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

JUNK, W. J. *et al.* Classificação hidroquímica dos rios da Amazônia: uma revisão sistemática e meta-análise. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia-MG, v. 21, n. 78, p. 211-226, dez/2020.

Disponível: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/53272/30217>
Acesso em: 07 jan. 2025.

KEMPLA, Mariene. **Determinação das pressões a jusante de compostos tipo segmento invertida: aplicações em eclusas e navegação**. Trabalho de Conclusão de Curso.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/39094/000825315.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 mar. 2024.

LYRA, Ricardo, L. W. C; CORRAR, Luiz. C. **Analytic Hierarchy Process (AHP) um modelo de mensuração e avaliação de desempenho do setor Textil**. XVI Congresso Brasileiro de Custos. Fortaleza – Ceará. 2009. Disponível em:

[file:///C:/Users/elida/Downloads/cbc,+XVICongresso_artigo_0259%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/elida/Downloads/cbc,+XVICongresso_artigo_0259%20(1).pdf). Acesso em 15 abr. 2025.

MAB, Movimento dos Atingido por Barragens. **Crise climática aumenta os casos de rompimento de barragens**. 2024. Disponível em: <https://mab.org.br/2024/05/03/nota-crise-climatica-aumenta-os-casos-de-rompimento-de-barragens/>. Acesso em 03 de maio de 2024

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. **Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos**. **Ambiente & Sociedade**, Campinas: UNICAMP/NEPAM, v.7, n.2, p. 95-109, jul.

/dez., 2004. Disponível em: www.scielo.br/pdf/asoc/v7n2/24689.pdf. Acesso em: 26 maio 2024.

MARCHEZINI, Victor. Redução de vulnerabilidade a desastres: dimensões políticas, científicas e socioeconômicas. **WATERLAT-GOBACIT Network Working Papers**.

Newcastle upon Tyne and São Paulo, v. 2, n. 17, 2015. p. 82-102. Disponível em: <file:///C:/Users/elida/Downloads/WPSATAD217.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

MARQUES, Joana Brás Varanda; FREITAS, Denise de. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em educação. **Pro-Posições**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 389-415, ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>.

MELLO, Sandra Soares. **Na beira do rio tem uma cidade: Urbanidade e valorização dos corpos d'água**. 2008. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2008.

Disponível em:

https://www.fredericodeholanda.com.br/orientacoes/doutorado/2008_MelloSandraSoaresDe_na_beira_do_rio_tem_uma_cidade.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

MDR - Ministério de Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. GIRD + 10. **Caderno Técnico de Gestão Integrada de Risco e Desastres. Brasília, DF.** 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Caderno_GIRD10_.pdf. Acesso em 22 de jan. 2025.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Em defesa do lago Tucuruí.** 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sca/tucur/index1.html>. Acesso em: 26 maio. 2024.

MME, Ministério de Minas e Energia. Relatório Técnico 02 (RT02). **Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável (PDRS) e Implantação de Usinas Hidrelétricas Estruturadas.** Avaliação das Experiências de Planejamento Regional Associadas a Empreendimentos Hidrelétricos. Versão Final. Abril de 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/produto-6-final.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2025.

MME, Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/Volume1-ManualTecnicoParaMapeamentodePerigoeRiscoaMovimentos_CPRM.pdf. Acesso em: 13 jan de 2025.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation. 3 ed. Malden, MA: Blackwell Publishing,** 2005. Disponível em: https://svgaos.nl/wp-content/uploads/2017/02/Morgan_2005_Soil_Erosion_and_Conservation.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.

NEVES, Luiz Paniago. **Segurança de Barragens – Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada, Brasília,** 2018. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2018/06/e-book-livre-legislacao-federal-brasileira-em-seguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves.pdf>. Acesso em 17. de mar. 2025

NOBRE, Carlos A. **Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança do Clima.** Seminário Dos Usuários Das Previsões Numéricas De Mudanças Climáticas E Seus Impactos Regionais. CPTEC/INPE. 2004.

