

Jhonathan Lima de Souza
Lutiane Queiroz de Almeida

CENÁRIOS DE RUPTURA DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS EM CAICÓ/RN



Jhonathan Lima de Souza
Lutiane Queiroz de Almeida

**CENÁRIOS DE RUPTURA
DA BARRAGEM
PASSAGEM DAS TRAIÇAS
— EM CAICÓ/RN —**



UERN

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Reitora

Cicília Raquel Maia Leite

Vice-Reitor

Francisco Dantas de Medeiros Neto

Diretora de Sistema Integrado de Bibliotecas

Jocelânia Marinho Maia de Oliveira

Chefe da Editora Universitária – EDUERN

Francisco Fabiano de Freitas Mendes



Conselho Editorial das Edições UERN

José Elesbão de Almeida

Isabela Pinheiro Cavalcanti Lima

Kalidia Felipe de Lima Costa

Regina Célia Pereira Marques

Maria José Costa Fernandes

José Cezinaldo Rocha Bessa

Diagramação

Maria Helena de Medeiros

Catálogo da Publicação na Fonte. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Souza, Jhonathan Lima de

Cenários de ruptura da Barragem Passagem das Traíras em Caicó/RN [recurso eletrônico]. / Jhonathan Lima de Souza, Lutiane Queiroz de Almeida. – Mossoró, RN: Edições UERN, 2022.

137p.

ISBN: 978-85-7621-368-0

1. Geografia – Barragens. 2. Barragem Passagem das Traíras – Caicó (RN). I. Almeida, Lutiane Queiroz de. II. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. III. Título.

UERN/BC

CDD 627.8

Bibliotecário: Jocelania Marinho Maia de Oliveira CRB 15 / 319

Editora filiada à:



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Meus amigos e minhas amigas,

O Programa de Divulgação e Popularização da Produção Científica, Tecnológica e de Inovação para o Desenvolvimento Social e Econômico do Rio Grande do Norte, pelo qual foi possível a edição de todas essas publicações digitais, faz parte de uma plêiade de ações que a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN), em parceria, nesse caso, com a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN), vem realizando a partir do nosso Governo.

Sempre é bom lembrar que o investimento em ciência auxilia e enriquece o desenvolvimento de qualquer Estado e de qualquer país. Sempre é bom lembrar ainda que inovação e pesquisa científica e tecnológica são, na realidade, bens públicos que têm apoio legal, uma vez que estão garantidos nos artigos 218 e 219 da nossa Constituição.

Por essa razão, desde que assumimos o Governo do Rio Grande do Norte, não medimos esforços para garantir o funcionamento da FAPERN. Para tanto, tomamos uma série de medidas que tornaram possível oferecer reais condições de trabalho. Inclusive, atendendo a uma necessidade real da instituição, viabilizamos e solicitamos servidores de diversos outros órgãos para compor a equipe técnica.

Uma vez composto o capital humano, chegara o momento também de pensar no capital de investimentos. Portanto, é a primeira vez que a FAPERN, desde sua criação, em 2003, tem, de fato, autonomia financeira. E isso está ocorrendo agora por meio da disponibilização de recursos do PROEDI, gerenciados pelo FUNDET, que garantem apoio ao desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação (CTI) em todo o território do Rio Grande do Norte.

Acreditando que o fortalecimento da pesquisa científica é totalmente perpassado pelo bom relacionamento com as Instituições de Ensino Superior (IES), restabelecemos o diálogo com as quatro IES públicas do nosso Estado: UERN, UFRN, UFERSA e IFRN. Além disso,

estimulamos que diversos órgãos do Governo fizessem e façam convênios com a FAPERN, de forma a favorecer o desenvolvimento social e econômico a partir da Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) no Rio Grande do Norte.

Por fim, esta publicação que chega até o leitor faz parte de uma série de medidas que se coadunam com o pensamento – e ações – de que os investimentos em educação, ciência e tecnologia são investimentos que geram frutos e constroem um presente, além, claro, de contribuir para alicerçar um futuro mais justo e mais inclusivo para todos e todas!

Boa leitura e bons aprendizados!



Fátima Bezerra

Governadora do Rio Grande do Norte

PARCERIA PELO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO DO RN

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN) e a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN) sentem-se honradas pela parceria firmada em prol do desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação. A publicação deste livro eletrônico (e-book) é fruto do esforço conjunto das duas instituições, que, em setembro de 2020, assinaram o Convênio 05/2020–FAPERN/FUERN, que, dentre seus objetivos, prevê a publicação de quase 200 e-books. Uma ação estratégica como fomento de divulgação científica e de popularização da ciência.

Esse convênio também contempla a tradução de sites de Programas de Pós-Graduação (PPGs) das Instituições de Ensino Superior do Estado para outros idiomas, apoio a periódicos científicos e outras ações para divulgação, popularização e internacionalização do conhecimento científico produzido no Rio Grande do Norte. Ao final, a FAPERN terá investido R\$ 100.000,00 (cem mil reais) oriundos do Fundo Estadual de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDET), captados via Programa de Estímulo ao Desenvolvimento Industrial do Rio Grande do Norte (PROEDI), programa aprovado em dezembro de 2019 pela Assembleia Legislativa na forma da Lei 10.640, sancionada pela governadora, professora Fátima Bezerra.

Na publicação dos e-books, estudantes de cursos de graduação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) são responsáveis pelo planejamento visual e diagramação das obras. A seleção dos bolsistas ficou a cargo da Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE/UERN).

Foram 41 obras submetidas em sete (07) editais, 38 delas serão lançadas. Os editais abrangeram diferentes temáticas assim distribuídas: no Edital 17/2020 - FAPERN, os autores/organizadores puderam inscrever as obras resultantes de suas pesquisas de mestrado e doutorado defendidas junto aos PPGs de todas as Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTIs) do Rio Grande Norte, bem como coletâneas que foram resultados de trabalhos dos grupos de pesquisa nelas sediados.

No Edital nº 18/2021 - FAPERN, realizou-se a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Turismo para o desenvolvimento do Rio Grande do Norte”. No Edital nº 19/2021 - FAPERN, foi inscrita a chamada para a publicação de e-books sobre o

tema “Educação para a cidadania e para o desenvolvimento do Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. No Edital nº 20/2021 - FAPERN, foi realizada a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Saúde Pública, desenvolvimento social e cidadania no Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. O Edital nº 21/2021 - FAPERN trouxe a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Segurança pública, desenvolvimento social e cidadania no Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. O Edital nº 22/2021 - FAPERN apresentou a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Pesquisas sobre o Bicentenário da Independência do Brasil (1822-2022): desdobramentos para o desenvolvimento social e/ou econômico do RN”. O Edital nº 23/2021 – FAPERN realizou a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Pesquisas sobre o Centenário da Semana de Arte Moderna (1992-2022) desdobramentos para o desenvolvimento social e/ou econômico do RN”.

Com essa parceria, a FAPERN e a FUERN unem esforços para o desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Norte, acreditando na força da pesquisa científica, tecnológica e de inovação que emana das instituições potiguaras, reforçando a compreensão de que o conhecimento é transformador da realidade social.

Agradecemos a cada autor(a) que dedicou seu esforço na concretização das publicações e a cada leitor(a) que nelas tem a oportunidade de ampliar seu conhecimento, objetivo final do compartilhamento de estudos e pesquisas.



*Maria Lúcia
Pessoa Sampaio*

Diretora-Presidente da FAPERN



*Cicília Raquel
Maia Leite*

Presidente da FUERN

JHONATHAN LIMA DE SOUZA

Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Mestre em Geografia Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, integra o Laboratório de Geografia dos Riscos e Resiliência - LAGERR da Universidade Estadual de Campinas. Membro do Grupo de Pesquisa Dinâmicas Ambientais, Riscos e Ordenamento do Território - GEORISCO da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, compõe o Núcleo Interdisciplinar de Pesquisas sobre Desastres - NUPED da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atuou como membro do Grupo de Pesquisadores Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - CAATINGUEIROS, foi membro do Grupo de Estudos Geoambientais do Departamento de Geografia da UFRN, atuou como membro colaborador do Setor de Produção Audiovisual da Agência de Comunicação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, atuou como coordenador de projetos da startup Safe Drinking Water For All no estado do Rio Grande do Norte. Atua como consultor voluntário junto ao gabinete da vereadora Divaneide Basílio na Câmara Municipal de Natal-RN. Atualmente trabalha com indicadores de adaptação e resposta à seca no semiárido Norteriograndense e riscos tecnológicos associados a pontes rodo-ferroviárias, bem como com levantamento de cenários de rupturas de barragens de concreto no semiárido nordestino, além disso tem atuado com questões de risco e vulnerabilidade voltadas a geografia da saúde, nos temas de suicídios e pandemias como do Sars-Cov-2.

LUTIANE QUEIROZ DE ALMEIDA

Possui Graduação (Licenciatura e Bacharelado) em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (2002) e Mestrado em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (2005). Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro, com período sanduíche na Université de Paris X, Nanterre, e bolsista da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. Atualmente é Professor Associado do Departamento de Geografia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Professor do Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da UFRN, coordenador do grupo de pesquisa GEORISCO - Dinâmicas ambientais, Riscos e Ordenamento do Território. Recebeu o Prêmio de Melhor Tese pela Associação Nacional de Pós-Graduação em Geografia - ANPEGE, em 2011 e o Prêmio Capes de Teses na área de Geografia, em 2012. Em 2014/2015, realizou pós-doutorado na United Nations University, em Bonn e período complementar no Institute of Regional Development Planning, University of Stuttgart, também na Alemanha, na condição de Bolsista CAPES Pós-Doutorado (Ciência sem Fronteiras), Processo nº 4289/14-5. Tem experiência na área de Geografia Física, com ênfase em Planejamento Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: análise geoambiental, problemática ambiental urbana, rios urbanos e bacia hidrográfica, planejamento ambiental e territorial, mas principalmente em indicadores de riscos e vulnerabilidades, desastres naturais; e mapeamento e modelagem de riscos.

Agradecemos à Fundação Capes pelo incentivo e financiamento a pesquisa que resultou neste livro.

*Dá pra ver que o desmando aqui é certo
Sobra voto, mas, falta competência
Pra tirar das cacimbas da ciência
Água doce que regue a plantação*

*Eu sei que a chuva é pouca e que o chão é quente
Mas tem mão boba enganando a gente
Secando o verde da irrigação*

*Não, eu não quero enchentes de caridade
Só quero chuva de honestidade
Molhando as terras do meu sertão*

(Flávio Leandro)

APRESENTAÇÃO

Água é um elemento vital para a humanidade, e por isso perenizar o acesso a água ao longo do tempo se torna uma prática fundamental principalmente em regiões com regimes pluviométricos irregulares. Assim, desde a antiguidade as populações têm o hábito de construir barragens, as quais ao longo do tempo passaram por diferentes métodos e processos de construção. Essas estruturas normalmente seguem o rigor que pede a engenharia civil, porém com a falta de reparos, a barragem tornou a apresentar falhas em sua infraestrutura, sejam por razões intempéricas ou por falhas humanas. Tal fato representa um risco tecnológico, pela ausência ou mau emprego de técnicas robustas, para as populações nos vales à jusante. Este é o caso da barragem Passagem das Traíras, localizada no Semiárido, no interior do Rio Grande do Norte. A estrutura desse barramento passou mais de 24 anos sem intervenções significativas em sua estrutura, e no ano de 2015 a Agência Nacional de Águas constatou patologias estruturais na barragem. Desta forma, em 2018 foi elevado o risco de Atenção para Alerta de rompimento na barragem, cuja capacidade volumétrica é 49,7 milhões de metros cúbicos, representando um risco para a cidade de Caicó/RN, localizada no vale no Rio Seridó com uma população de aproximadamente 60 mil habitantes, situada cerca de 14 km à jusante da barragem. Desta forma, o objetivo central deste estudo é a análise dos perigos de desastre de uma possível ruptura da barragem Passagem das Traíras no município de Caicó/RN, dentro do debate de conhecer as consequências que pode ocasionar a cidade. Para alcançar os objetivos, foi realizada a discussão teórica sobre os conceitos de risco, perigo e vulnerabilidade com o foco em desastres tecnológicos e vulnerabilidade institucional e física. Além disso, foi adaptada a metodologia de Kuperman (2001) para a realidade desse estudo, os Índices de Perigo Potencial, Estado Real da Barragem e Índice de Comportamento, foram construídos com base na substituição dos pesos, conforme os critérios apresentados na metodologia original, para a atribuição dos valores dos índices, foram consultados laudos técnicos da ANA (2005;2015;2018;2019) e SEMARH (2016;2019), e conforme cada justificativa das variáveis as tabelas dos índices foram preenchidas. Através das técnicas de geoprocessamento, foi estimada por meio de interpolação na topografia de Caicó/RN, as curvas de nível que deram margem para a realização do Buffer da onda de cheia, a qual foi estimada em dois cenários, de 50% e 100%, equivalentes a 25 M³ e 49,7 M³ respectivamente, cujas áreas de inundação são 48 km² e 85 km² em ambos cenários, contando a partir da parede da barragem até a zona urbana de Caicó/RN. Através da obtenção de informações populacionais de Caicó/RN nos setores censitários do IBGE (2019), somadas as técnicas de geoprocessamento de Overlay de camadas, foram obtidos os

valores de população exposta. Foi realizada a incursão in loco na barragem a fim de verificar as patologias nas estruturas e fazer as imagens, na área urbana de Caicó/RN foram feitas imagens aéreas através de drone, no sentido de verificar os imóveis. Foi calculado o valor das perdas imobiliária, através da sobreposição dos valores do metro quadrado de cada bairro de Caicó, dentro de cada Buffer das cotas de inundação. Como resultados, obteve-se os valores de 60 para o Perigo Potencial, obtendo o grau de Elevado. Para o Estado Real da Barragem o valor foi de 42, caracterizando como insatisfatório, e para o Índice de Comportamento o valor foi 49,2, atribuindo o grau de Emergência. O número de pessoas expostas nos dois cenários varia entre 17 mil a 37 mil, além disso, para a cota de 50% tem aproximadamente a estimativa de perdas imobiliárias de 293 milhões de reais, e para a cota de 100% tem aproximadamente o valor de 856 milhões em perdas imobiliárias. Diante disso, o estudo colabora para a temática estudada e servirá como subsídio a gestão municipal e a Defesa Civil para a elaboração de planos de ações futuros que possam planejar melhor o território de Caicó/RN. Essa obra é fruto da pesquisa de mestrado dos autores, junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no ano de 2021.

