



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

JÉSSICA COSTA MELO

**AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS: VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM
CASO DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS, AMAPÁ.**

MACAPÁ

2025

JÉSSICA COSTA MELO

**AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS: VULNERABILIDADE AMBIENTAL
EM CASO DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS, AMAPÁ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento da Amazônia Sustentável da Universidade Federal do Amapá, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente e Planejamento

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Valdenira Ferreira dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Sávio Luíz Carmona dos Santos

MACAPÁ

2025


JÉSSICA COSTA MELO

**AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS: VULNERABILIDADE
AMBIENTAL EM CASO DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS, AMAPÁ.**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento da Amazônia Sustentável da Universidade Federal do Amapá, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional.

Aprovado em: 26 / 09 / 2025


Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **VALDENIRA FERREIRA DOS SANTOS**
Data: 25/11/2025 17:14:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof.^a Dr.^a. Valdenira Ferreira dos Santos
Orientador(a) – IEPA - PPGDAS/UNIFAP

Documento assinado digitalmente
 **SAVIO LUIS CARMONA DOS SANTOS**
Data: 25/11/2025 16:40:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sávio Luíz Carmona dos Santos
Coorientador - CAMB/UNIFAP

Documento assinado digitalmente
 **JOSE FRANCISCO DE CARVALHO FERREIRA**
Data: 25/11/2025 16:10:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Francisco de Carvalho Ferreira
Examinador(a) Titular Interno –
PPGDAS/UNIFAP

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO JOSE DE OLIVEIRA**
Data: 25/11/2025 15:17:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo José de Oliveira
Examinador(a) Titular Externo – CAMB/UNIFAP

DEDICATÓRIA

A Deus Dono de toda ciência e sabedoria, à minha família,
Meu pai Benevaldo Melo (*in memoriam*), minha mãe Francisca,
Meus irmãos Carlos Humberto (*in memoriam*), Mônica, Angélica e Néia e
Às pessoas afetadas pelos rompimentos das barragens em Mariana e Brumadinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida e dono de toda sabedoria e ciência, por ter me sustentado até aqui e me abençoado, de maneira que conseguisse terminar esta pesquisa.

A meu pai Benevaldo Melo (*in memoriam*), que com certeza estaria muito orgulhoso e estaria emocionado neste momento com mais essa etapa vencida (os dois chorões da família, eu e ele). À minha mãe Francisca, pelo apoio em tudo e amor incondicional, mais esta conquista é para vocês.

Às minhas irmãs, Mônica, Néia e Angélica pelo apoio e cuidado de sempre e meu irmão Carlos Humberto (*in memoriam*), estou com muitas saudades e queria que estivesse aqui e aos demais da família que me apoiaram.

Ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento da Amazônia Sustentável, da Universidade Federal do Amapá (PPGDAS/UNIFAP), por esta oportunidade de concretização de um sonho e de realização de estudo em minha área de pesquisa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Valdenira Ferreira dos Santos, pelos conhecimentos transmitidos, sua dedicação, expertise, paciência e conselhos, no decorrer desta pesquisa. Minha gratidão pela confiança, aprendizado, incentivo e, principalmente, pelo exemplo de profissional competente e guerreira que é.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Sávio Carmona e MSc. Cláudia Funi, vocês foram primordiais nesta etapa, obrigada pelo apoio de sempre, amizade, companheirismo e sempre dispostos a ouvir meus lamentos e me apoiarem, vocês são mais que especiais. Sávio, obrigada pelo incentivo em todos esses anos, desde a graduação, conselhos e amizade, e por me entender nas minhas decisões e estar sempre ao meu lado. Cláudia, sou suspeita para falar de você, mas você sabe que só foi possível concluir também mais esta fase, pela sua ajuda e compreensão no projeto no qual faço parte, e por todo apoio em tudo, na pesquisa, vida profissional e pessoal, obrigada pela amizade e amor, você tem meu coração.

Aos docentes do PPGMDR, atual PPGDAS/UNIFAP, que em muito contribuíram para essa caminhada, e em especial à Coordenadora do Programa de Desenvolvimento da Amazônia Sustentável, prof^a. Dra. Marília.

Aos discentes do mestrado e amigos, Hilene, Ana, Charles, Cláudia e Paulo que fiz neste período de pesquisa, com as quais compartilhei informações, expectativas, frustrações, experiências, aprendizados, tristezas e muitas alegrias e vitórias no processo de desenvolvimento acadêmico, sempre nos apoiando e ajudando, vocês são especiais.

Ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA), autarquia em que desempenho minhas atividades, ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais aplicado a Ecossistemas Aquáticos - LASA, laboratório no qual desenvolvi esta pesquisa, aos meus amigos e colegas pesquisadores, Edineuza, Benedito, Franci, Kerly e Emily, pela ajuda, apoio na pesquisa e com os dados. Vocês são demais.

À AMCEL, em nome dos Senhores Paulo Antunes e Rogério Cardoso, pelo incentivo e apoio nesta pesquisa e compreensão na época que trabalhei na empresa, infelizmente não conseguir finalizar esta etapa estando aí, por não conseguir conciliar também, mas sou muito grata a vocês pelo apoio no mestrado e nas minhas atividades na empresa, foi o lugar que mais aprendi na minha área de atuação e sou muito grata por isso.

Aos demais amigos e colegas, Márcia, Tiago, Diego e Renan pelo apoio de sempre e companheirismo (os dias na empresa eram mais leves e divertidos com vocês, sinto saudades). Ao seu Valdir e seu Cleberton, que sempre estiveram dispostos a me ajudar, nas caronas sempre que estava com as minhas correrias, de um lado para outro, e nos energéticos de açaí que traziam quando eu estava “zumbi”, saibam que me emociono ao lembrar desses detalhes, vendo que sempre estavam dispostos a me ajudar (sinto saudades dos meus “parceirinhos”), sou muito grata por isso, vocês são dez!

As minhas amigas, Lili, Renata, Zenilda, Tannara, Gilcely e Amanda, pela amizade e apoio de sempre. Lili, mesmo longe ouvindo e partilhando das minhas lamentações, e sempre me apoiando, minha amiga/irmã, obrigada por tudo, foi essencial sua amizade e compreensão nesta fase que estive um pouco ausente. Assim como a Renata, daqui, sendo meu braço direito para tudo, amo vocês.

A Zê, pelo apoio indescritível nesta pesquisa, mesmo longe, esteve muito presente, obrigada pelo apoio incansável, mesmo estando na correria com a finalização da sua dissertação também.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa e, em especial, a todos que me ajudaram, me entenderam nos momentos ausentes e fizeram parte desta trajetória, meu muito obrigada de coração!

EPÍGRAFE

“Para que todos vejam, e saibam, e considerem, e juntamente entendam que a mão do
SENHOR fez isso”

Isaias 41:20

RESUMO

O estado do Amapá, situado na região Norte do Brasil, apresenta uma costa altamente dinâmica e rica biodiversidade, sendo historicamente marcado por atividades de extração mineral desde o século XIX. Desde a década de 1950, o beneficiamento industrial de minérios gerou acúmulo de rejeitos, armazenados em barragens construídas ao longo do tempo. Esta dissertação teve como objetivo analisar a vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Araguari frente ao possível rompimento de barragens de rejeito. A metodologia envolveu análise de documentos legais, avaliação histórica e revisão de estudos que aplicaram técnicas específicas de análise de barragens, com o intuito de gerar cenários de vulnerabilidade ambiental. Foram abordados: cenários das barragens de rejeito; sistemas naturais, vulnerabilidade ambiental e técnicas de análise de rompimento; vulnerabilidade dos ambientes costeiros amazônicos; e considerações sobre a vulnerabilidade ambiental na bacia do Araguari. Os resultados evidenciam que a ausência de informações sistematizadas sobre as barragens aumenta a vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros, das populações ribeirinhas e das atividades socioeconômicas locais, reforçando a necessidade de monitoramento efetivo e políticas de prevenção adequadas.

Palavras-chave: barragens de rejeitos; rio Araguari; planejamento ambiental.

ABSTRACT

The state of Amapá, located in northern Brazil, has a highly dynamic coastline and rich biodiversity, and has historically been marked by mineral extraction activities since the 19th century. Since the 1950s, industrial mineral processing has generated an accumulation of tailings, stored in dams built over time. This dissertation aimed to analyze the environmental vulnerability of the Araguari River basin in the event of a possible tailings dam failure. The methodology involved analysis of legal documents, historical evaluation, and review of studies that applied specific dam analysis techniques to generate environmental vulnerability scenarios. The following topics were addressed: tailings dam scenarios; natural systems, environmental vulnerability, and breach analysis techniques; vulnerability of Amazonian coastal environments; and considerations on environmental vulnerability in the Araguari basin. The results show that the lack of systematized information on dams increases the vulnerability of coastal ecosystems, riverside populations, and local socioeconomic activities, reinforcing the need for effective monitoring and adequate prevention policies.

Keywords: tailings dams; Araguari river; environmental planning.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Situação operacional das barragens de rejeitos de mineração no Amapá.....	24
---------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ORGANOGRAMAS

Diagrama 1 - Relações da vulnerabilidade com ambientes.....	41
-------------------------------------------------------------	----

Fluxograma 1 - Fluxograma metodológico deste trabalho.....	49
------------------------------------------------------------	----

Fluxograma 2 - Fluxograma metodológico da vulnerabilidade ambiental adotado neste trabalho.	60
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadastro das barragens de mineração no Brasil no sistema SIGBM/ANM.	23
Figura 2 - Evolução das leis de segurança de barragens no mundo e Brasil.	34
Figura 3 – Mapa da área da bacia hidrográfica do rio Araguari (em verde) no estado do Amapá, com a localização das barragens de rejeito, localidades e vias de acesso.	47
Figura 4 - Campo na barragem Mario Cruz, no município de Pedra Branca do Amapari (Cod_ID BA09, ver Figura 3).	52
Figura 5 - Pesos atribuídos às camadas e média ponderada dos aspectos naturais para construção dos indicadores.	54
Figura 6 - Altimetria da área de estudo	55
Figura 7 - Declividade extraída do MDT.	55
Figura 8 - Áreas susceptíveis a inundação na Bacia hidrográfica do rio Araguari.	56
Figura 9 - Cruzamento de informações resultando na vulnerabilidade social.	57
Figura 10 - Pluviometria da Bacia do Rio Araguari.	63
Figura 11 - Dados de precipitação das estações na BHRA.	64
Figura 12 - Habitats costeiros.	68
Figura 13 - Vulnerabilidade natural ao rompimento de barragem para BHRA.	72
Figura 14 - Resultado da reclassificação da variável de demografia (total quantidade de moradores).	74
Figura 15 – Mapa do resultado da reclassificação de domicílios particulares permanentes ocupados, tipo de espécie é casa, utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés (V00125)...	75
Figura 16 – Mapa do resultado da reclassificação de Domicílios Particulares Permanentes Ocupados, tipo de espécie é casa, utiliza poço profundo ou artesiano (V00120).	76
Figura 17 – Mapa resultado da reclassificação de domicílios particulares permanentes ocupados, utiliza outra forma de abastecimento de água (V00118).	77
Figura 18 - Resultado da reclassificação de domicílios particulares permanentes ocupados, destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial (V00309).	78
Figura 19 – Mapa de vulnerabilidade social à rompimento de barragens de rejeito.	79
Figura 20 - Vulnerabilidade ambiental ao rompimento de barragens de rejeito.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Acidentes com barragens de rejeito no Brasil desde a década de 1980.	26
Quadro 2 - Normas criadas no Brasil.	30
Quadro 3 - Critérios para enquadramento de barragem na PNSB.	30
Quadro 4 - Serviços ambientais desempenhados pelas áreas costeiras.	37
Quadro 5 - Termos associados aos riscos e a vulnerabilidade	40
Quadro 6 - Principais características técnicas das barragens analisadas	49
Quadro 7 - Resultados de buscas sobre impactos de barragens de rejeito em áreas costeiras.	50
Quadro 8 -Altitude das barragens de rejeito.	54
Quadro 9 - Graus de vulnerabilidade natural utilizados neste trabalho.	56
Quadro 10 - Nota atribuída à demografia por quantidade de moradores por setores censitários.	57
Quadro 11 - Variável de casa que utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés.	58
Quadro 12 - Variável de casa que utiliza poço profundo ou artesiano.	59
Quadro 13 - Variável de casa que utiliza outra forma de abastecimento de água.	59
Quadro 14 - Variável que a destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial.	59
Quadro 15 - Classes de vulnerabilidade ambiental (UFSC-CEPED, 2012).	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 5 - Demografia por setores censitários por municípios na BHRA.	73
----------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANM	Agência Nacional de Mineração
BCDC/AP	Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá
BHRA	Bacia Hidrográfica do Rio Araguari
CEPED	Centro de Estudo e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
CR	Categoria de Risco
DPA	Dano Potencial Associado
IBGE	IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i>
ICOMI	Indústria Comércio de Minérios
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
PAE	Plano de Ações Emergenciais
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Amapá
SNISB	Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 CENÁRIOS DAS BARRAGENS DE REJEITO.....	22
2.1 BARRAGEM.....	22
2.2. MARCO REGULATÓRIO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	28
2.2.1. Marcos regulatórios no mundo	28
2.2.2. Legislação sobre barragens no Brasil.....	29
2.2.3. Legislação sobre barragens no estado do Amapá	32
3 OS SISTEMAS NATURAIS, VULNERABILIDADE AMBIENTAL E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO	35
3.1. OS SISTEMAS NATURAIS E SUAS CONECTIVIDADES COM O ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO	35
3.1.1. Sistemas fluviais.....	35
3.2. BACIA HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS	37
3.3 INFLUÊNCIA DE MARÉ.....	38
3.4 VULNERABILIDADE AMBIENTAL E ROMPIMENTO DE BARRAGENS	39
3.5 MÉTODOS E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS E CENÁRIOS EM VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	43
4 METODOLOGIA.....	46
4. 1 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA DO TRABALHO	46
4.1.1 Área de estudo	46
4.2. METODOLOGIA	49
4.2.1. Levantamento bibliográfico	50
4.2.2. Levantamento de documentos com informações das barragens de rejeito	51
4.2.3. Dados cartográficos.....	51
4.2.4 Visita de campo.....	52
4.2.5 Mapeamentos e análises espaciais.....	53
4.2.6 Determinação da vulnerabilidade ambiental a rompimento de barragem.....	60
5 CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS NO CONTEXTO AMAZÔNICO	62
5.1. FATORES QUE INFLUENCIAM NOS CENÁRIOS AMBIENTAIS	62
5.1.1. Condições climáticas para o Amapá.....	62
5.1.2 Precipitação nas estações na BHRA	63
5.1.3. Condições oceanográficas	66
5.1.4 Solos da BHRA	67
5.1.5 Habitats	67
5.1.6 Cobertura vegetal.....	69
5.1.7 Cenários aplicados para análise de vulnerabilidade ambiental na BHRA	69
6 VULNERABILIDADE AMBIENTAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS NA BACIA DO RIO ARAGUARI.....	71

6.1 VULNERABILIDADE NATURAL AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO.....	71
6.2 VULNERABILIDADE SOCIAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS.....	73
6.2.1 Indicador de demografia	73
6.2.2 Indicadores de domicílio.....	74
6.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO NA BACIA DO RIO ARAGUARI.....	79
7 DISCUSSÕES	82
8 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
8.1 CONCLUSÃO	84
8.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
ANEXOS	98

1 INTRODUÇÃO

As barragens sempre tiveram um papel importante na sociedade. Inicialmente foram criadas para acúmulo de água, para atividades de irrigação, depois foram criadas com finalidades diversas como: geração de energia elétrica, armazenamento de rejeitos de minérios, abastecimento de água, entre outros (Guidicini; Sandroni; Mello, 2021).

Ainda que haja benefícios nas barragens, elas também podem apresentar riscos para a sociedade e para o meio ambiente, a depender do material armazenado, da quantidade e de como se encontra o seu estado físico. Em caso de rompimentos, elas podem afetar corpos hídricos, biotas, vidas humanas e estruturas (Ribeiro *et al.*, 2012).

Dentre os diferentes tipos de barragens, destacam-se as barragens de rejeito, associadas ao desenvolvimento das atividades de mineração no Brasil, as quais tiveram seu início em épocas que remontam há cerca de 300 anos. No entanto, durante muito tempo, as atividades de mineração descartaram diversos resíduos na natureza - cursos d'água - e em terrenos adjacentes, sem qualquer preocupação com ordenação e sistematização (Ávila, 2011).

No estado do Amapá, as atividades minerais ocorrem desde o século XVII (Oliveira, 2010). Tal ação tem gerado uma produção significativa de resíduos minerais resultantes do beneficiamento do minério. Essa produção, por sua vez, impulsionou a construção de diques para o armazenamento desses materiais, resultando na construção de barragens de rejeitos.

A segurança dessas estruturas passou a ser amplamente discutida no Brasil, nos veículos de comunicação, como jornais, revistas e portais de notícias na internet, principalmente após os grandes acidentes envolvendo rompimento das barragens de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambas ocorridas no estado de Minas Gerais. A devastação gerada nas áreas e adjacências comprovaram o poder destrutivo e os impactos destas estruturas durante os acidentes de rompimento de barragens (Bustamante *et al.*, 2019).

A situação se torna preocupante em áreas onde não há um inventário confiável com informações sistematizadas, como é o caso do estado do Amapá. Esta preocupação é agravada pela falta de estudos técnicos-científicos sobre os impactos ambientais e os efeitos que podem ser desencadeados em caso de rompimento das barragens.

No Amapá, existe um agravante: as principais bacias hidrográficas do estado do Amapá, onde se localizam essas barragens, têm seus rios desaguando na zona costeira (Santos *et al.*, 2022). Além disso, é uma área altamente dinâmica do ponto de vista morfológico, geológico e hidrológico com uma variedade de ambientes costeiros (Santos, 2006) e rica bio e

geodiversidade¹ (Rabelo, 2018), cuja conservação é essencial para as populações que vivem nas proximidades do estuário amazônico e do litoral amapaense adjacente.

O rompimento de barragens de rejeito pode ter efeitos negativos nos ecossistemas costeiros. Grandes volumes de rejeitos liberados podem interferir na deposição e transporte naturais de sedimentos nessas regiões, a exemplo do que ocorreu Mariana (2015) e Brumadinho (2019) (Bustamante *et al.*, 2019). Isso pode levar ao acúmulo excessivo de sedimentos em áreas específicas, o qual resultará em mudanças na morfologia costeira, como o assoreamento de estuários, rios e soterramento de manguezais (Ribeiro *et al.*, 2012).

Essas alterações podem ter um impacto significativo nos habitats marinhos e estuarinos, afetando a biodiversidade e a produtividade dos ecossistemas costeiros e marinhos (Ávila *et al.*, 2021; Massignan; Sánchez, 2022). Esses impactos sobre os ambientes costeiros e marinhos são muitas vezes negligenciados ou subestimados. Que estes ambientes são altamente dinâmicos, isto é um fato, e estão expostos a possíveis desastres, seja de forma natural ou impulsionados pela ação do Homem.

Para auxiliar nas respostas a estes eventos, o uso das ferramentas de geotecnologias, possibilita a aquisição de informações e diversas análises, podendo prever um cenário ambiental no caso de grandes desastres, e representar os impactos de diversas dimensões, que podem auxiliar na tomada de decisão.

A capacidade de inovação do tema se justifica em razão dos novos achados de Prina; Trentin (2014) e Magalhães *et al.*, (2011), que realizaram análises relacionadas à vulnerabilidades e Pautz *et al.*, (2023), que comprovaram através do uso de ferramentas de geotecnologia, cenários em vulnerabilidade ambiental.

Neste contexto, o problema desta pesquisa advém do seguinte questionamento: quais as circunstâncias que tornam os ambientes costeiros e suas populações vulneráveis em caso de rompimento de barragem de rejeito na bacia do rio Araguari?

A hipótese para responder a esse questionamento é de que em circunstâncias de maior fluxo da bacia do rio Araguari, os ambientes costeiros e as populações costeiras poderão ser afetados em caso de rompimento de barragens de rejeito.

Para responder à pergunta da pesquisa, o objetivo geral desta dissertação é analisar o grau de vulnerabilidade ambiental em caso de rompimento de barragem de rejeito na bacia do rio Araguari no cenário de maior fluxo da bacia.

¹ A geodiversidade refere-se à variedade de feições e sistemas da Terra, englobando a diversidade de rochas, minerais, fósseis, sedimentos e solos, bem como os processos naturais que os formam (UNESCO, 2021).

Os **objetivos específicos** desta pesquisa são:

- Identificar e analisar os cenários em que ambientes costeiros, populações e atividades podem ser afetados em caso de rompimento de barragem de rejeito na bacia do Araguari.

- Identificar o grau de vulnerabilidade ambiental nesta bacia.

Nesse contexto, a avaliação da vulnerabilidade ambiental revela-se primordial, para o entendimento de eventos extremos, como caso por exemplo de um rompimento de barragem, que se localiza em bacias hidrográficas costeiras, pois integra recursos físicos (naturais) e características sociais em relação à ocupação do território. Esses cenários de vulnerabilidade ambiental, podem auxiliar órgãos tomadores de decisões, em momentos de crise.

A dissertação está estruturada, além dos elementos pré textuais, em cinco seções:

A primeira intitulada “CENÁRIOS DAS BARRAGENS DE REJEITO”, trata das barragens, conceitos e o marco regulatório sobre a segurança de barragens, como chegou-se ao atual cenário sobre a segurança de barragens no mundo e no Brasil, como vêm sendo aplicadas aplicado às suas normativas, quais as discussões e evoluções atuais.

A segunda seção, denominada “OS SISTEMAS NATURAIS, VULNERABILIDADE AMBIENTAL E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO”, traz informações acerca dos sistemas naturais e sua conectividade com rompimento de barragens, vulnerabilidade ambiental e técnicas para análise em caso de rompimento de barragens de rejeito.

A terceira seção “METODOLOGIA” apresenta uma descrição geral e uma caracterização detalhada da área de estudo e metodologia aplicada.

A quarta designada de “CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS NO CONTEXTO AMAZÔNICO”, na qual caracteriza os cenários da área de estudo.

A quinta “VULNERABILIDADE AMBIENTAL À ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO NA BACIA DO ARAGUARI”, destaca o resultado da pesquisa, apresentando o grau de vulnerabilidade ambiental identificada para a bacia hidrográfica do rio Araguari.

Ao final são tecidas as discussões e considerações finais com base nos resultados da dissertação.

Ressalta-se que esta pesquisa possibilita tratar das inter-relações entre o ambiente, sua fragilidade, o uso dos recursos naturais e seus impactos sobre a região, o que remete a sua vinculação ao PPGDAS/UNIFAP, no eixo da linha de pesquisa em Meio Ambiente e

Planejamento, o qual acolhe estudos que contribuam para a compreensão das vulnerabilidades ambientais na Amazônia.

2 CENÁRIOS DAS BARRAGENS DE REJEITO

2.1 BARRAGEM

Barragens de mineração, de acordo com a terminologia adotada pela Portaria nº 70.389/2017 DNPM/MME são:

barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos de mineração ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas.

Existem inúmeros barramentos de diversas dimensões e destinados a diferentes usos no Brasil, tais como barragens de infraestrutura para acumulação de água, geração de energia, aterros ou diques para retenção de resíduos industriais, barragens de contenção de rejeitos de minerais, entre outros (Espósito; Duarte, 2010).

As barragens relacionadas à mineração são classificadas, segundo Silva (2007), da seguinte forma:

- minério: mineral ou associação de minerais que pode, sob condições econômicas favoráveis ser utilizado como matéria prima para a extração de um ou mais metais.
- rejeito: rochas ou minerais inaproveitáveis presentes no minério e que são separadas deste, total ou parcialmente, durante o beneficiamento.

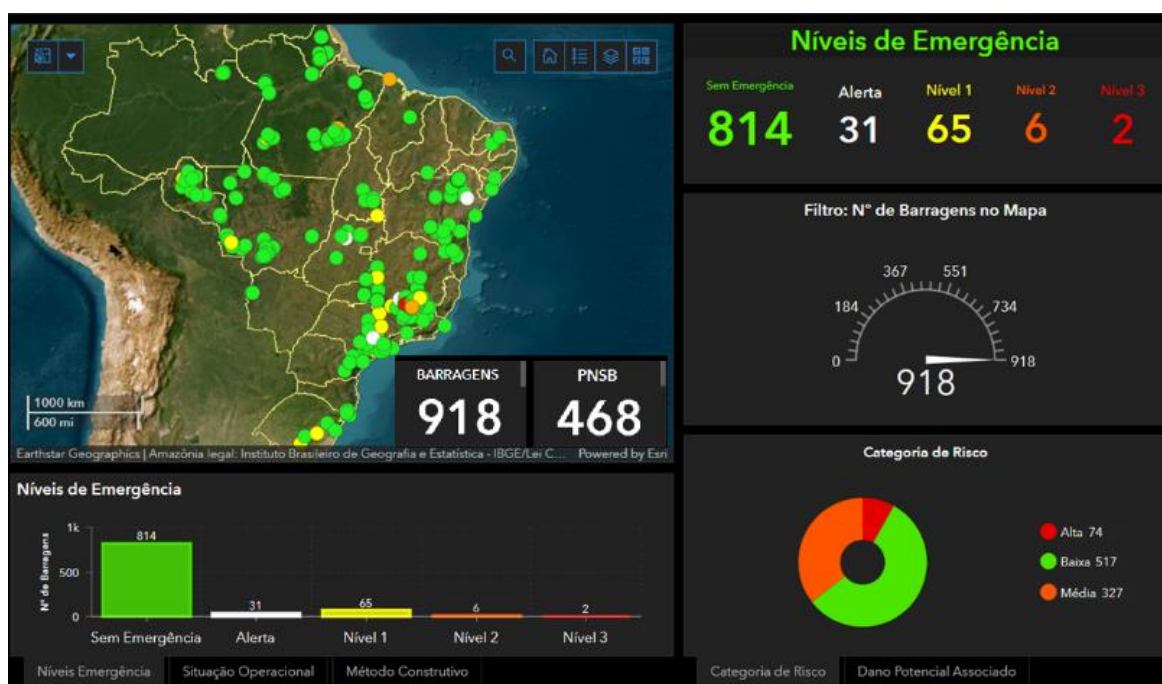
Nascimento e Silva (2018) observam que existem dois tipos de resíduos sólidos decorrentes da extração mineral: aqueles estéreis extraídos da camada superficial da terra, que raramente possuem valor econômico e são comumente empilhados. No processo de beneficiamento do minério sobra uma mistura de lama com água, minério e substâncias químicas, que é chamado de rejeito e é depositado em barragens. O rejeito é algo que não pode mais ser aproveitável (Nascimento; Silva, 2018).

Remotamente, não havia preocupação quanto à disposição dos rejeitos, que eram depositados, diretamente, na superfície em contato com a natureza. Com o descobrimento das máquinas a vapor, e, conseqüentemente, investimentos na atividade minerária, a quantidade de rejeitos produzidos aumentou e, portanto, a necessidade de removê-los das áreas próximas da produção para outros lugares, principalmente, para aqueles próximos a cursos de água. Assim, a construção de barragens e diques de contenção foi necessária (IBRAM, 2016).

Ávila (2016) ressalta que foi a partir da década de 1930 que as indústrias começaram a investir nas primeiras construções de barragens de contenção de rejeito.

Segundo a Cadastro Nacional de Barragens de Mineração – CNBM, gerenciado pela ANM (2025), através do Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração – SIGBM (Figura 1), até 25 de fevereiro deste ano (2025) existiam 918 barragens de mineração cadastradas.

Figura 1 - Cadastro das barragens de mineração no Brasil no sistema SIGBM/ANM.



Fonte: ANM/SIGBM (2025).

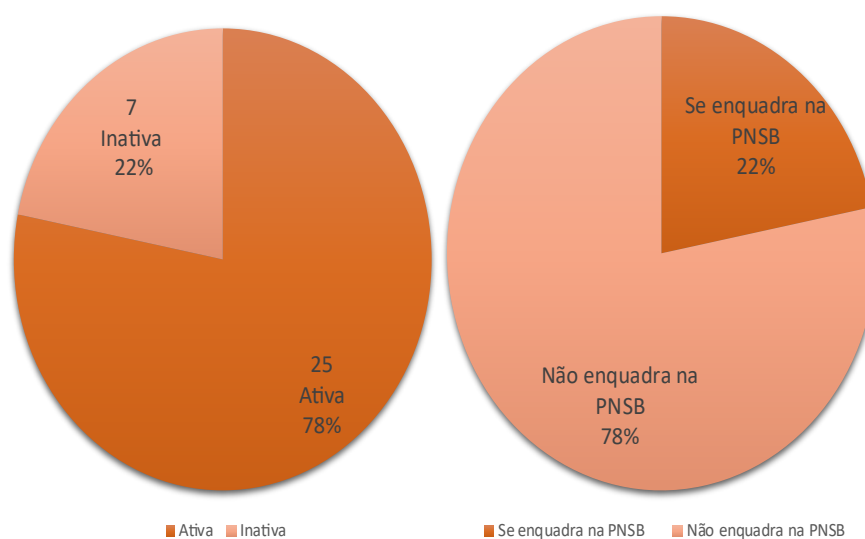
Desse total de barragens de rejeito, cadastradas na ANM, 29% (377) estão na Amazônia, deste, 6% (24) no estado do Amapá.