NOGUEIRA, André; LIMA, Daniel. **Tecnologia utilizada na execução das obras das eclusas de Tucuruí.** 58 ° Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACOM, 2016. Disponível em: <https://ibracon.org.br/eventos/58cbc/Palestras/Daniel.pdf>. Acesso em: 31 de jan. 2024.

ORELLA, J. S.; CONGILIO, C. R. **O projeto hidrelétrico Tucuruí e a ditadura militar no Brasil. Uma perspectiva desde a ecologia política.** III Encontro de pós-graduação: PROPIT, UNIFESSPA, 2018. Disponível em: https://epg.unifesspa.edu.br/images/Artigos/EPG_2018/Jessica-Solrzano-Orellana.pdf Acesso em: 28 de mar. 2024.

PARÁ. Secretaria de Estado de Turismo. **Inventário da oferta turística de Tucuruí.** 2012. Disponível em: https://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/inventario_tucuruui_0.pdf. Acesso em: 26 maio 2024.

PARÁ. **Lei Nº 6.451, de 8 De Abril De 2002.** Cria Unidades de Conservação da Natureza na região do Lago de Tucuruí. Disponível em: <file:///C:/Users/elida/Downloads/N0D00183.pdf>. Acesso em 31 de mar. 2025.

PARÁ. Tribunal de Justiça do Estado do Pará. Reintegração e manutenção de posse. 0015973-15.2018.8.14.0061. Relator: Centrais Elétricas Do Norte Do Brasil S/A Eletronorte. PA, 20 Fev. de 2025. Disponível em: https://www.jusbrasil.com.br/processos/228174325/processo-n-00159731520188140061-do-tjpa/?query_id=2e3ec232-5256-4bbf-8473-158e30e19017. Acesso em 26 maio de 2025.

PDMT - **Plano diretor no município de Tucuruí**, 2006 Disponível em: <http://www.pmt.pa.gov.br/>. Acessado em: 01 de abr. 2014.

PIMENTEL, Virginia. **Alternativa de solução para os impactos físicos de barragens.** Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-08082005-142356/publico/Final.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2024.

PLEC, Denis Furtenau *et al.* **Uso de modelagem física e numérica para simulação e otimização do comportamento hidráulico de eclusas e navegação.** XIX – SBRH, Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/55c6b4a46a0f1ea8d02c04963fb3b934_cfba9ccbd73e4d0995882764b2a815e0.pdf. Acesso em: 24 abr. 2024

POMPERMAYER, F.M., CAMPOS NETO, C.A.S. E DE PAULA, J.M.P., **Hidrovias no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade**, Rio de Janeiro, IPEA, 2014. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2714/1/TD_1931.pdf. Acesso em: 28 de fev. 2024

PRATA, Tatiane Chagas. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental da costa oeste da região do salgado paraense.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2020. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/10f09636-b9d3-4e5c-b2ea-bb3506f2b944/content>. Acesso em: 17 abr. 2025.

REZENDE, GARAÚJO, S. As cidades e as águas nas margens dos rios. **Revista de geografia**, Recife, v. 33, n. 2, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229173/23572>. Acesso em: 26 out. 2024

ROCHA, João; BARBOSA, Patrícia. Urbanização e desastres: ocupação das áreas de risco em Teresina, Piauí. **Revista Geonorte**, v. 14, n. 44, p 112- 126, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10547/8610>. Acesso em: 24 de set. 25024

ROCHA, Dyego Freitas; ALMEIDA, Lutiane Queiroz. Risco e vulnerabilidade na geografia: Breves considerações. **Revista GeoUECE** (online), v. 8, n.14, p. 165 – 189, 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/1518/5742>. Acesso em: 22 out. 2024.

ROMERO, Gilberto; MASKREY, Andrew. *Como entender los desastres naturales*. In: MASKREY, Andrew (Org.). *Los desastres no son naturales*. Bogotá: Tercer Mundo Editores, 1993. Disponível em: <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2024.