Palavras chaves: Cenários de desastre tecnológico. Segurança de barragem. Ordenamento do território. Passagem das Traíras. Caicó/RN.

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEC – Batalhão de Engenharia de Construção

BPM – Batalhão de Polícia Militar

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CBM – Corpo de Bombeiros Militar

CCR – Concreto Compactado a Rolo

CIGB – Comissão Internacional de Segurança de Barragens

COHIDRO – Coordenadoria de Hidrogeologia

COMPEDC – Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil

COTEC – Engenharia LTDA

CPAMB – Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

DNPM – Departamento Nacional de Prospecção Mineral

ERB – Estado Real da Barragem

FUNERH – Fundo Estadual de Recursos Hídricos

GBS – Grupamento de Busca e Salvamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Comportamento

IDNDR – International Decade for Natural Disaster

IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte

IOCS – Inspetoria de Obras Contra as Secas

ISDR – International Strategy for Disaster Reduction

MDE – Modelo Digital de Elevação

MIN – Ministério da Integração Nacional

OERH – Órgãos Estaduais de Recursos Hídricos

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragem

PP – Perigo Potencial

RN – Rio Grande do Norte

RRD – Redução de Riscos de Desastres

SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência

SEMARH – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SINPDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SNISB – Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens

VMP – Vazão Máxima Provável

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18

2 OBJETIVO GERAL 22

2.1 Objetivos específicos 22

3 METODOLOGIA 23

3.1 Procedimentos teóricos 23

Analíticos 24

Operacionais 24

Impactos a Jusante 27

Social 27

Ambiental 28

Econômico 28

Tipo de Barragem 29

Tipo de Órgão Vertente 29

Vazão de Projeto 30

Informação de Projeto 31

Frequência na Avaliação do Comportamento 31

Quanto à Percolação 32

Deformações 32

Quanto à deterioração dos paramentos 32

Erosão a Jusante 33

Condições dos Equipamentos Descarregadores 33

3.2 Procedimentos empíricos 36

Analíticos 36

Características gerais da Bacia Hidrográfica do Rio Seridó 36

Topografia do vale 38

Climatologia 40

Hidrologia 40

População 43

Operacionais 44

4 A OPERACIONALIZAÇÃO DO RISCO NA GEOGRAFIA À LUZ DA GESTÃO DE BARRAGENS NO BRASIL 48

4.1 O Espaço geográfico e a relação sociedade-natureza 48

4.2 O risco tecnológico enquanto uma criação humana 52

4.3 Onda de Cheia e Tempo de Resposta 56

4.4 Componentes de uma barragem de concreto 57

4.5 O panorama das barragens no mundo e no Brasil 58

4.6 Diretrizes legais de gestão de risco em barragens 62

4.7 A trama institucional na gestão da Barragem Passagem das Traíras 70

5 O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO NAS ADJACÊNCIAS DO RIO SERIDÓ EM CAICÓ/RN E AS AÇÕES EMERGENCIAIS 80

5.1 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento 80

5.2 O ordenamento territorial como ferramenta de redução de riscos 82

6 PATOLOGIAS ESTRUTURAIS DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAÍRAS E A MODELIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO 91

6.1 Anomalias no maciço 91

6.1.1 Aspectos geotécnicos, fundações e ombreiras 91

6.1.2 Ombreiras 93

6.1.3 Crista do maciço 96

6.1.4 Paramentos e vertedouro 97

6.1.5 Galeria, tomada d'água e hidromecânica 100

6.2 Índice de Perigo Potencial 101

6.2.1 Dos Impactos a Jusante 103

Social 103

Ambiental 104

Econômico 106

6.3 Índice Estado Real da Barragem 109

6.4 Atores locais e infraestruturas de salvaguarda 121

6.5 Do andamento das ações estruturantes 126

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 127

8 REFERÊNCIAS 130

1

INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida. Desde os primórdios da origem humana, nossos ancestrais no período Neolítico criaram aldeias e desenvolveram a agricultura em um lugar fixo, localizados próximos a corpos de água, os quais abasteciam a aldeia (SCHNITTER, 1979).

Deste modo, em regiões áridas ou semiáridas, o homem ao longo de sua evolução intelectual e técnica, aprendeu a conviver com a cultura de represamento de água, seja para os fins de abastecimento ou até mesmo para a contenção de inundações.

De acordo com Santos (1997), como fomento do período técnico-científico-informacional, as técnicas e instrumentos utilizados para a construção das barragens passaram de simples equipamentos de contenção de água, para grandes vultos estratégicos no território, sobretudo para a produção de energia hidrelétrica, tal como para a perenização e integração de grandes bacias hidrográficas (PIMENTA, 2009).

Com o aumento da população em todo o mundo, demanda-se cada vez mais água e energia. Em países que possuem grandes redes hídricas e regimes de precipitação irregulares, opta-se pelo método de construção de grandes barragens para suprir as necessidades da população (PIMENTA, 2009).

De acordo com o ICOLD (2014), existem cerca de 39.188 barragens catalogadas no mundo, destas 1.431 estão localizadas no Brasil, sobretudo no semiárido nordestino. As barragens do Nordeste foram construídas pelos Instituto Obras Contra as Secas - IOCS, Instituto Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, para o enfrentamento da falta de água na região. São barragens com um considerável tempo de operação do século XX, sendo estruturas sem monitoramento e manutenção, que por vezes apresentam anomalias.

Conforme Pimenta (2009), rupturas em barragens acontecem desde a Antiguidade, e esses eventos vêm se repetindo ao longo da história evolutiva das construções de reservatórios. Pode-se citar alguns fatores que promovem rompimentos em barragens: a atuação de agentes naturais internos e externos, que causam fragilidades nas estruturas; falhas técnicas no projeto de construção da represa, bem como, a falta de monitoramento e manutenção dessas estruturas. As somas desses fatores podem acarretar no rompimento de barragens. De acordo com

Mascarenhas (1990), para que uma barragem rompa, é preciso a atuação de agentes, sejam eles naturais ou de origem antrópica, e a ruptura pode ser ocasionada por causas isoladas ou pelo conjunto delas.

Portanto, esses fatores condicionam as barragens ao risco de ruptura, podendo ocasionar danos irreversíveis, como perdas de vida, danos econômicos e ambientais às populações de jusante da barragem, assim como aconteceu no município de Mariana em Minas Gerais no ano de 2015 (SOUZA, 2018).

Segundo Souza (2018), os números de casos de ruptura de barragem somam 70 em todo o mundo desde 2.650 a.C., sendo que 14 desses eventos ocorrem no Brasil. Ainda de acordo com autor, foram a óbito 249.738 pessoas, vítimas de inundações oriundas de barragens que romperam, desse total, 1.058 óbitos foram no Brasil.

No Brasil os casos mais recentes de rompimento de barragem, são do tipo rejeitos do setor mineral. Porém, no que tange a rompimentos de barragens de água, já tivemos casos com barragens no nordeste brasileiro. Foi o caso da barragem de Orós no Ceará que rompeu, matando mais de 1000 pessoas e deixando mais de 100 mil evacuados em março de 1960. Além desse, em 2004 no município de Alagoa Nova no estado paraibano a barragem de Camará rompeu, causando 5 óbitos e mais de 3000 desabrigados (SOUZA, 2018).

Em função das condições climática, do nordeste brasileiro há a cultura do represamento de água em barragens, para que haja a perenização do abastecimento hídrico nos anos de precipitações irregulares. Porém, a maioria das barragens da região são da década de 1960, estruturais antigas e sem o acompanhamento periódico nas manutenções preventivas. É o caso da barragem Passagem das Traíras objeto deste estudo.

De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2015), a barragem Passagem das Traíras inaugurada no ano de 1994, foi construída com concreto compactado a rolo. Esta barragem está localizada nos limites dos municípios de Jardim do Seridó/RN e São José do Seridó/RN (mapa 1), armazena 49 milhões de m³ de água. É um reservatório considerado como estratégico para o sistema estadual de recursos hídricos com finalidade múltipla de uso da água, conforme a Lei das Águas - nº 3.433/97.

A barragem tem o intuito de represar água para conter inundações do rio Seridó, além de fornecer água para os municípios de Jardim do Seridó/RN, São José do Seridó/RN e algumas comunidades do município de Caicó/RN que encontra-se a 14 km de distância a jusante da barragem.

A barragem é de responsabilidade da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), tendo sua fiscalização de operação e vistoria pelo Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte (IGARN) e pela Agência Nacional das Águas (ANA), por meio da Lei nº 12.334/2010 – Lei de Segurança de Barragens.

Em 2005, a ANA, que é o órgão responsável pela fiscalização das barragens no Brasil, realizou um levantamento das condições estruturais das barragens em todo o país. A partir dessa investigação, constatou-se que a barragem Passagem das Traíras apresentava anomalias estruturais. Desde então, são feitos monitoramentos periódicos para avaliar as condições da barragem em questão, em 2015 e 2016, foram produzidos novos relatórios pela SEMARH (órgão estadual proprietário da barragem) com o diagnóstico das vistorias.

Nas vistorias foram constatadas anomalias estruturais que comprometem a segurança da barragem. Essas anomalias tratam-se de rachaduras nos parâmetros e desagregação e oxidação do concreto na parede da barragem. Além disso, os técnicos da ANA constataram uma falha na rocha que ancora a ombreira esquerda da barragem (ANA, 2015).

Assim, a barragem Passagem das Traíras representa um perigo de ruptura, o que deixa a cidade de Caicó/RN a jusante da barragem exposta a um desastre caso a estrutura entre em colapso. Caicó detém, aproximadamente 60 mil habitantes e detém poucos recursos operacionais de salvaguarda para gerenciar um desastre dessa magnitude.

Deste modo, este trabalho poderá subsidiar a gestão de riscos no território do município de Caicó, auxiliando a Defesa Civil na formulação do Plano de contingência.