A maioria das barragens de mineração existentes no Amapá não se enquadra na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), o que faz com que a Agência Nacional de Mineração (ANM) não tenha conhecimento oficial sobre elas, nem realize sua fiscalização ou controle. A concentração desses barramentos é maior na região centro-oeste do Estado, especialmente nos municípios de Pedra Branca do Amapari e Mazagão.

No Estado do Amapá, de acordo com o Relatório Técnico (SEMA, 2021), existem 32 barragens de rejeito de mineração (excedendo as cadastradas na ANM), distribuídas nos municípios de: Pedra Branca do Amapari (15), Mazagão (5), Porto Grande (3), Laranjal do Jari (3), Calçoene (4) e Serra do Navio (2) (Anexo A) que se encontram em diversas situações (Gráfico 1).

Observa-se que do total de 32 barragens, 25 barragens são ativas (78%) e sete (7) inativas (22%). Em relação ao enquadramento na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), apenas 22% - sete (7) barragens - se enquadram nas exigências, enquanto 88% não se enquadram na política. Esses dados destacam a necessidade de atenção à segurança das barragens, especialmente para aquelas que ainda não atendem às diretrizes do PNSB.

Gráfico 1 - Situação operacional das barragens de rejeitos de mineração no Amapá.



Fonte: SEMA (2021).

Dessas 25 barragens ativas, apenas sete (7) se enquadram na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB, 2020).

Essas barragens recebem diversos materiais oriundos do beneficiamento de minérios, como: ferro, ouro, caulim, cromita, cromo e manganês. Essas estruturas existem desde o início dos grandes projetos de mineração no Estado, na década de 1950, com o beneficiamento industrial dos minérios.

2.2. ROMPIMENTO DE BARRAGENS E IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

Na última década, nos anos de 2010, debates sobre os impactos causados por rompimento de barragem vêm ocorrendo devido, principalmente, aos desastres socioambientais decorrentes deles. Pois, rompimento de barragens, sempre provocaram reações da sociedade (Franco,2019).

Rompimento de barragens geralmente geram problemas sociais e econômicos de grandes proporções (FEAM, 2008; Serra, 2018; Bustamante, 2019), incluindo perdas de vidas,

levando a tentativas de regulamentação pelo poder público, à adoção de providências efetivas pelos proprietários para a redução de riscos (Franco, 2019). Assim, a regulamentação e monitoramento são necessários para a redução desses acidentes.

O primeiro rompimento de barragem de rejeitos no Brasil ocorreu em 1986 com o rompimento da barragem da Mina do Fernandinho, de propriedade da empresa Itaminas Comércio de Minérios, em Itabirito. Foi lançado na natureza um volume estimado de 350.000 metros cúbicos de rejeitos do beneficiamento de minério de ferro, que ocasionou o rompimento de mais três pequenas barragens de decantação de finos e de captação de água, situadas à jusante da barragem rompida.

Além da destruição de tubulações, redes elétricas e outras estruturas da própria mineradora, o acidente gerou danos ambientais, como destruição e assoreamento da mata ciliar na extensão de aproximadamente 10 quilômetros, atingindo o córrego dos Andaimés e o rio das Velhas e provocando a morte de sete operários que trabalhavam na área da barragem (FEAM, 2008).

Mais recentemente, no Brasil, dois acidentes refletem a dimensão dos danos e impactos causados por rompimento de barragens de rejeitos, são estes: Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

Os acidentes envolvendo o rompimento de barragens de rejeito tiveram perdas de vidas humanas e severos impactos ambientais e econômicos. Eventos significativos que chamaram a atenção da sociedade. Dentre esses impactos em caso de rompimento, principalmente para as comunidades que residem próximo das áreas de barragens, estão a restrição de água potável, surgimento de novas doenças e a diminuição do pescado (CPISP, 2019).

O rompimento da barragem de rejeito da SAMARCO, em 2015 (Quadro 1), causou consequências ambientais e sociais graves. A violenta passagem de lama (rejeito) da barragem enterrou a vila de Bento Rodrigues, em Mariana (MG), surgindo uma onda de lama que deu origem ao que foi considerado maior desastre de mineração do mundo, na época, e provocou a morte de 19 pessoas no instante do acidente (Bustamante *et al.*, 2019).

Foram derramados na natureza 34 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro, que percorreram 660 quilômetros do curso do rio Doce até chegar ao litoral do Espírito Santo e ao mar (Rosa, 2020; Felipe *et al.*, 2016). Foram atingidos 38 municípios, recolhidas do rio 14 toneladas de peixes mortos e milhares de moradores da bacia ficaram sem água potável. A massa de rejeito se alastrou com tanta violência que mudou o curso de córregos e riachos, soterrou nascentes e brejos, alterou o relevo e a composição do solo, cobriu plantações e pastos, arrancou matas ciliares e destruiu a usina de energia (Serra, 2018).

O (Quadro 1), a seguir, mostra os acidentes de barragens de rejeito no Brasil, desde a década de 1980.

Quadro 1 - Acidentes com barragens de rejeito no Brasil desde a década de 1980.

Ano	Barragem	Substância	Empresa	Danos	Impacto
1986	Fernandinho (MG)	Minério de ferro	Itaminas Comércio de Minérios S.A	7 mortes.	Ocasionou o rompimento de pequenas barragens de decantação de sedimentos e captação de água situadas a jusante
2001	Rio Verde (MG)	Minério de ferro	Rio Verde Mineração S/A	5 mortes.	79 hectares de Mata Atlântica foram devastados, cerca de 600 mil m ³ de rejeitos atingiu o córrego Taquaras e 30 hectares de uma área de proteção ambiental na região
2003	Barragem da Florestal Cataguases (MG)	Lixívia negra	Florestal Cataguases	Contaminação de água a jusante pelo vazamento de lixívia negra.	
Ano	Barragem	Substância	Empresa	Danos	Impacto
2006/2007	São Francisco (MG)	Bauxita	Mineração Rio Pomba	Contaminação de água a jusante pelo vazamento de rejeito de bauxita.	
2014	Barragem B1 (MG)	Minério de ferro	Herculano Mineração	3 mortes, Contaminação de água a jusante	
2015	Fundão (MG)	Minério de ferro	Samarco	19 mortes, contaminação de água a jusante.	
2019	Córrego do Feijão (MG)	Minério de ferro	Vale S.A	270 mortes, contaminação ambiental a jusante.	

Fonte: Ávila *et al.* (2021); Viola (2013). Adaptada pela autora (2025).

As perdas de fauna e flora foram enormes. Espécies vegetais de até 20 metros foram arrancadas das margens no trecho até Risoleta Neves (Candongia). Com uma área total de 1.176,44 hectares atingida, segundo o Laudo da Polícia Federal (n° 528/16-SETEC/SR/DPF/MG). A maior área impactada foi de pastagens (46,42%), seguido da Mata Atlântica (20,47%), o restante eram outros tipos de cobertura, como eucalipto, bosques, vegetação arbustiva e plantações.

No laudo também foi descrito que além de florestas nativas, plantas e vegetação de mangues, uma vez que se apuraram danos ao estuário da foz do rio Doce, em Linhares/ES, com afetação da restinga local, decorrentes da passagem e deposição dos rejeitos. Nas margens do estuário do rio Doce foram encontradas plantas que vegetam nas proximidades de manguezais em áreas não atingidas pelas marés, que foram levadas pela lama de rejeito da barragem do Fundão, da empresa SAMARCO, em 2015.

Na Nota Técnica número 03/2017 Vitória-ES/Tamar/Dibio/ICMBio, de 17 de fevereiro de 2017 (Brasil, 2017), o ICMBio concluiu que toda a região costeira do estado do Espírito Santo foi atingida com diferentes intensidades e concentrações pela pluma sedimentar proveniente do evento, sendo a área entre o município de Serra e a divisa com o estado da Bahia a mais afetada, atingindo também todas as comunidades pesqueiras ali localizadas.

Após rompimento da barragem de rejeito da SAMARCO, em 5 de novembro de 2015 (Bustamante *et al.*, 2019), as preocupações aumentaram quanto à necessidade de verificar a situação dessas barragens, se estão irregulares e se as informações coincidem com as fornecidas pela mineradora no ato do Licenciamento Ambiental (Camargos, 2017).

Alguns anos após esse desastre, outro evento ocorreu, novamente, aumentando mais as preocupações com relação à situação das estruturas das barragens. O caso da Empresa Vale S.A, em Brumadinho, onde a lama de rejeito atingiu nove setores censitários, com a estimativa de 3.485 pessoas e 1.090 domicílios atingidos, diretamente. A lama de rejeito atingiu 18 municípios até a chegada ao rio Paraopeba, percorrendo uma extensão de 250 km (Freitas *et al.*, 2019). Foram contabilizados 244 mortos. Esta foi considerada a maior tragédia ambiental e humana já presenciada pelos brasileiros. Cerca de 147,38 hectares do bioma Mata Atlântica foi atingido (Massignam, 2019), o que significa que a biodiversidade deste ecossistema foi muito afetada.

Voltada à realidade do Amapá, a avaliação dos impactos ambientais de barragens e mineração realizada por Chagas (2010) nos rios Amapari e Araguari para o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) atesta a contribuição da ICOMI para a degradação regional. Os principais danos constatados incluíram o rompimento da bacia de rejeito do Baixinho (1987), que causou contaminação hídrica, os deslizamentos do bota-fora da mina F-12, que afetaram a morfologia do terreno, e o uso de herbicidas diclorofenil-base para controle da vegetação na faixa de segurança da ferrovia.

2.2. MARCO REGULATÓRIO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS

2.2.1. Marcos regulatórios no mundo

A partir de 2001, o mundo e o Brasil têm discutido a respeito da importância de regramentos e de aplicação de segurança de barragem. Embora sejam estruturas essenciais para o desenvolvimento de um país, pois estão associadas à produção mineral, armazenamento de água para distribuição pública e privada e geração de energia, os acidentes associados a essas obras podem gerar impactos negativos de grandes magnitudes, em esfera ambiental e social. Estes impactos, em muitos casos, são irreversíveis, como por exemplo, alteração do regime fluvial, tanto nos aspectos quantitativos quanto nos aspectos qualitativos, alteração de ecossistemas, deslocamento de populações, sismos induzidos, entre outros (ANA, 2019).

Por isso, a segurança de barragens é um tema primordial para todas as partes envolvidas, desde as autoridades competentes e empreendedores, até aos órgãos fiscalizadores, de monitoramento e entidades que lhes dão apoio técnico em atividades com relação à concepção, projeto, construção, comissionamento, operação e descomissionamento, as quais devem ser compatíveis ao tipo, dimensão e risco envolvido (Fais, 2020).

Para se entender sobre a evolução do marco regulatório de segurança de barragens no Brasil é importante remontar a instituição da *International Commission on Large Dams* (ICOLD) criada, em 1928. O ICOLD tem como objetivo principal a promoção e divulgação de tecnologias de planejamento, projeto, construção e operação de barragens, e, em 1960, a instituição passou a destacar a importância da segurança e reabilitação de barragens (Fais, 2020).

Inicialmente, a Comissão direcionava suas atividades às questões gerais de construção e operação de barragens. Com o passar do tempo, entretanto, sua atuação foi ampliada para incorporar preocupações relacionadas à segurança e à reabilitação dessas estruturas, refletindo a evolução das práticas e do entendimento técnico sobre o tema (Fais, 2020).

Nos Estados Unidos, o tema começou a ser discutido e regulamentado a partir de 1920, mas foi instrumentado posteriormente pelas agências federais U.S Army Corps of Engineers (USACE) e o Departamento de Interior (Souza, 2019).

A legalização sobre a segurança de barragens no mundo se iniciou no século passado. Países europeus e americanos tiveram suas legislações criadas entre as da década de 1970 e 1990, posteriormente, estas puderam ser detalhadas, de acordo com a característica de cada região (Souza, 2019).

Mais tarde, foram construídas várias barragens e regulamentadas diversas normas de segurança destas estruturas. Em Portugal, foi divulgado o Decreto-Lei nº 11/1990, que tratava da regulamentação, de forma geral, de segurança de barragens no país (Portugal, Decreto-Lei n. 11, 1990).

Em 1993, o país publicou um novo regulamento, mais detalhado e voltado para barragens menores, que compõe documentos técnicos detalhados aplicáveis às inspeções das barragens existentes e aos projetos de novas construções (Portugal, 1993). Posteriormente, estas leis foram usadas como exemplo nos demais países, e sendo adaptadas de acordo com as características de cada país, região e parâmetros para cada tipo de barragem.

2.2.2. Legislação sobre barragens no Brasil

O Brasil teve sua primeira norma regulamentadora para as áreas de barragens de rejeitos no ano de 2001, com a Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001 (Brasil, 2001).

A partir de então, diversas normas foram sendo criadas com o intuito de melhorar a gestão e monitoramento da segurança de barragens (Quadro 2). Segundo Souza (2019), dentre elas estão a Lei nº 12.334/2010 (Brasil, 2010), Resoluções nº 143/2012 (Brasil, 2012) e nº 144/2012 (Brasil, 2012), Portarias nº 416/2012 (Brasil, 2012) e nº 526/2013 (Brasil, 2013), Portaria nº 14/2016 (Brasil, 2016), Portaria nº 70.389/2017 (Brasil, 2017), Resoluções nº 4/2019 (Brasil, 2019) e nº 13/2019 (Brasil, 2019).

Porém, foi com a promulgação da Lei n.º 12.334 de 20 de setembro de 2010 (Brasil, 2010), que houve a inserção legal do Brasil na temática de Segurança de Barragens. Esta Lei foi atualmente alterada para Lei n.º 14.066 de 30 de setembro de 2020 (Brasil, 2020) que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

A PNSB (Brasil, 2010) tem como objetivos garantir a observância de padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento e acompanhar as ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências, em especial, junto à população potencialmente afetada (Brasil, 2020).

Quadro 2 - Normas criadas no Brasil.

Nº da norma	Data	Do que trata:
Lei nº 12.334	10/09/2010	Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)
Resolução nº 143	10/07/2012	do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabelece critérios gerais para a classificação de barragens com base em três parâmetros principais: Categoria de Risco (CRI), Dano Potencial Associado (DPA) e Volume do Reservatório
Resolução nº 144	10/07/2012	do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabelece diretrizes para a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), conforme previsto no artigo 20 da Lei nº 12.334/2010.
Portaria nº 416	03/09/2010	emitida pelo então Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atualmente substituído pela Agência Nacional de Mineração (ANM), estabelece diretrizes para a segurança de barragens de mineração no Brasil.
Portaria nº 526	09/12/2013	DNPM, estabelece diretrizes para o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM).
Portaria nº 14	15/01/2016	DNPM, estabelece um prazo de 15 dias para que os empreendedores responsáveis por barragens de mineração apresentem ao DNPM o comprovante de entrega das cópias físicas do PAEBM às Prefeituras e Defesas Cíveis municipais e estaduais.
Portaria nº 70.389	17/05/2017	DNPM, estabelece diretrizes para a segurança de barragens de mineração no Brasil. Essa portaria regulamenta dispositivos da Lei nº 12.334/2010, como: Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM), Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM).
Resolução nº 4	15/02/2019	ANM, estabelece medidas regulatórias cautelares de barragens de mineração. Como: Proibição de método construtivo a montante, descaracterização de barragens existentes, remoção de instalações na Zona de Autossalvamento (ZAS).
Resolução nº 13	08/08/2019	ANM, estabelece medidas regulatórias para assegurar a estabilidade de barragens de mineração, com foco especial naquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido.

Fonte: Brasil (2010; 2012; 2013; 2016; 2017; 2019); Souza (2019).

A Lei aplica-se às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos se enquadrem em uma das características apresentadas no (Quadro 3), abaixo, de acordo com o Art. 1º (Brasil, 2020).

Quadro 3 - Critérios para enquadramento de barragem na PNSB.

CRITÉRIOS PARA SE ENQUADRAR NA PNSB	
Altura	>= 15 metros
volume	>= 3 milhões m ³
reservatório	= resíduo perigoso de acordo com normas técnicas aplicáveis
dano potencial associado	= médio ou alto

Fonte: SIGBM/ANM (2024).

Atualmente, a resolução da ANM n° 95, de fevereiro de 2022 (Brasil, 2022), trouxe algumas alterações, que revogou a Portaria DNPM n° 70.389/2017 (Brasil, 2017) e demais regulamentos vinculados a ela, e consolidou os atos normativos que dispõem sobre a segurança de barragens de mineração. Nesta resolução se definem as medidas regulatórias que são aplicáveis para as barragens de mineração, abrangidas pela PNSB que apresentem pelo menos uma das características a seguir:

- I - altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;
- II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, conforme definido no inciso XVI do art. 2º e no Anexo IV; e
- V - categoria de risco alto, conforme definido no inciso XI do art. 2º, § 1º do art. 5º e Anexo IV desta Resolução (Brasil, 2022).

A referida Resolução ANM n° 95 (Brasil, 2022) tem como objetivos garantir a observância de padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento e acompanhar as ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências, em especial, junto à população potencialmente afetada.

A esse respeito, esta Resolução, em seu art. 2º considera:

- IV - Barragens de Mineração: a) barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais; e
- b) estruturas construídas por meio de disposição hidráulica de rejeitos, como um maciço permeável, dotado de sistema de drenagem de fundo, suscetíveis à liquefação;
- V - Barragem de mineração ativa: estrutura em operação que esteja recebendo rejeitos e/ou sedimentos oriundos de atividade de mineração;
- IX - Barragem de mineração inativa ou desativada: estrutura que não está recebendo aporte de rejeitos e/ou sedimentos oriundos de sua atividade fim, mantendo-se com características de uma barragem de mineração e que não se enquadra como barragem abandonada;
- XI - Categoria de Risco (CRI): classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre, levando-se em conta as características técnicas, o método construtivo, o estado de conservação, a idade do empreendimento e atendimento ao Plano de Segurança da Barragem; e
- XVI - Dano Potencial Associado (DPA): dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas, impactos sociais, econômicos e ambientais;

Quanto a Resolução traz a classificação quanto à Categoria de Risco - CR e ao Dano Potencial Associado – DPA. E classificadas em três categorias: alto, médio e baixo e possuindo valores somatórios quanto aos pesos para cada categoria.

Em seu Art. 2º, considera:

A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador e a classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo é feita em função dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas, impactos sociais, econômicos e ambientais.

2.2.3. Legislação sobre barragens no estado do Amapá

O estado do Amapá, por possuir empreendimentos no setor mineral e ter suas respectivas barragens, oriundas do resíduo gerado do beneficiamento do minério, teve que se adequar às leis nacionais, Lei 12.334/2010 (Brasil, 2010) e Lei 14.066/2020 (Brasil, 2020), para realizar o monitoramento e fiscalização dessas estruturas, o que vem sendo realizado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA-AP).

As leis específicas sobre barragens de rejeito de mineração estaduais, ainda são inexistentes. Atualmente, a SEMA faz uso da Lei n.º 14.066 de 30 de setembro de 2020 (Brasil, 2020), que trata da PNSB, utilizando os critérios nela existente para realização da fiscalização e usa a Resolução nº 95 de fevereiro de 2022 da ANM (Brasil, 2022), que consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração.

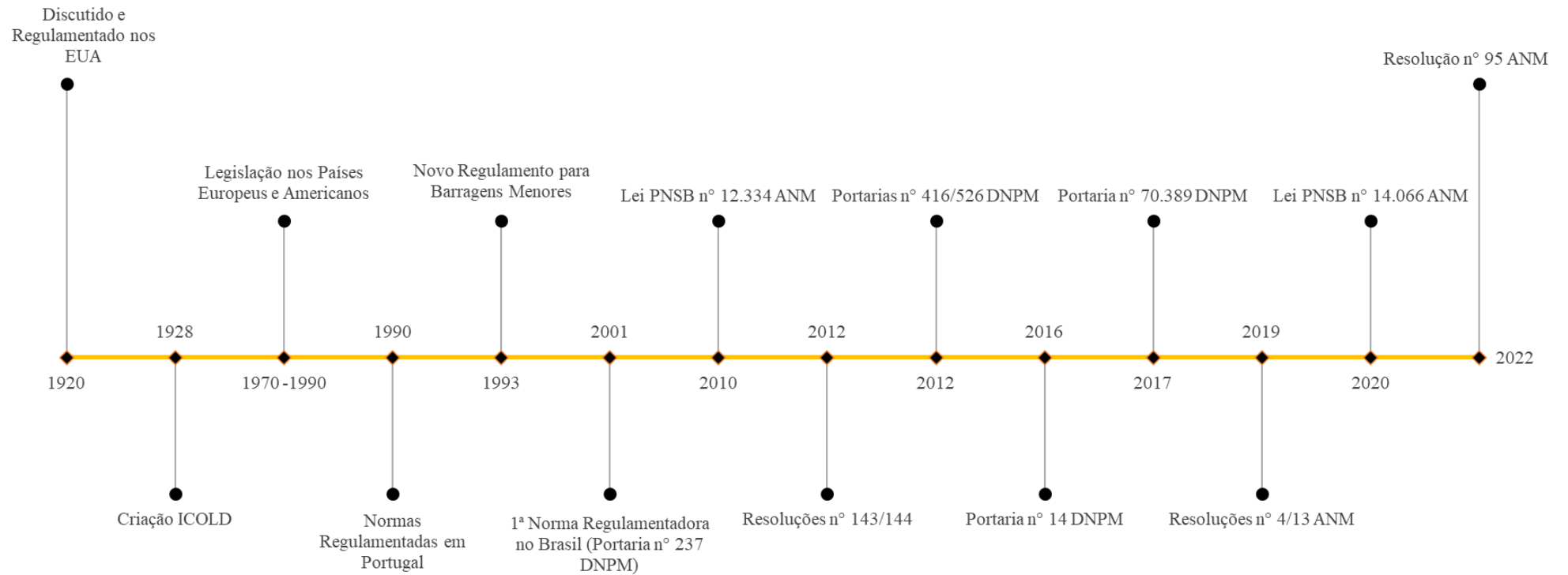
Mais recentemente, o estado do Amapá elaborou normas regulamentadoras de nº 001/2020 e a Portaria nº 127 de 21 de junho de 2022 (Amapá, 2022), referente a barragens de acúmulo de água.

A Norma Regulamentadora nº 001/2020, elaborada pelo estado do Amapá, estabelece diretrizes técnicas e administrativas para a implantação, operação, monitoramento e desativação de barragens destinadas ao acúmulo de água. Seu objetivo é adequar a gestão estadual às diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens, Lei nº 12.334/2010 (Brasil, 2010), definindo responsabilidades dos empreendedores e órgãos fiscalizadores, além de reforçar a importância da prevenção e do acompanhamento contínuo das estruturas, visando à segurança das populações e à integridade ambiental (Amapá, 2020).

A Portaria nº 127 de 21 de junho de 2022 (Amapá, 2022), trata dos critérios e procedimentos para classificação de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, exceto hidroelétricas, trata do Plano de Segurança de Barragem, da necessidade das revisões periódicas, do Plano de Ação Emergencial e das Inspeções de Segurança Regulares e Especiais.

A Figura 2 mostra a evolução das leis sobre as barragens no mundo e no Brasil, no período de 1920 a 2022.

Figura 2 - Evolução das leis de segurança de barragens no mundo e Brasil.



Fonte: ANM (2010); Fais (2020); Amapá (2020,2022).

3 OS SISTEMAS NATURAIS, VULNERABILIDADE AMBIENTAL E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO

3.1. OS SISTEMAS NATURAIS E SUAS CONECTIVIDADES COM O ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO

Esta seção apresenta uma descrição geral sobre os sistemas naturais, como os sistemas fluviais, bacias hidrográficas costeiras e ambientes influenciados por marés, e sua conectividade com possível caso de rompimento de barragens de rejeito.

Os sistemas naturais desempenham um papel essencial na manutenção do equilíbrio ecológico, na regulação climática e no fornecimento de serviços ecossistêmicos fundamentais à vida humana e à biodiversidade, por isso faz-se necessário abordá-los de maneira que se compreenda sua importância, e como esses sistemas podem ser comprometidos em caso de rompimento de barragens (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Smith *et al.*, 2013).

Rios e seus afluentes formam redes hidrológicas dinâmicas, responsáveis pela drenagem e transporte de sedimentos e nutrientes, enquanto as bacias hidrográficas costeiras atuam como zonas de transição entre ambientes terrestres e marinhos, abrigando ecossistemas sensíveis e altamente produtivos, como manguezais, estuários e igarapés (Paola; Mohrig, 2021; Wolanski; McLaughlin, 2007).

A influência das marés nas regiões costeiras reforça a conexão entre águas doces e salobras, favorecendo a biodiversidade e atividades como pesca e abastecimento. Contudo, essa conectividade pode ampliar os impactos de desastres ambientais, como o rompimento de barragens de rejeito (Krauss; Déniseau, 2015). Quando essas estruturas rompem, os rejeitos tendem a seguir o curso dos rios, alcançando rapidamente ambientes costeiros, comprometendo a qualidade da água, a integridade dos habitats naturais e os modos de vida das populações ribeirinhas (Zarfl *et al.*, 2015).

Portanto, compreender a interligação entre esses sistemas naturais e os ambientes em vulnerabilidade associados ao rompimento de barragens é fundamental para a formulação de estratégias de gestão e planejamento ambiental, prevenção de desastres, proteção dos recursos hídricos e costeiros, garantindo a resiliência ecológica e social dessas regiões vulneráveis.

3.1.1. Sistemas fluviais

Um sistema fluvial em uma região ou localidade é composto por uma intrincada rede de cursos d'água, que inclui rios, córregos e canais, os quais desempenham um papel fundamental

na dinâmica de inundação e na configuração da paisagem local (Leandro; Nascimento; Souza, 2017).

Em um sistema fluvial, dois subsistemas interdependentes se destacam: o canal fluvial e a planície de inundação. O canal fluvial é o caminho principal por onde a água e os sedimentos escoam, moldando o leito do rio. A planície de inundação é a área ao redor do canal, com terreno de baixa declividade, quando o volume de água ultrapassa a capacidade do canal, esta área alaga (Christofoletti, 1981; Leandro; Nascimento; Souza, 2017).

O sistema fluvial, geralmente, está conectado a uma bacia hidrográfica. De acordo com Christofoletti (1980), bacia hidrográfica é a área drenada por determinado rio ou rede fluvial, cuja drenagem é constituída por um conjunto de canais de escoamento interligados. Além disso, Christofoletti (2003) destaca a importância de considerar a bacia hidrográfica como um sistema natural aberto, onde elementos como clima, relevo, rochas, flora, fauna e ação antrópica interagem de forma inter-relacionada. Essa abordagem é imprescindível para compreender os processos que ocorrem nas bacias hidrográficas, incluindo aquelas que desembocam em áreas costeiras.

Mesmo sendo considerado um sistema aberto, ou seja, que recebe grande influência dos agentes externos, pode-se considerar a bacia hidrográfica como uma unidade geomorfológica, que é constituída por um grupo de cursos de escoamento d'água interligados, que pode fornecer contribuição a outro rio ou canal fluvial que compreende uma zona da superfície terrestre que escoar água, sedimentos e materiais dissolvidos para um mesmo local em um curso fluvial, esta saída pode ser um rio, lago ou oceano (Coelho Netto, 1998).

Como as bacias hidrográficas formam redes naturais de drenagem, qualquer alteração ou contaminação em uma área, como o rompimento de uma barragem, pode rapidamente se propagar por toda a bacia a jusante a depender do local do rompimento. Assim, os rejeitos transportados pelos rios podem atingir áreas a jusante, afetando a qualidade da água, os ambientes aquáticos e as populações humanas próximas e que dependem desses recursos (Sánchez *et al.*, 2022).

As barragens de rejeito no geral são contidas de uma margem a outra dos canais e portanto, estão próximas a planície de inundação. No caso de rompimento os rejeitos tendem a seguir o curso dos rios, alcançando rapidamente a planície de inundação e se estiver em uma bacia costeira, alcançar os ambientes costeiros (Sánchez *et al.*, 2022; Carvalho; Magalhães Júnior; Barros, 2021).