ROSS, Jurandyr L. S. Análise empírica da fragilidade empírica dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, n. 8, 1994.

SAATY, T L. Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits opportunities, cost and risk. **RWS publications**, Pittsburgh, 2025.

SANTOS, Silvio dos S. **Aspectos da Navegação Interior**. São Paulo: Marinha mercante em todo mundo. UFSC, 2014.

SANTOS, Iviane Cunha; NUNES, Gleilson Mendes; AYUB, Augusto; LUZ, Deivid Wilkerson Bessa. Um panorama da criação e implementação do programa nacional de recuperação, operação, manutenção e gerenciamento de eclusas (PROECLUSAS), no Brasil. **Revista ENINFRA**, Brasília – DF, v. 1, n. 2, p. 187–208, 2023. Disponível em: <https://revistaeninfra.dnit.gov.br/index.php/inicio/article/view/40>. Acesso em: 2 jun. 2024.

SANTOS, Rafael. L. T. **Classificação de áreas úmidas e análise temporal de ocupação e uso das terras por sensoriamento remoto**. Dissertação de mestrado – Universidade do Rio de Janeiro – Macaé. 2020. Disponível em: https://ppgciac.macaee.ufrj.br/images/DOCS/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Rafael_Lira_reduzida_4mb.pdf. Acesso em 18 abr. 2025.

SANTOS, R.S. **Profundidade mínima em eclusas de navegação interior – Estudo em modelo reduzido**. Dissertação de mestrado USP – São Paulo. 1993. Disponível: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-25022025-090947/publico/SergioRochaSantosTESE.pdf>. Acesso: 22 fev. 2024.

SANTOS, O.J. Mapeamento entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v.14, p. 75-90, maio/ago 2015. Disponível: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/sHGwqmtgTYsq55cH6HXkT7B/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 05 maio 2024.

SAYÃO; MELLO. Barragens, eclusas e navegação. **Opinião**, ANE Brasil, Academia Nacional de Engenharia. 2015. Disponível em www.anebrasil.org.br/up-content/uploads/2010/10/zb-sayao-miguel-barragens.pdf. Acesso em: 22 fev. 2024.

SCHIAVO, Bruna; HERZ, Ângela; CORTE, Ana Paula; SANQUETTA, Carlos. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, UFMS Santa Maria, v. 20, n. 1, jan–abr 2016. Disponível em: [file:///C:/Users/elida/Downloads/revistas,+REGET+2016-+pag+464-474%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/elida/Downloads/revistas,+REGET+2016-+pag+464-474%20(5).pdf). Acesso em 31 mar. 2025.

SILVA, Gabriela Mendonça; VIEIRA, Antônio Fábio Sabbá Guimarães; ALVES, André Campos. Uma análise da ocupação da terra em área de risco: um estudo de caso no bairro nova cidade, Manaus – AM. **Caderno de geografia**, v. 33, n. 72, 2023. Disponível: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/28389/20581>. Acesso: 15 jan. 2025

SILVA, Pedro José da. **Estrutura para a identificação e avaliação de impactos ambientais em obras hidroviárias**. Tese de doutorado. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
Disponível: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-29062004-233707/publico/TDE.pdf>. Acesso: 02 jun. 2024.

SILVA, Cristiano; NUNES, Fábio. **Mapeamento de vulnerabilidade utilizando o método AHP: uma análise integrada para o suporte à decisão no município de Pacoti/CE**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009.
Disponível: <http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.56/doc/5435-5442.pdf>. Acesso: 14 jan. 2025.

SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais**. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro, p. 72, 1985.

SOUZA, Diego Baptista. **Mudanças Climáticas e um paradigma para as barragens**. 2023. Correio Braziliense. Brasília. Distrito Federal. Disponível em: www.correiobrasiliense.com.br/opniao/2023/10/5129971. Acesso em: 25 de fev. 2024.