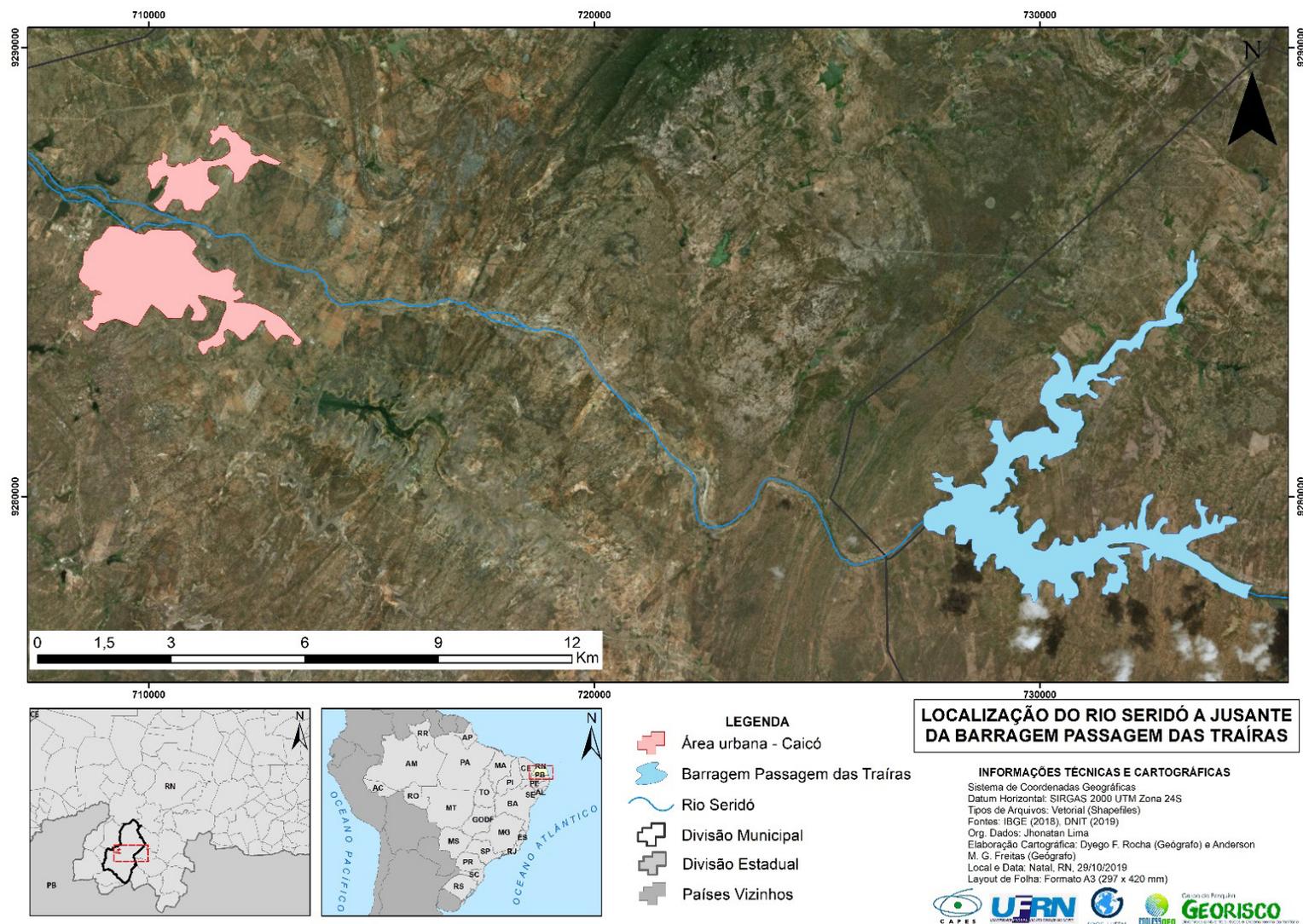
Assim, faz-se necessário o estudo dos riscos associados à segurança de barragens, dentro da perspectiva geográfica, tentando relacionar com outras áreas do conhecimento como da engenharia, a qual nesse trabalho ajuda a subsidiar as análises dos gestores, no sentido de evitar novos casos de rompimento de barragens no país. A presente pesquisa é de relevância social para o Rio Grande do Norte, pois, estudar essa temática possibilitará a realização de levantamento de cenários de riscos de rupturas de barragens, uma vez que os problemas estruturais da barragem Passagem das Traíras podem comprometer o abastecimento de água de cidades do Seridó Potiguar.

Desta forma, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa: qual a relação entre o risco de ruptura da barragem Passagem das Traíras e as consequências adversas para a população do município de Caicó/RN?

Diante da falta de manutenção, a barragem Passagem das Traíras, teve um aumento da vulnerabilidade estrutural, além da elevação nos níveis de perigo de ruptura que mudou do nível de Atenção para o nível de Alerta (existem quatro níveis: Normal, Atenção, Alerta e Emergência). A jusante da barragem está localizado o município de Caicó, que possui uma Defesa Civil limitada, visto que possuem baixo efetivo e reduzido material logístico para pronto atendimento em caso de uma possível ruptura da barragem.

No mapa 1 é possível constatar a área geral do estudo, a partir da Barragem Passagem das Traíras, a calha do rio Seridó e a zona urbana de Caicó/RN.

Mapa 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaboração Própria (2020).



OBJETIVO GERAL

Analisar o risco de desastre de uma possível ruptura da barragem Passagem das Traíras no município de Caicó/RN.

2.1 Objetivos específicos

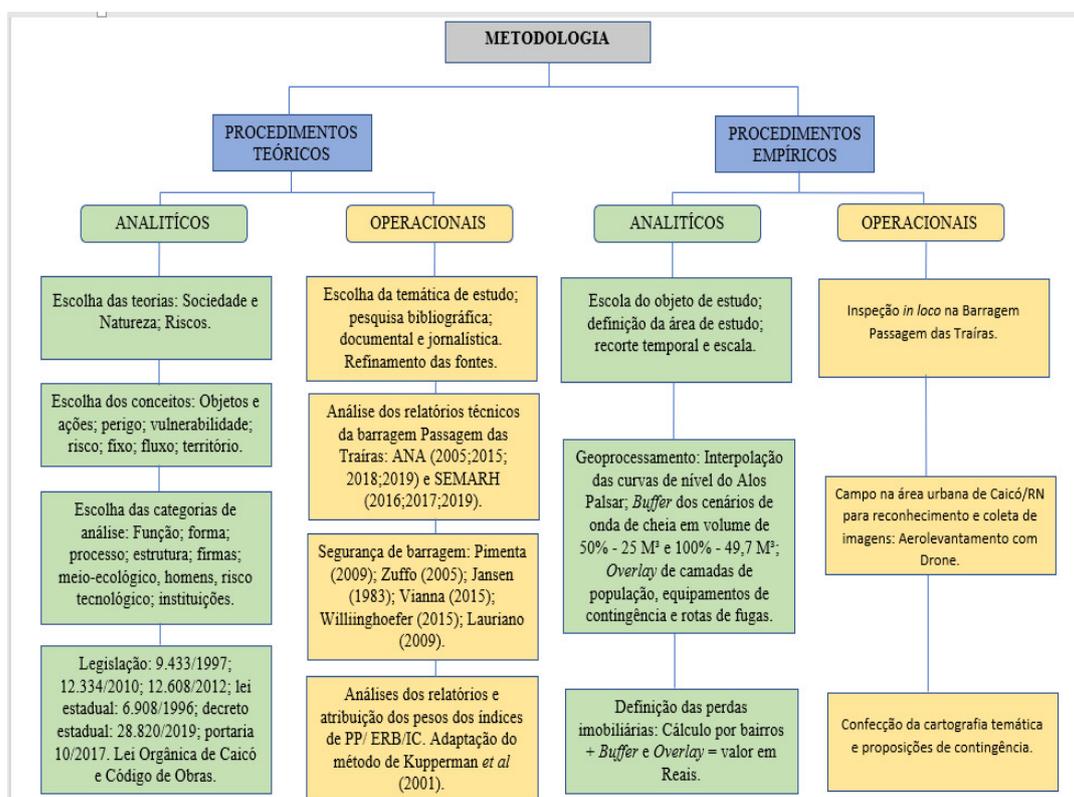
- Discutir a temática de segurança de barragens a partir dos riscos tecnológicos;
- Identificar as anomalias na estrutura da barragem Passagem das Traíras;
- Compreender as questões normativas e institucionais que envolvem a estrutura de organização legal da barragem;
- Analisar as áreas exposta à inundação em caso de ruptura da barragem;
- Analisar os danos socioeconômicos relacionados aos cenários de inundação.



METODOLOGIA

Para realizar uma análise de maneira integrada, a metodologia deste trabalho opta-se pela adoção da divisão dos procedimentos desde trabalho em procedimentos de cunho teórico, atrelados aos procedimentos empíricos, a fim de dar conta dos objetivos propostos nesse trabalho descritos na figura 1.

Figura 1 – Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.1 Procedimentos teóricos

Nesta sessão serão abordadas as principais teorias, conceitos e categorias usadas neste trabalho, subdivididos em procedimentos analíticos e operacionais que compõem a base dos procedimentos teóricos.

Analíticos

Do ponto de vista teórico, destaca-se a ideia de totalidade colocado por Santos (1997), a qual está embasada nos conceitos de espaço geográfico; objetos e ações; fixo; fluxo; processo; função; forma; e estrutura. Além do uso das categorias de análise do autor supracitado, referente aos elementos formadores do espaço: homens; firmas; meio-ecológico; instituições; infraestruturas; e território normado.

A teoria dos Riscos de Veyret (2007) embasa a discussão geral dos riscos, atrelados aos conceitos de riscos, perigo e vulnerabilidade, além do uso da categoria analítica de risco tecnológico.

A respeito da discussão do homem e o meio, o método de Sociedade e Natureza de Suertegaray (2002).

Operacionais

Do ponto de vista operacional, o trabalho será pautado nos relatórios de segurança da barragem Passagem das Traíras formulados através dos órgãos: Ministério da Integração Nacional (2005), Agência Nacional de Águas (2015; 2018; 2019) e Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2016; 2017; 2019).

Para nortear o debate sobre o Risco de Ruptura em Barragem, o trabalho ampara-se nos trabalhos de Jansen (1983), Zuffo (2005), Pimenta (2009), Lauriano (2009), Vianna (2015) e Willinghamofer (2015). Esses autores tratam diretamente dos conceitos usados na temática de Segurança de Barragens.

Destaca-se uma grande variedade de trabalhos que abordam propostas de modelos para a elaboração de documentos técnicos de segurança de barragens, entretanto em sua grande maioria abordam apenas quesitos de engenharia civil estrutural, sem contar com os aspectos gerais que podem ser desencadeados em caso de uma ruptura. A abordagem de Kuperman et al. (2001), analisa o risco de rompimento da barragem relacionando aspectos técnicos da engenharia estrutural com a ciência geográfica, e do ponto de vista das variáveis da metodologia atendendo fatores estruturais, ambientais e econômicos. Assim, a abordagem de Kuperman et al. (2001) foi escolhida para ser utilizada neste estudo.

Baseado na metodologia da tomada de decisões para barragens, o trabalho propõe a aplicação adaptada dos Índices de Comportamento, Perigo Potencial e Estado Real da Barragem. Propiciando identificar o grau de risco da barragem, essa metodologia foi também utilizada nas barragens da companhia de águas de São Paulo – SABESP.

Segundo Kuperman et al. (2001), a metodologia geral de classificação é empregada para atender aos requisitos:

- Efetuar a classificação de maneira diferenciada em dois contextos distintos, quais sejam, aquele definido pela periculosidade potencial que cada unidade apresenta em função das suas características de localização e de projeto e aquele definido por seu estado real de funcionamento;
- Permitir a aplicação dos métodos classificatórios de modo evolutivo, de maneira a possibilitar a alteração, com o tempo, da classificação de cada unidade em função de suas condições de contorno e de seu comportamento observado;
- Estabelecer um índice de avaliação por meio de “notas”, para cada unidade, de maneira a facilmente identificar aquelas em situação tal a exigir intervenção, imediata ou não;
- Permitir a aplicação dos métodos classificatórios a uma gama de variação de parâmetros relativamente elevado, mas, ao mesmo tempo, restringir ao mínimo as opções decisórias de modo a tornar mais fácil e mais clara a necessidade de efetuar eventuais intervenções.

A classificação proposta por Kuperman et al. (2001), é dividida em Perigo Potencial, que trata-se da sistematização em níveis de potencialidade da ocorrência de danos humanos ou perdas materiais ou a paralização da operação da barragem; Estado Real da Barragem, o qual está atrelado a uma hierarquização feita de modo a atribuir notas as variáveis de maneira ponderada, em decorrência das informações referentes ao comportamento da barragem e as condições dos elementos que constituem a estrutura, e o Comportamento da barragem – IC, é o mais importante, visto que é a partir dele que as tomadas de decisões são convertidas em ações de intervenções na barragem. Desse modo, a formulação dos índices propicia o diagnóstico geral classificatório da barragem.

Dentro das tabelas de PP e ERB encontram-se parênteses com números, estes que são os pesos de cada variável a ser atribuída, conforme a justificativa.

Com base na tabela 1, a classificação segundo o Perigo Potencial foi estabelecida, considerando as variáveis a seguir.