3.2. BACIA HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS

As bacias hidrográficas costeiras são áreas de encontro entre rios e o mar, onde há grande variedade de ecossistemas e forte ligação entre os ambientes terrestre e aquático (Day *et al.*, 2012). O que torna essas áreas especialmente vulneráveis em caso de rompimento de barragens de rejeito. Como os rios dessas bacias deságuam diretamente em águas costeiras e/ou oceânicas, os rejeitos contaminantes podem ser rapidamente transportados, afetando a qualidade da água, os ecossistemas aquáticos e as comunidades que dependem desses recursos. A exemplo do rio Doce, que foi atingido em 660 quilômetros (Rosa, 2020; Felipe *et al.*, 2016). E se tratando dessas bacias costeiras, é importante entender o que são essas áreas costeiras e como funcionam.

Essas áreas são muito dinâmicas por serem palco da atuação de complexos processos que ocorrem na transição entre o oceano e o continente (López; Franklin, 2017), além de ser uma das áreas mais produtivas de todo o planeta, oferecendo grandes serviços ambientais (Chung *et al.*, 2015) (Quadro 4). Em caso de rompimento de barragens, esses serviços ambientais podem ser afetados, pela contaminação e poluição das águas (rios), eutrofização dos cursos d'água, abastecimento de água, devastação de biomas (Sánchez *et al.*, 2022; Carvalho; Magalhães Júnior; Barros, 2021).

Dentre esses serviços, estão alguns oferecidos pela área costeira, como se apresenta no quadro 4.

Quadro 4 - Serviços ambientais desempenhados pelas áreas costeiras.

Fornecimento de produtos	Regulação e manutenção		Cultural
Alimentos	Purificação da água	Enriquecimento dos oceanos	Valores simbólicos e estéticos
Armazenamento de água e provisões	Regulação da qualidade do ar	Manutenção dos ciclos de vida	Recreação e turismo
Materiais biológicos e biocombustíveis	Proteção costeira	Regulação biológica	Efeitos cognitivos como alegria, bem estar
	Regulação do clima		

Fonte: Skinner (2017). Adaptado pela autora (2025).

Shaw (2019) diz que as áreas costeiras são reconhecidas pela grande diversidade de recursos e processos ecossistêmicos, porém apresentam também vulnerabilidades. São áreas que formam estreitos limites que conectam ambientes terrestres e marinhos, representando áreas com potencial produtivo do planeta e com importante valor ecossistêmico (Crossland *et al.*, 2005).

Devido aos recursos inerentes às áreas costeiras, observa-se uma significativa concentração populacional, além de atividades econômicas e infraestruturas de importância socioeconômica nessas regiões (Santos *et al.*, 2022). Essa concentração é confirmada por dados que indicam que 44% da população mundial reside a menos de 150 km da costa (Skinner, 2017).

No Brasil, essa realidade é refletida nos 280 municípios localizados na zona costeira, distribuídos em 17 estados, incluindo Amapá, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (BRASIL, 2022).

Barragens em bacias costeiras apresentam alto risco de danos ambientais e sociais, pois o rompimento libera rejeitos que afetam ecossistemas frágeis e comunidades próximas, comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade local (Santos *et al.*, 2021).

Os processos antropogênicos decorrentes do uso e da ocupação dos ambientes costeiros e marinhos, também interagem com os processos das mudanças naturais dos sistemas (Ramesh *et al.*, 2015), os quais geram vulnerabilidades para as populações e economia, que necessitam desses recursos, bem como do equilíbrio entre os ecossistemas da zona costeira e marinha (Santos *et al.*, 2022).

Portanto, para que ocorra um gerenciamento integrado desta área costeira, faz-se necessário considerar as bacias hidrográficas costeiras como uma unidade de planejamento (Souza, 2022), uma vez que estes ecossistemas são vulneráveis e suscetíveis ao dano ambiental, em decorrência das pressões antrópicas.

3.3 INFLUÊNCIA DE MARÉ

Estudos comprovam que as ondas de maré oceânicas se propagam ao longo dos estuários, aumentando os níveis dos corpos hídricos nos trechos mais baixos dos rios, quando a declividade é reduzida (Kosuth *et al.*, 2009; Garcia; Loáiciga, 2013).

As variações das marés podem influenciar o aumento ou a diminuição do transporte de sedimentos e nutrientes para a região costeira (Rosário, 2024). Para compreender essa relação

costeira em diferentes amplitudes, Davies (1964) classificou a maré de sizígia com base em sua oscilação máxima da seguinte forma: micromaré (amplitude inferior a 2 metros); mesomaré (amplitude entre 2 e 4 metros); macromaré (amplitude entre 4 e 6 metros); e hipermaré (amplitude superior a 6 metros).

Para Hicks (2006), as oscilações máximas mensais da maré coincidem com as fases lunares de lua cheia e nova (marés de sizígia), enquanto as menores oscilações ocorrem durante as fases de quarto minguante e crescente (marés de quadratura). Esses processos são influenciados pelas oscilações de marés.

Existem dois tipos principais de marés: as marés diurnas e as marés semidiurnas. As marés diurnas apresentam um ciclo de maré alta e maré baixa uma vez ao dia. Em contraste, as marés semidiurnas ocorrem duas vezes ao dia, com ciclos de maré alta e baixa. (Webb, 2021), sendo este o caso do Amapá.

Na região do rio Araguari, mais especificamente no seu baixo curso, há influência das marés semidiurnas (Santos *et al.*, 2014). Essa área específica é caracterizada por variações significativas no nível da água devido à interação entre as marés oceânicas e o fluxo do rio. Essa proximidade com a foz do rio torna essa região mais vulnerável aos impactos das marés, resultando em mudanças na dinâmica daquele curso de água.

De acordo com Santos (2016) as bacias hidrográficas costeiras na costa amazônica, são influenciadas por dois regimes de inundação: um influenciado pelos processos climáticos e outro, pelos processos oceanográficos. Ocorrendo um rompimento de barragens de rejeito em uma bacia hidrográfica costeira, como é o caso do rio Araguari, o rejeito pode chegará foz do rio Araguari, e a maré poderá potencializar o “escoamento” do rejeito para o mar ou a jusante do canal principal.

No contexto deste fenômeno, torna-se essencial compreender a vulnerabilidade Ambiental em casos de rompimento de Barragens de rejeito, considerando que a influência das marés representa um fator relevante a ser avaliado. Essa influência pode atuar como elemento agravante na dispersão de rejeitos em um eventual caso de rompimento, potencializando seus impactos.

3.4 VULNERABILIDADE AMBIENTAL E ROMPIMENTO DE BARRAGENS

Os termos relacionados à vulnerabilidade têm sido amplamente utilizados, tornando necessária a distinção de suas definições para uma melhor compreensão do tema. De acordo com o Ministério das Cidades (Brasil, 2004), os seguintes termos são adotados (Quadro 5):

Quadro 5 - Termos associados aos riscos e a vulnerabilidade

TERMO	DEFINIÇÃO/CONCEITO
Risco (<i>risk</i>)	medida de probabilidade e severidade de ocorrência de efeitos adversos a saúde, propriedade e ambiente.
Perigo (<i>hazard</i>)	uma condição com potencial de causar uma consequência desagradável.
Vulnerabilidade (<i>vulnerability</i>)	grau de perda de um dado elemento, em uma área afetada por um determinado evento. É expresso em escala de 0 (sem perda) e 1 (perda total).
Susceptibilidade (<i>susceptibility</i>)	indicador da potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em área de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.

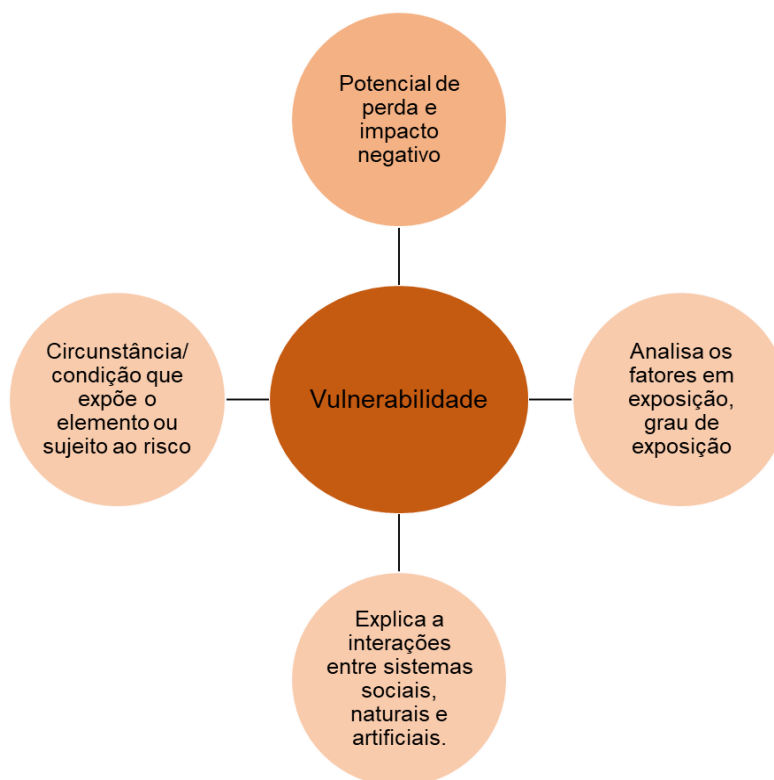
Fonte: Brasil (2004). Adaptada pela autora (2025).

O risco refere-se à condição em que pessoas e/ou o meio ambiente estão expostos à possibilidade de ocorrência de um dano ou evento prejudicial. As pessoas estão vulneráveis e suscetíveis ao risco, enquanto o meio ambiente, de acordo com suas condições físico-naturais, está suscetível à degradação. As características sociais e/ou condições físico-naturais são os fatores determinantes para a mensuração da vulnerabilidade e suscetibilidade (Girão; Rabelo; Zanella, 2018).

A vulnerabilidade e a suscetibilidade são conceitos inter-relacionados. Para Zanella *et al.* (2009, p. 192), a vulnerabilidade é multidimensional e pode surgir devido a diferentes fenômenos e causas, resultando em variadas consequências que afetam, de maneira específica, tanto elementos naturais quanto grupos sociais. O impacto dependerá da dimensão da interferência, ou seja, do efeito resultante — seja ele socioeconômico, sinistro, desastroso ou catastrófico. Esse impacto será condicionado pela estrutura socionatural do afetado, bem como pela intensidade e características do perigo envolvido.

A vulnerabilidade pode ser compreendida como a condição ou característica que expõe um elemento ou sujeito ao risco, tornando-o suscetível (Girão; Rabelo; Zanella, 2018). Isso significa que um indivíduo ou elemento se encontra em situação de vulnerabilidade enquanto estiver exposto a um risco significativo. Assim, a vulnerabilidade refere-se às condições que expõem um elemento ao risco, enquanto a suscetibilidade se relaciona à probabilidade de exposição desse elemento ao risco, conforme se apresenta no Diagrama 1.

Diagrama 1 - Relações da vulnerabilidade com ambientes.



Fonte: Girão; Rabelo; Zanella (2018). Adaptado pela autora (2025).

O Diagrama 1 ilustra a relação entre vulnerabilidade e seus fatores determinantes. A vulnerabilidade reflete o potencial de perda e/ou impacto negativo, analisando o meio e os fatores que determinam o grau de exposição de determinados elementos. Esse conceito explica a interação entre sistemas sociais (vulnerabilidade social), naturais (vulnerabilidade física) e artificiais (barragens, por exemplo). Além disso, envolve as circunstâncias ou condições que expõem elementos ou sujeitos ao risco.

Estes conceitos de vulnerabilidade vêm sendo abordados na perspectiva social ou ambiental. A vulnerabilidade ambiental refere-se ao risco ao qual o meio ambiente está exposto, podendo ser este natural ou causado por fatores externos (Diagrama 1). Para Aquino, Palheta e Almeida (2017), a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Isso pode resultar de características ambientais naturais, da pressão causada por atividades antrópicas ou ainda da fragilidade de sistemas com baixa resiliência.

A vulnerabilidade ambiental refere-se ao conjunto de condições que tornam determinado ambiente mais suscetível a sofrer danos ou alterações significativas. Essa vulnerabilidade pode resultar tanto de processos naturais, como erosão, variações climáticas e eventos extremos, quanto de ações antrópicas, como desmatamento, uso inadequado do solo e

pressões decorrentes de atividades econômicas (Adger, 2006).

Nesta pesquisa, adotou-se o conceito de vulnerabilidade ambiental para a caracterização e análise da área de estudo, pois é essencial avaliar o grau de exposição dos ambientes, estruturas e pessoas. No contexto de um possível rompimento de barragens de rejeito, a análise da vulnerabilidade ambiental permite prever cenários potenciais e compreender os riscos associados.

O nível de vulnerabilidade ambiental deve ser compreendido dentro de uma determinada área, sendo um requisito essencial para a implementação de um planejamento ambiental eficaz e a prevenção de desastres ambientais (Ribeiro; Mincato; Curi; Kawakubo, 2016). Segundo Pautz *et al.* (2023), compreender as dinâmicas das áreas vulneráveis dentro das unidades de uso do solo, é fundamental para apoiar estudos sobre vulnerabilidade ambiental dos ecossistemas.

O rompimento de barragens de rejeito representa um dos maiores riscos ambientais e sociais associados à mineração. Quando essas estruturas falham, as consequências podem ser avassaladoras e de longo alcance no tempo e no espaço. Um exemplo claro ocorreu no desastre da Barragem do Fundão (MG), em 2015, cujos rejeitos atingiram a área costeira do Espírito Santo, evidenciando a vulnerabilidade ambiental das regiões circunvizinhas (Ávila *et al.*, 2021; Massignan; Sánchez, 2022).

Nesse contexto, a utilização de ferramentas geotecnológicas é essencial para o desenvolvimento de estudos que analisam a vulnerabilidade ambiental (Pautz *et al.*, 2023). A interligação entre vulnerabilidade ambiental e técnicas de análise de rompimento de barragens de rejeito é fundamental para a compreensão da gravidade dos impactos ambientais, sociais e econômicos resultantes desses desastres.

No contexto das barragens de rejeito, segundo Pautz *et al.*, (2023) essa vulnerabilidade é influenciada por diversos aspectos, incluindo:

- proximidade de ambientes sensíveis: áreas costeiras, manguezais e habitats únicos, que desempenham um papel fundamental na biodiversidade local;
- cursos d'água e florestas próximas: rios e matas ciliares essenciais para a manutenção da qualidade ambiental e dos recursos hídricos;
- fatores climáticos: chuvas intensas e eventos climáticos extremos podem aumentar significativamente o risco de rompimento;
- presença de populações humanas e infraestrutura: comunidades próximas às barragens enfrentam riscos diretos à saúde e segurança, além de impactos econômicos sobre atividades como agricultura, pesca e abastecimento de água.

Portanto, a aplicação de técnicas avançadas na análise da vulnerabilidade ambiental

auxilia na prevenção de eventos futuros e no suporte à tomada de decisão por órgãos públicos e pelo setor privado responsável pelo gerenciamento dessas estruturas.

3.5 MÉTODOS E TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS E CENÁRIOS EM VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Desde a sua implementação, as ferramentas das geotecnologias vêm ganhando espaço em estudo e gestão de desastres (Marchezini *et al.*, 2017). Para Sausen e Lacruz (2015), o sensoriamento remoto é um exemplo, pois é uma ferramenta essencial para a gestão de desastres que auxilia no reconhecimento do meio para a identificação, monitoramento de ameaças e para o apoio nas ações de respostas. Dessa forma são ferramentas úteis em todas as fases do gerenciamento de desastres (prevenção, preparação, alerta, resposta, mitigação e reconstrução).

O cruzamento de informações proveniente de dados de sensores remotos e análises espaciais em SIG tem sido utilizado por diversos autores para a análise de casos de rompimento de barragens no Brasil. Leopoldino et al. (2020) utilizaram imagens de satélite e processamento em Sistema de Informações Geográficas-SIG para avaliar a extensão da área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos da companhia Vale na mina do córrego do Feijão, no município de Brumadinho - MG, no acidente ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019.

Pires, Cunha e Peres (2023) realizaram um estudo utilizando imagens de satélite Sentinel-2, explorando seu alto detalhamento espectral e espacial para analisar os impactos do rompimento da barragem em Brumadinho – MG. Por meio da Classificação Supervisionada, os autores conseguiram identificar, mapear e delimitar com maior precisão as áreas atingidas pelos rejeitos, evidenciando a extensão dos danos ambientais. Essa abordagem permitiu uma avaliação mais detalhada da alteração da paisagem, contribuindo para o monitoramento e compreensão dos efeitos do desastre.

Costa e Pinheiro (2019), por meio de uma análise espacial em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), investigaram de forma detalhada os impactos decorrentes do rompimento das barragens do Fundão e de Santarém na região da foz do rio Doce. Os autores utilizaram diferentes camadas de informação geoespacial para avaliar as alterações ambientais, identificando mudanças na qualidade da água, deposição de sedimentos e modificações na dinâmica do ecossistema local. Essa abordagem permitiu compreender com maior precisão a extensão e a gravidade dos danos, reforçando a importância de ferramentas de geoprocessamento em estudos de desastres ambientais.

Conceição (2019) aplicou diferentes geotecnologias para analisar os impactos ambientais decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana/MG, sobre os imóveis rurais situados na bacia hidrográfica do rio Doce. O estudo envolveu o uso de ferramentas de geoprocessamento, imagens de satélite e técnicas de análise espacial para identificar alterações na paisagem, prejuízos às áreas produtivas e modificações nos recursos naturais. A abordagem adotada permitiu compreender de forma mais abrangente a extensão dos danos ambientais e a forma como o desastre afetou diretamente as propriedades rurais ao longo da bacia.

No estado do Amapá, Melo (2021) desenvolveu um estudo voltado ao mapeamento e à caracterização espacial das barragens de rejeito associadas às atividades de mineração, utilizando para isso ferramentas e técnicas de análise espacial em ambiente SIG. Por meio dessa abordagem, foi possível identificar a localização dessas estruturas, avaliar sua distribuição geográfica, bem como compreender aspectos relevantes relacionados ao uso do solo, aos potenciais riscos e às áreas de influência.

Aplicações de vários métodos têm se mostrado eficazes, como o método de análise multicritério, do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), aplicado para diversas análises, inclusive para análise de vulnerabilidade ambiental (Pautz *et al.*, 2023; Saaty, 1987; Lira, 2022; Parsian *et al.*, 2021). Neste método são atribuídos pesos para determinados atributos no momento das análises. No caso da análise de vulnerabilidade ambiental, são atribuídos pesos para os recursos do meio físico (natural), como altimetria e declividade.

A combinação destas técnicas, são promissoras para analisar a vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas, pois integra dados e métodos capazes de identificar áreas suscetíveis a danos e já foram comprovados por Parsian *et al.*, (2021), Lira; Francisco; Feiden (2022), que obtiveram resultados satisfatórios em seus estudos.

Assim, essas ferramentas possibilitam o mapeamento, cruzamento de variáveis e diversas análises geoespaciais que irão ajudar em respostas de possíveis impactos ambientais. A aplicação dessas ferramentas é fundamental para análises voltadas à vulnerabilidade ambiental, de maneira que tragam respostas e auxiliem os órgãos envolvidos no monitoramento, fiscalização, e nas tomadas de decisão.

Como o mapeamento de vulnerabilidade ambiental é uma abordagem que visa identificar e avaliar os fatores que tornam uma área ou ecossistema suscetível a danos causados por atividades humanas ou eventos naturais. Essa técnica ajuda a mostrar áreas que podem estar em cenários de maior vulnerabilidade, permitindo, assim, uma melhor gestão e planejamento para minimizar os riscos ambientais.

Esse potencial das geotecnologias contribui de forma significativa para a redução de prejuízos ambientais, socioeconômicos e humanos decorrentes de eventos de desastre, especialmente em situações envolvendo o rompimento de barragens. Ao permitir o monitoramento contínuo, a análise integrada de dados espaciais e a identificação de áreas mais vulneráveis, essas ferramentas ampliam a capacidade de previsão e resposta dos órgãos gestores. Dessa forma, é possível implementar ações preventivas mais eficazes, orientar a tomada de decisão e minimizar os impactos sobre o meio ambiente e as comunidades potencialmente afetadas.

4 METODOLOGIA

4.1 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA DO TRABALHO

Esta seção apresenta uma descrição geral e uma caracterização detalhada da área de estudo e metodologia aplicada. Em seguida, tem como objetivo analisar a vulnerabilidade ambiental em caso de rompimento de barragens de rejeito na bacia hidrográfica do rio Araguari. O entendimento sobre possíveis eventos que possam deixar o cenário da região em vulnerabilidade, se faz necessário, devido a ser a maior bacia do estado e abranger diversos recursos naturais e socioeconômicos.

A identificação de cenários de vulnerabilidade ambiental a eventos extremos, como de rompimento de barragens, torna-se imprescindível para a identificação do problema, de áreas afetadas e estratégias de possíveis soluções por parte dos órgãos tomadores de decisão.

4.1.1 Área de estudo

A área em estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Araguari, no estado do Amapá, localizado ao norte do Brasil (Figura 3).

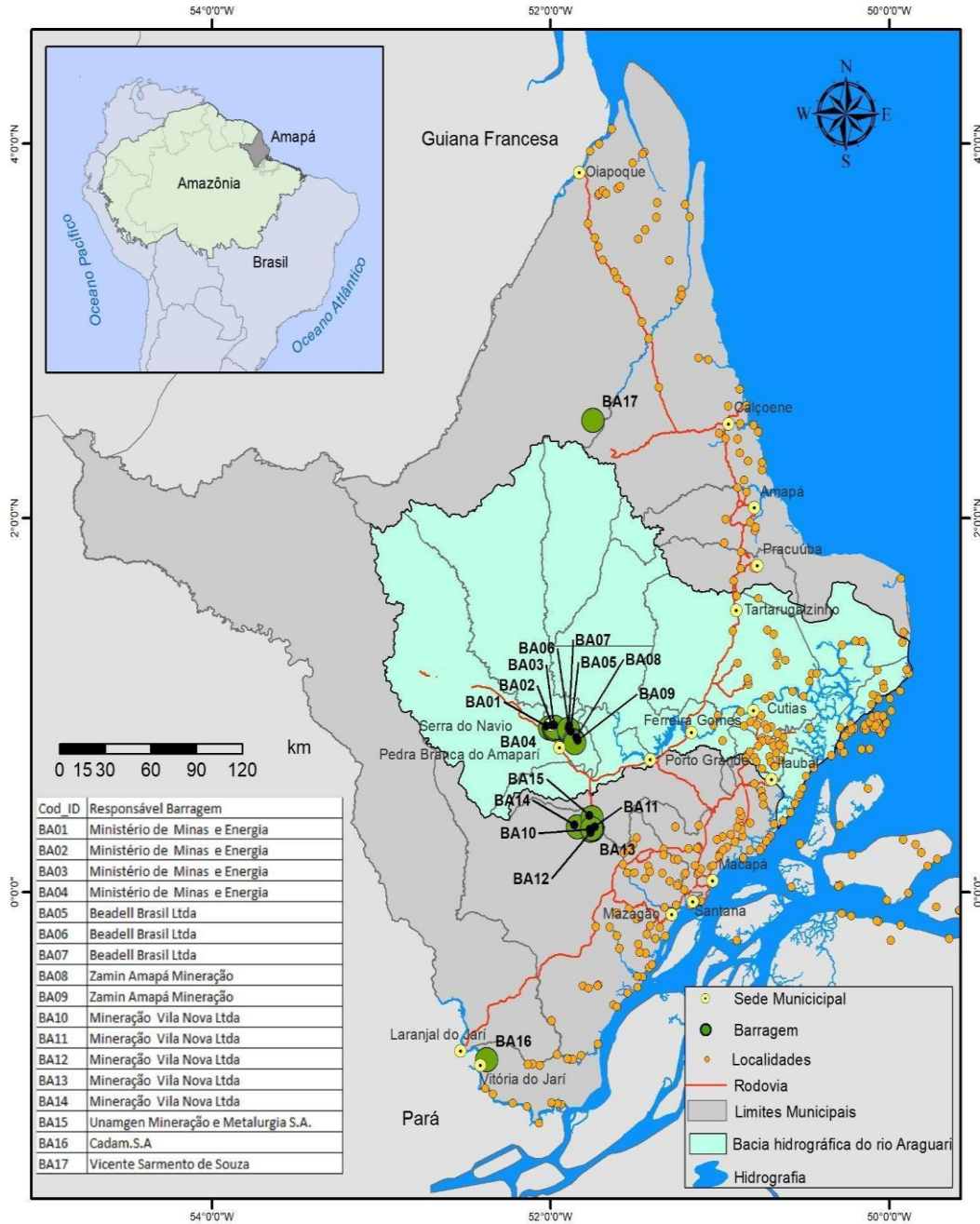
A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (BHRA), localizada no estado do Amapá, abrange uma área de drenagem de 45.262 km², o que representa aproximadamente 32% da área total do estado (Figura 3). Com uma extensão de cerca de 618 km, o Rio Araguari, seu curso d'água principal, tem sua nascente na Serra Lombarda. A BHRA estende-se territorialmente pelos municípios de Serra do Navio, Calçoene e Oiapoque (SEMA, 2017). A maior bacia do Amapá, classificada como Bacia Costeira Estuarino-Oceânica Parcial, possui um coeficiente de compacidade de 1,76 e uma densidade de drenagem de 0,57 km/km² (Sousa, 2023).

O curso do Rio Araguari flui inicialmente no sentido norte-sul, percorrendo toda a extensão de Serra do Navio (na margem direita) e Calçoene/Ferreira Gomes (na margem esquerda), até convergir com o município de Pedra Branca. Nesse ponto, o rio muda sua trajetória para sudeste, estabelecendo a divisa entre Ferreira Gomes e Porto Grande. Posteriormente, o curso altera-se novamente para o nordeste na sede do município de Porto Grande, seguindo em direção à sua Foz, onde corresponde à divisa final entre Tartarugalzinho e Cutias do Araguari (Amapá, 2017).

Faz-se necessário explicar que, a bacia apresenta três trechos característicos: alto Araguari, onde estão presentes as nascentes dos rios Araguari, incluindo os afluentes Amapari e Falsino. O médio, entre as cidades de Porto Grande e Ferreira Gomes, com um trecho com muitas corredeiras e baixo curso, situado entre a cidade de Ferreira Gomes e a foz. Esse percurso

apresenta um desnível de apenas um (1,0) metro (gradiente de 0,004m/km) em 224 km, formando assim uma planície de inundação, e por isso conhecida regionalmente como “baixo Araguari” (Chagas; Santos; Cunha, 2015; Santos, 2006). Este trecho, portanto, está sujeito à influência de marés.

Figura 3 – Mapa da área da bacia hidrográfica do rio Araguari (em verde) no estado do Amapá, com a localização das barragens de rejeito, localidades e vias de acesso.



Fonte: SEMA (Rodovia); IEPA (Hidrografia); ESRI (Países); IBGE (Sedes Municipais); MELO, J.C.2020 (Barragem de Rejeito)

Execução: MELO, J.C. 2023

Nesta porção do baixo Araguari, o rio apresenta normalmente baixas velocidades e limitada capacidade de escoamento. Contudo, essa condição se altera rapidamente quando ocorrem cheias excepcionais, elevando as lâminas de água para valores superiores a 1,50 metros (Santos, 2006).

Outro aspecto relevante é o limite das bacias hidrográficas, definido como a linha que separa uma bacia de outra. Esse limite é determinado pela topografia, abrangendo as áreas mais elevadas que dividem naturalmente as regiões de drenagem, conhecidas como interflúvios (Santos, 2016). No caso do limite da BHRA adotado nesta pesquisa, embora não corresponda exatamente ao traçado correto, já que a área mais plana da bacia não apresenta interflúvio, optou-se por utilizá-lo por ser delimitado pelo órgão governamental.

A BHRA contempla 11 unidades municipais de um total de 16 do estado do Amapá, sendo elas: Amapá, Calçoene, Cutias, Ferreira Gomes, Itaubal, Macapá, Pedra Branca do Amaparí, Porto Grande, Pracuúba, Serra do Navio e Tartarugalzinho, o que equivale mais de 60% de todo estado (Araújo *et al.*, 2020).

Dos 11 municípios do estado do Amapá, quatro estão totalmente localizados (100%) dentro da BHRA: Pedra Branca do Amapari, Tartarugalzinho, Serra do Navio e Cutias do Araguari. Os municípios parcialmente localizados: Ferreira Gomes com (79,02%), Pracuúba (59,15%), Porto Grande (49,45%), Itaubal do Pírim (40,95%), Macapá (32,42%), Calçoene (29,56%) e Amapá (29,06%), (Resolução nº 010/2018 do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos (CERH/AP, 2017).