SOUZA JÚNIOR, J. G. de A; DEMETTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização dos solos desenvolvidos de basaltos e materiais areníticos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, 2008. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/qfzcmz6PZCbHt4GSG9M5Wmy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 abr. 2025.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandir Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, nº 15, p.39- 49, 2004.
Disponível: [ile:///C:/Users/elida/Downloads/ricardomendes,+04+An%C3%A1lise+comparativa+da+fragilidade+ambiental.pdf](file:///C:/Users/elida/Downloads/ricardomendes,+04+An%C3%A1lise+comparativa+da+fragilidade+ambiental.pdf). Acesso: 13 dez. 2024.

SWYNGEDOUW, E. **A cidade como um híbrido: natureza, sociedade e “urbanização cyborg”**. ACSELRAD, H (ORG) A duração das cidades – sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. Rio de Janeiro. PPeA. 2001.

TENÓRIO; LIMA. Indicadores de eficiência do Plano diretor municipal de Tucuruí. **Revista de geografia**, Universidade Federal de Pernambuco, v. 30, n. 3, 2013. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229085/23491>. Acesso: 03 fev. 2024

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 97p. Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv9679.pdf>. Acesso: 17 jan.2025.

USSAMI, M. **Comportamento hidráulico dos ecossistemas de enchimento e esgotamento de eclusas de navegação**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

VEYRET, Yvete. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007.

VIEIRA, G. H. **Análise e comparação de métodos de decisão multicritérios AHP Clássico e multiplicativo**. Trabalho de conclusão de curso. Instituto Tecnológico de aeronáutica, São José dos Campos. SP. 2006.

WISNER, Bem; BLAIKIE, Pires; CANNON, Tery; DAVID, Iam. **Atrisk: natural hazards, poples vulnebility and disasters**. 2 ed. Londres, Nova York Routleoge, 2004. Disponível: <https://ncert.nic.in/textbook/pdf/kegy106.pdf>. Acesso: 02 mar. 2025.

APÊNDICE A – PESOS PARA MATRIZ AHP

O objetivo desse formulário é a atribuição de notas (de acordo com a escala de Saaty) de cada critério em análise, para avaliar seu grau de importância e como cada uma delas vai contribuir para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

[Clique aqui para ler o texto com as informações da pesquisa.](#)

1. De acordo com a escala de Saaty qual nota você atribui para a **declividade** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

5

9

2. De acordo com a escala de Saaty que nota você atribui para a **Área legal** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

5

9

3. De acordo com a escala de Saaty que nota você atribui para a **uso e ocupação** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

Marcar apenas uma oval.

1

5

9

4. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui o **solo exposto** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9

5. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui a **área urbana** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9

6. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui a **vegetação primária** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9

7. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui a **vegetação secundária** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9

8. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui a **vegetação rasteira** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9

9. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui a **vegetação rasteira** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1 3 5 7 9

10. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **uso e ocupação** que nota você atribui ao **curso d'água** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

Marcar apenas uma oval.

 1 3 5 7 9

11. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **área legal** que nota você atribui para **APA** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

 1 3 5 7 9

12. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **área legal** que nota você atribui para **APP** para a análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

Marcar apenas uma oval.

1 3 5 7 9

13. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **declividade** que nota você atribui para o intervalo **(0 - 3%)** análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

Marcar apenas uma oval.

 1 3 5 7 9

14. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **declividade** que nota você atribui para o intervalo **(3 - 8%)** análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada

Marcar apenas uma oval.

 1 3 5 7 9

15. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **declividade** que nota você atribui para o intervalo **(8 - 20%)** análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9

16. De acordo com a escala de Saaty (1 a 9) dentro das classes do critério de **declividade** que nota você atribui para o intervalo **(20 - 45%)** análise da vulnerabilidade ambiental da área estudada?

Marcar apenas uma oval.

1

3

5

7

9