Tabela 1 - Perigo Potencial

Importância da barragem para ANA	Dimensão da barragem	Volume de água armazenada	Impacto a jusante			Tipo da barragem	Órgão vertente	Vazão do projeto
			Social	Ambiental	Econômico			
Pequena (10)	Pequena (10)	Baixo (5)	Baixo (10)	Baixo (10)	Baixo (5)	Concreto (12)	Superfície sem controle (15)	VP ou $1000 < Toc < 10000$ (20)
Média (8)		Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (4)	Enrocamento (12)	Superfície com controle (10)	VP ou $100 < Toc < 1000$ (12)
Significativa (6)	Média (6)	Médio (3)	Médio (6)	Médio (3)	Médio (3)			De fundo (5)
Grande (4)		Grande (4)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)			
Elevada (2)	Grande (2)	Elevado (1)						

Fonte: Kuperman et al. (2001).

A Importância da Barragem para a ANA, é classificada como:

- Elevada: quando a barragem e o seu reservatório são de extrema importância para a operação do sistema da agência reguladora, assim sua desativação ou ruptura ocasiona a interrupção do sistema de abastecimento de água;
- Grande: quando sua desativação pode ser evitada, pois implica em custos elevados e obriga a remanejamentos importantes para conseguir a redução, mesmo que temporária, da oferta de água;
- Significativa: quando a sua desativação deve ser evitada, pois implica em custos significativos e obriga a remanejamentos importantes para conseguir redução da oferta de água;
- Média: quando sua desativação é possível mas implica em custos razoáveis e certos remanejamentos para conseguir a redução aceitável da oferta de água;
- Pequena: quando a redução da oferta de água à sua eventual desativação é suportável por um período razoável; é fácil suprir de maneira alternativa esta eventual redução.
-

As dimensões da barragem são classificadas como Pequena, Média ou Grande, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de barragens segundo sua altura e/ou volume armazenado

Categoria	H – Altura (m)	V – Volume do reservatório (x10⁶m³)
Pequenas	H < 15 m	0,05 < V < 1
Médias	15 m < H < 30 m	1 < V < 50
Grandes	H < 30 m	V > 50

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

O volume de água do reservatório é dado pelas variáveis:

- Baixo: quando o volume de água bruta armazenada pelo reservatório for inferior a $0,05 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Pequeno: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estiver entre $0,05 \times 10^6$ e $1 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Médio: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estiver entre $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $50 \times 10^6 \text{ m}^3$;

- Grande: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estiver entre $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $100 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Elevado: quando o volume de água armazenada pelo reservatório for superior a $100 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Impactos a Jusante

Essa classificação é a que mais se aproxima aos aspectos estudados pela Geografia. Dessa forma, o Impacto a Jusante é uma classificação dentro do Perigo Potencial, a qual remete à ocupação da região a jusante da barragem. Os danos e perdas potenciais são agrupados conforme suas consequências adversas, sendo abordados fatores de cunho social, ambiental e econômico.

Social

O autor relata em sua proposta metodológica que, as consequências sociais provenientes de um rompimento de barragem, dependendo do tipo, da localização e da comunidade afetada irão variar conforme cada evento. Assim, para a classificação social as seguintes variáveis são consideradas:

- Características demográficas;
- Serviços públicos afetados;
- Deslocamento de pessoas;
- Empregos afetados;
- Influência sobre a capacidade produtiva;
- Efeitos sobre o patrimônio cultural;
- Efeitos sobre as áreas de recreação e lazer;
- Influência sobre a saúde pública;
- População afetada (falecimentos, traumas).

Dentro desses critérios são estabelecidas as classes:

- Baixo: quando não se espera nenhum efeito sobre as populações a jusante do barramento;
- Pequeno: quando houver possibilidades de menos de 100 pessoas serem afetadas e/ou ocorrência de perdas de capacidade produtiva inferior a 10%;

- Médio: quando houver possibilidades de entre 100 e 1000 pessoas afetadas e/ou ocorrência de perdas de capacidade produtiva inferior a 30%
- Grande: quando houver a possibilidade de mais de 1000 pessoas serem afetadas e/ou ocorrência de perda superior a 30% da capacidade produtiva.

Entende-se por pessoas afetadas, pessoas que são acometidas a traumas físicos e psicológicos, em decorrência de danos provenientes da ruptura. Perda da capacidade produtiva é compreendida como perdas de empregos provenientes da ruptura, nos segmentos agrícolas, fabril. Sejam por danos diretos ou pelo desabastecimento temporário de água.

Ambiental

Como todo evento que envolve ruptura de barragem, existem grandes danos ambientais. Esses caracterizados por exemplo pela destruição da vegetação e do habitat, remoção do solo sem cobertura, deposição de sedimentos, destruição de vida animal. Diante disso, as categorias definidas são:

- Baixo: quando a área afetada é inferior a 0,1 km² e a duração do impacto ambiental é inferior a 1 mês de duração e nenhum efeito ecológico grave é esperado, seja do ponto de vista de vegetação ou animal;
- Pequeno: quando a área afetada é superior a 0,1 km², mas inferior a 1 km², a duração do impacto varia de 1 mês a 1 ano, a inundação pode causar algumas alterações na vegetação sem afetar significativamente a vida animal;
- Médio: quando a área afetada estiver entre 1 km² e 10 km², a duração do impacto ambiental variar de 1 ano a 10 anos, houver diversas espécies de vida animal na área afetada, os efeitos sobre o meio-ambiente sejam sensíveis;
- Grande: quando a área do impacto for superior a 10 km², a duração do impacto for superior a 10 anos, haja importantes efeitos ecológicos e grandes impactos ao meio-ambiente.

Econômico

Em casos de desastres provenientes de rompimento de barragem, acontecem muitos prejuízos econômicos, devendo ser considerado:

- Quantidade de residências danificadas ou destruídas;
- Quantidade de indústrias, comércios e agricultura afetadas;
- Itens relativos à infraestrutura, reparos e recuperação das estruturas do barramento;

- Fornecimento temporário de serviços anteriormente supridos pela barragem.

Deste modo, no sentido de mensurar cada área que poderá ser impactada são estabelecidas as classes:

- Baixo: quando não ocorrem danos a residências e/ou a despesa total das reparações for inferior a R\$ 200.000,00 (incluindo os reparos da barragem);
- Pequeno: quando forem danificadas no máximo 5 casas e/ou as despesas totais estiverem entre R\$ 200.000,00 e R\$ 10.000.000,00 (incluindo os reparos ou reconstrução da barragem);
- Médio: quando forem destruídas entre 6 e 49 casas ou danificadas muitas casas e/ou as despesas totais estiverem entre R\$ 11.000.000,00 e R\$ 50.000.000,00;
- Grande: quando forem destruídas mais de 50 casas e/ou as despesas superarem R\$ 50.000.000,00.

Tipo de Barragem

Um fator importante a ser considerando dentro dessa classificação de Perigo Potencial é o Tipo de Barragem e a qualidade do material utilizado na construção, sendo a classificação apresentada como:

- Concreto: quando a totalidade da estrutura for constituída por barragem de concreto, seja qual for o modelo estrutural;
- Enrocamento: quando houver maciços de enrocamento ou barragens mista terra/enrocamento com talude de jusante em enrocamento, fazendo parte do barramento e com alturas da mesma ordem de grandeza das estruturas principais;
- Terra: quando as estruturas principais do barramento, ou parte delas, forem constituídas por terraplenos de solo compactado.

Tipo de Órgão Vertente

Nas barragens existem diferentes tipos de dispersores de cheias, sendo como vertente principal ou como descarregadores auxiliares. Essa metodologia propõe três classes, são elas:

- De superfície sem controle;
- De superfície com controle;
- De fundo.

Vazão de Projeto

O dimensionamento dos descarregadores de controle de cheias foi classificado com base na vazão de dimensionamento ou Vazão Máxima Provável (VMP):

- Foi recentemente verificada para um período de recorrência entre 1.000 a 10.000 anos;
- Foi recentemente verificada para um período de recorrência entre 100 a 1.000 anos;
- Foi calculada para um período de recorrência inferior a 100 anos, ou é desconhecida, ou foi calculada há mais de 20 anos e não mais verificada.

A tabela 3 resume o produto do somatório das “notas” de cada variável da matriz. Com base no valor encontrado, atribui-se as classificações para o Perigo Potencial.

Tabela 3 - Classificação quanto ao Perigo Potencial

Classificação segundo o PP	
PP ≤ 80	Baixo
80 > PP > 60	Significativo
60 ≥ PP	Elevado

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Quanto a classificação sobre o Estado Real da Barragem foi elencada variáveis gerais que representam de forma global a estrutura, assim representada pela tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Classificação segundo ao Estado Real da Barragem

Informações de projeto	Frequência na avaliação do comportamento	Percolação	Deformações	Nível de deteriorização de paramentos ou taludes	Erosão a jusante	Condição dos equipamentos dos descarregadores
Completas (5)	Adequada (10)	Prevista em projeto ou inexistente (20)	Prevista em projeto ou inexistente (20)	Mínimo ou inexistente (15)	Mínimo ou inexistente (15)	Boa (15)
				Baixo (12)	Baixo (12)	
Parciais (4)	Razoável (6)	Fora do previsto ou não críticas (15)	Fora do previsto ou não críticas (15)	Moderado (6)	Moderado (6)	Razoável (8)
Incompletas (2)	Inadequada (20)	Crítica (5)	Crítica (5)	Alto (4)	Alto (4)	Ruim (6)
Inexistentes (0)	Nenhum (0)	Desconhecida (0)	Desconhecida (0)	Excessivo (3)	Excessivo (3)	Inoperantes ou sem registros (3)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Informação de Projeto

As barragens foram enquadradas nas seguintes categorias:

- Completas: quando a documentação de projeto está disponível e acessível nos arquivos do órgão gestor;
- Parciais: quando a documentação parcial do projeto e construção está disponível e acessível nos arquivos do órgão gestor;
- Incompletas: quando parte da documentação de projeto não existe, entretanto há alguns desenhos e relatórios incompletos;
- Inexistentes: quando não existem documentos do projeto original, nem análise de comportamento.

Frequência na Avaliação do Comportamento

As barragens foram classificadas quanto ao seu comportamento:

- Adequada: quando são realizadas inspeções rotineiras, periódicas e formais na periodicidade recomendada pela ANA, com inserção dos resultados no banco de dados e emissão de relatórios e pareceres específicos avaliando o comportamento, tanto pela instrumentação visível quanto pela instrumentação instalada;
- Razoável: quando são realizadas inspeções rotineiras e periódicas com a periodicidade recomendada pela ANA, são preenchidas planilhas de inspeção que alimentam o banco de dados;
- Inadequada: quando as inspeções periódicas não seguem as frequências recomendadas ou não são preenchidas as planilhas de inspeção nem realizadas análises de comportamento, sendo a última inspeção realizada há 5 anos;
- Nenhuma: quando não são realizadas inspeções rotineiras ou periódicas e a última inspeção formal foi realizada há mais de 5 anos.

Entende-se por inspeção rotineira aquela executada por técnicos da operação à medida que vão exercendo suas atividades habituais. A vistoria em todas as partes da barragem é realizada. A inspeção periódica é efetuada por equipe multidisciplinar de especialistas, inicialmente a cada 3 anos para estruturas consideradas como tendo Índice de Comportamento “Normal”.

Quanto à Percolação

O comportamento do fluxo de água pelo corpo da barragem e pelas ombreiras e fundações classifica-se:

- Conforme previsto em projeto ou inexistente: significando que os níveis piezométricos e as vazões de percolação se encontram dentro do previsto pelas hipóteses de projeto e em regime estabilizado. Tais situações se estendem ao corpo da barragem, às ombreiras e às fundações de todas as estruturas;
- Fora do previsto, mas não crítica: significando que, pontualmente, algum instrumento indica níveis piezométricos ou vazões mais elevadas que o previsto. Tal situação, entretanto já foi objeto de análise não tendo sido constatada nenhuma implicação importante no desempenho global do trecho afetado;
- Crítica: significando ter sido constatada anormalidades na distribuição das pressões ou das vazões, com implicações reconhecidamente importantes (ou em vias de se tornarem importantes, em vistas da evolução do fenômeno) para a segurança da unidade;
- Desconhecida: quando nada se conhece acerca do acompanhamento quanto à percolação.

Deformações

No que tange às deformações, sejam de quais origens forem, são contempladas em:

- Conforme prevista em projeto;
- Fora do previsto, mas não crítico;
- Crítico;
- Desconhecido.