Os afluentes principais do rio Araguari são, pela margem esquerda, são os rios Falsino, Tartarugal Grande e Tracajatuba. Na margem direita, os rios Amaparí, o furo do Uricurituba, o rio Gurijuba, o rio Pacuí e o rio Pírim (SEMA, 2017). Vale ressaltar das alterações ocorridas na BHRA, mais especificamente no estuário do rio Araguari, mudanças geomorfológicas, causando fortes impactos na paisagem e padrões hidrodinâmicos próximos à foz do rio Araguari, principalmente a alteração do sistema de drenagem fluvial e a qualidade da água do baixo rio Araguari, que teve o seu fluxo do rio desviado através do Canal de Urucurituba e Gurijuba (Santos *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2025).

Na BHRA, foram identificadas quatro barragens de rejeito de mineração com dados completos na ANM — Mario Cruz, North Mill Pond, TAP D e Leste Construção — dentre as nove existentes (Figura 3). As características geotécnicas dessas estruturas (Quadro 6) foram obtidas no Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração/ANM (2025).

Quadro 6 - Principais características técnicas das barragens analisadas

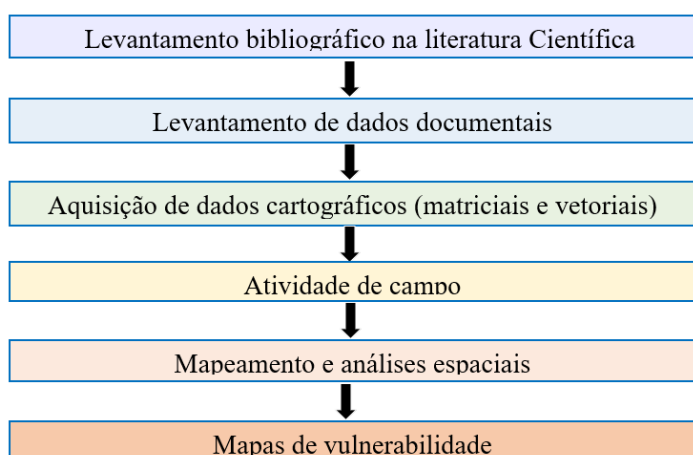
Nome	TAP D	North Mill Pond	Leste	Mário Cruz
Empreendedor	Mina Tucano Ltda. - 05.642.709/0001-04	Mina Tucano Ltda. - 05.642.709/0001-04	Mina Tucano Ltda. - 05.642.709/0001-04	Dev Mineração S.A
Município	Pedra Branca do Amapari	Pedra Branca do Amapari	Pedra Branca do Amapari	Pedra Branca do Amapari
Categoria de Risco - CRI	Baixa	Baixa	Baixa	Média
Dano Potencial Associado - DPA	Alta	Alta	Alta	Média
Inserido na PNSB?	Sim	Sim	Sim	Sim
Necessita de PAEBM?	Sim	Sim	Sim	Sim
Início da construção	01/08/2011	01/08/2014	08/08/2018	01/01/2006
Minério principal presente no reservatório	Minério de Ouro Primário	Minério de Ouro Primário	Minério de Ouro Primário	Itabirito
Altura máxima do projeto licenciado (m)	36	30,00	30,00	28,00
Altura máxima atual (m)	36	27,00	30,00	28,00
Comprimento atual da crista (m)	290,00	445,00	313,00	260,00
Área do reservatório (m ²)	310.000,00	57.101,00	457.834,67	2.639.238,32
Volume de projeto licenciado do Reservatório (m ³)	6.700.000,00	13.600.000,00	4.790.000,00	28.025.524,00
Volume atual do Reservatório (m ³)	6.280.000,00	12.609.179,64	2.635.214,00	25.366.731,00

Fonte: SIGBM/ANM (2025).

4.2. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados para identificar e mensurar as áreas de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Araguari em caso de rompimento de barragens de rejeito. foram as seguintes: (Fluxograma 1) a seguir:

Fluxograma 1 - Fluxograma metodológico deste trabalho



4.2.1. Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico auxiliou no embasamento conceitual, teórico e metodológico desta proposta. Esse levantamento se deu pela revisão sistemática realizada, utilizando palavras-chave em fontes de pesquisas digitais nos idiomas inglês e português (Quadro 7). As palavras-chave utilizadas foram:

- Barragem de rejeito
- Impactos de barragens
- Áreas costeiras

Em inglês os strings de busca utilizados foram:

- “impacts of tailings dams” and “coastal areas”

Quadro 7 - Resultados de buscas sobre impactos de barragens de rejeito em áreas costeiras.

Fonte / Base de Dados	Termo de Busca	Número de Resultados	Período Abrangido	Data de Consulta
Biblioteca Digital do Google Acadêmico	impactos de barragens de rejeito em área costeira	10	2015 – 2023	24 jan. 2023
Repositório UFMG	impactos de barragens de rejeito em área costeira	45	1999 – 2019	24 jan. e 01 fev. 2023
ScienceDirect	(impacts of tailings dams) and (coastal areas)	15	1992 – 2023	24 jan., 01 e 13 fev., 22 mar. 2023

Fonte: Autora (2025).

A partir dos resultados da busca, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão dos dados pesquisados. Foram incluídos os estudos mais recentes sobre o tema, abordando barragens de rejeito, impactos já registrados em áreas costeiras decorrentes de rompimentos, e o uso de ferramentas de sensoriamento remoto para as análises. Consideraram-se trabalhos científicos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados ou em versões impressas com acesso digital.

Foram excluídos trabalhos que avaliam ambientes virtuais que não foi feita revisão por pares e trabalhos que apresentam avaliações sem apresentar o método utilizado.

4.2.2. Levantamento de documentos com informações das barragens de rejeito

Foram realizados levantamento, de informações sobre as barragens de rejeito no estado do Amapá, no momento da visita a campo no empreendimento responsável pela barragem. Objetivou-se levantar informações sobre as características geotécnicas da barragem, tipo de material depositado, presença de resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis, tipo de barragem, estimativa de produção mensal/anual, pontos de descarga, batimetria da barragem, data de construção da barragem, volume da barragem e altura do maciço

Para isso, foram consultadas no site da ANM (<https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>), com o intuito de obter informações mais precisas.

4.2.3. Dados cartográficos

A pesquisa utilizou dados cartográficos (matriciais e vetoriais) da área de estudo, adquiridos do Projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá – BCDC-AP (Funi *et al.*, 2023), na Secretaria de Meio Ambiente (SEMA).

A BCDC-AP contempla 13 grandes temas de grande relevância e que, portanto, foram utilizados, sendo eles: 1. Hidrografia; 2. Relevo; 3. Vegetação; 4. Sistema de Transportes; 5. Energia e Comunicações; 6. Abastecimento de Água e Saneamento Básico; 7. Educação e Cultura; 8. Estrutura Econômica; 9. Localidades; 10. Pontos de Referência; 11. Limites; 12. Administração Pública; 13. Saúde e Serviço Social.

Foram obtidos dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), com informações das barragens de rejeito, dados pluviométricos (2016 a 2022) da Agência Nacional de Águas, projetos do IEPA, como o Projeto Sistema de Observação da Foz o Amazonas: integrando Sensoriamento Remoto e Ciência Cidadã (SOAM), (Santos *et al.*, 2023). Dados vetoriais foram obtidos das Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia do Foz do Amazonas (Santos *et al.*, 2016), para consulta de dados de recursos físicos, ecossistemas costeiros, atividades socioeconômicas e comunidades.

Foram analisadas, também, dados de seis estações meteorológicas da Telemetria/ANA/INMET (2016 - 2022) dentro da Bacia do Rio Araguari, a fim de observar e relacionar com os resultados de vulnerabilidade natural, verificando o período de maior precipitação na bacia e associar a situação com o escoamento de rejeitos no caso de rompimento de uma barragem durante esse período.

Na bacia, existem oito (8) estações, mas para esta análise, foram consideradas seis, pois tinham dados consecutivos de 2016 a 2022, e as outras duas (2), não possuíam dados neste

período de tempo ou pararam de funcionar. As estações do Açude Cachoeira Caldeirão (30400070) e do Açude Coaracy Nunes (30400080) foram desconsideradas para essa análise porque seus dados são recentes, de 2019 a 2022. Na primeira, não foram coletados dados na estação nos últimos dois anos (2021-2022), o que teria afetado os resultados dessa análise.

4.2.4 Visita de campo

A visita a barragem de rejeito teve como finalidade observar diretamente a estrutura e seu estado atual, além de analisar as condições do entorno e possíveis interações entre a barragem e o ambiente onde está inserida. O objetivo era realizar visitas a todas as barragens localizadas na bacia hidrográfica do rio Araguari. Para isso, foram enviados ofícios às empresas responsáveis, porém não houve retorno, exceto da empresa DEV Mineração, proprietária da Barragem Mário Cruz, onde foi realizada a visita de campo.

A atividade de campo foi realizada em 08 de fevereiro de 2024, na barragem Mário Cruz (Figura 4 - a, b, c, d), no município de Pedra Branca do Amapari. Foi realizado um levantamento (fotos georreferenciadas) por meio do aplicativo NoteCam para verificar a localização das barragens de rejeitos.

Figura 4 - Campo na barragem Mario Cruz, no município de Pedra Branca do Amapari (Cod_ID BA09, ver Figura 3).

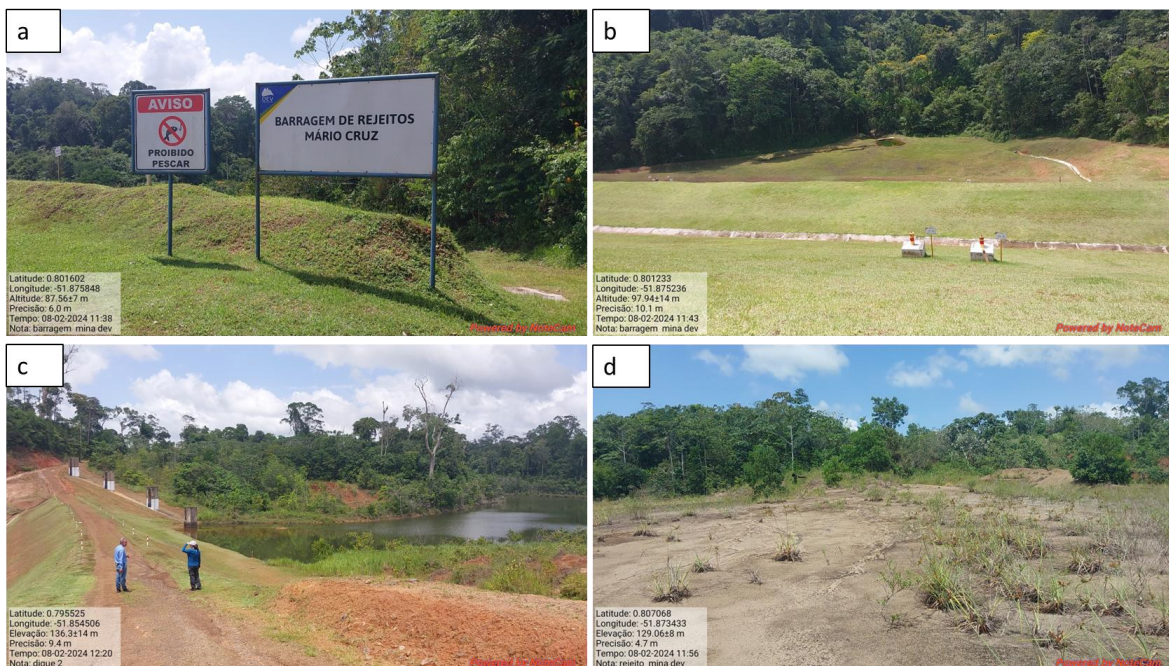


Figura 4 (a) – Início da área da barragem; (b) área a jusante da barragem; (c) crista e dique; (d) rejeito seco. Fonte: Jéssica Melo (2024), durante visita de campo em 08/02/2024.

A barragem Mário Cruz, consta atualmente no SIGBM em Categoria de Risco Alto, e, por ser a maior barragem de rejeito do Amapá, fez-se necessário conhecer suas estruturas e verificar seu estado de conservação, material depositado e as estruturas, localidades, vegetação e cursos de rios aos arredores, informações necessárias, para um possível caso de rompimento dessa estrutura.

4.2.5 Mapeamentos e análises espaciais

Com as informações coletadas sobre as barragens, dados sobre recursos físicos (altimetria, declividade, dados pluviométricos e influência das marés) e recursos sociais (dados demográficos da infraestrutura), a vulnerabilidade física e social dessas áreas foi mapeada para analisar os cenários de vulnerabilidade ambiental. Para isso, foram realizados cruzamentos em ambiente SIG, utilizando os programas QGIS 3.28.2 e ARCGIS versão 10.3, disponíveis no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial Aplicados a Ecossistemas Aquáticos (LASA/NuPAq/IEPA).

No processamento dos dados foi utilizado Modelo o Digital de Elevação do Terreno (MDT) da BCDC-AP, disponíveis no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial Aplicados a Ecossistemas Aquáticos (LASA) do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA). Foi utilizado o MDT reamostrado de 2,5 metros de pixels para 30 metros, produto do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE-AP), o qual está em processo de finalização para publicação, com o objetivo de reduzir o tempo de processamento e a escala de análise do trabalho.

4.2.5.1 Construção metodológica para análise da vulnerabilidade natural

Foram utilizadas as variáveis de altimetria, declividade e influência de marés, para a realização das análises da vulnerabilidade natural.

Primeiramente, procurou-se entender a altimetria onde estão localizadas as barragens de rejeitos. Para isso, foi feita uma análise no ambiente GIS para adicionar o valor da altitude ao shapefile das barragens, e nesse caso observou-se que a maior altitude onde as barragens estão localizadas é de 101 metros (Quadro 8).

A mesma lógica se aplica à área da planície costeira e à bacia do Araguari. Para obter a altimetria da planície costeira, o arquivo raster foi recortado para o arquivo vetorial (shapefile) da área da planície costeira, observando-se que ela varia até 32 metros e a altitude para a bacia, como um todo, alcança até 567 metros.

Quadro 8 -Altitude das barragens de rejeito.

COD_ID	Respons	Barragem	Substância	Ano	Área m ²	Altitude
BA01	Ministério de Minas e Energia	Barragem Sentinela ICOMI	Minério de ouro	1994	24224,91034	79
BA02	Ministério de Minas e Energia	-	Manganês	1953	108799,1324	84
BA03	Ministério de Minas e Energia	Barragem Sentinela ICOMI	Manganês	1953	20158,38331	84
BA04	Ministério de Minas e Energia	Barragem Sentinela ICOMI Jusante	Manganês	1953	65618,97789	97
BA05	Beadell Brasil Ltda	-	Minério de ferro	1992	168461,5022	83
BA06	Beadell Brasil Ltda	-	Minério de ferro	1992	231646,2521	101
BA07	Beadell Brasil Ltda	Barragem Leste Construção	Minério de ferro	1992	202482,3787	92
BA08	Zamin Amapá Mineração	-	Minério de ferro	1999	738880,2602	95
BA09	Zamin Amapá Mineração	-	Minério de ferro	-	293786,6817	90

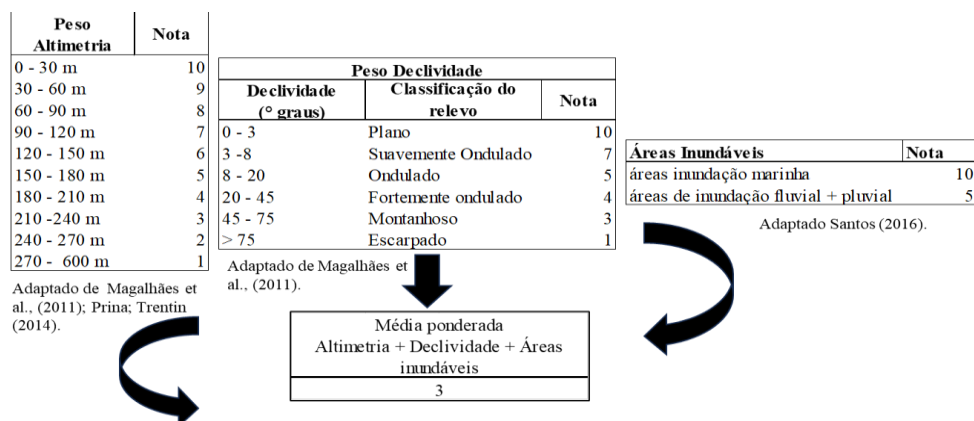
Fonte: Melo (2021).

O mesmo se aplicou para a declividade, onde foi utilizado o MDT, para a identificação da declividade da área e reclassificação por tabela para a classificação do relevo.

Para a variável de influência de maré, foi utilizado arquivo *shapefile* da planície de inundação, para identificação das áreas inundáveis por influência marinha e pluvial na bacia.

Para realizar o cruzamento de dados (Figura 5), a altimetria (Figura 6), a declividade (Figura 7) e as áreas suscetíveis a inundações na área de estudo (Figura 8) foram primeiramente classificadas e reclassificadas para analisar a vulnerabilidade física (natural). Para se compreender as características do terreno, como base, foi utilizada e adaptada a proposta de Prina; Trentin (2014) e Magalhães *et al.*, (2011) para reclassificação da altimetria e da declividade, atribuindo pesos de 1 a 10 para cada atributo da classe presente nas camadas individualizadas de altimetria e declividade.

Figura 5 - Pesos atribuídos às camadas e média ponderada dos aspectos naturais para construção dos indicadores.



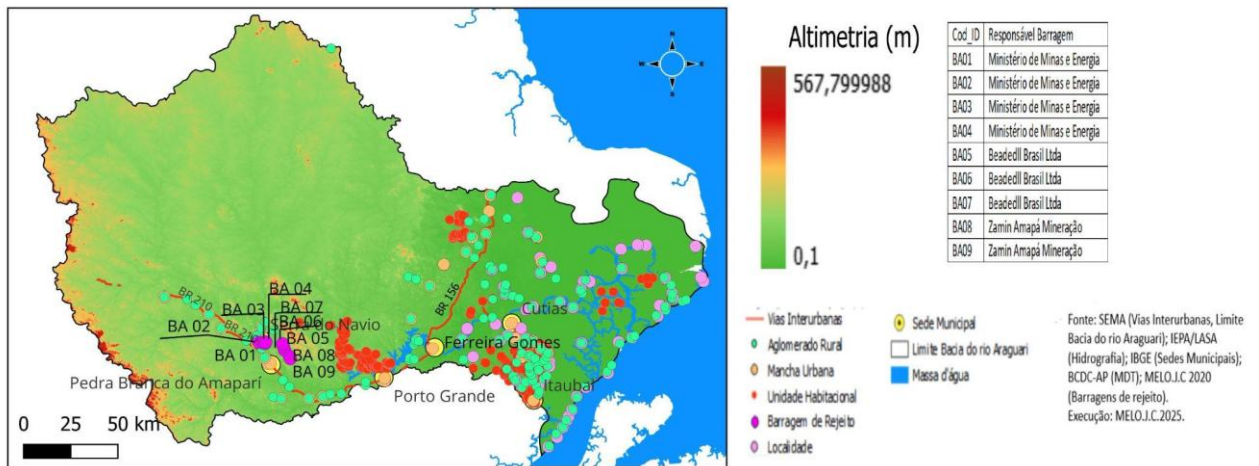
Fonte: Prina; Trentin (2014); Magalhães et al. (2011); Santos (2016). Adaptada pela autora (2025).

As maiores notas estão relacionadas às áreas com maior probabilidade de serem inundadas por um rompimento de barragem. Isso se deve a seus fatores naturais, como baixas elevações e baixa porcentagem de declividade em relação à inclinação do terreno, que aumentam a vulnerabilidade dessas áreas a serem afetadas por um evento de rompimento de barragem.

Com base na metodologia adaptada de Santos (2016), sobre a dinâmica dos processos de inundação e os fatores que podem aumentar os riscos para as populações de uma região, foram atribuídas notas a duas classes de áreas associadas a inundações na área de estudo: a) as áreas inundadas influenciadas pelas marés receberam uma nota de 10; e b) as áreas inundadas influenciadas pelas chuvas receberam uma nota de 5. Esses atributos foram, então, reclassificados usando uma tabela.

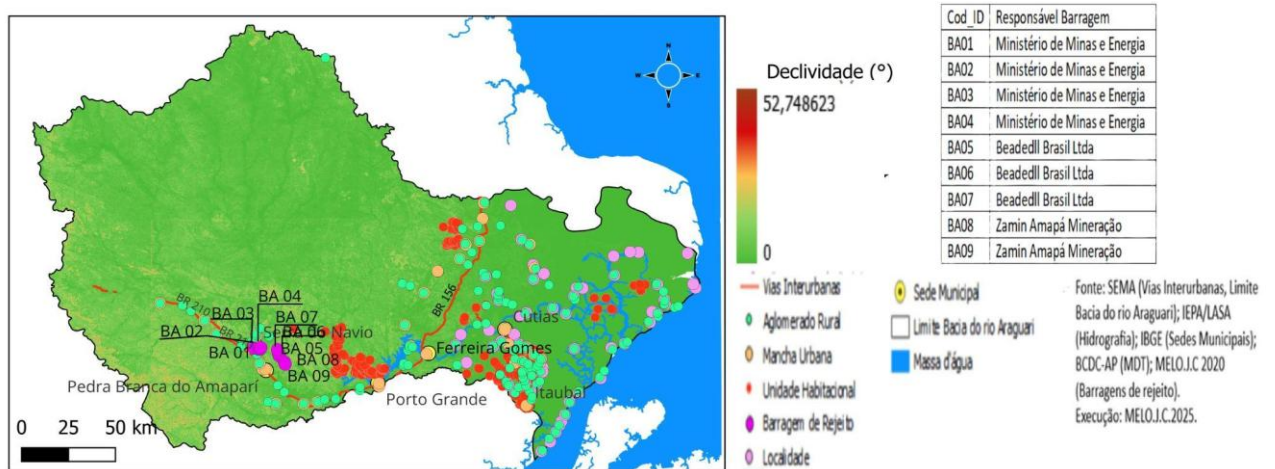
Cada mapa de entrada foi reclassificado atribuindo-se notas de 1 a 10, com o objetivo de identificar as áreas com maior vulnerabilidade a eventos de rompimento de barragens. Essas notas foram aplicadas para criar um índice, cuja formulação é baseada na média aritmética dos indicadores utilizados.

Figura 6 - Altimetria da área de estudo.



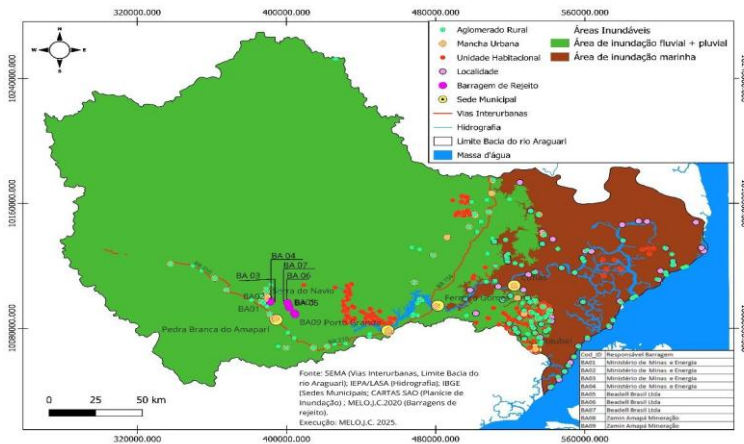
Fonte: Funi et al. (2023); Melo (2021).

Figura 7 - Declividade extraída do MDT.



Fonte: Funi et al. (2023); Melo (2021).

Figura 8 - Áreas susceptíveis a inundação na Bacia hidrográfica do rio Araguari.



Fonte: Funi et al. (2023); Melo (2021); Santos et al. (2016); Santos (2016).

Após a reclassificação por tabela, os mapas foram cruzados com o uso da calculadora raster do software QGIS, versão 3.28.2. Essa ferramenta permite que dois ou mais mapas sejam cruzados, a fim de gerar um novo mapa, que, nesse caso, representa a vulnerabilidade física (natural). A criação desse mapa seguiu uma equação específica para combinar os diferentes dados reclassificados, conforme mostrado na equação abaixo:

$$VN = \frac{(\text{Altimetria} + \text{Declividade} + \text{Mapa das Áreas Inundáveis})}{3}$$

Onde, VN = Vulnerabilidade Natural.

O cruzamento de dados resultou em um mapa de vulnerabilidade natural, classificado em cinco níveis: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto (Quadro 9).

Quadro 9 - Grau de vulnerabilidade natural utilizados neste trabalho.

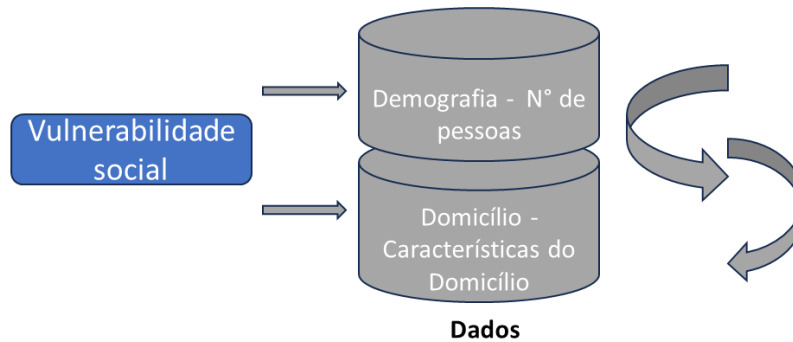
Grau de vulnerabilidade	Cor da classe
Muito Baixa	Verde
Baixa	Amarelo
Moderada	Laranja
Alta	Vermelho
Muito Alta	Marrom

Fonte: CEPED-UFSC (2012). Adaptado pela autora (2025).

4.2.5.2 Construção metodológica da vulnerabilidade social

Para análise da vulnerabilidade social foram utilizados indicadores sociais, agregados por setores censitários dos municípios abrangidos pela BHRA, os indicadores utilizados foram: demografia (número de moradores) e características dos domicílios de acordo com a nomenclatura adotada pelo IBGE (2022), (Figura 9).

Figura 9 - Cruzamento de informações resultando na vulnerabilidade social.



Fonte: Nobre Júnior (2024). Adaptada pela autora (2025).

Foram utilizadas camadas vetoriais em formato *shapefile*, para visualizar os dados. Em seguida, os dados foram convertidos para o formato *raster* e passaram por um processo de reclassificação por meio de tabelas no software QGIS, onde foram atribuídas notas de 1 a 10, permitindo que as camadas fossem integradas ao software.

4.2.5.2.1 Variável do indicador de demografia

Os dados demográficos, por número de residentes, foram utilizados a partir dos dados vetoriais dos setores censitários agregados do IBGE (2022) e reclassificados por tabela, recebendo notas de 1 a 10, considerando o número total de residentes por área. Conforme mostrado no (Quadro 10) abaixo:

Quadro 10 - Nota atribuída à demografia por quantidade de moradores por setores censitários.

Setores Censitários		
Demografia (quantidade de moradores)		Nota
Mínimo	Máximo	
1	3803	1
3803	4461	2
4461	4673	3
4673	5595	4
5595	6654	5
6654	7940	6
7940	10586	7
10586	12220	8
12220	12916	9
12916	440387	10

Fonte: IBGE (2022).

4.2.5.2.2 Análise do indicador de domicílio

Os dados utilizados para análise do indicador de domicílio, foram escolhidos de acordo com as variáveis, de : domicílios particulares permanentes ocupados, que utiliza outra forma de abastecimento de água, domicílios que o tipo é casa, utiliza poço profundo ou artesiano, domicílios que o tipo é casa, que utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés, domicílios com destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é de rede geral ou pluvial segundo a nomenclatura adotada pelo IBGE e aqui aderida.

Os dados de domicílios, por número de estruturas, foram utilizados a partir dos dados vetoriais dos setores censitários agregados do IBGE (2022), onde foram observados e, em seguida, reclassificados por tabela, de acordo com a metodologia de Nobre Júnior (2024).

A reclassificação das variáveis sociais mostradas nos (Quadros 11,12,13 e 14), referentes aos domicílios particulares permanentes ocupados, foi baseada em uma escala de 1 a 10 (notas). Nesse contexto, quanto maior o número de domicílios que dependem de rios, reservatórios, córregos, lagos e riachos para o abastecimento de água, utilizam poços profundos ou artesianos, recorrem a outras formas de abastecimento ou descartam o esgoto do banheiro ou do vaso sanitário em rede geral ou pluvial, maior a vulnerabilidade em caso de rompimento da barragem de rejeitos.

Essas variáveis foram escolhidas por estarem localizadas em áreas rurais e, de acordo com o cenário avaliado, seriam mais vulneráveis no caso de um evento desse porte, pois os corpos d'água e sua infraestrutura seriam afetados. As variáveis foram reclassificadas por tabela com intervalos e notas de 1 a 10, e depois transformadas em arquivos *raster*.