Quanto à deterioração dos paramentos

Esta classificação contempla barragens de concreto e enrocamento, sendo classificadas da seguinte forma:

- Nível mínimo ou nenhum: quando não houver degradação visível, a olho nu, dos materiais de proteção. O comportamento dos taludes está de acordo com o esperado;
- Nível baixo: quando não houver indícios importantes que denotem a degradação dos materiais de proteção;
- Nível moderado: quando há evidentes indícios de degradação, trincamentos generalizados afetam áreas importantes das estruturas, no concreto há sinais de carbonatação e poucos vazamentos a jusante, apenas com merejamento. Observa-se uma evidente redução da

granulometria do rip-rap em áreas bem definidas dos taludes, etc. A evolução dos fenômenos, entretanto é lenta, não havendo indícios de iminência de problemas criados por estes fatores;

- **Nível alto:** em áreas extensas os níveis de degradação dos materiais são grandes. No concreto podem ser observados sinais de inícios de corrosão de armadura; a frequência de fissuração superficial é grande; a estanqueidade da estrutura não é completa, havendo alguns vazamentos que atingem a face jusante, com vazões pequenas;

- **Nível excessivo:** quando em áreas extensas os níveis de degradação dos materiais são muito elevados. Podem ser observadas armaduras expostas, com oxidação; a coloração do concreto está alterada; a frequência e a profundidade da fissuração são muito intensas; as propriedades de permeabilidade e estanqueidade da estrutura foram muito afetadas. Ocorrem vazamentos a jusante, através do concreto, com fluxos grandes.

Erosão a Jusante

Quando trata-se de segurança de barragens não podemos deixar de abordar a erosão a jusante do reservatório, pois essa patologia pode provocar a destruição das ombreiras e fundações, ameaçando a estabilidade de estruturas próximas. Desse modo, a classificação apresenta:

- **Mínimas ou inexistentes:** se não ocorrem erosões visíveis, a olho nu, em nenhum ponto a jusante. Às margens do rio imediatamente a jusante, encontra-se em perfeitas condições;

- **Poucas:** se ocorrem pontos localizados erodidos, principalmente nas margens, não havendo perigo de solapamento ou instabilidade de quaisquer estruturas da barragem ou da vizinhança, tais como entradas de acesso ou das margens do rio;

- **Moderadas:** se ocorrem pontos localizados erodidos, entretanto não há perigo imediato de solapamento ou instabilidade de quaisquer estruturas importantes para a barragem;

- **Elevadas:** se ocorrem erosões em grandes áreas, susceptíveis de solapar e instabilizar estruturas da barragem ou provocar danos a terceiros;

- **Significativas:** ocorrem erosões importantes em grandes áreas, susceptíveis de solapar e instabilizar estruturas da barragem ou provocar danos a terceiros, sendo necessárias intervenções imediatas, para evitar rupturas.

Condições dos Equipamentos Descarregadores

Os descarregadores são componentes de extrema segurança de uma barragem, eles são responsáveis por regular a vazão do reservatório. Quanto ao nível de segurança, são classificados como:

- Em boas condições: se operantes a qualquer tempo e em perfeito estado de conservação;
- Em condições razoáveis: se operantes, entretanto seu estado de conservação deixa a desejar. Não são efetuados testes periódicos e não se faz manutenção preventiva, tendo sido operados há mais de 1 ano;
- Em condições ruins: se não foram operados nos últimos 2 anos, encontram-se com sinais de deterioração, não se faz manutenção preventiva;
- Inoperante ou sem registro: se os equipamentos não estão ativos e não há registro de quando foram testados pela última vez.

A partir da soma das “notas”, a classificação do Estado Real da Barragem é apresentada, conforme a tabela 5.

Tabela 5 - Classificação quanto o Estado Real da Barragem

Classificação segundo o ERB	
ERB > = 80	Satisfatório
80 > ERB > 60	Regular
60 > = ERB	Insatisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Por fim, determina-se o “Índice de Comportamento” - (IC) para cada unidade, por meio da aplicação da equação, conforme apresenta a tabela 6.

Tabela 6 - Índice de comportamento

Cálculo do Índice de Comportamento da barragem
$IC = (0,4 * PP) + (0,6*ERB)$

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Como resultado final, a cada barragem é atribuído um número que determina sua classificação de acordo com as seguintes classes ou categorias, conforme a tabela 7.

- **IC > 70 – Normalidade:** não há defeitos reportáveis; caracteriza a barragem ou situação que não possui qualquer restrição à operação ou que comprometa a segurança da estrutura. Não requer quaisquer ações imediatas.

- **70 > IC > 60 – Atenção:** Há alguns defeitos que não comprometem o desempenho da unidade; as anomalias ou restrições existentes não apresentam risco à segurança da barragem a curto prazo, porém devem ser controladas e monitoradas. Levantamentos e estudos devem ser realizados para confirmar ou alterar o índice de comportamento da unidade. Não há, ainda, necessidade de priorizar eventuais intervenções corretivas.
- **60 > IC > 50 – Alerta:** Existem anomalias que podem representar eventual risco à segurança da barragem e/ou à operação do sistema. Há uma necessidade de uma avaliação detalhada da real situação da barragem, reavaliação do índice de comportamento e estudo de alternativas para reparos. Devem ser tomadas providências para eliminação ou controle do problema.
- **IC ≤ 50 – Emergência:** Estudos detalhados sobre a barragem indicam haver anomalias que representam risco à segurança da mesma e/ou à operação do sistema. Dependendo do tipo de barragem e do problema apresentado a situação pode ficar fora de controle e haver risco de ruptura iminente, dependendo da operação do sistema. Pode haver necessidade de rebaixamento imediato do reservatório, eventualmente de abandono do local e de acionamento de um Plano de Ação Emergencial.

Tabela 7 - Classificação quanto ao Estado Real da Barragem

Intervalos	Comportamento
IC > 70	Normalidade
70 > = IC > 60	Atenção
60 > = IC > 50	Alerta
IC ≤ 50	Emergência

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Diante disso, a aplicação e adaptação dessa metodologia para a barragem Passagem das Traíras, servirá como ferramenta de comparação do nível de risco com o publicado pela Agência Nacional de Águas. A partir disso, teremos o conhecimento sobre a quantidade de atenção intervencionista e acompanhamento a barragem carecerá.

Para tratar a temática de gerenciamento de riscos em barragens, o trabalho será pautado na legislação vigente. Com base nas leis, portarias e decretos dispostas a seguir: Lei nº 12.334 de 2010 que Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens; Lei nº 9.433 de 1997 conhecida como “Lei das águas” que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Lei nº 12.608 de 2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; Lei nº 6.908, de 1996 que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; Lei n.º 12.651 de 25 de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; Portaria nº 10 de 2017, que determina o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem; Decreto Estadual nº 28.820 de

2019 que institui o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte; Decreto nº 16.038 de 2002 institui o Regulamento Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Norte; Plano de Contingência do Município de Caicó/RN; e o Código de Obras de Caicó/RN.

3.2 Procedimentos empíricos

Analíticos

Para empiricizar a pesquisa é preciso buscar em primeiro lugar o conhecimento “*a priori*” para compreender o objeto ou fenômeno estudado. Assim a partir das teorias, conceitos e categorias, foram elaboradas abordagens a serem empregadas.

Com base na análise dos laudos de vistoria da ANA (2005; 2015; 2018; 2019) para a barragem Passagem das Traíras e toda a problemática envolvida, foi possível definir o recorte a ser estudado, abordando sobre o risco da barragem em questão romper. Dessa forma, a área de estudo é a cidade de Caicó/RN, com enfoque nos setores censitários das adjacências do Rio Seridó, sendo este, o rio de descarga da barragem a jusante em caso de uma possível ruptura.

Do ponto de vista da escala temporal, foi adotado o período entre 2004-2019. Sendo 2004 o ano em que o Código de Obras do Município de Caicó/RN foi regulamentado; e 2005, o ano do primeiro laudo da barragem; e 2019, ano que o laudo de vistoria mais recente foi publicado pela SEMARH.

Características gerais da Bacia Hidrográfica do Rio Seridó

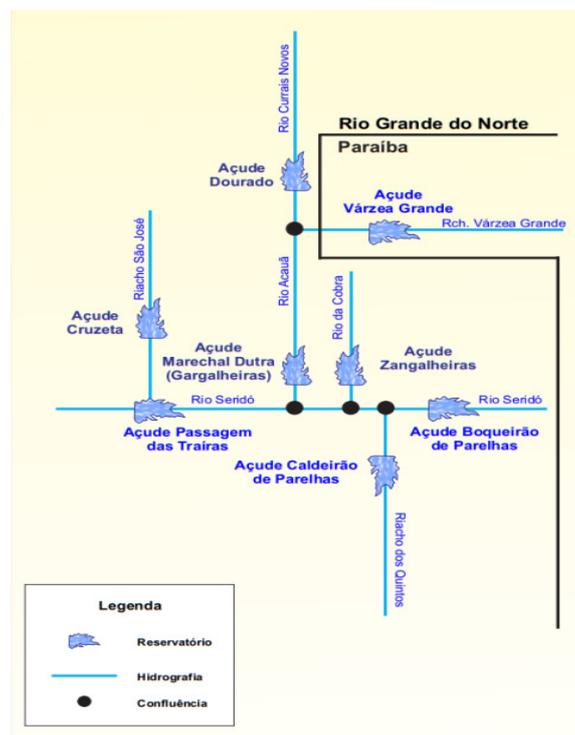
A barragem Passagem das Traíras (figura 2) está inserida dentro da bacia hidrográfica do rio Seridó, e apresenta a área de tributação de aproximadamente 6.100 km², possuindo 14 sub-bacias, destas a maior sub-bacia apresenta uma área de 1.190 km². Destaca-se os principais reservatórios a montante da barragem Passagem das Traíras: Boqueirão e Caldeirão em Parelhas/RN, Zangalheiras em Jardim do Seridó/RN, Marechal Dutra (Gargalheiras) em Acari/RN e o Açude Cruzeta, este último situado no município homônimo. Esses reservatórios contribuem diretamente para a descarga dentro da Passagem das Traíras, conforme apresenta a figura 3, ilustrando o encadeamento dos principais reservatórios da bacia do Rio Seridó (SEMARH, 2019).

Figura 2 – Imagem aérea da barragem Passagem das Traíras



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 3 - Esquema encadeando dos reservatórios da bacia do Rio Seridó



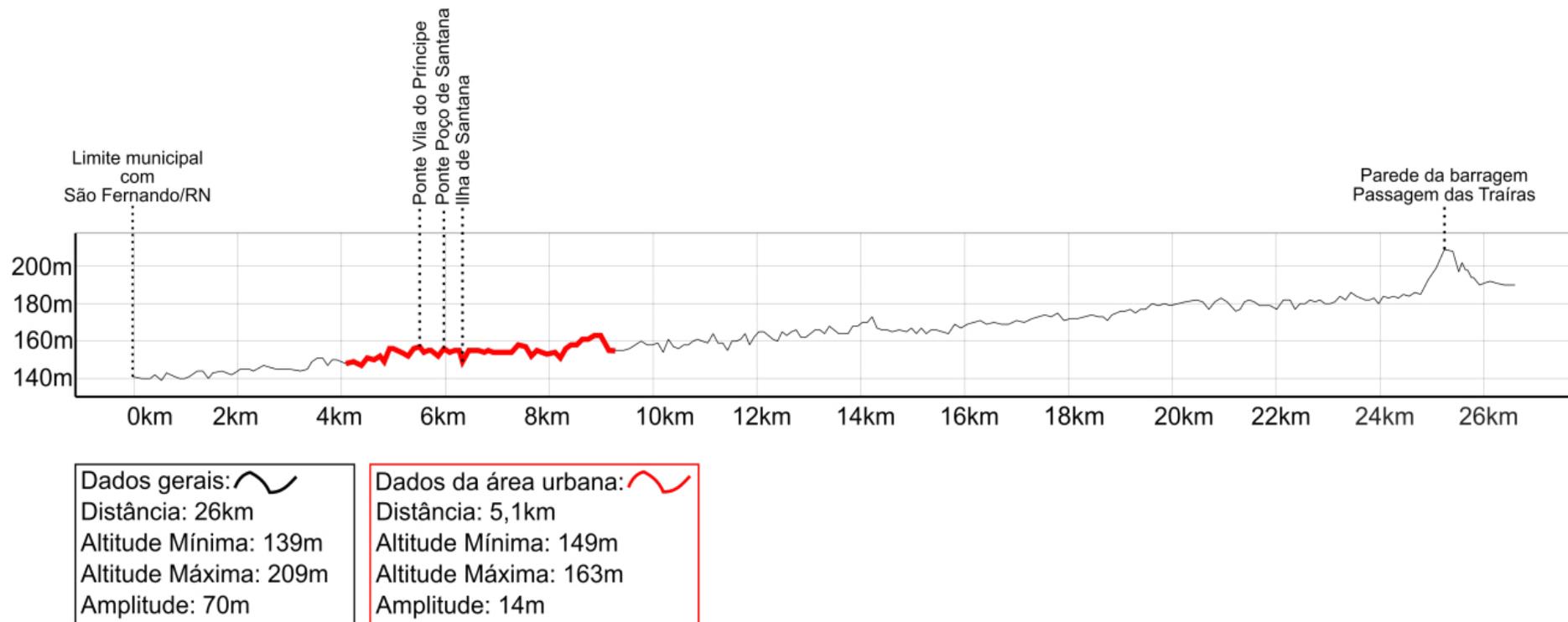
Fonte: SEMARH (2019).

Considerando o perigo de ruptura da Barragem Passagem das Traíras, apresenta-se na figura 2 o mapa global da área de estudo. Em caso de vertimento da barragem, a vazão de onda de cheia é direcionada pela calha do Rio Seridó, passando pelo perímetro urbano de Caicó/RN.

Topografia do vale

A bacia do rio Seridó em alguns trechos possui relevo com declividade acentuada, provocando maior escoamento em uma onda de cheia, onde o tempo de resposta pode ser baixo em virtude do grande volume de água descendo no vale, em caso de ruptura. O perfil topográfico a seguir, representado pelo gráfico 1, ilustra a variação de altitude da barragem Passagem das Traíras até o perímetro urbano de Caicó/RN ao longo de toda calha do rio Seridó, a cidade de Caicó/RN está representada na cor vermelha. A figura descreve informações gerais de variação de altura na área urbana, tendo como referência o maciço da barragem a montante.

Gráfico 1 - Perfil topográfico da calha do rio Seridó

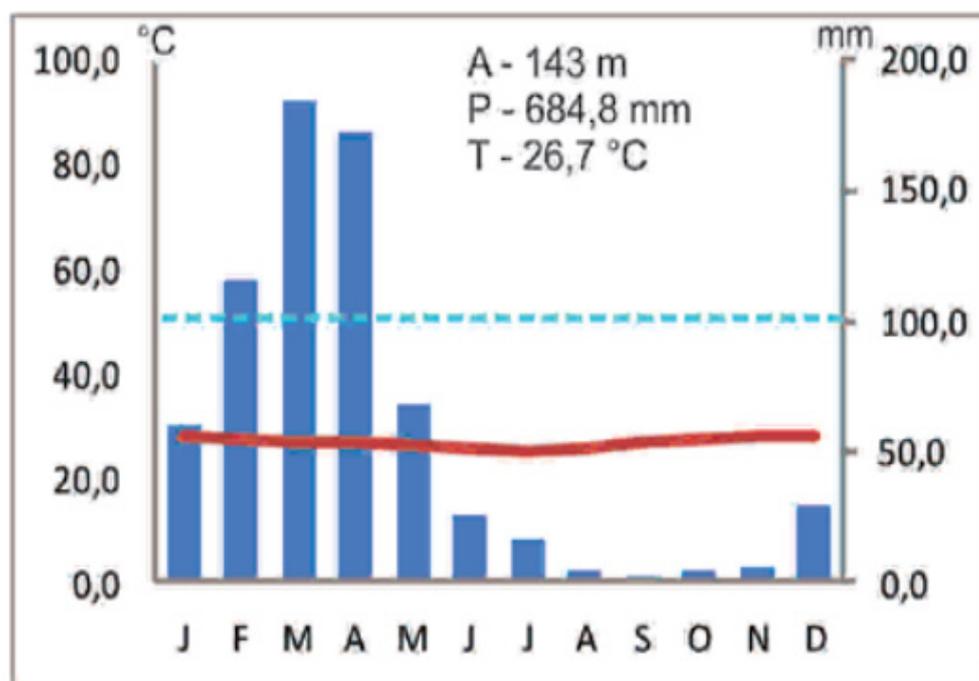


Fonte: Elaborado pelo autor com base em Souza (2018).

Climatologia

A Microrregião do Seridó possui médias pluviométricas que dependem da variabilidade espaço-temporal da região por causa de fatores atmosféricos, sendo a influência do Enos (El Niño Oscilação Sul) e da ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical. Assim a média acumulada para os municípios de Jardim do Seridó é 684,8 mm/ano e Caicó, 765,5 mm/ano. O clima da região, segundo a classificação de Koppen e do tipo Bsh'w, ou seja, quente e seco, com forte evaporação, Caicó, no sertão do Seridó tem clima semiárido com sete meses secos, sendo o trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril, como mostra a gráfico 2 (DINIZ; PEREIRA, 2015).

Gráfico 2 - Climograma Ombrotérmicos de Caicó/RN

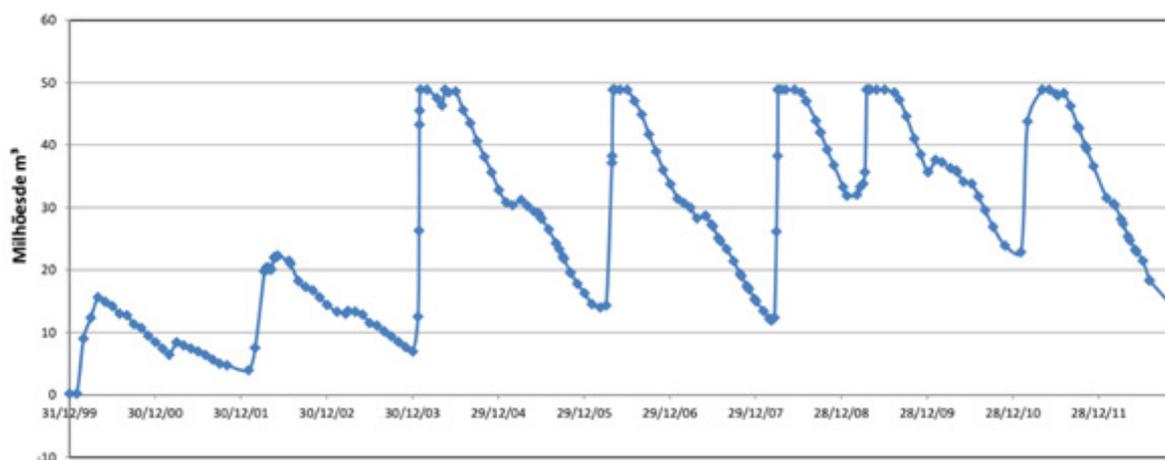


Fonte: Modificado de Diniz e Pereira (2015).

Hidrologia

Do ponto de vista hidrológico, a barragem Passagem das Traíras, em seus anos de operação apresenta nível elevado de sua capacidade volumétrica em grande parte dos períodos como demonstra o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Variação volumétrica ao longo dos anos de operação da barragem



Fonte: SEMARH (2019).

Desde sua inauguração, ocorreram 20 vertimentos na barragem, destes os cinco maiores foram nos períodos onde já havia conhecimento sobre as patologias em sua estrutura, como mostra a tabela 8, a barragem passou mais de 50 dias interrompidos vertendo em 5 ocasiões entre 2004 e 2011.

Tabela 8 - Informações de vertimento da barragem Passagem das Traíras

Data de referência	Cota	Área	Volume	Duração da vertimento no ano
02/02/2004	95	10.048.200	48.858.100	
01/03/2004	95	10.048.200	48.858.100	
17/05/2004	95	10.048.200	48.858.100	44 dias
01/05/2006	95	10.048.200	48.858.100	
10/05/2006	95	10.048.200	48.858.100	
01/06/2006	95	10.048.200	48.858.100	
01/07/2006	95	10.048.200	48.858.100	64 dias
02/04/2008	95	10.048.200	48.858.100	
03/04/2008	95	10.048.200	48.858.100	
17/04/2008	95	10.048.200	48.858.100	
06/05/2008	95	10.048.200	48.858.100	
12/06/2008	95	10.048.200	48.858.100	72 dias
15/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
16/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
28/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
30/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
27/05/2009	95	10.048.200	48.858.100	
01/07/2009	95	10.048.200	48.858.100	84 dias
02/05/2011	95	10.048.200	48.858.100	
01/06/2011	95	10.048.200	48.858.100	92 dias

Fonte: SEMARH (2019).

Embora atualmente a barragem esteja completamente seca, segundo a ANA (2019) em uma cheia milenar é possível que a barragem verta em 48 horas de precipitação. A seguir, a tabela 9 representa o tempo de retorno por meio de projeções (intervalo entre uma ocorrência e outra de acordo com Kurek, (2012)) das chuvas e o acumulado provável da precipitação em 1 dia, e a tabela 10 mostra a vazão estimada de vertimento em cheias com tempos de retorno variados.

Tabela 9 - Período de retorno por precipitação em 1 dia

Período de Retorno	Precipitações de 1 dia (mm)
T = 2 anos	53.3
T = 5 anos	73.1
T = 10 anos	87.4
T = 20 anos	102.3
T = 50 anos	123.1
T = 100 anos	140.0
T = 1.000 anos	204.8
T = 10.000 anos	288.1

Fonte: (ANA, 2019).

Tabela 10 - Tempo de retorno pela vazão

<i>Tr</i>	<i>Vazão</i>
<i>Anos</i>	<i>m³/s</i>
10	1.150
50	1.965
100	2.312
500	2.964
1000	3.315

Fonte: ANA (2019).

Sobre as características gerais da barragem estudada, apresenta-se uma síntese com suas especificações técnicas no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Informações gerais da barragem Passagem das Traíras

Localização					No município de São José do Seridó, a 22,0 Km da cidade de Caicó.				
Proprietário			CNPJ		Endereço				
Governo do Estado do Rio Grande do Norte- Secretaria de Recursos Hídricos-SEMARH/RN			010.668.96/0001-74		Rua Dona Maria Câmara 1984; Bairro Capim Macio; Natal-RH- CEP 59082-430; Tel: 084-3232 2411				
Código ANA		43	Outorga		Res. nº 309/ANA de 16/07/2012, publicado no DOU, seção 1 de 27/07/2012.				
Início Construção			1994		Término da Construção			1995	
Entidade Responsável pela Construção			D.E.R.- RN		Empresa Contratada para a Construção			EIT	
Bacia		Curso d'água barrado			Finalidade				
Rio Piranhas / Açú		Rio Seridó			Abastecimento / Irrigação / Perenização de rio				
Capacidade do reservatório		Área da Bacia Hidráulica			Área inundada		Cota da crista		
49,70 hm³.		1.000,42 Km2			1.042,90 ha		201,32 m		
Coordenadas			Tipo de barragem			Altura da barragem			
06°31'05" S e 36°56'51" W			Gravidade em Concreto (CCR)			25,50m			
Extensão do Coroamento			Cota do Coroamento			Largura do Coroamento			
429,74m			195,19			4,68			
Tipo do Vertedouro				Extensão do Vertedouro		Cota da Soleira Vertente		Cota da Bacia de Dissipação	
Crista em soleira livre, escoamento sobre degraus e bacia de dissipação com ressalto				130,14m		187,20m		78,70m	

Fonte: ANA (2015).

População

Apesar das adversidades naturais, vivem na região Seridó do estado quase 300 mil pessoas, representando 11% da população estadual, evidencia-se forte processo de urbanização em 68% da população seridoense, visto que em sua maioria residem na cidade. Inseridos na Microrregião do Seridó, os três municípios da área de influência da barragem Passagem das Traíras (Caicó, Jardim do Seridó, São José do Seridó), juntos possuem segundo estimativa de 2018, cerca de 84.551 habitantes. São José do Seridó é o menor deles em população e em área territorial, possui 174,5 km² e uma população estimada para 2018 de 4.602 pessoas, com um índice de urbanização de 78% da população total. Jardim do Seridó tem uma população estimada para 2018 de 12.395 pessoas, com um índice de urbanização superior a 81% da população total. Finalmente, Caicó, importante centro regional, possui uma população estimada para 2018 de 67.554 habitantes e uma área territorial de 1.228km², o que representa uma densidade populacional de 55 hab/km². De forma sintética, as tabelas 11 e 12 representam as características gerais populacionais da área de influência da barragem Passagem das Traíras (SEMARH, 2019).

Tabela 11 - População segundo censo demográfico IBGE 2010

Município	População Total IBGE 2010	População Urbana IBGE 2010	População Rural IBGE 2010
São José do Seridó	4.231	3.302	929
Jardim do Seridó	12.113	9.835	2.278
Caicó	62.709	57.461	5.248
Totais	79.053		

Fonte: SEMARH (2019).

Tabela 12 - Outros dados por município IBGE 2010, 2016 e 2018

Dados por Município	S. José do Seridó	Jardim do Seridó	Caicó
Área em km ²	174,5	367,6	1.228
Estimativa pop. Total 2018	4.602	12.395	67.554
Hab./km ² 2010	24,25	32,86	51,04
Escolaridade 6 a 14 anos - 2010	97,1	99,6	97,3
IDHM 2010	0,694	0,663	0,710
PIB Per Capita 2016	20.198,95	11.433,50	15.672,50

Fonte: SEMARH (2019).