Quadro 11 - Variável de casa que utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés.

Variável (V00125)		
Casa que utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés		Nota
Mínimo	Máximo	
0	14	1
14	28	2
28	31	3
31	35	4
35	56	5
56	61	6
61	91	7
91	138	8
138	213	9
213	2486	10

Fonte: IBGE (2022).

Quadro 12 - Variável de casa que utiliza poço profundo ou artesiano.

Variável (V00120)		Nota
Casa que utiliza poço profundo ou artesiano		
Mínimo	Máximo	
18	42	1
42	53	2
53	120	3
120	329	4
329	395	5
395	525	6
525	564	7
564	789	8
789	1067	9
1067	34800	10

Fonte: IBGE (2022).

Quadro 13 - Variável de casa que utiliza outra forma de abastecimento de água.

Variável (V00118)		Nota
Casa que utiliza outra forma de abastecimento de água		
Mínimo	Máximo	
0	3	1
3	5	2
5	8	3
8	13	4
13	14	5
14	23	6
23	28	7
28	44	8
44	73	9
73	1115	10

Fonte: IBGE (2022).

Quadro 14 - Variável que a destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial.

Variável (V00309)		Nota
Destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial		
Mínimo	Máximo	
0	3	1
3	7	2
7	19	3
19	120	4
120	133	5
133	211	6
211	213	7
213	511	8
511	15946	9
15946	>15946	10

Fonte: IBGE (2022).

Para integrar essas informações sociais, a calculadora *raster* do QGIS foi usada para gerar um novo mapa de vulnerabilidade social. Esse mapa foi criado com base nas camadas raster de cada variável selecionada. A vulnerabilidade social (SV) foi calculada com o uso da seguinte equação:

$$VS = \frac{(\text{Demografia} + V00125 + V00120 + V00118 + V00309)}{5}$$

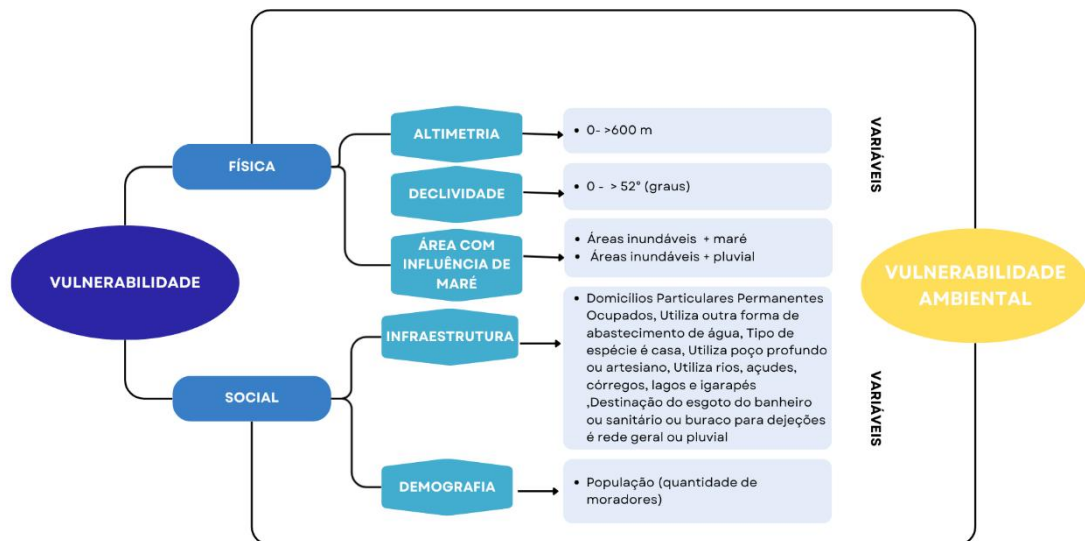
5

VS = Vulnerabilidade Social.

4.2.6 Determinação da vulnerabilidade ambiental a rompimento de barragem

Após o cruzamento das informações de vulnerabilidade física e social, as áreas foram classificadas como ambientalmente vulneráveis no caso de uma possível ruptura da barragem de rejeitos (Fluxograma 2).

Fluxograma 2 - Fluxograma metodológico da vulnerabilidade ambiental adotado neste trabalho.



As camadas *raster* de vulnerabilidade física (natural) e vulnerabilidade social foram usadas para realizar o cruzamento de informações, resultando em um novo mapa que representa a vulnerabilidade ambiental ao rompimento da barragem. A criação desse mapa foi baseada na equação a seguir, que combinou essas duas camadas de dados.

$$\text{VARB} = \text{Vulnerabilidade Natural} + \text{Vulnerabilidade Social}$$

2

$$\text{VARB} = \text{Vulnerabilidade Ambiental a Rompimento de Barragem}$$

Essa classificação de vulnerabilidade ambiental baseia-se no local de exposição e vulnerabilidade a um evento de inundação, portanto, foi usada e adaptada para eventos de vulnerabilidade em face da ruptura da barragem de rejeitos, seguindo o padrão de classificação do Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil - CEPED-UFSC (2012), conforme demonstrado abaixo (Quadro 15).

Quadro 15 - Classes de vulnerabilidade ambiental (UFSC-CEPED, 2012).

Grau de vulnerabilidade	Cor da classe
Muito Baixa	Verde
Baixa	Amarelo
Moderada	Laranja
Alta	Vermelho
Muito Alta	Marrom

Fonte: Adaptado de UFSC-CEPED (2012).

Após as análises realizadas, foi elaborado um mapa de vulnerabilidade ambiental, mostrando os ambientes costeiros, as populações e as infraestruturas que se encontram nesses cenários de vulnerabilidade ambiental na eventualidade de um rompimento de barragem de rejeitos de mineração, que será apresentado na seção 6.

5 CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS NO CONTEXTO AMAZÔNICO

Esta seção é destinada à identificação dos cenários na área da bacia do Araguari, identificando os cenários em que ambientes costeiros, populações e atividades podem ser afetados em caso de rompimento de barragem de rejeito.

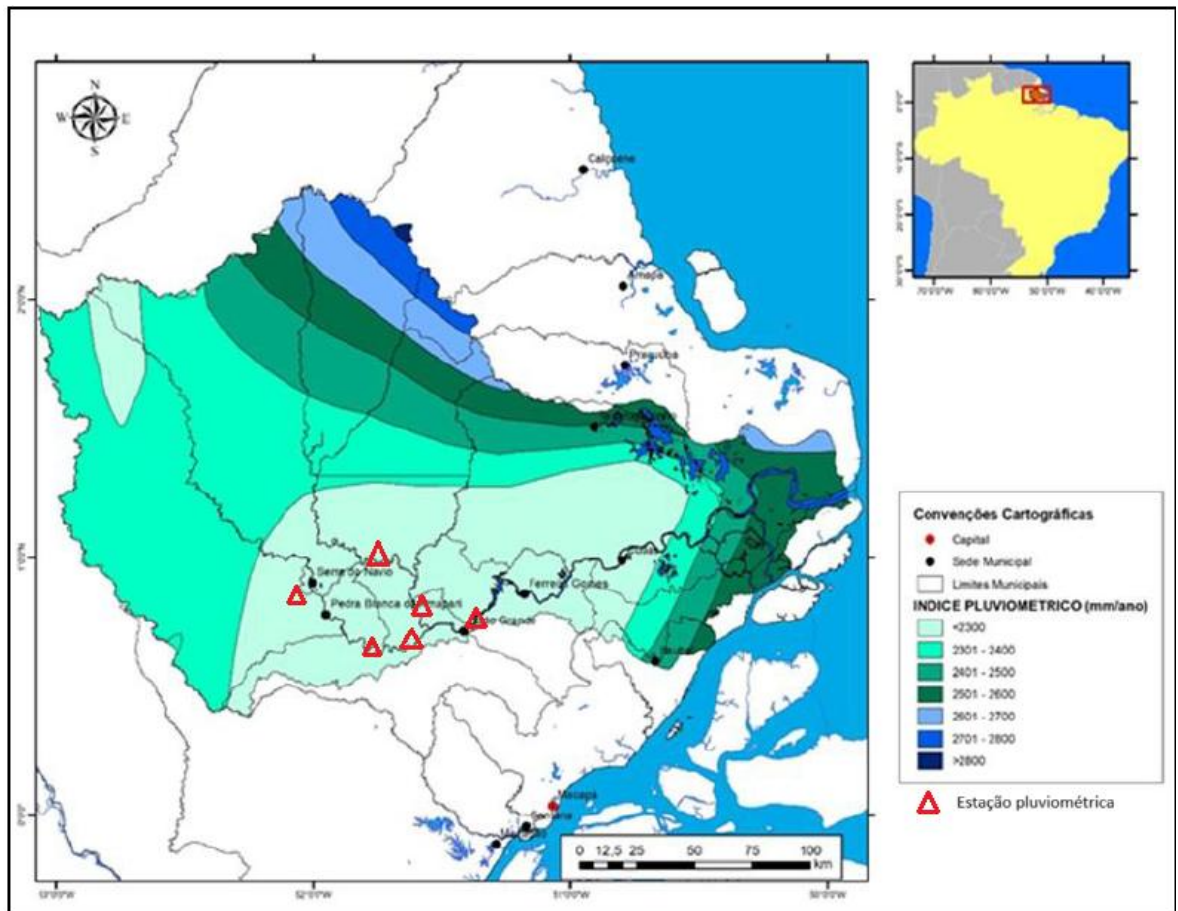
5.1. FATORES QUE INFLUENCIAM NOS CENÁRIOS AMBIENTAIS

5.1.1. Condições climáticas para o Amapá

Os resultados indicam que a área de estudo apresenta ecossistemas com elevada complexidade, caracterizados por dinâmicas sensíveis à variabilidade hidrológica e à pressão antrópica, conforme descrito por Takiyama e Silva (2009); Rodrigues e Silva Junior (2021). Por estar situada em uma zona de transição entre setores costeiros estuarinos e oceânicos, a região sofre influência significativa de marés em seu baixo curso, o que aumenta sua vulnerabilidade a eventos climáticos extremos e à elevação do nível do mar, como destacado por Sousa (2023). Essa configuração ambiental peculiar reforça a necessidade de compreender os processos hidrodinâmicos e suas interações com a sazonalidade amazônica.

A BHRA apresenta forte sazonalidade, influenciada pelo regime de chuvas característico da Amazônia. Segundo Santos, Mendes e Silveira (2019), o período chuvoso ocorre entre fevereiro e maio, enquanto o período seco se estende de agosto a novembro. Essa variação não é homogênea em toda a bacia, devido à sua grande extensão territorial (Figura 10). Araújo (2019) e Araújo *et al.*, (2023) aponta que o alto curso do rio Araguari registra índices pluviométricos anuais mais elevados, variando entre 2600 e 2900 mm, enquanto o médio curso do rio Araguari apresenta média de 2300 mm e o Baixo curso cerca de 2000 mm anuais.

Figura 10 - Pluviometria da Bacia do Rio Araguari.



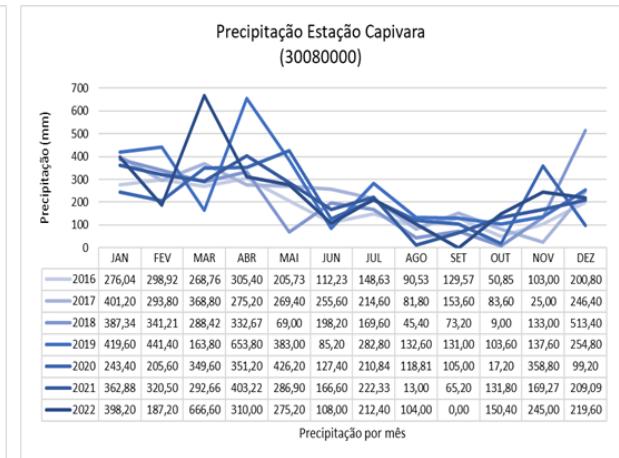
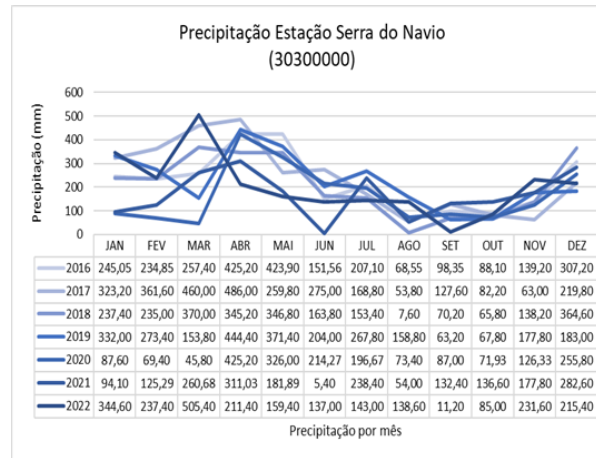
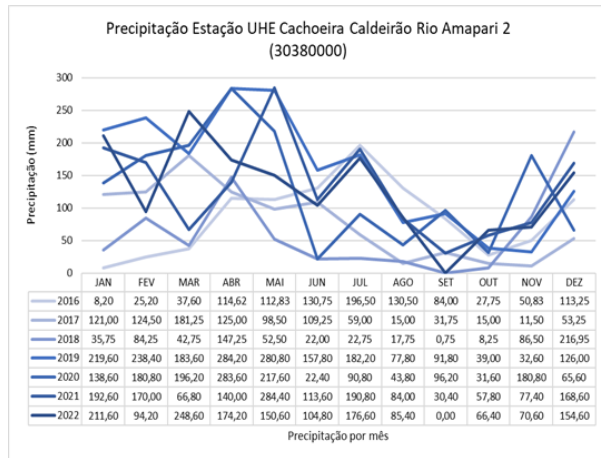
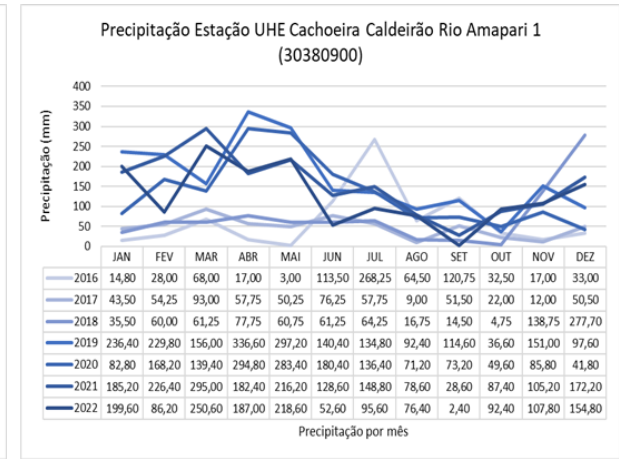
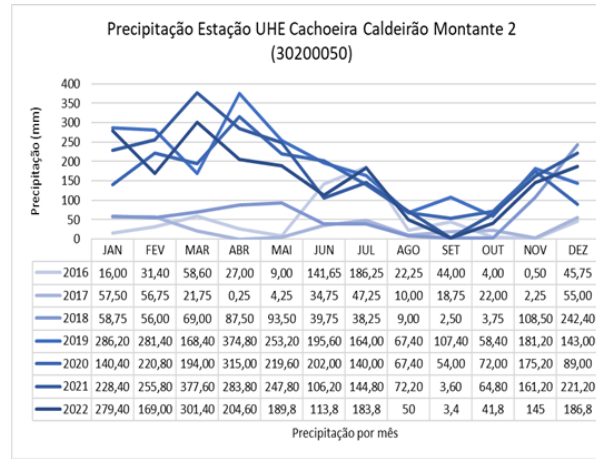
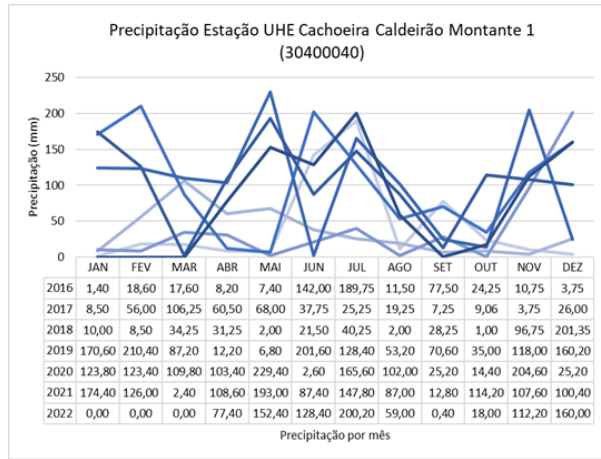
Fonte: Araújo et al. (2023). Adaptado pela autora (2025).

5.1.2 Precipitação nas estações na BHRA

Análise pluviométrica de dados mensais e anuais da área de estudo foi realizada no período de 2016 a 2022, a partir de seis estações telemétricas do INMET/ANA ao longo da bacia do rio Araguari. O objetivo foi observar os períodos de maior e menor pluviosidade, relacionando-os aos grandes eventos de inundação na região, que deverão ser considerados em cenários de rompimento de barragens, pois poderá agravar a dispersão dos rejeitos

Com base nos dados coletados, obteve-se o seguinte resultado: os gráficos apresentados (Figura 11) mostram a precipitação mensal (mm) em diferentes estações ao longo de sete anos, no período de 2016 a 2022.

Figura 11 - Dados de precipitação das estações na BHRA.



Fonte: INMET IEPA/ANA (2016 -2022).

Na Estação Capivara (30080000), a precipitação varia consideravelmente entre os anos e meses. A maior precipitação ocorre nos meses de março e abril, com valores em torno de 600 mm, especialmente em 2022 para o mês de março. O período seco é mais acentuado nos meses de agosto a novembro, com baixas precipitações, principalmente nos anos de 2016, 2017 e 2018. É possível observar uma variação significativa entre os anos, com picos mais altos em março e dezembro de 2022, enquanto 2016 apresenta valores mais baixos em comparação com os outros anos.

Na estação da UHE Cachoeira Caldeirão Montante 2 (30200050), a precipitação é visivelmente menor do que na estação Capivara, com picos que atingem cerca de 300 mm, especialmente em março de 2022. A alta pluviosidade concentra-se em março e há uma redução acentuada a partir de abril, com mínimas em junho, agosto e setembro, sendo o período mais seco. Em 2016 e 2017, os níveis de precipitação foram baixos em vários meses, em contraste com 2022, que mostra uma média mais alta na maior parte do ano. Os meses de novembro e dezembro apresentam aumento gradual da precipitação após o período seco, perceptível em 2021 e 2022.

Na estação de Serra do Navio (30300000), observa-se um volume significativamente maior de chuvas durante os primeiros meses do ano, com picos em março que variam de 400 mm a 500 mm. A precipitação diminui em maio e junho, atingindo os níveis mais baixos em agosto e setembro. A partir de outubro, há uma recuperação gradual dos níveis de precipitação, com valores mais altos em novembro e dezembro, conforme observado em 2016 e 2021. Em 2022, os meses de março e dezembro apresentam os maiores picos, com mais de 500 mm em março e mais de 300 mm em dezembro.

A Estação UHE Cachoeira Caldeirão Rio Amapari 2 (30380000) apresenta uma grande variabilidade entre os anos. Em janeiro de 2016, por exemplo, a precipitação foi extremamente baixa (8,2 mm), enquanto em 2022 atingiu 211,6 mm. Os meses com maior precipitação foram entre março e julho, especialmente abril de 2019 (283,4 mm) e maio de 2021 (284,4 mm). O período mais seco ocorre entre agosto e outubro, com quedas significativas na precipitação, como observado em setembro de 2019 (0,75 mm).

Na estação da UHE Cachoeira Caldeirão Rio Amapari 1 (30380900), também houve uma variabilidade significativa entre anos e meses. Em 2020, junho teve um pico de precipitação (294,80 mm), enquanto em 2016 o mesmo mês registrou apenas 113,50 mm. De modo geral, a maior precipitação ocorre entre fevereiro e julho, diminuindo consideravelmente

a partir de agosto. Os meses de agosto a outubro apresentam pouca chuva e são os mais secos, como observado em 2017, quando agosto teve apenas 9,00 mm.

Na estação da UHE Cachoeira Caldeirão Montante 1 (30400040), as maiores precipitações geralmente ocorrem nos meses de janeiro, fevereiro e março, com destaque para o valor de 87,20 mm, em 2019. Em 2022, houve ausência total de precipitação nos meses de janeiro e fevereiro, algo incomum em relação aos anos anteriores, possivelmente relacionado a falhas de captação de dados ou problemas na estação. Os meses de julho e dezembro costumam apresentar picos de precipitação, como em dezembro de 2022 (160,00 mm) e julho de 2019 (189,75 mm).

Assim, de acordo com os dados coletados durante esses sete anos, a estação chuvosa ocorre de janeiro a julho, com picos de precipitação principalmente em março, enquanto agosto a novembro são geralmente mais secos, com baixas taxas de precipitação. Observa-se, ainda, uma variação significativa entre os anos, sendo 2022 um dos mais chuvosos em todas as estações. Em contrapartida, anos como 2016 e 2020 apresentaram valores mais baixos, especialmente durante a estação seca, configurando-se como os mais secos desse período de sete anos analisado.

5.1.3. Condições oceanográficas

Os resultados desta pesquisa corroboram as observações de Webb (2021), que descreve a predominância de marés semidiurnas no estado do Amapá. Esse tipo de maré apresenta dois ciclos completos de maré alta e maré baixa ao longo de um mesmo dia, influenciando diretamente a dinâmica costeira e fluvial da região. Tal padrão foi constatado nas áreas monitoradas, evidenciando a regularidade desse fenômeno e sua importância na compreensão das condições hidrodinâmicas locais.

No baixo curso do rio Araguari, os achados confirmam o apontado por Santos *et al.* (2014), quando identificaram a influência marcante das marés semidiurnas. Essa interação entre a maré e o fluxo do rio provoca variações expressivas no nível da água, especialmente pela proximidade com a foz. Como resultado, a região apresenta maior vulnerabilidade pela influência das marés, refletindo-se em alterações significativas na sua dinâmica hidrológica.

Assim, a influência das marés semidiurnas na bacia do rio Araguari pode intensificar os efeitos de um possível rompimento de barragem de rejeito, favorecendo a dispersão dos contaminantes. No baixo curso, onde a interação entre maré e fluxo fluvial é mais acentuada, os impactos tendem a ser ampliados, aumentando a vulnerabilidade ambiental.

Durante o período chuvoso, o nível das marés se combina com as cheias fluviais, afetando a parte extrema do rio Araguari e sua planície de inundação, conforme observado por Santos (2006). No período seco, as marés influenciam principalmente o canal estuarino e seus afluentes secundários, alterando o transporte e a dispersão de sedimentos. Essa interação entre marés e regime de chuvas tem importância estratégica na identificação dos cenários de vulnerabilidade ambiental na BHRA.

Em um cenário de rompimento de barragem de rejeitos, por exemplo, considerando o que Santos, Mendes e Silveira (2016) destacam, durante o período chuvoso, a rápida entrada das marés poderia potencializar a dispersão de contaminantes para áreas costeiras e áreas inundáveis. O pressuposto utilizado para eventos de derramamento de óleo na região (Santos; Mendes; Silveira, 2016), em que a poluição se espalha pelos canais e margens durante as inundações pela chuva e marés, é comparável ao que poderia ocorrer com rejeitos de mineração, resultando em impactos significativos sobre ecossistemas aquáticos e áreas ribeirinhas adjacentes.

5.1.4 Solos da BHRA

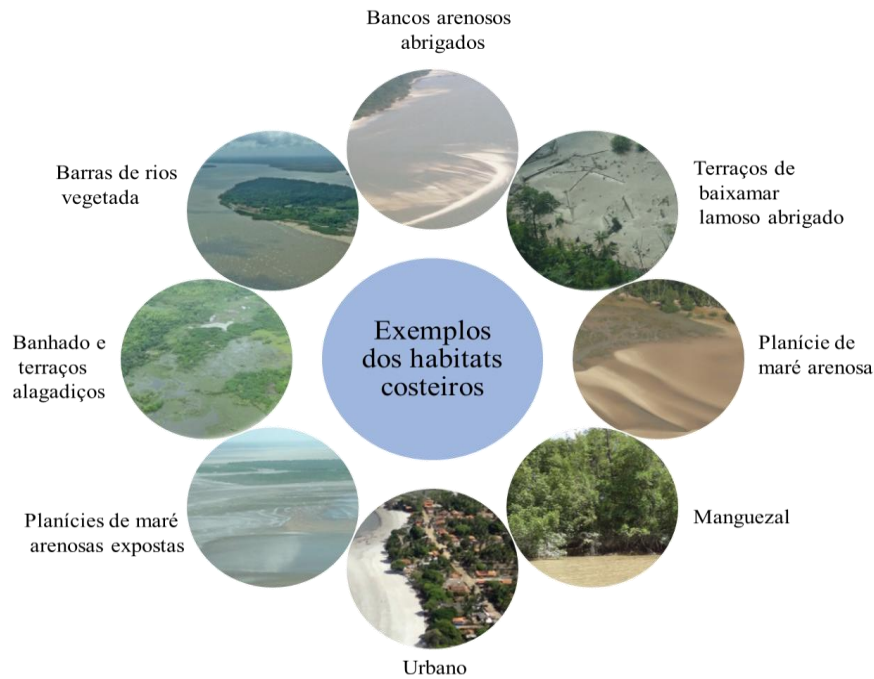
Os solos da BHRA são do tipo gleissolo háplico, pertencentes ao grupo dos hidromórficos, associados à formação geológica recente do Período Quaternário (IBGE, 2004). Segundo Rabelo (2006), essas características geológicas, geomorfológicas e pedológicas tornam a área naturalmente vulnerável à erosão.

Deve-se considerar os solos como elementos fundamentais na identificação da vulnerabilidade de um ambiente, pois, a composição, estrutura e características dos solos, como permeabilidade, por exemplo, capacidade de retenção de água, se existe presença de matéria orgânica ou não, são fatores que devem ser considerados, pois em um possível caso de rompimento de barragem de rejeito, dependendo do solo, como neste caso, pode influenciar no deslizamento desse rejeito, devido à sua composição físico-química e aumentar a vulnerabilidade ambiental da área.

5.1.5 Habitats

Existem diversos habitats costeiros ocorrentes na parte do baixo curso do rio Araguari (Figura 12), os quais foram identificados pelo Projeto Cartas SAO (Santos *et al.*, 2016), como: manguezais, planície de maré arenosa exposta, bancos arenosos abrigados, banhados, barras de rio vegetada, margens de rios e lagoas com vegetação, terraços alagadiços e de baixamar lamoso abrigado e urbano, representados na Figura 12.

Figura 12 - Habitats costeiros.



Fonte: Santos *et al.*, (2016). Adaptado pela autora (2025).

Segundo Santos, Mendes e Silveira (2016), as planícies de maré arenosas e lamosas abrigadas, bem como os bancos arenosos e lamosos abrigados e os terraços de baixamar lamosos abrigados, apresentam características particulares que influenciam a dinâmica do ambiente costeiro. Essas áreas são abrigadas da ação direta das ondas, possuindo um substrato sub-horizontal com declividade menor que 3 graus, predominantemente composto por sedimentos lamosos.

Os sedimentos nessas regiões são saturados com água, o que lhes confere baixa permeabilidade, exceto nas áreas onde a presença de orifícios feitos por animais facilita a infiltração (Santos; Mendes; Silveira, 2016). A largura dessas formações pode variar significativamente, indo de poucos metros a vários quilômetros.

As planícies e bancos arenosos/lamosos são caracterizados por sedimentos finos, o que resulta em baixa trafegabilidade. Essas características tornam essas regiões especialmente sensíveis a alterações ambientais, processos erosivos e, portanto, tornando este ambiente em um cenário de vulnerabilidade ambiental, (Santos; Mendes; Silveira, 2016).

As barras de rio vegetadas, terraços alagadiços, banhados, margens de rios e lagoas, e manguezais são ambientes de baixa energia que compartilham várias características comuns. Esses locais possuem um substrato plano, que varia de lamoso a arenoso, com solos muito orgânicos lamosos sendo particularmente comuns (Santos; Mendes; Silveira, 2016).

O declive nessas áreas é geralmente muito baixo, menor que 3 graus, resultando em zonas intermareais potencialmente extensas. Os sedimentos presentes são saturados com água, o que lhes confere baixa permeabilidade, exceto onde existem orifícios feitos por animais que facilitam a infiltração, (Santos; Mendes; Silveira, 2016).

Além disso, os sedimentos nesses ambientes são moles e apresentam baixíssima trafegabilidade, tornando-os difíceis de transitar. Esses habitats são mais sensíveis devido à elevada riqueza e valor biológico; e funcionam como “verdadeiras armadilhas” de retenção de materiais (óleo, rejeito etc), devido ao seu substrato mole e à dificuldade de acesso, “facilitando” a penetração de substâncias/materiais em suas camadas (Santos; Mendes; Silveira, 2016).