Diante da caracterização geral da área de estudo, foi possível embasar as análises para que os objetivos a seguir sejam efetivados.

Operacionais

Nesta sessão serão explanados os procedimentos de campo e de laboratório. A abordagem deste trabalho é realizada a partir de cenários, necessitando de uma maior precisão na coleta de dados. Dessa forma, utilizou-se a técnica de aerolevanteamento com drone, para que a partir das imagens, da barragem e do vale do rio no município, fossem realizadas análises, como também a construção de cenários de inundação em Caicó/RN no caso de ruptura da barragem estudada.

Desse modo, o trabalho dividiu-se em duas incursões de campo. Primeiro, uma inspeção na barragem para verificar as patologias estruturais e compará-las aos laudos da ANA (figura 4), os dados obtidos foram utilizados para a confecção do índice de Estado Real da Barragem – ERB. Posteriormente, foi realizado uma incursão em Caicó/RN para fazer o sobrevoo com drone e visitar o entorno do Rio Seridó, ao longo de seu curso na zona urbana da cidade.

Figura 4 - Equipe realizando incursão na barragem.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Todavia, antes do sobrevoo, foi preciso utilizar o *software* *Dji Go* para a formulação do plano de voo, *in loco* na barragem. Em seguida, foi delimitada a faixa do Rio Seridó e os bairros do município de Caicó adjacentes ao rio. Para isso, foram realizados 2 aerolevantamentos no perímetro urbano da cidade, como mostra a figura 5.

Figura 5 - Equipe de campo realizando aerolevantamento.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Após a coleta de dados, o tratamento das imagens foi realizado em laboratório com auxílio do software QGis 3.10. Utilizando informações das curvas de nível (MDE – Modelo Digital de Elevação) extraídas de uma imagem do Satélite *ALOS/Sensor Palsar* e refinadas através do método de interpolação para 1 metro. A partir do dado de vazão da onda de cheia em caso de rompimento, foi realizado a modelização através da análise multivariada de *overlay e buffer* da área possivelmente atingida em caso de ruptura. Definiu-se que as cotas de volume de água de 50% equivalem a 25 milhões de m³ e a de 100% do volume de água equivalem a 49 milhões de m³, esses valores foram atribuídos para verificar o impacto dos danos nos diferentes cenários nas adjacências do rio Seridó. Cenário 1: a barragem com metade do seu volume; Cenário 2: a barragem em sua capacidade máxima de armazenamento.

Após definir as áreas para os cenários, foram verificados quais setores censitários do município estão dentro do perímetro das cotas de inundação dos cenários. Assim, com auxílio de informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi quantificado o número de pessoas exposta ao risco de impacto da onda de cheia.

Com auxílio de informações da Secretaria de Tributação de Caicó/RN, sobre o valor em R\$ (reais) do m² dos imóveis dentro do perímetro dos dois cenários, realizou-se o cálculo de possíveis perdas imobiliárias em valor monetário das edificações que estão dentro dos cenários da onda de cheia. Os cálculos foram realizados através do *Google Earth*, com a régua de metragem e, o valor dos imóveis foi multiplicado conforme o valor do metro quadrado da área em que está situado, para isso foi utilizada as informações dispostas na tabela 13.

Tabela 13 - Valor do M² dos imóveis por bairros em Caicó/RN

Bairro	Valor médio do M ²
Centro	R\$ 437,00
Barra Nova	R\$ 103,00
Samanaú	R\$ 103,91
Vila do Príncipe	R\$ 103,91
Boa Passagem	R\$ 103,91
Boa Vista	R\$ 83,13
Vila Altiva	R\$ 103,91
Darci Fonseca	R\$ 103,91
Paraíba	R\$ 149,62
Penedo	R\$ 124,69
Salviano	R\$ 34,05
João Paulo II	R\$ 21,79
Adjunto Dias	R\$ 21,79
Walfredo	R\$ 27,24
Recreio	R\$ 42,56
Raimundo	R\$ 21,79
Maynard	R\$ 103,91
Castelo Branco	R\$ 83,13
Paulo VI	R\$ 27,24
Ver. Antônio	R\$ 103,91
IPE	R\$ 83,13

Fonte: Elaborado pelo autor com base em SEMTF (2019).

Em decorrência das limitações do Plano de Contingência da Defesa Civil de Caicó/RN, realizou-se o levantamento das principais rotas de fuga em caso de ruptura da barragem, assim como os locais mais propícios a serem abrigos, hospitais com número de leitos para atender as vítimas, número de viaturas e contingente de Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Exército, Médicos, SAMU e Defesa Civil, COSERN, CAERN e Grupos de Escoteiros, para mensurar e agregar essas informações que poderão auxiliar o plano vigente.

Portanto, a viabilização dessa pesquisa foi dada através dessa série de procedimentos, os quais podem ser aplicados para outras áreas, porém seguindo as especificidades dos lugares.

4

A OPERACIONALIZAÇÃO DO RISCO NA GEOGRAFIA À LUZ DA GESTÃO DE BARRAGENS NO BRASIL

4.1 O Espaço geográfico e a relação sociedade-natureza

Dentro do arcabouço teórico-metodológico da ciência geográfica, a dicotomia entre o determinismo alemão e o possibilismo francês é posta como duas correntes opostas na ciência. A primeira é abordada no sentido da natureza ser um meio influenciador na vida do homem, e a segunda é apresentada como o homem sendo o agente de transformação da natureza através da técnica para atender suas necessidades. (SUERTEGARAY, 2002).

Na atualidade o objeto de estudo da Geografia é o espaço geográfico. Assim, o espaço geográfico é entendido através da sobreposição de diferentes conceitos e categorias (território: análise política; região: o econômico ou cultural; paisagem: natureza; e lugar: subjetividade humana) que são base para sua concepção. A partir da leitura dos conceitos e categorias, é possível o entendimento de como esses fatores contribuem para a análise do espaço geográfico, compreendendo a relação entre a natureza e o homem (SUERTEGARAY, 2002).

Desde o início das incursões de campo de Humboldt, a geografia trata em suas análises sobre a natureza. A partir da geografia francesa vidaliana, a natureza é abordada em consócio com o construto social, dado através da tecnificação dos modos do homem de lidar com a natureza. Meio a isso, a natureza é tida como algo que não está relacionado ao homem, pelo contrário, a natureza pode ser moldada e produzida se estiver em contato com a presença humana (SUERTEGARAY, 2002).

Para Santos (1997), é preciso pensar a natureza como algo não somente natural, que é fruto de seus autos-processos, é preciso pensar a natureza como algo passível de intervenção humana. É o caso do agronegócio com os processos produtivos em larga escala, dessalinização de água, perenizarão de rios intermitentes e até mesmo clonagem animal.

A relação entre homem e natureza é lastreada por meio da técnica, em sua origem mais rudimentar, quando o homem passou a caçar e domesticar animais na pré-história. Para Santos (1997) a técnica é um conjunto de ferramentas ou instrumentos que são empregados pelo homem, no sentido de viabilizar suas ações no meio.

Desde a antiguidade, a técnica é usada no seguimento de construção de barragens, desde barragens de aterro que é o caso da barragem Sadd-El-Kafara no Egito 2.650 a.C., passando pela revolução industrial com a consolidação dos modos de construção de barramentos com concreto armado (SOUZA, 2018).

A materialização da técnica é um construto humano no espaço geográfico, que serve de base para possibilitar as relações sociais. Para Santos (1997), a existência da técnica, materializada por meio dos objetos instalados no espaço são fundamentais para responder aos anseios fundamentais do homem, tais como beber, comer, morar e sociabilizar. Contudo, a análise da técnica pela técnica não significa nada, esta deverá estar relacionada às ações de configuração do espaço geográfico, através da concretização dos objetos.

Santos (1997) destaca que toda técnica empregada é dada por meio das ações, sejam elas no âmbito do campo imagético, até a consolidação mecânica da técnica em si. Assim pode-se destacar as fases de pré-projeto, de construção e operação de uma barragem, como essa consolidação das fases da técnica definida pelos atores sociais que as produzem e garantem sua manutenção. Então pode ser dito que, a ação ocorre de forma sistemática e tem papel preponderante no arranjo da vida coletiva e na viabilização da vida individual.

Baseado em Santos (1997), em face a realidade deste trabalho o conceito miltoniano de tecnoestrutura, pode ser empregado ao objeto estudado, haja vista a barragem Passagem das Traíras possuir uma função social e estratégica, dentro do sistema estadual de recursos hídricos para a microrregião do Seridó Potiguar.

Aqui abordaremos os conceitos de objetos e ações da teoria miltoniana para operacionalizar nossa análise. Sendo as ações um processo dotado de um propósito, uma intencionalidade e objetos é algo que remete a fixos no espaço geográfico. Com base no autor supracitado, para o estudo de um objeto técnico, deve ser levado em consideração todo o entorno desse objeto e suas relações. A barragem é uma ação materializada no espaço geográfico, possuindo finalidades e estabelecendo relações com os atores sociais e objetos que estão nas suas adjacências. Assim a barragem pode ser apresentada como um objeto de cunho misto, composto de elementos técnicos e ao mesmo tempo geográficos não dissociados, dotado de intencionalidades (SANTOS, 1997).

Essa relação do emprego das ações por meio da técnica para a criação de objetos, no caso aqui a barragem, tem-se como produto o espaço geográfico. Este que para Santos (1997) é apresentado como “um conjunto indissociável de objetos e ações”. Assim segundo uma lógica de organização dos objetos – apresentada pela barragem na alteração da dinâmica natural do Rio Seridó – e pelas ações que isso pode ocasionar, dada à importância para no abastecimento e contenção de cheias no Rio Seridó, o objeto estudado com esses elementos correlacionados (objetos e ações) é caracterizado como um elemento técnico de transfiguração do espaço geográfico.

Diante disso, a existência da barragem como um objeto técnico marca o espaço geográfico como palco de modificações do meio natural, pautada pela relação da sociedade e natureza por meio da técnica. Por esse motivo, Santos (1997, p. 51) destaca o conceito de configuração territorial ou configuração geográfica, como: “conjunto formado pelos sistemas naturais de um país ou numa dada área e pelos acréscimos que os homens superimpuseram a esses sistemas naturais”. Diante desse conceito, pode-se induzir que a configuração territorial do Rio Seridó foi alterada, a partir do momento em que foi construída uma barragem na calha do rio, alterando todo padrão de drenagem, aportes de sedimento, o aumento da produção agrícola através da irrigação, além da perenização do rio que é classificado como intermitente. Diante do exposto, a modificação do meio natural através da técnica no seguimento barragista é uma forma de garantir a segurança hídrica as populações de regiões com irregularidades dos regimes pluviométricos, como é o caso da Barragem Passagem das Traíras.

Nesse contexto, Santos (1997) aborda que os objetos são atores e que um objeto quando se torna sujeito no espaço geográfico, passa a adotar comportamentos, visto ele ser parte de um sistema funcional que obedece a diretrizes próprias pré-concebidas. Em outras palavras, a Barragem Passagem das Traíras e o Rio Seridó possui comportamentos próprios de sua dinâmica natural (o rio) e de dinâmicas intempéricas (barragem). Além disso, esses objetos possuem regulamentações previstas na lei 12.334/10 sobre segurança de barragens e a lei das águas 9.433/97. De acordo o autor supracitado, o fato de haver uma organização dos objetos concomitante ao ordenamento das ações não necessariamente implica que entre eles haja uma relação automática como é o caso das leis e normas regidas pela lei em questão. Assim, esse intermédio jurídico e a intercessão técnica se complementam, o espaço geográfico é regulado em detrimento de seu conteúdo técnico, mas também pode exercer o papel de regulador das ações e dos objetos dotados da técnica.

Considerando que a materialização do território é originada pelos objetos tecnificados dispostos, o território surge como recorte espacial usado pelo homem, assim pode ser compreendido também por espaço geográfico. É importante dizer que o território está ligado ao debate do poder, da dominação, não dissociando-se das relações sociais conflituosas existentes no palco do espaço geográfico. Aqui destaca-se esse debate dos conflitos na área de estudo pelo risco de rompimento da Barragem Passagem das Traíras, de um lado o Estado com suas normas e do outro lado, inúmeros seguimentos da sociedade civil organizada cobrando a reforma da barragem por medo de um desastre (SANTOS, 1997).

Ainda com base na teoria de Santos (1997), para se entender o espaço geográfico, deve-se pensá-lo enquanto totalidade, o qual os objetos possuem características próprias que vão contribuir para a sua formação. Com base nos conceitos de Processo, Estrutura, Função e Forma de SANTOS (1985) aplica-se estes ao objeto de estudo.