A composição desses ecossistemas está alinhada à análise de Santos (2006), que ressalta que a zona costeira do Amapá abriga ambientes interdependentes, como manguezais, lagos, florestas de várzea e campos inundáveis. Esses ambientes estão vinculados às planícies de inundação dos sistemas fluviais que drenam para os estuários, apresentando uma dinâmica fortemente influenciada pela sazonalidade hidrológica e pela proximidade com a costa.

Na área, também, possui comunidades costeiras, que se fazem presente próximo aos cursos de água da BHRA e dependem desses recursos hídricos para as suas atividades.

Esses habitats formam um mosaico de ecossistemas que sustentam uma rica biodiversidade na bacia do rio Araguari, cada um com suas características ecológicas únicas e importância para a conservação ambiental.

5.1.6 Cobertura vegetal

A BHRA apresenta elevada diversidade de tipologias vegetais, predominando a Floresta Amazônica, a Savana e a vegetação costeira, conforme caracterizado por Freitas *et al.*, (2021). No grupo das formações costeiras, identificam-se ecossistemas adaptados a áreas inundáveis, como as florestas de várzea densas que margeiam os rios Araguari e Gurijuba, além de campos inundáveis compostos por espécies graminóides e arbustivas distribuídos ao longo do Canal Urucurituba e do Igarapé Novo. Próximo à foz do Urucurituba, observa-se ainda uma estreita faixa de manguezal, conforme descrito por Rabelo (2006).

5.1.7 Cenários aplicados para análise de vulnerabilidade ambiental na BHRA

A BHRA apresenta elevada complexidade ecológica e hidrológica, reunindo ecossistemas como florestas de várzea, campos inundáveis, savanas, manguezais e floresta amazônica densa. Sua dinâmica é, fortemente, influenciada pela sazonalidade amazônica e

pelas marés semidiurnas, especialmente no baixo curso, o que aumenta a vulnerabilidade a eventos extremos, como, por exemplo, um rompimento de barragem de rejeito.

Diante do exposto, a próxima seção tratará da vulnerabilidade ambiental ao rompimento de barragens na BHRA, considerando suas características naturais e sociais, bem como os graus de vulnerabilidade ambiental que a região está inserida. Para isso, parte-se da compreensão dos diferentes cenários que a região apresenta, desde as áreas mais críticas até àquelas de menor vulnerabilidade, como descrito a seguir:

O baixo curso da BHRA apresenta o cenário mais crítico de vulnerabilidade ambiental, marcado pela influência das marés semidiurnas e pelo regime chuvoso entre janeiro e julho. Essa combinação amplia os danos de inundação e favorece a rápida dispersão de rejeitos em caso de rompimento de barragens. A área, caracterizada por planícies de inundação, concentra populações, atividades econômicas e ambientes costeiros sensíveis, como manguezais e banhados, que intensificam os potenciais impactos.

No alto curso da bacia, os danos se mostram menos severos devido à maior altimetria, menor densidade populacional e ausência de influência direta das marés. Embora haja suscetibilidade a chuvas intensas e erosão, os danos tenderiam a ser mais restritos, sem alcançar de imediato áreas costeiras ou grandes comunidades.

Assim, o baixo curso foi definido como principal recorte de análise neste estudo, por reunir os fatores que potencializam os danos socioambientais em caso de rompimento. Essa delimitação contribui para compreender melhor a vulnerabilidade ambiental existente e orienta a discussão na próxima seção.

6 VULNERABILIDADE AMBIENTAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS NA BACIA DO RIO ARAGUARI

Esta seção é destinada aos resultados desta pesquisa, identificando o grau de vulnerabilidade ambiental ao rompimento de barragens de rejeito na bacia do rio Araguari.

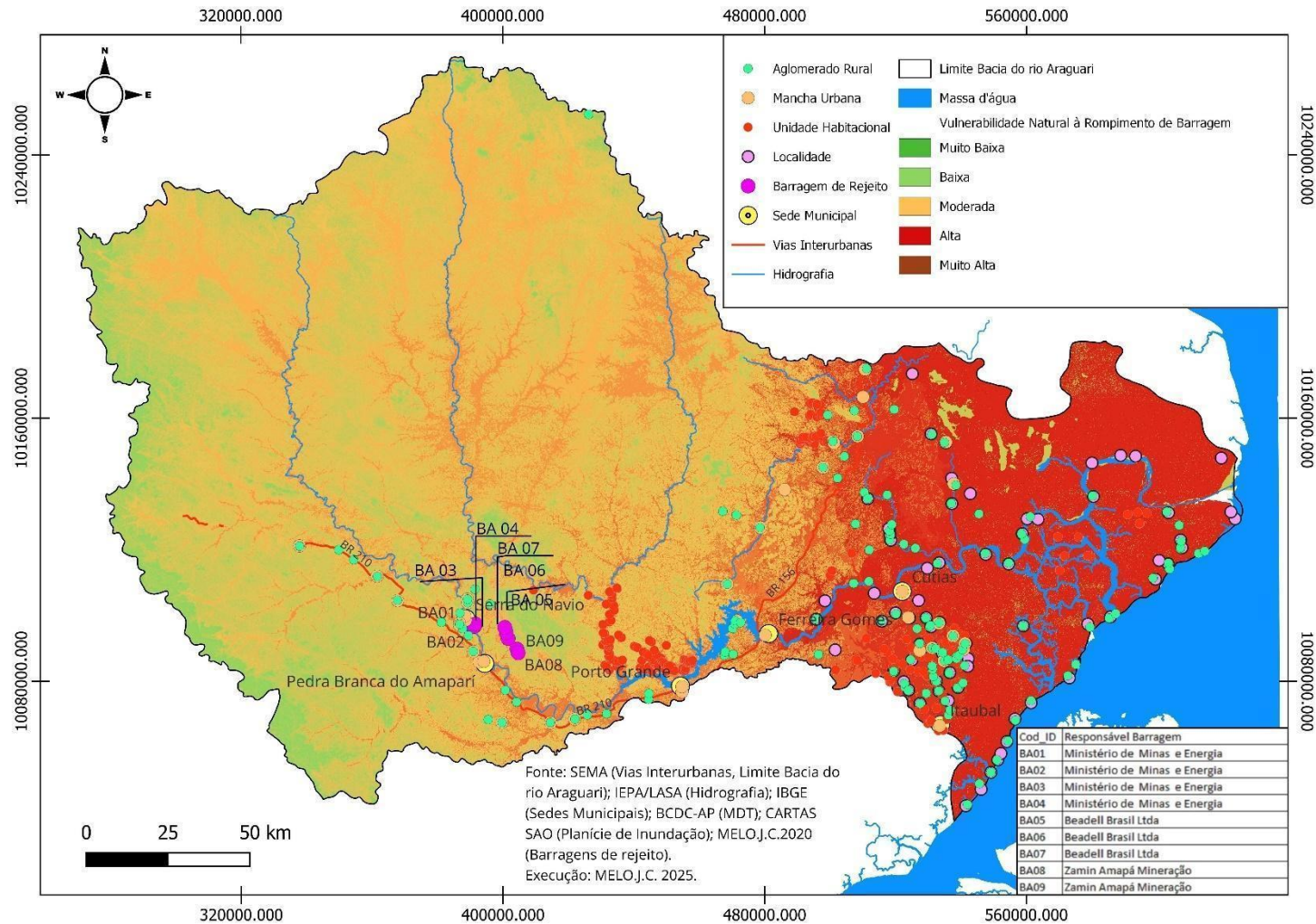
6.1 VULNERABILIDADE NATURAL AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO

De acordo com as análises realizadas, para a vulnerabilidade natural, a área de estudo apresenta altimetria variando entre 0 e 562 metros. Quanto ao indicador de declividade, observa-se predominância das classes plana (0–3°) e suavemente ondulada (3–8°).

Nesse contexto, a baixa declividade contribui para um escoamento mais lento, favorecendo a infiltração e o acúmulo das águas fluviais e pluviais, especialmente nas áreas de menor altitude que estão sob influência das marés (ver Figura 13) e das precipitações.

Na análise da vulnerabilidade natural, as áreas localizadas em regiões de baixa declividade e baixa altitude, especialmente nas planícies de inundação e sob influência das marés, apresentam vulnerabilidade muito alta a eventuais rompimentos de barragens.

Figura 13 - Vulnerabilidade natural ao rompimento de barragem para BHRA.



Fonte: Funi *et al.* (2023); Santos (2016), Melo (2021) e resultado da análise deste trabalho.

6.2 VULNERABILIDADE SOCIAL A ROMPIMENTO DE BARRAGENS

6.2.1 Indicador de demografia

De acordo com a reclassificação por tabela que considera a demografia, por número de residentes nos setores censitários em relação ao censo do IBGE (2022), o número de setores dentro da bacia do rio Araguari é de 14 setores censitários, e demonstrados na (Tabela 1) e (Figura 14).

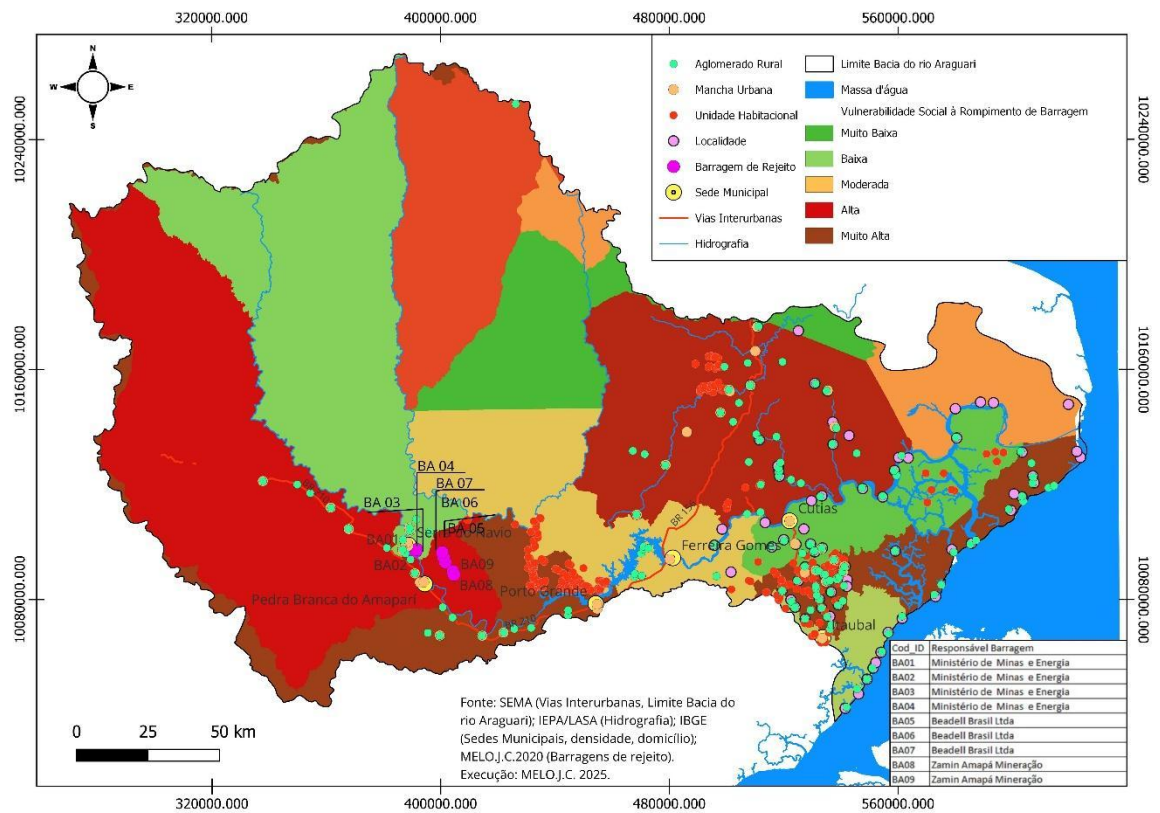
Tabela 1 - Demografia por setores censitários por municípios na BHRA.

Município	Demografia	%
Pracuúba	3.803,00	0,62%
Cutias	4.461,00	0,73%
Serra do Navio	4.673,00	0,76%
Itaubal	5.595,00	0,92%
Ferreira Gomes	6.654,00	1,09%
Amapá	7.940	1,30%
Calçoene	10.586	1,73%
Pedra Branca do Amapari	12.220,00	2,00%
Tartarugalzinho	12.916,00	2,11%
Porto Grande	17.831,00	2,92%
Mazagão	21.867,00	3,58%
Oiapoque	27.312,00	4,47%
Laranjal do Jari	35.061,00	5,74%
Macapá	440.387,00	72,04%
Total	611.306,00	

Fonte: IBGE (2022).

A maior concentração de indivíduos por setor censitário, está centrado na planície costeira de Macapá, equivalente a 72% desse total na bacia do rio Araguari. A maioria dos setores apresentaram demografia moderada a baixa na região. Deste total, 611.306 pessoas estão em cenário de vulnerabilidade no estado do Amapá.

Figura 14 - Resultado da reclassificação da variável de demografia (total quantidade de moradores).



Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

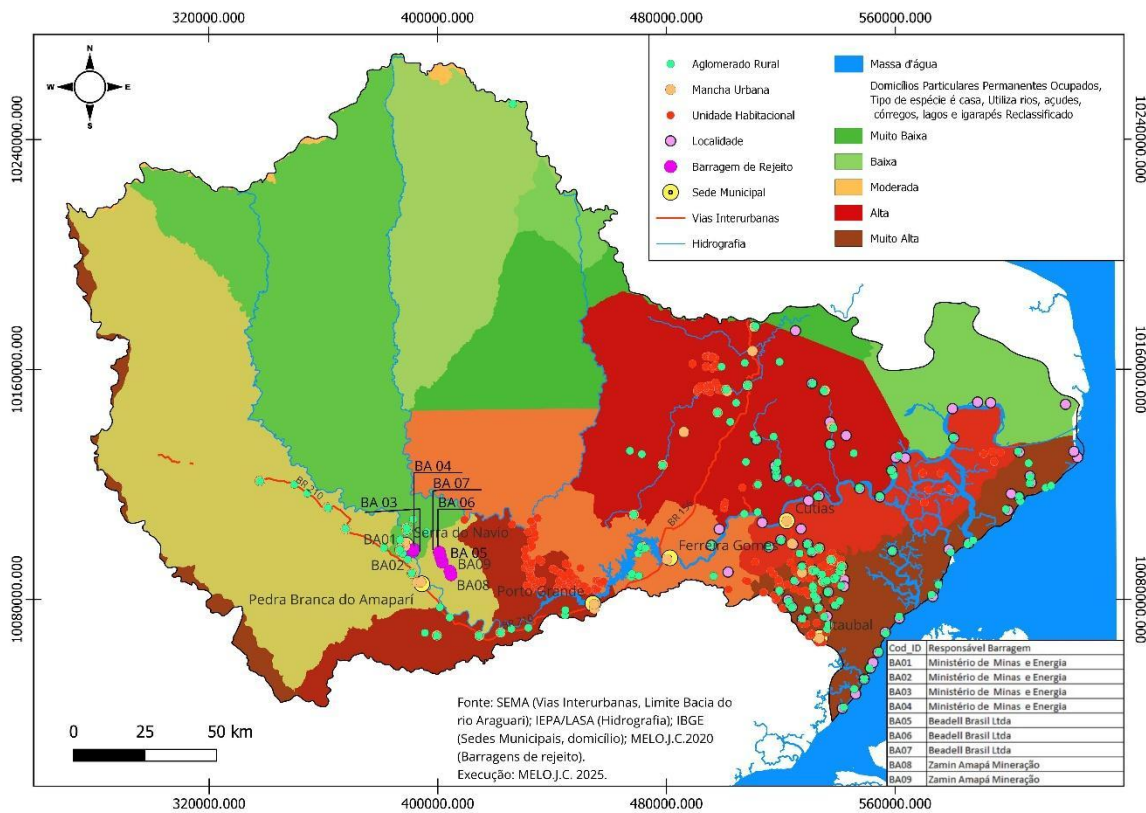
6.2.2 Indicadores de domicílio

Os quatro indicadores de características domiciliares foram usados para fazer o cruzamento de dados na metodologia, através do programa QGIS, para identificar os setores censitários com maior vulnerabilidade. Com base nessa análise, foram estabelecidas as seguintes classes de vulnerabilidade: Muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

Para a variável domicílios particulares permanentes ocupados, tipo de espécie é casa, utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés (variável V00125), observou-se que a maioria se encontra em um cenário de vulnerabilidade muito baixa a baixa, para esta variável (Figura 15).

A figura mostra que as áreas de maior vulnerabilidade (vermelho/marrom escuro) estão na porção central e leste. Esta área, de alta vulnerabilidade, é justamente as áreas a jusante das barragens de rejeito e a maior densidade populacional e de aglomerados rurais.

Figura 15 – Mapa do resultado da reclassificação de domicílios particulares permanentes ocupados, tipo de espécie é casa, utiliza rios, açudes, córregos, lagos e igarapés (V00125).

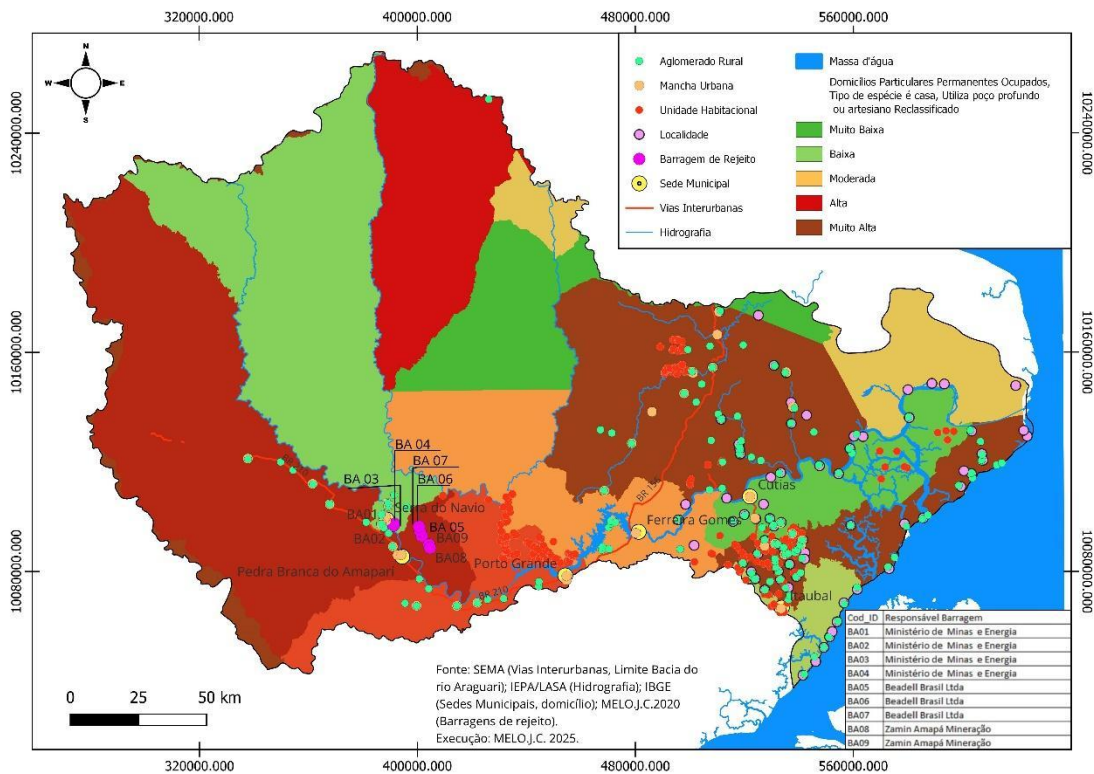


Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

Para a variável domicílios particulares permanentes ocupados, tipo de espécie é casa, utiliza poço profundo ou artesiano (variável V00120), a vulnerabilidade é de moderada a muito alta, isso devido à maioria da população utilizar este tipo de recurso em suas residências (Figura 16).

A concentração dos domicílios particulares permanentes ocupados abastecidos por poço profundo ou artesiano nas áreas de vulnerabilidade alta e muito alta do mapa revela uma severa vulnerabilidade socioambiental. Essa dependência, dos recursos hídricos subterrâneos, nas áreas mais próximas às barragens de rejeito, e com alta classificação de vulnerabilidade (vermelho), expõe um grande número de famílias a possibilidade de contaminação dos aquíferos por rejeitos, e de perda do acesso à água limpa em um cenário de rompimento. A ausência muitas vezes da rede pública de distribuição de água nessas áreas, forçando a dependência de poços, agrava significativamente o cenário de vulnerabilidade da população rural e urbana.

Figura 16 – Mapa do resultado da reclassificação de Domicílios Particulares Permanentes Ocupados, tipo de espécie é casa, utiliza poço profundo ou artesiano (V00120).

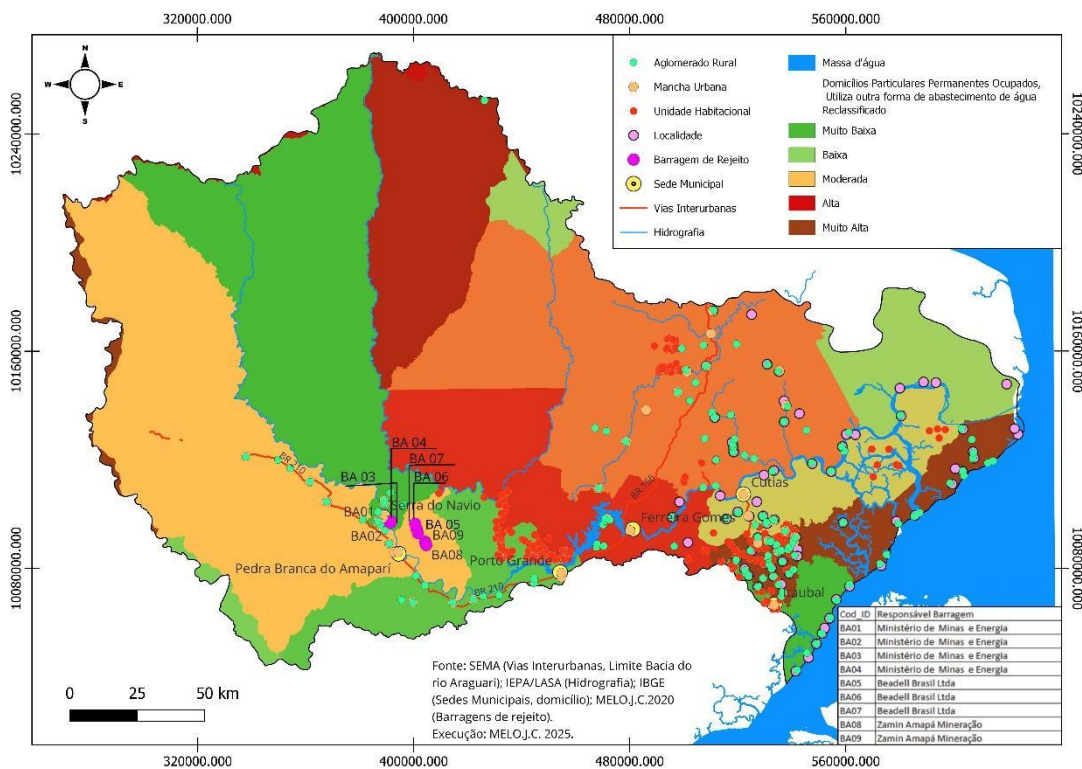


Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

Para a variável de domicílios particulares permanentes ocupados, utiliza outra forma de abastecimento de água (variável V00118), os valores mostram que a vulnerabilidade é de baixa a moderada (Figura 17). Isso, considerando a Figura 16 que mostra, que a principal forma de abastecimento de água ainda é por utilização de poço profundo ou artesiano.

A alta concentração de domicílios que utilizam outras formas de abastecimento de água, está localizada na porção leste/sudeste do mapa, região classificada com vulnerabilidade alta/muito alta. Essa dependência de fontes alternativas e não tratadas, em uma área sob ameaça de contaminação por efluentes da bacia (incluindo as barragens a montante), expõe a população a um dano sanitário extremo, caracterizando essas áreas como as mais vulneráveis a doenças de veiculação hídrica e poluição química.

Figura 17 – Mapa resultado da reclassificação de domicílios particulares permanentes ocupados, utiliza outra forma de abastecimento de água (V00118).

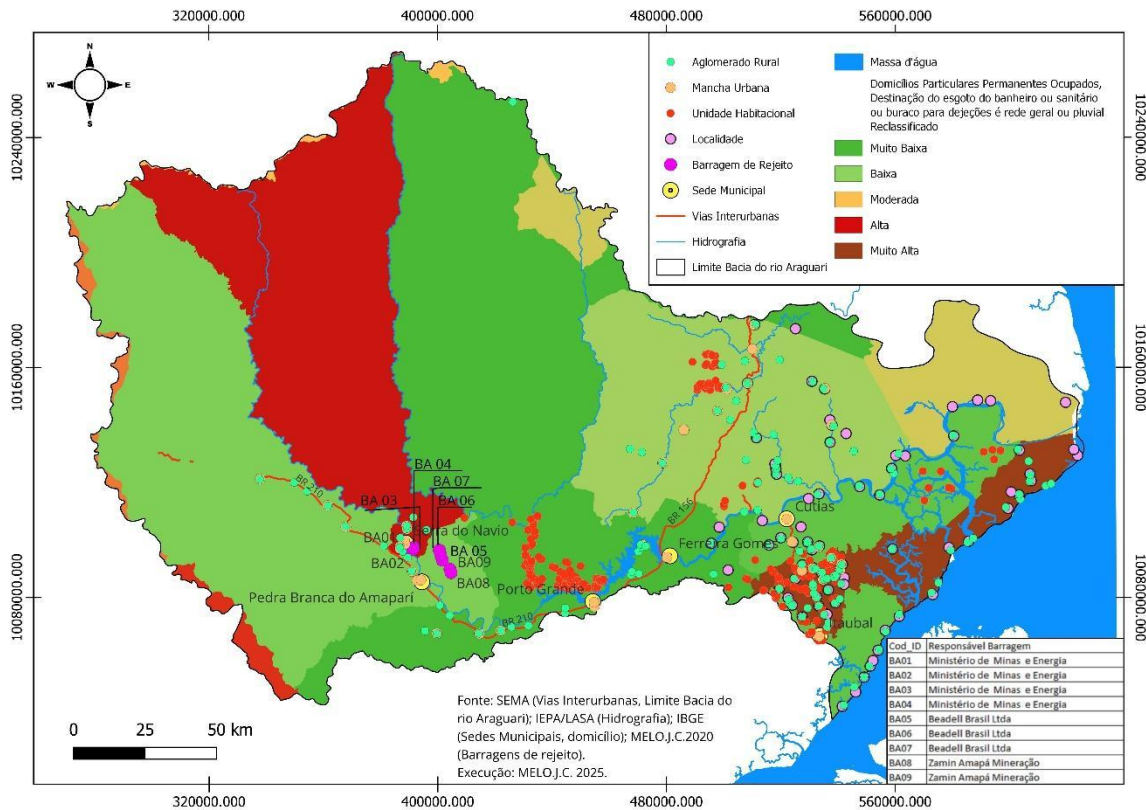


Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

Na variável de domicílios particulares permanentes ocupados, destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial (variável V00309), apresentou uma vulnerabilidade muito baixa e baixa, isso porque a maioria dos setores se tratam de áreas rurais. Somente para as áreas com mais moradores e urbanas, apresentou vulnerabilidade muito alta (Figura 18).

A concentração de domicílios que utilizam a rede geral ou pluvial para destinação do esgoto está restrita aos núcleos urbanos do leste e sudeste da bacia. O despejo de efluentes domésticos não tratados muitas vezes são despejados nos corpos hídricos superficiais. Essa prática sanitariamente deficitária agrava a poluição a jusante e somado a um possível caso de rompimento de barragens de rejeito, pode aumentar o grau de vulnerabilidade ambiental.

Figura 18 - Resultado da reclassificação de domicílios particulares permanentes ocupados, destinação do esgoto do banheiro ou sanitário ou buraco para dejeções é rede geral ou pluvial (V00309).



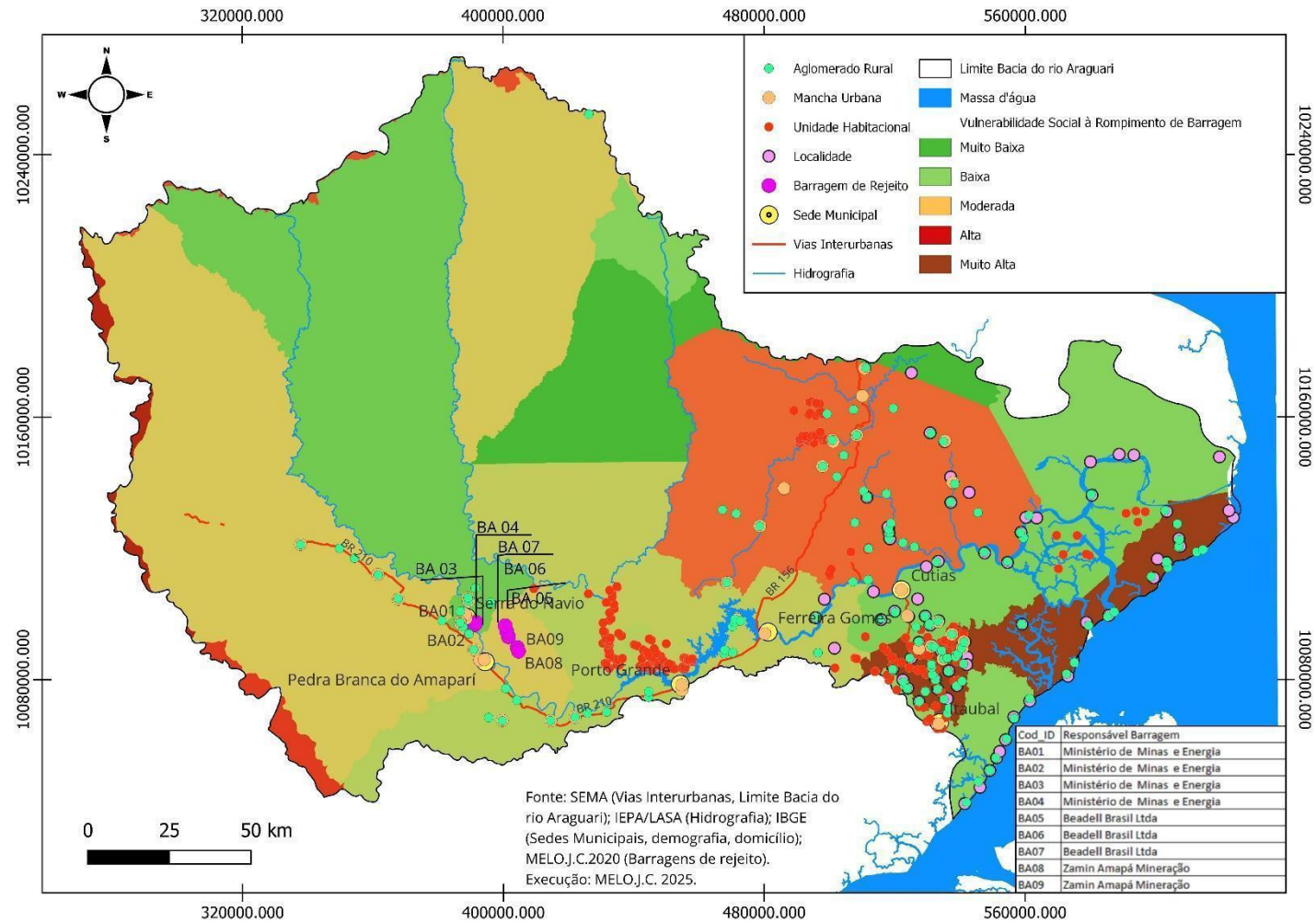
Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

6.2.2.1 Mapa de vulnerabilidade social

A vulnerabilidade social ao rompimento de barragens (Figura 19) foi considerada com base na associação dos indicadores sociais da área estudada, conforme cinco variáveis inter-relacionadas. A análise das características demográficas e domiciliares revela que poucos setores têm vulnerabilidade social muito alta, concentrado principalmente no município de Macapá. No entanto, predominam os setores com vulnerabilidade social moderada a baixa, como pode ser observado na Figura 19.

A vulnerabilidade social ao rompimento de barragens na BHRA, evidencia maior vulnerabilidade nas áreas leste e sudeste da bacia, onde há maior concentração de comunidades rurais, unidades habitacionais e vias de acesso próximas aos cursos d'água.

Figura 19 – Mapa de vulnerabilidade social à rompimento de barragens de rejeito.



Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

6.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO NA BACIA DO RIO ARAGUARI

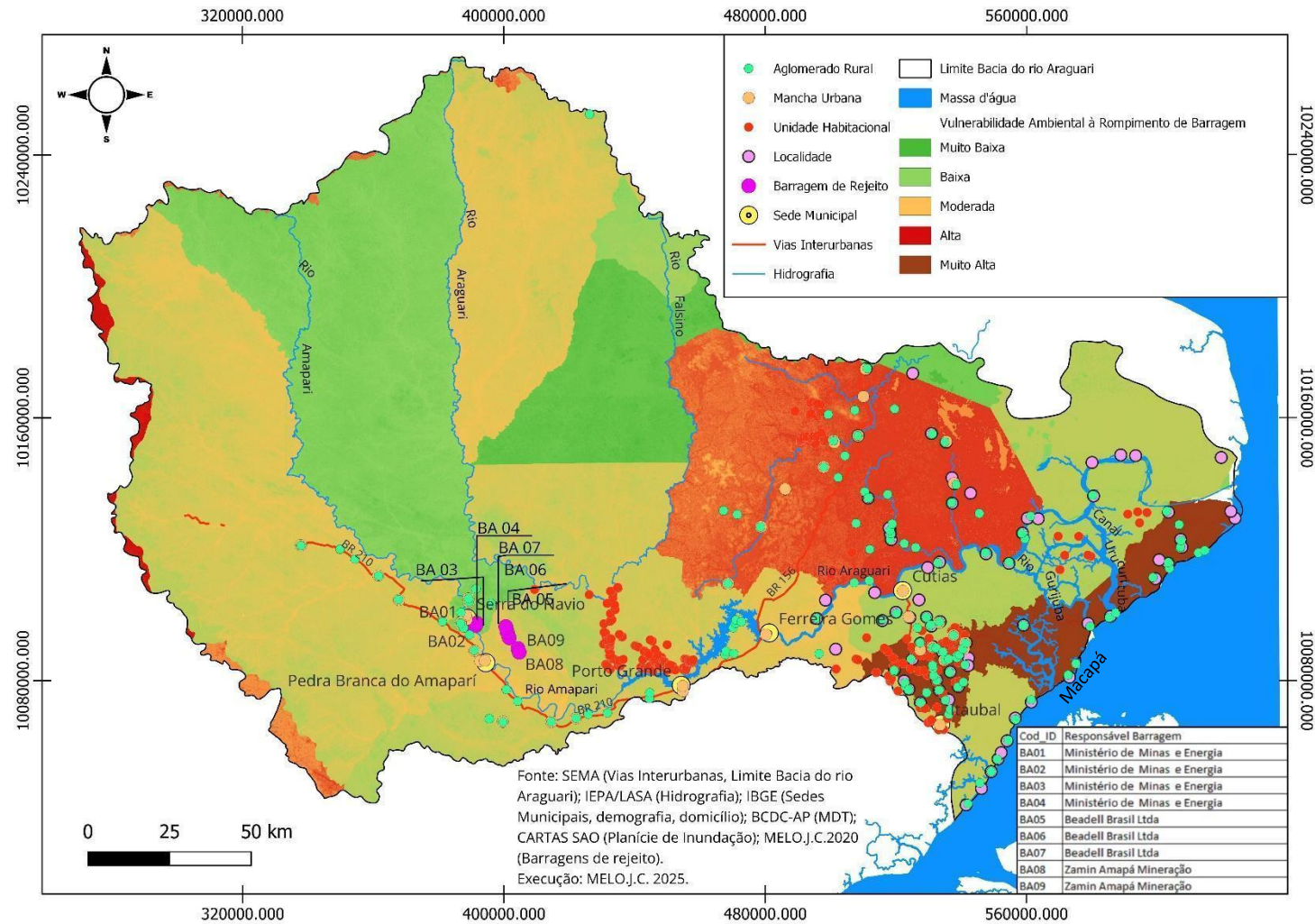
A partir do cruzamento de vulnerabilidades natural e social (Figura 20) verificou-se os setores censitários com maior vulnerabilidade ambiental nos municípios abrangidos na bacia hidrográfica do rio Araguari.

Conforme observado, as áreas que apresentaram um cenário com maior vulnerabilidade ambiental, são as regiões dentro da planície de inundação, área mais plana e com menor altitude, e com influência de maré, o que torna o cenário com esse grau maior.

São áreas com grande concentração populacional, principalmente comunidades costeiras, que, muitas vezes, dependem dos recursos naturais para seu sustento. Por estarem em áreas de vulnerabilidade, elas são mais vulneráveis a eventos extremos ambientais, como o rompimento de barragens de rejeito, que podem poluir e contaminar os recursos hídricos, prejudicar suas atividades, como a pesca e a qualidade de vida.

No Amapá, como observado na área de estudo, pelas suas características de altitude (baixa) e declividade (plana), em caso de rompimento, os rejeitos podem se deslocar até a área costeira do estado, como na bacia hidrográfica do rio Araguari, tornando o cenário em vulnerabilidade ambiental, que carece de mais atenção para estas regiões, pois poderá afetar áreas rurais e urbanas, próximas das barragens e no percurso até a área costeira.

Figura 20 - Vulnerabilidade ambiental ao rompimento de barragens de rejeito.



Fonte: IBGE (2022); Melo (2021); Funi et al. (2023); Santos (2016).

7 DISCUSSÕES

Conforme apresentado na seção introdutória, o presente estudo foi conduzido com o objetivo de identificar os cenários das barragens de rejeito e verificar como a legislação vem sendo aplicada para essas áreas. Quando se trata da vulnerabilidade ambiental no Amapá, é imprescindível observar o contexto em que se encontram as barragens de rejeito de mineração e avaliar como ocorre a fiscalização e o monitoramento dessas estruturas.

A BHRA apresenta elevada complexidade ecológica e hidrológica, o que a torna altamente vulnerável em caso de rompimento de barragem de rejeito. Os resultados demonstram que fatores climáticos, oceanográficos e geomorfológicos interagem diretamente na configuração dessa vulnerabilidade.

A sazonalidade amazônica, aliada à influência das marés semidiurnas, com ciclo de maré alta, potencializaria os impactos de um possível rompimento. Essa interação, de maior pluviometria e maré alta, intensificaria a dispersão de rejeitos, ampliando a área de alcance da contaminação e dificultando o controle dos danos, sobretudo no baixo curso do rio. Essa constatação corrobora análises anteriores que destacam o papel das marés e do regime hidrológico como fatores determinantes da vulnerabilidade em ambientes costeiros amazônicos (Santos, 2006; Santos *et al.*, 2014; Webb, 2021).

Os solos hidromórficos e os sedimentos lamosos, comuns nas planícies de maré e margens fluviais, funcionam como áreas de retenção de poluentes. Entretanto, sua baixa permeabilidade favoreceria a persistência de rejeitos (Rodríguez-Pacheco *et al.*, 2025), aumentando o grau de vulnerabilidade sobre ecossistemas frágeis como várzeas, manguezais e campos inundáveis.

No aspecto social, comunidades ribeirinhas e urbanas próximas aos cursos d'água tornam-se particularmente mais vulneráveis. A dependência direta dos recursos hídricos para consumo humano e outras atividades, transforma um eventual rompimento em um problema socioambiental de grande magnitude.

Como observado, as áreas de maior vulnerabilidade ambiental referem-se às planícies de inundação de Macapá, que concentram maior densidade populacional e atividades socioeconômicas. Em caso de rompimento, os rejeitos poderiam comprometer amplamente essa região, atingindo até a foz do rio Amazonas, onde estão localizadas áreas de pesca, captação de água para consumo humano e ecossistemas de elevada biodiversidade.

O rompimento de uma barragem de rejeito pode comprometer gravemente toda a região, pois os rejeitos liberados se espalham rapidamente, atingindo áreas urbanas, corpos hídricos, vegetação nativa e atividades econômicas, como exemplificado por Ávila *et al.*, 2021. Esses materiais, em geral tóxicos, contaminam o solo e a água, colocando em risco a saúde da população, a biodiversidade local e o uso futuro da terra e dos recursos naturais. Exemplo de rompimento da barragem de Fundão/MG

(2015), que devastou o distrito de Bento Rodrigues e comprometeu o rio Doce até sua foz no Espírito Santo.

No Amapá, os resultados desta pesquisa mostram que não há um monitoramento eficaz das barragens de rejeito, o que agrava o risco tanto nas áreas onde estão instaladas quanto nas regiões a jusante. Além disso, as informações de cadastro de barragens pelo estado não coincidem com os dados da ANM, ampliando as incertezas e fragilidades do controle institucional.

Atualmente, o Amapá depende majoritariamente da legislação nacional (Lei nº 12.334/2010, atualizada pela Lei nº 14.066/2020) e não possui uma norma específica voltada à fiscalização de barragens de rejeito. A SEMA utiliza os critérios da Lei nº 14.066/2020 e da Resolução nº 95/2022 da ANM, porém tais instrumentos mostram-se insuficientes para lidar com a complexidade e a dinâmica ambiental da região. Evidencia-se, portanto, a necessidade de criação de normas específicas que contemplem a realidade amazônica.

A área em estudo é altamente dinâmica por estar inserida em uma bacia hidrográfica costeira, sujeita à influência das marés e da pluviosidade. Essa dinâmica aumenta o risco de dispersão dos rejeitos, especialmente durante o período mais chuvoso, de janeiro a julho, quando ocorre maior acúmulo de água no rio Araguari (INMET/ANA, 2022).

As áreas sujeitas a inundações, como as planícies de Macapá, apresentam alta vulnerabilidade devido à baixa altimetria, à declividade reduzida e à influência das marés (Santos, 2006; Santos, 2016). Conforme Tucci (1993), os eventos de inundação dependem das características físicas e climatológicas da bacia, especialmente da distribuição temporal e espacial das chuvas. Assim, um eventual rompimento nesse período poderia favorecer a rápida dispersão dos rejeitos em direção à área costeira, alcançando populações e suas atividades.

Esse risco foi recentemente evidenciado no episódio de 11 de fevereiro de 2025, no município de Porto Grande (AP), quando o rompimento de uma barragem provocou a poluição de mais de 100 km, atingindo o distrito local e o rio Cupixi, alcançando ainda os rios Araguari e Amapari. O acidente afetou diretamente a pesca e o abastecimento de água potável (Narcisa, 2025).

Diante desse cenário, torna-se evidente que a vulnerabilidade ambiental da BHRA está diretamente relacionada às suas particularidades amazônicas. A influência das marés, a sazonalidade hidrológica e a fragilidade de seus ecossistemas ampliam os danos associados a um possível rompimento de barragem de rejeito. Portanto, estratégias de prevenção e mitigação precisam considerar essas especificidades, de modo a reduzir a exposição das comunidades e dos ambientes naturais mais sensíveis.

8 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÃO

A análise da vulnerabilidade ambiental das barragens de rejeito na BHRA evidenciou a elevada complexidade da região, tanto do ponto de vista natural quanto social. Fatores hidrológicos, climáticos, oceanográficos, geomorfológicos, presença de solos hidromórficos e de sedimentos lamosos, aumentam, significativamente, a possibilidade de dispersão e de retenção de rejeitos em caso de rompimento.

A planície costeira de Macapá foi identificada como a área de maior vulnerabilidade, devido à baixa altimetria, à alta densidade populacional e à presença de ecossistemas frágeis, como manguezais, várzeas e campos inundáveis, cuja estrutura e características aumentam a vulnerabilidade ambiental. Em contraste, áreas a montante das barragens apresentam vulnerabilidade moderada a baixa, indicando que a vulnerabilidade ambiental se intensifica à medida que se aproxima a região costeira.

Do ponto de vista social, comunidades ribeirinhas e urbanas próximas aos rios são especialmente vulneráveis, pois dependem diretamente dos recursos hídricos, pesca e atividades econômicas. Eventos recentes, como o rompimento da barragem de rejeito no município de Porto Grande-AP, demonstram que tais incidentes podem afetar extensas áreas, comprometendo ambientes e a subsistência local.

8.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alta vulnerabilidade ambiental da BHRA resulta da interação entre fatores naturais e sociais, sendo agravada pela ausência de legislação estadual específica para fiscalização e monitoramento de barragens de rejeito. Atualmente, o estado depende majoritariamente da legislação nacional, que não contempla integralmente a complexidade e dinâmica ambiental da região amazônica.

A criação de normas estaduais específicas é essencial para regulamentar a operação, fiscalização e monitoramento dessas estruturas, reduzindo a vulnerabilidade e fortalecendo a governança ambiental. Além disso, a sistematização de informações sobre as barragens, integrando os cadastros estadual e federal, é fundamental para diminuir incertezas e permitir uma gestão mais eficiente.

O planejamento ambiental deve priorizar a proteção das áreas mais vulneráveis, especialmente a planície costeira de Macapá, onde se concentram maior densidade populacional, atividades econômicas e um rico ecossistema. Estratégias preventivas e mitigadoras devem considerar a

influência das marés, a sazonalidade das chuvas e as características dos solos, visando reduzir a vulnerabilidade das comunidades locais e dos ambientes nela contidos.

Portanto, a análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Araguari evidencia que a interação entre fatores climáticos, oceanográficos, geomorfológicos e sociais determina o grau de vulnerabilidade das comunidades e dos ambientes amazônicos. Reconhecer e compreender esses cenários é imprescindível para o desenvolvimento de políticas e estratégias eficazes de prevenção, monitoramento e mitigação, assegurando a conservação ambiental, proteção das populações e atividades locais, diante da complexidade e da dinâmica da região amazônica.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. **Vulnerability**. *Global Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006. Acesso em: 12 ago. 2025.
- AMAPÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA. **Portaria nº 127, de 21 de junho de 2022. Dispõe sobre os critérios e os procedimentos para a classificação de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos**. *Diário Oficial do Estado do Amapá*, Macapá, 21 jun. 2022. Disponível em: <https://sigdoc.ap.gov.br/public/arquivo/66d33551-4888-4733-b442-cbf23e74b583/download>. Acesso em: 11 set. 2025.
- AMAPÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. PORTARIA nº 001/2020-SEMA/AP. **Diretrizes e orientações técnicas para tramitação processual do Licenciamento Ambiental**. 2020.
- AMAPÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. PORTARIA nº 001/2020-SEMA/AP. **Critério e Procedimentos para Classificação de Barragens**. 2022.
- AMAPÁ. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (AP). **Base Cartográfica e Geodésica do estado do Amapá**. 2014.
- AMAPÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente (AP). **RESOLUÇÃO CERH n.º 007, de 25 abr. 2017**. Disponível em: <https://sema.portal.ap.gov.br/cerh>. Acesso em: 15 mai. 2023.
- ANDRADE, L. M. M. **Antes a água era cristalina, pura e sadia – percepções quilombolas e ribeirinhas dos impactos e riscos da mineração em Oriximiná, Pará**. 2018. Disponível em: <https://cpisp.org.br/publicacao/antes-a-agua-era-pura-e-cristalina/?portfolioCats=271%2C272%2C20%2C21%2C22>. Acesso em: 22 mai. 2023.
- AQUINO, A. R.; PALETA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2017.
- ARAÚJO, A. N. **Análise integrada da bacia hidrográfica do Rio Araguari – AP: subsídios ao planejamento ambiental**. 2019. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2019.
- ARAÚJO, A. N.; CRUZ, M. L. B.; SILVA, C. N.; ROSSETE, A. N. Dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Araguari (Amapá, Amazônia, Brasil). *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 6, e202003, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202003>. Acesso em: 09 mai. 2023.
- ARAÚJO, A. N.; ROSSETE, A. N. Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Araguari, Amapá–Brasil. *Revista Equador, Teresina*, v. 12, n. 3, p. 95–117, 2023. Disponível em: <https://comunicata.ufpi.br/index.php/equador/article/view/13990>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração**. Rio de Janeiro, 2025.
- ÁVILA, J. P.; SAWAYA, M.; SAYÃO, A. S. F.; FERREIRA, L. A. Segurança de barragens de rejeitos no Brasil: avaliação dos acidentes recentes. *Revista Geotecnica*, n. 152, p. 435–464, 2021.
- ÁVILA, J. P.; SAWAYA, M. **As barragens de rejeitos no Brasil: sua evolução nos últimos anos**. In: MELLO, F. M. de; PIASSENTIN, C. (orgs.). *História das barragens do Brasil: séculos XIX, XX e XXI*. 1. ed. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB, 2011. p. 369–395.

ÁVILA, J. P. **Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/ACIDENTES-EM-BARRAGENS-Joaquim-Pimenta-Pimenta-de-%C3%81vila-Engenharia.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2023.

BRASIL. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Nota Técnica n.º 03/2017 — Identificação da área atingida pela pluma de rejeitos da Samarco e das principais comunidades pesqueiras existentes na mesma**. Vitória-ES, 17 fev. 2017. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos/documentos-rio-doce-espírito-santo/NT_CTAMAR_03_2017.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. **Relatório de Segurança de Barragens 2019**. Brasília, DF: ANA, 2019.

BRASIL. **Sistema Hidro-Telemetria: aquisição, qualificação e gestão de dados hidrometeorológicos transmitidos em tempo quase real**. Brasília, DF: ANA, 2016–2022. Disponível em: <https://www.snrh.gov.br/hidrotelemetria/>. Acesso em: 14 mai. 2023.

BRASIL. **Cadastro Nacional de Segurança de Barragens**. 2019. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao/cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao>. Acesso em: 24 jun. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração**. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, n. 26, p. 124, 8 fev. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-378773782>. Acesso em: 9 set. 2025.

BRASIL. **Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração**. 2023. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/Mapa>. Acesso em: 16 out. 2023.

BRASIL. **Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração – SIGBM**. Brasília, DF: ANM, 2025. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BAKER, C. H. **Floodplain geomorphology**. 2. ed. London: Wiley, 2009.

BLOOM, A. L. **Geomorphology: a systematic analysis of late Cenozoic landforms**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Critérios para enquadramento de barragem na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)**. Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM), 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/aceso-a-sistemas/sistema-integrado-de-gestao-de-barragens-de-mineracao-sigbm>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019**. Estabelece medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método a montante, além de outras especificidades referentes ao tema. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 58, 18 fev. 2019. Disponível em: https://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Res_4_19.htm. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Resolução nº 13, de 8 de agosto de 2019**. Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método a montante, além de outras especificidades referentes ao tema. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 44-45, 12 ago. 2019. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&cod_menu=6675&cod_modulo=351&link=S&numeroAto=00000013&orgao=ANM%2FMME&seqAto=000&tipo=RES&valorAno=2019. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, n. 172, p. 149-152, 4 set. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-cnrh-no-143-de-10-de-julho-de-2012.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012**. Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens... Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, n. 165, p. 29-30, 4 set. 2012. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/deliberacoes-cnrh-1/resolucoes/resolucao_144-alterada.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 14, de 15 de janeiro de 2016**. Estabelece prazo para apresentação de comprovante de entrega das cópias físicas do Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM)... Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 18 jan. 2016. Disponível em: Serviços e Informações do Brasil. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 416, de 3 de setembro de 2012**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das barragens de mineração... Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, n.º 172, p. 116-119, 5 set. 2012. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&cod_modulo=414&numeroAto=00000416&orgao=DNPM/MME&valorAno=2012. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 526, de 9 de dezembro de 2013**. Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM)... Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 11 dez. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/portaria-dnpm-526-2013>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração... Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 68, 19 maio 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, 20 set. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 189, p. 1, 1º out. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm. Acesso em: 9 set. 2025.

BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento do Milênio**. 2010. Disponível em: <https://www.odmbrasil.gov.br>. Acesso em: 8 set. 2019.

BRASIL. Portaria DNPM nº 70.389, de 17 de Maio de 2017. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/documentos/portaria-dnpm-n-70389-de-17-de-maio-de-2017-seguranca-de-barragens/view>. Acesso em: 20 jul. 2023.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 14, de 15 de janeiro de 2016**. Estabelece prazo para apresentação de comprovante de entrega das cópias físicas do Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM) para as Prefeituras e Defesas Cíveis municipais e estaduais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 18 jan. 2016. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 416, de 3 de setembro de 2012**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das barragens de mineração. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, n. 172, p. 116–119, 5 set. 2012. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&cod_modulo=414&numeroAto=00000416&orgao=DNPM/MME&valorAno=2012. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 526, de 9 de dezembro de 2013**. Estabelece a periodicidade de atualização e revisão, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 dez. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/portaria-dnpm-526-2013>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e o Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 68, 19 mai. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Nota Técnica n.º 03/2017 — Identificação da área atingida pela pluma de rejeitos da Samarco e das principais comunidades pesqueiras existentes na mesma**. Vitória-ES, 17 fev. 2017. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos/documentos-rio-doce-espírito-santo/NT_CTAMAR_03_2017.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Municípios defrontantes com o mar**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/24072-municipios-defrontantes-com-o-mar.html>. Acesso em: 17 out. 2023.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População dos Municípios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 15 jul. 2023.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 34, de 2 de fevereiro de 2021**. **Aprova a listagem atualizada dos municípios abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira**

brasileira. Disponível em: <https://portal-homol.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-34-de-2-de-fevereiro-de-2021-242711504>. Acesso em: 17 out. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações.** Brasília, 2004.

BRASIL. POLÍCIA FEDERAL. **Laudo n.º 528/16-SETEC/SR/DPF/MG.** Minas Gerais, 2016. Laudo técnico.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. **Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Desastre ambiental da barragem em Mariana/MG.** In: *Embrapa Solos* — capítulo em livro científico (ALICE), 2019.

CAMARGOS, L. M. **Geoprocessamento aplicado na conformidade legal dos volumes de bacias de rejeitos de mineradoras.** Belo Horizonte, 2017.

CARVALHO, R. P. B. D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. D. P. Implicações hidrogeomorfológicas do rompimento da barragem de rejeito da Mina do Córrego do Feijão – MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 31, n. 65, p. 518, 2021. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2021v31n65p518. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/26145>. Acesso em: 26 mai. 2025.

CARVALHO, G. B.; CORTELETTI, R. C. Proposta metodológica para previsão de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 525–534, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190061>. Acesso em: 14 fev. 2024.

CBDB. Comitê Brasileiro de Barragens. **Revista Brasileira de Barragens.** 1. ed. Rio de Janeiro: CBDB, 2014. 60 p.

CHAGAS, M. A.; SANTOS, E. S. D.; CUNHA, A. C. D. **Alguém viu a pororoca por aí.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, [Local do Evento]. *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.* Brasília. ABRH, 2015. v. 8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP019567.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

CHAGAS, M. A. A. **Conflitos, gestão ambiental e o discurso do desenvolvimento sustentável da mineração no Estado do Amapá.** 2010. Tese (Doutorado em Ciências) — Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. p. 117–118.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p.93-148

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CHUNG, M. G.; KANG, H.; CHOI, S.-U. Assessment of coastal ecosystem services for conservation strategies in South Korea. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7: e0133856, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0133856. Acesso em: 22 mai. 2023.

CONCEIÇÃO, T. S. D. **Aplicação de geotecnologias na análise dos impactos ambientais nos imóveis rurais localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Doce quanto ao desastre do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana/MG.** 2019. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) — Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia,

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/handle/jspui/5491>. Acesso em: 19 set. 2023.

COSTA, V. R.; PINHEIRO, M. P. Análise espacial dos rejeitos de minérios em ecossistemas marinhos no Brasil. *Revista Territorial*, Cidade de Goiás, v. 8, n. 1, p. 84–100, 2019. Disponível em: ResearchGate. Acesso em: 11 set. 2025.

CPISP. Comissão Pró-Índio São Paulo. **Impactos Socioambientais da Mineração**. Disponível em: <https://cpisp.org.br/quilombolas-em-oriximina/luta-pela-terra/mineracao/impactos-socioambientais/>. Acesso em: 22 mai. 2023.

CROSSLAND, C. J.; CROSSLAND, J. I.; HAMILTON, L.; HENDERSON, B.; HUNTER, P.; KEELEY, M.; LEE, S.; MURRAY, J.; RICHARDSON, A.; WILKINSON, C. R. **Coastal ecosystems: a critical element of the global carbon cycle**. *Science*, Washington, v. 308, n. 5723, p. 1733–1735, 2005. DOI: 10.1126/science.1113137.

DAVIES, J. L. **A morphogenetic approach to world shorelines**. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Stuttgart, v. 8, n. 5, p. 127–144, 1964.

DAY JR, J. W. et al. (Ed.). **Ecologia estuarina**. John Wiley & Sons, 2012.

DUARTE, A.P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas gerais em relação ao potencial de risco**. **Belo Horizonte**, 2008. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/502M.PDF>. Acesso em: 2 de mar. 2019.

DUARTE, S. F.; GOMES, L. N. L.; OLIVEIRA, S. C.; SOARES, A. L. C. Impacto do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro da Mina do Feijão, em Brumadinho, quanto ao uso e à cobertura do solo e à qualidade das águas superficiais do rio Paraopeba. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte**, v. 27, n. 2, p. 356–381, 2021. DOI: 10.35699/2316-770X.2020.20557. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/20557>. Acesso em: 26 maio. 2025.

ESPÓSITO, T. J.; DUARTE, A. P. **Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco**. Ouro Preto, 2010. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/502M.PDF>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.3**. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2014.

FAIS, L. M. C. F. Segurança de barragens: aspectos legais e responsabilidade do empreendedor. **Revista Athenas**, São Paulo, ano IX, v. 1, p. 111-128, 2020. Disponível em: https://www.fdcl.com.br/revista/site/download/fdcl_athenas_ano9_voll_2020_artigo06.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR, A. P.; MENDES, L. C.; COTA, G. E. M.; CARNEIRO, P. S.; GONTIJO, B. M. Conexões geo-históricas e contemporâneas entre ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação hídrica na Bacia do Rio Doce. **Revista Geografias**, [S. l.], p. 203–222, 2016. DOI: 10.35699/2237-549X.13474. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13474>. Acesso em: 8 mai. 2025.

FRANCO, D.S.M. **Proposta De Metodologia Multicritério como Ferramenta para Formulação e Execução de Políticas Públicas para Barragens de Mineração e Indústria em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30704/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_100619_FINA

L_IMPRESSAO.pdf. Acesso em: 04 de fev. 2023.

FREITAS, C. M.; ASMUS, C. L. R. F.; XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C.; SILVA, M. A. **Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva.** *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csp/2019.v35n5/e00052519/>. Acesso em: 24 jun. 2019.

FREITAS, J. L.; CRUZ JUNIOR, F. O.; MORAES, D. S.; SANTOS, A. C. **Florística e fitossociologia em trecho de floresta de várzea no Vale do Araguari, Amazônia Oriental.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 18, n. 2, p. 926–939, 2025. DOI: 10.26848/rbgf.v18.2.p926-939. Acesso em: 10 set. 2025.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE — FEAM. **Gestão de barragens de rejeitos e resíduos em Minas Gerais: histórico, requisitos legais e resultados.** Belo Horizonte: FEAM, 2008. Disponível em: <http://www.feam.br/gestao-de-barragens/inventario-de-barragens>. Acesso em: 15 nov. 2020.

FUNI, C.; SANTOS, V. F.; WATANABE, E.; CARMONA, S. **Produtos da Base Cartográfica Digital Contínua do Estado do Amapá.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 2023, Florianópolis. Anais XX. Florianópolis: Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/sbsr-2023/trabalhos/produtos-da-base-cartografica-digital-continua-do-estado-do-amapa?lang=pt-br>. Acesso em: 10 set. 2025.

GARCIA, E. S.; LOÁICIGA, H. A. **Sea-level rise and flooding in coastal riverine flood plains.** *Hydrological Sciences Journal*, Oxfordshire, v. 59, n. 1, p. 204–220, 2013. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667.2013.798660>. Acesso em: 25 set. 2023.

GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. **Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade.** *Revista de Geociências do Nordeste*, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0id13273. Acesso em: 24 jun. 2023.

GRANELL-PÉREZ, M. D. C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas.** Ijuí: Unijuí, 2001. 128 p.

GUIDICINI, G.; SANDRONI, S. S.; MELLO, F. M. D. **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil** [livro eletrônico]. Comitê Brasileiro de Barragens, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.abge.org.br/downloads/livro_acidentes_incidentes_barragens.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

HICKS, S. D. **Spring and neap, distance and declination.** NOAA, 2006. (Understanding tides).

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e manejo de rejeitos da mineração.** 2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2023.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DE ORDENAMENTO TERRITORIAL DO AMAPÁ – IMAP. **Relatório Técnico nº 001/2019-NAQ/IMAP.** Macapá, 2019.

KOSUTH, P.; CALLÈDE, J.; LARAQUE, A.; FILIZOLA, N.; GUYOT, J.-L.; SEYLER, P.; FRITSCH, J. M.; GUIMARÃES, V. **Sea-tide effects on flows in the lower reaches of the Amazon River.** *Hydrological Processes*, v. 23, p. 3141–3150, 2009. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.7387/full>. Acesso em: 25 set. 2023.

KRAUSS, K. W.; DÉNISEAU, M. **Tidal influence on estuarine hydrology and sediment dynamics.** *Estuaries and Coasts*, v. 38, n. 2, p. 398–410, 2015. DOI: 10.1007/s12237-014-9831-9.

- LEANDRO, G. R. D. S.; NASCIMENTO, F. R. D.; SOUZA, C. A. D. Dinâmica das águas no sistema rio-planície de inundação do rio Paraguai em Cáceres – Mato Grosso. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 17., 2017, Campinas. Anais. Campinas: UNICAMP, 2017. p. 5979–5988. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2488>. Acesso em: 5 jun. 2025.
- LEOPOLDINO, J. de C.; DOS ANJOS, C. S.; SIMÕES, D. P.; FERNANDES, L. F. R. **Spatial and temporal analysis of the collapse of the tailings dam in Brumadinho, Brazil**. *Revista Agrogeoambiental*, v. 12, n. 3, 2020. DOI: 10.18406/23161817v12n320201483. Acesso em: 18 out. 2023.
- LIRA, K. C. D. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. **Classificação de proteção ambiental em bacia hidrográfica usando lógica fuzzy e método AHP**. *Sociedade & Natureza*, v. 34, 2022.
- LÓPEZ, J.; FRANKLIN, R. **Coastal zone dynamics: Processes and management**. *Ocean & Coastal Management*, v. 142, p. 1–12, 2017. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2017.02.006.
- MAGALHÃES, R. C. et al. **Análise geográfica sobre erosão de margens e movimentos de massa na comunidade do Divino e Santo–AM (Brasil)**. *Revista Geográfica de América Central*, v. 2, p. 1–17, 2011.
- MARCHEZINI, V.; IWAMA, A. Y.; MAGALHÃES DE ANDRADE, M. R.; TRAJBER, R.; ROCHA, I.; OLIVATO, D. **Geotecnologias para prevenção de riscos de desastres: usos e potencialidades dos mapeamentos participativos**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 1, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n1-44035.
- MASSIGNAN, R. S.; SÁNCHEZ, L. E. **O que significa descaracterizar barragens de rejeitos de mineração? Uma revisão sistemática da literatura**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 2, p. 225–234, mar. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/pxwxzxWPTWBqRhV7M9W9Dqt/#>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- MELO, J. C. **Distribuição e caracterização espacial de barragens de rejeito nas áreas de mineração no estado do Amapá**. 2021. 102 f. Monografia (Graduação em Ciências Ambientais) — Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2021.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington, D.C.: Island Press, 2005.
- NARCISA, T. **Barragem de garimpo rompe e polui dois grandes rios na Amazônia**. CNN Brasil, Belém, 12 fev. 2025. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/norte/ap/barragem-de-garimpo-rompe-e-polui-dois-grandes-rios-na-amazonia/>. Acesso em: 9 set. 2025.
- NASCIMENTO E SILVA, L. C. **Barragens de rejeito na mineração – Análise do Sistema de Gestão do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2018.
- NOBRE JÚNIOR, B. B. **Vulnerabilidade ambiental a inundações em cidades estuarinas amazônicas no contexto das mudanças climáticas**. 2024. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento da Amazônia Sustentável) — Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2024.
- OLIVEIRA, M. D. S. **Vulnerabilidade social à inundação e suas conexões com o Plano Diretor do Município de Laranjal do Jari, Amapá**. Disponível em: https://www2.unifap.br/ppgmdr/files/2019/06/PRE_TEXTUAL_I-mesclado.pdf. Acesso em: 22 mai. 2023.
- OLIVEIRA, M. J. D. **Diagnóstico do setor mineral do Estado do Amapá**. Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Macapá, 2010. 152 p.

- PAOLA, C.; MOHRIG, D. **The large-scale dynamics of sediment transport in rivers and deltas.** *Annual Review of Fluid Mechanics*, v. 53, p. 77–105, 2021. DOI: 10.1146/annurev-fluid-010720-041350.
- PAUTZ, C.; SANTOS, A. R. d.; FERRARI, J. L.; et al. **Mapping the Environmental Vulnerability of a Lagoon Using Fuzzy Logic and the AHP Method.** *Water*, v. 15, 2102, 2023. DOI: 10.3390/w15112102. Acesso em: 12 jul. 2024.
- PARSIAN, S.; AMANI, M.; MOGHIMI, A.; GHORBANIAN, A.; MAHDAVI, S. **Mapping flood risk using fuzzy logic, AHP and multisource geospatial datasets.** *Remote Sens.*, 2021, 13, 4761. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/23/4761>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- PIRES, F. H.; CUNHA, C. F. da; PERES, G. S. **Detecção e delimitação das áreas afetadas pelo rompimento da barragem em Brumadinho – MG.** *Holos Environment*, v. 23, n. 1, p. 58–71, 2023. DOI: 10.14295/holos.v23i1.12486. Acesso em: 18 out. 2023.
- PORTUGAL. **Decreto-Lei n.º 11, de 06 de janeiro de 1990. Regulamento de Segurança de Barragens.** Série 1, n.º 5. Lisboa, 1990. Disponível em: <https://dre.tretas.org/dre/4491/decreto-lei-11-90-de-6-de-janeiro>. Acesso em: 28 set. 2022.
- PORTUGAL. **Decreto-Lei n.º 409, de 14 de dezembro de 1993. Regulamento de Pequenas Barragens.** Lisboa, 1993. Disponível em: <https://blook.pt/legislation/diplomas/PT/13607/>. Acesso em: 28 set. 2022.
- PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Uso de três fontes de dados altimétricos para identificação de áreas com perigos à inundação. *Geografia Ensino & Pesquisa*, p. 123-144, 2014.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System. Version 3.28.2.** Open Source Geospatial Foundation, 2022. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 11 set. 2025.
- RAMESH, R.; et al. **Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, Present, Future.** *Environmental Science & Policy*, v. 55, p. 1–10, 2015. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.01.003.
- RABELO, T. O. **Geodiversidade em ambientes costeiros: discussões e aplicações no setor sudeste da Ilha do Maranhão, MA-Brasil.** 2018. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- RIBEIRO, A. S.; MINCATO, R. L.; CURI, N.; KAWAKUBO, F. S. **Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 1, p. 16–31, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.1.p016-031. Acesso em: 11 ago. 2025.
- RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. **Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora-MG: Índice de contaminação.** *Revista Geonomos*, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11728>. Acesso em: 18 out. 2023.
- RODRÍGUEZ-PACHECO, R.; BUTLANSKA, J.; OLIVA-GONZÁLEZ, A. O. **Tailings reuse in low-permeability reactive geochemical barriers.** *Processes, Basel*, v. 13, n. 6, p. 1870, 2025. DOI: 10.3390/pr13061870.
- RODRIGUES, M. R. C.; SILVA JUNIOR, O. M. S. **Panorama geral da zona costeira do Estado do Amapá.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, p. 1654–1674, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.3.p1654-1674.
- ROSA, N. M. G. **Implicações do rompimento da barragem de Fundão nos usos da água e da terra na bacia do Alto Rio Doce-MG.** 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) —

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36565>. Acesso em: 07 mai. 2025.

ROSÁRIO, E. dos S. **Caracterização dos padrões morfodinâmicos em cristas de praias na costa amazônica**. 2024. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2024.

SAATY, R. W. **The analytic hierarchy process — what it is and how it is used**. *Math. Model.*, v. 9, p. 161–176, 1987.

SÁNCHEZ, L. E.; BARBOSA, F.; BRITO, M. C.; MAY, P.; MAROUN, C. E.; RENSHAW, J.; KAKABADSE, Y. **Impactos ambientais da dispersão de rejeitos de mineração em ambientes costeiros e marinhos: lições e recomendações para avaliação de impactos ex post**. Gland, Suíça: IUCN, 2022. Relatório temático. DOI: 10.2305/IUCN.CH.2022.11.pt. Acesso em: 22 ago. 2025.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SANTOS, E. C. dos; et al. **Mapeamento da vulnerabilidade ambiental de uma lagoa utilizando lógica fuzzy e o método AHP**. *Water*, v. 15, 2102, 2023. DOI: 10.3390/w15112102. Acesso em: 12 jul. 2024.

SANTOS, E.; LOPES, P.; PEREIRA, H.; NASCIMENTO, O.; RENNIE, D.; STERNBERG, L.; CUNHA, A. **The impact of channel capture on estuarine hydro-morphodynamics and water quality in the Amazon delta**. *Science of the Total Environment*, n. 624, p. 887–899, 2018.

SANTOS, J. F.; ALMEIDA, R. M.; PEREIRA, L. M. **Avaliação dos riscos ambientais associados a barragens em bacias costeiras brasileiras**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, e12, 2021. DOI: 10.1590/2318-0331.261221002.

SANTOS, V. F. D.; JR NOBRE, B. B.; SOUZA, F. M.; SILVA, L. M. A. D. **Amapá: um estado costeiro — reflexões sobre vulnerabilidades, riscos e adaptações a mudanças climáticas**. *Encontros e percepções geográficas: diálogos e provocações*, p. 110, 2022.

SANTOS V, F. et al. **Processos sedimentares em áreas de macromarés influenciados pela pororoca-estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil**. In: RESUMOS DO X CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), GUARAPARI. DADOS. Anais do X Congresso ABEQUA, ABEQUA, Guarapari, 6 p (CD-ROM)

SANTOS, V. F.; POLIDORI, L.; MACHADO DA SILVEIRA, O. F.; FIGUEIREDO JR, A. G. de. **Dynamics of a macrotidal estuary along 400 years based on historical maps and remote sensing: Araguari River, Amazon coast, Brazil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 26, n. 3, 2025. DOI: 10.20502/rbg.v26i3.2534.

SANTOS, V. F. D. **Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto**. 2006. 356 f. Tese (Doutorado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra)-Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra. Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

SANTOS, V. F. D. **Dinâmica de inundação em áreas úmidas costeiras na zona urbana de Macapá e Santana, Amapá**. PRACS: *Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP*, Macapá, v. 9, n. 3, p. 121–144, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/pracs/issue/view/109>. Acesso em: 02 jul. 2024.

SANTOS, E. S.; CUNHA, A. C.; CUNHA, E. D. S. **Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari — Amazônia Oriental — Brasil**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 3, p. 215–226, 2014.

SERRA, C. **Tragédia em Mariana: a história do maior desastre ambiental do Brasil**. Rio de Janeiro: Record, 2018.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração**. 2007. Disponível em: <http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

SHAW, R. **Global coasts in the face of disasters**. In: *DISASTER RISK REDUCTION FOR ECONOMIC GROWTH AND RESILIENCE: INNOVATION AND TECHNOLOGY*. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 3–18. ISBN 978-0-12-810473-6.

SKINNER, L. F. **Gerenciamento ambiental marinho**. *Diversidade e Gestão*, v. 1, n. 1, p. 145–162, 2017. Disponível em: <https://itr.ufrj.br/diversidadeegestao/edicoes-antiores/diversidade-e-gestao/>. Acesso em: 07 jun. 2023.

SMITH, B. et al. **The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality**. *Journal of Applied Ecology*, v. 50, n. 4, p. 812–829, 2013. DOI: 10.1111/1365-2664.12016.

SOUSA, T. S. S. **Variabilidade de superfície de água nas costas oceânica e estuarina do Amapá**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2024.

SOUZA, T. S. A. **Evolução histórica da legislação brasileira e do estado de Minas Gerais relacionado ao tema de disposição de rejeitos de mineração**. 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2342/1/MONOGRAFIA_Evolu%C3%A7%C3%A3oHist%C3%B3ricaLegisla%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 27 set. 2022.

SOUZA, S. D. G. **Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: uma revisão crítica**. *Revista Científica Geografia e Sociedade*, v. 10, n. 2, p. 1–15, 2022. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/889>. Acesso em: 11 set. 2025.

TAKIYAMA, L. R.; SILVA, U. R. L. **Experiências na utilização de metodologias participativas para a construção de instrumentos de gestão costeira no Estado do Amapá, Brasil**. *Revista de Gestão Costeira Integrada – Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 9, p. 33–45, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340126003>.

TUCCI, C. M. **Controle de enchentes**. In: *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade, Edusp/ABRH, 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

VIOLA, Z. G. G. **Comissão Estadual P2R2 Minas. Condução dos trabalhos, lançamento do mapa de acidentes ambientais 2012 e balanço dos 10 anos do NEA**. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos — SISEMA. Diretoria de Prevenção e Emergência Ambiental, 29 nov. 2013. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/375888/>. Acesso em: 12 out. 2023.

WEBB, P. **Introdução à oceanografia**. Roger Williams University, 2021. Disponível em: <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

WOLANSKI, E.; MCLAUGHLIN, K. **Nutrient dynamics in mangrove estuaries**. In: WOLANSKI, E. (Ed.). *Estuarine ecohydrology*. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 27–49.

ZARFL, C.; LUMSDON, A. E.; BERLEKAMP, J.; TYDECKS, L.; TOCKNER, K. **A global boom in hydropower dam construction.** *Aquatic Sciences*, v. 77, n. 1, p. 161–170, 2015. DOI: 10.1007/s00027-014-0377-0.

ANEXOS

ANEXO A – Barragens de rejeito de mineração de competência de fiscalização da ANM.

Barragens de Rejeito de Mineração												
Barragem	Responsável	Município	Coordenadas Geográficas		Situação	Licenciada		Monitoramento		DPA	CRI	PAE
						Sim	Não	Sim	Não			
Barragem Leste	Beadell Brasil Ltda.	Pedra Branca	0°52'00,86"N	51°53'44,30"W	Ativa	X		X				
Barragem NMP**	Beadell Brasil Ltda.	Pedra Branca	0°51'34.45"N	51°53'29.26"W	Ativa	X		X		Alto	Baixo	Possui
Barragem WP**	Beadell Brasil Ltda.	Pedra Branca	0°52'00.01"N	51°53'41.67"W	Ativa	X		X		Alto	Baixo	Possui
Barragem TAP D**	Beadell Brasil Ltda.	Pedra Branca	0°51'11.44"N	51°53'24.11"W	Inativa	X		X		Alto	Baixo	Possui
Barragem 1	Hanna Mineração Ltda.	Mazagão	0°20'15,22"N	51°45'06,06"W	Ativa	X		X				
Barragem 2	Hanna Mineração Ltda.	Mazagão	0°20'21,92"N	51°45'08,05"W	Ativa	X		X				
Barragem 3	Hanna Mineração Ltda.	Mazagão	0°20'14,00"N	51°45'18,18"W	Ativa	X		X				
Barragem Samacá	Hanna Mineração Ltda.	Mazagão	0°21'06,00"N	51°50'33,00"W	Inativa		X		X			
Barragem Mário Cruz 01**	Zamin Mineração Ltda.	Pedra Branca	0°48'1.87"N	51°52'29.77"O	Inativa		X		X	Médio	Alto	Não possui
Barragem Mário Cruz 02	Zamin Mineração Ltda.	Pedra Branca	0°47'59.71"N	51°51'35.17"O	Inativa		X		X			
Barragem Mário Cruz 03	Zamin Mineração Ltda.	Pedra Branca	0°47'44.78"N	51°51'18.49"O	Inativa		X		X			
Barragem 01**	Unagem Min. e Metal. SA	Mazagão	0° 23'54,95"N	51°45'39,42"W	Inativa		X	X		Baixo	Baixo	Não exigido
Barragem do Felipe	Cadam	Laranjal do Jari	0°52'58.28"S	52°22'52.21"W	Ativa	X		X				
Barragem Muriacá	Cadam	Laranjal do Jari	0°53'39.07"S	52°21'52.21"W	Ativa	X		X				
Barragem da Cava**	Cadam	Laranjal do Jari	0°53'52.03"S	52°22'44.14"W	Ativa	X		X		Médio	Baixo	Não exigido
Barragem 1	COOPGAVIN	Porto Grande	0°24'40.07"N	51°43'58.09"W	Ativa	X			X			
Barragem 2	COOPGAVIN	Porto Grande	0°24'32.32"N	51°43'55.30"W	Ativa	X			X			
Barragem 3	COOPGAVIN	Porto Grande	0°24'23.14"N	51°43'50.25"W	Ativa	X			X			
Barragem Labourie*	COOGAL	Calçoene	2°16'47.41"N	51°39'21.77"W	Ativa		X		X			
Barragem Naldo 1	COOGAL	Calçoene	2°18'16.00"N	51°38'40.00"W	Inativa		X		X			
Barragem Naldo 2	COOGAL	Calçoene	2°18'22.00"N	51°38'37.00"W	Ativa		X		X			
Barragem 1	Oro Amapá Min. Ltda.	Calçoene	2°17'7.94"N	51°37'54.36"W	Ativa		X		X			
Barragem 1	Vicente Sarmiento	Oiapoque	2°31'18.63"N	51°44'35.34"W	Inativa		X		X			

* Barragens que se enquadram, mas não estão cadastradas no SIGBM.

** Barragens que se enquadram na PNSB e cadastradas no SIGBM.

Legendas: **DPA**: Dano Potencial Associado **CRI**: Categoria de Risco **PAE**: Plano de Ação Emergencial

Fonte: Relatório Técnico N° 001/2019-NAQ/IMAP (Cleane S. S. Pinheiro e Allan C. S. Maciel).

ANEXO B - Lista das barragens de rejeitos de mineração do Amapá e suas características técnicas.

Nome Barragem	Altura da Crista	Capacidade (m3)	Tipo Material	Comprimento (m)	Nome Empreendedor	Igarapé barrado	Lat.	Long.	Datum	Município
MÁRIO CRUZ 1	35,00	13.000.000,00	Terra	260,00	Zamin Mineração Ltda	IGARAPÉ WILLIAM	0°48'04.9	51°52'27.9"	WGS84	PEDRA BRANCA
MÁRIO CRUZ 2	20,00	3.000.000,00	Terra	118,00	Zamin Mineração Ltda		0°48'24.3	51°52'29.0"	WGS84	PEDRA BRANCA
MÁRIO CRUZ 3	18,00	2.000.000,00	Terra	90,00	Zamin Mineração Ltda		0°47'46.9	51°51'18.10"	WGS84	PEDRA BRANCA
TAP D	35,00	6.300.000,00	Terra	347,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ WILLIAM	0°51'11.0"	51°53'18.7"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	19,00	14.000.000,00	Terra	232,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ JORNAL	0°51'34.0"	51°53'39.5"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	24,00	14.000.000,00	Terra	281,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ JORNAL	0°51'35.0"	51°53'51.6"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	28,00	14.000.000,00	Terra e rocha	261,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ JORNAL	0°51'34.1"	51°53'42.0"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	5,00	14.000.000,00	Terra	424,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°51'59.5"	51°53'48.1"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	11,00	14.000.000,00	Terra	163,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°52'00.79"	51°53'45.31"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	7,00	14.000.000,00	Terra	234,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°52'06.71"	51°53'33.11"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	7,00	14.000.000,00	Terra	60,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°52'14.20"	51°53'12.1"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	35,00	14.000.000,00	Terra e rocha	445,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°52'21.82"	51°53'45.40"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	9,00	14.000.000,00	Terra	161,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°52'29.73"	51°53'41.08"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	14,00	14.000.000,00	Terra	113,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ SILVESTRE	0°52'27.94"	51°53'25.70"	WGS84	PEDRA BRANCA
NORTH MILL POND	9,50	14.000.000,00	Terra	186,00	PROJETO TUCANO	IGARAPÉ WILLIAM	0°52'52.96"	51°53'20.09"	WGS84	PEDRA BRANCA
BARRAGEM DO CUNHÃO	7,00	440.000,00	Terra	115,00	COOPGAVIN	RIO VILA NOVA	0°24'47.00"	51°43'42"	WGS84	PORTO GRANDE
BARRAGEM DO MEIO	5,00	440.000,00	Terra	137,00	COOPGAVIN	RIO VILA NOVA	0°24'36.00"	51°43'44"	WGS84	PORTO GRANDE
BARRAGEM DA MADÁ	9,00	440.000,00	Terra	150,00	COOPGAVIN	RIO VILA NOVA	0°24'32.00"	51°43'46"	WGS84	PORTO GRANDE
BARRAGEM B1	2,60	500.000,00	Terra	147,00	HANNA MINERAÇÃO LTDA	RIO VILA NOVA	0°20'17.00"	51°45'10"	WGS84	MAZAGÃO
BARRAGEM B2	2,00	400.000,00	Terra	85,00	HANNA MINERAÇÃO LTDA	RIO VILA NOVA	0°20'21.00"	51°45'80"	WGS84	MAZAGÃO
BARRAGEM B3	2,60	500.000,00	Terra	147,00	HANNA MINERAÇÃO LTDA	RIO VILA NOVA	0°20'17.00"	51°45'10"	WGS84	MAZAGÃO
BARRAGEM SAMACÁ	13,0		Terra	65,00	HANNA MINERAÇÃO LTDA	RIO VILA NOVA	0°21'06.00"	51°50'33"	WGS84	MAZAGÃO
BARRAGEM VILA NOVA	10,00	440.300,00	Terra	110,00	UNAMGEN MINERAÇÃO LTDA	RIO VILA NOVA	0°24'60.00"	51°45'28"	WGS84	MAZAGÃO
BARRAGEM ORO	1,50		Terra	60,00	ORO AMAPÁ MIN. LTDA	RIO TAJAÚÍ	02°17'02.00"	51°38'8"	WGS84	CALÇOENE
BARRAGEM DA CAVA	15,00	861.826,00	Terra	160,00	CADAM S.A	RIO JARI	0°53'51.37"S	52°22'44.16"	WGS84	LARANJAL DO JARI
BARRAGEM DO FELIPE	3,00		Terra	85,00	CADAM S.A	RIO JARI	0°52'58.26"S	52°22'52.09"	WGS84	LARANJAL DO JARI
BARRAGEM MURIACÁ	3,00		Terra	130,00	CADAM S.A	RIO JARI	0°53'38.40"S	52°21'52.33"	WGS84	LARANJAL DO JARI
BARRAGEM IG. SENTINELA	2,00		Terra	20,00	ICOMI	RIO AMAPARI	0°52'37.40"S	51°58'36.33"	WGS84	SERRA DO NAVIO
BARRAGEM IG. BAIXINHO	3,00		Terra	200,00	ICOMI	RIO AMAPARI	0°52'41.40"S	52°00'24.21"	WGS84	SERRA DO NAVIO
BARRAGEM LABOURRIE	14,00	600.000,00	Terra	100,00	COOGAL	RIO TAJAÚÍ	2°16'43.40"S	51°39'20.30"	WGS84	CALÇOENE
BARRAGEM NALDO 1	1,50		Terra	35,00	COOGAL	RIO REGINÁ	2°18'21.40"S	51°38'37.31"	WGS84	CALÇOENE
BARRAGEM NALDO 2	2,00		Terra	60,00	COOGAL	RIO REGINÁ	2°18'19.20"S	51°38'44.39"	WGS84	CALÇOENE

Fonte: SEMA (2019).

ANEXO C - Classificação das barragens de rejeitos de mineração do Amapá.

Nome Barragem	DPA	CR	Classificação	Periodicidade de Fiscalização	Licenciada	Se enquadra na PNSB	Status
MÁRIO CRUZ 1	ALTO	MÉDIO	A	A CADA 5 ANOS	Não	SIM	Inativa
MÁRIO CRUZ 2	ALTO	MÉDIO	A	A CADA 5 ANOS	Não	NÃO	Inativa
MÁRIO CRUZ 3	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	Não	NÃO	Inativa
TAP D	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	SIM	Inativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	SIM	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	SIM	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
NORTH MILL POND	BAIXO	ALTO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM DO CUNHÃO	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM DO MEIO	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM DA MADÁ	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM B1	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM B2	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM B3	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
SAMACÁ	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Inativa
BARRAGEM VILA NOVA	MÉDIO	BAIXO	D	A CADA 10 ANOS	SIM	NÃO	Inativa
BARRAGEM ORO	ALTO	BAIXO	A	A CADA 5 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM DA CAVA	MÉDIO	BAIXO	D	A CADA 10 ANOS	SIM	SIM	Ativa
BARRAGEM DO FELIPE	BAIXO	BAIXO	D	A CADA 10 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM MURACÁ	BAIXO	BAIXO	D	A CADA 10 ANOS	SIM	NÃO	Ativa
BARRAGEM IG. SENTINELA	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	NÃO	NÃO	Inativa
BARRAGEM IG. BAIXINHO	MÉDIO	ALTO	B	A CADA 5 ANOS	NÃO	NÃO	Inativa
BARRAGEM LABOURRIE	ALTO	MÉDIO	B	A CADA 5 ANOS	NÃO	NÃO	Ativa
BARRAGEM NALDO 1	ALTO	MÉDIO	B	A CADA 5 ANOS	NÃO	NÃO	Ativa
BARRAGEM NALDO 2	ALTO	MÉDIO	B	A CADA 5 ANOS	NÃO	NÃO	Ativa

Fonte: SEMA (2019).