Sendo o Processo, a ação que se faz para alcançar o resultado almejado, aplica-se ao objeto de estudo em questão, de modo que os processos ligados a barragem Passagem das

Traíras estão relacionados com a parte de projetos executivos das obras; as tomadas de decisões do órgão gestor de águas a respeito dos planos de operação da barragem; o plano de ações emergências; e do plano de contingência em caso de rompimento. O conceito de Estrutura, é empregado de acordo com o modo que um objeto está organizado, como está relacionado entre si. No objeto estudado, aplicou-se esse conceito com a estrutura do ponto de vista normativa legal e também do ponto de vista físico de sua estrutura em si, relacionada com o sistema de abastecimento de água no Seridó. A Forma, enquanto conceito, é abordada como algo ligada ao campo do visível, sua morfologia espacial. Para a Barragem em estudo a forma é dada pelo seu tipo, um objeto de concreto compactado a rolo, com vertedouro livre com amortecimento em degraus no paramento de jusante. Quanto ao conceito de Função, ocorre de acordo ao desempenho das atividades ou tarefas de um determinado objeto, na barragem a função é representada pelo abastecimento da população, pesca, irrigação e controle de inundações.

À vista disso, as categorias de análise que serão operacionalizadas na sequência, se tornam categorias analíticas importantes para entender o objeto de estudo de maneira integrada. É importante destacar a importância da leitura dos cinco elementos do espaço geográfico para que as relações que o objeto de estudo tem com os objetos ao seu redor possam ser entendidas, como é o caso da cidade de Caicó/RN à jusante da barragem.

Para Santos (1985), os elementos que compõe o espaço geográfico são: os homens; as firmas; as instituições; o meio ecológico e as infraestruturas. Os Homens conceitualmente são caracterizados na qualidade de agentes de transformação por meio do trabalho. Para o presente trabalho, essa categoria está representada pela população de Caicó/RN que vive nas adjacências do Rio Seridó. As Firmas têm como objetivo a produção de serviços, ideias e bens, para isso destacamos o comércio de Caicó/RN que localiza-se nas proximidades do rio. As Instituições são destacadas por entidades que são provedores de normas ou que seguem essas normas, nesse sentido, destacamos a Prefeitura de Caicó, a Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros, a Polícia Militar, o 1º BEC do Exército, os Hospitais e a Universidade. O Meio ecológico é destacado pelos elementos de base natural, destacados neste trabalho pela calha do Rio Seridó, a geomorfologia do vale, a topografia, a vegetação de mata ciliar e o lago artificial da barragem. Por fim, as Infraestruturas são todos os objetos materializados pelo trabalho humano, apontamos na área de estudo as casas, as escolas, hospitais, creches, equipamentos religiosos e de lazer que estão nas áreas circunvizinhas do Rio Seridó em Caicó/RN.

Baseado nesse encadeamento lógico de categorias analíticas, o objeto de estudo e a área de estudo poderão ser empiricizados para que a análise do fenômeno seja feita de forma que contemple a totalidade. De acordo com Santos (1997), para que o espaço geográfico seja entendido como uma totalidade, é necessário entender as categorias e os cinco elementos formadores do espaço que são meios para entender as partes do objeto de estudo e sua relação no espaço geográfico, de forma setORIZADA.

4.2 O risco tecnológico enquanto uma criação humana

O risco é algo inerente à vida humana, somente existe risco se houver pessoas expostas a este. À luz disso, desde o período pré-histórico em que o homem passa a buscar novas formas de sobrevivência através das condicionantes naturais, ele vive sob risco, sejam eles provenientes nos momentos de caçar, até mesmo na coleta frutos que podem ser venenosos ou águas contaminadas para o consumo.

Com a evolução da técnica, os riscos foram se modificando, agregando novas abordagens ameaçadoras ao homem. Com a modernidade surgem novos campos do risco como os econômicos, biológicos, tecnológicos e psíquicos. Porém, antes da presença dessas novas categorias ligadas ao conceito de risco, existia para a ciência somente os riscos naturais ALEMEIDA (2010).

Os primeiros estudos sobre essa temática surgem através de questionamentos como: até que ponto a ação humana poderia interferir nas dinâmicas naturais e causar efeitos colaterais ao meio?. Nesse sentido, a geografia passa a estudar essa relação dos danos causados pelo homem e sua magnitude na natureza (GREGORY, 1985).

De acordo com o Gregory (1985), existem três tendências que fizeram com que os estudos dos riscos fossem alavancados. Primeiramente, existia a preocupação em estudar os eventos extremos causadores de danos, no sentido de criar estratégias de controle, para lidar com esses eventos. Em segundo lugar, os estudos passaram a ter o caráter de diagnósticos socioeconômicos dos eventos, estes eram abordados como acasos naturais de grades potenciais destrutivos. O terceiro fator remete a percepção das pessoas para com os eventos, e essa percepção era importante para formular decisões no sentido de planejar e gerenciá-los.

Os primeiros estudos voltados aos riscos estavam formulados nas questões naturais como: seca, vulcões, terremotos, furacões e cheias de rios. Cabe destacar que para a época já existia a noção que a magnitude do desastre estava ligada também a fatores sociais e não somente aos naturais. As pesquisas no campo dos acasos terrestres na época são as pioneiras no estudo dos riscos, com a obra *The environment as Hazard*, escrita por Burton, Kates e White em 1978 (GREGORY, 1985).

A partir desses trabalhos, novos estudos ganharam forma na geografia. O risco passa a ser estudado de forma sistêmica, com outras categorias/conceitos como perigo e vulnerabilidade. Aqui destacamos o conceito de risco com base em Castro (2005), onde o risco remete à probabilidade do encadeamento dos processos no espaço-tempo, porém não pré-determinados a esses processos podendo causar danos à vida humana. O autor frisa que dentro do conceito de risco existem outras subdivisões quando o adjetiva-se, por exemplo: risco ambiental, risco tecnológico, risco natural, risco social, risco biológico, risco econômico.

Ainda para a UNISDR (2009), o risco categoriza-se em duas frentes, uma ligada à aleatoriedade como um acidente; e a outra que remete ao meio técnico e seus efeitos, que tem como danos e perdas um determinado tempo em uma área.

O significado da palavra risco é destacado como “Perigo; probabilidade ou possibilidade de perigo: estar em risco”, de acordo com o Dicionário Aurélio Buarque de Holanda Ferreira (FERREIRA, 2010). Para alguns autores como Veyret (2007), o risco é categorizado e conforme sua vertente ele ganha um significado específico. Trazendo o risco para a ciência geográfica, poderíamos aplicar o conceito empregado pela autora Veyret (2007) supracitado quando afirma que “risco é a percepção de um indivíduo da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, cujas consequências são em função da vulnerabilidade intrínseca desse grupo ou indivíduo” (VEYRET, 2007, p. 24).

A equação global é posta por $R(f) = P(\text{perigo}) * V(\text{vulnerabilidade})$. O Risco sendo o produto dos Perigos, normalmente agentes que ameaçam de forma potencial pessoas ou estruturas, já a Vulnerabilidade é a capacidade de resposta, adaptação de pessoas ou estruturas (VEYRET, 2007).

Esse conceito se torna complexo visto que as características da sociedade ao longo de seu processo evolutivo ganharam novas ameaças. Conforme afirma ALMEIDA (2010), esse movimento possibilitou ao homem uma vida marcada de incerteza, medo e insegurança.

Para o que o conceito de risco possa ser operacionalizado, é importante destacar a importância dos conceitos de perigo e vulnerabilidade. Para White, Kates e Burton (2001), o perigo enquanto conceito está relacionado diretamente ao conceito de risco, visto que advém dos primeiros estudos dos *Hazards* Mas isso não quer dizer que os dois conceitos sejam sinônimos. É que antes os estudos dos riscos eram concebidos pelos estudos dos *Hazards*, que na tradução remete a perigo. Deste modo, o perigo refere-se ao agente causador de danos materiais e imateriais. Complementando o debate, Veyret (2007) aborda que o termo perigo “é, às vezes, empregado também para definir as consequências objetivas de uma área sobre um indivíduo, um grupo de indivíduos, sobre a organização do território ou sobre o meio ambiente. Fato potencial e objetivo” (VEYRET, 2007, p. 24).

Para a abordagem do risco na geografia, os pesquisadores também abordam a temática da vulnerabilidade. Sendo essa atribuída a função de elucidar a compreensão dos fatores que acometem as pessoas aos riscos (CUTTER, 1993). Nesse sentido o estudo da vulnerabilidade ganha força e uma série de normas públicas foram criadas com intuito de reduzir os riscos de desastres, a partir disso foi criado o IDNDR – *International Decade for Natural Disaster Reduction*, esse foi um importante meio de reduzir os efeitos causados por eventos ambientais, fundado em 1989 através da Assembleia Geral das Nações Unidas (MUNASINGHE; CLARK, 1995; SMITH, 2001).

Em consonância a abordagem de Veyret (2007) para a vulnerabilidade, apresenta-se

aqui a formulação do ISDR – *International Strategy for Disaster Reduction*, a qual trata a vulnerabilidade como uma série de condições e processos que resultam de origem físicas, sociais, econômicas e ambientais. Ligada a susceptibilidade de uma comunidade ao impacto de perigos (BOGARDI, 2004, p. 362).

Dentro do estudo da vulnerabilidade, existe os conceitos de exposição, capacidade de lidar, capacidade de se adaptar e resiliência. Assim, a vulnerabilidade é conceituada por Pelling (2003). Destaca-se aqui a resiliência, empregada por Blaikie et al. (1994) como uma ferramenta de adaptação e resposta a um determinado evento.

Nesse contexto, pode ser dito que o emprego da vulnerabilidade no estudo dos riscos, o torna um conceito de cunho social. De acordo com ALMEIDA (2010), o risco é atribuindo a capacidade de percepção de um indivíduo ou grupo de perceber de forma empírica uma possível ocorrência de evento que venha a trazer prejuízos.

Um outro conceito importante a ser destacado nesse debate é o de desastre, esse confundido com *o de catástrofe*. Sendo assim desastre é um evento condensado no espaço e no tempo, acontecendo em pontos isolados em tempo abrupto. Os desastres podem acometer as populações expostas à destruição de serviços básicos, atuando de forma inesperada. Porém existem desastres como a seca, que são graduais no espaço e no tempo. As catástrofes estão relacionadas à magnitude dos eventos, são mensurados de grandes dimensões espaciais e temporais, podendo causar muitos danos a vidas humanas, perdas ambientais e econômicas (QUARANTELLI, 1998).

Ainda dentro do debate do risco, Veyret (2007) relata que há uma gama de tipos de riscos que podem ser tratados pela Geografia. Dessa forma, para operacionalizar melhor a análise do pesquisador, este poderá adotar a adjetivação que melhor se enquadrar em seu objeto e área de estudo.

Esta pesquisa tomará como norte a categoria do risco tecnológico para a análise. De acordo com Veyret (2007), os riscos tecnológicos são abordados como poluição crônica (fenômeno perigoso que ocorre de forma recorrente, às vezes lenta e difusa) e poluição acidental (explosões, vazamentos de produtos tóxicos, incêndios).

Embora a autora não cite questões de falhas técnicas em barragens de água ou rejeitos, como riscos tecnológicos, ao relacionar o termo tecnológico com o de técnica, tentamos fazer o exercício de incluir essa abordagem de barragem nesse conceito, tentando uma revisão futura deste conceito.

O risco tecnológico é tratado como o risco presente da ocorrência de parâmetros técnicos e de segurança mal-empregados. Para entender o risco tecnológico, faz-se necessário buscar e compreender a base etimológica desse conceito. Assim, a palavra “técnico” vem da origem grega ‘*tekhnikós*’, tendo a equivalência do latim “*ars*”. Visto isso, percebe-se etimologicamente que a técnica adicionada a “*ars*” gera o produto de criar ou construir algo por um sujeito.

Destaca-se que as habilidades desses sujeitos (homens) são capazes de criar grandes obras como pontes, barragens e edifícios de grandes dimensões. Portanto, caso uma barragem rompa, esse evento é considerado um desastre tecnológico, visto que, faltou o emprego da técnica correta na construção desses equipamentos (LIEBER; LIEBER, 2005).

Nesse contexto, Souza (2018) coloca que as atividades humanas podem ser passíveis de falhas, essas falhas são originadas pela frágil precisão dos procedimentos técnicos, podendo assim ocasionar insegurança em grandes estruturas como as barragens, e fazê-las ruir.

Ainda para o autor, é possível diferenciar os tipos de cenários de riscos tecnológicos e a magnitude dos processos desse evento. Por exemplo, existe diferença entre um vazamento de um reator nuclear, de uma ruptura de uma barragem ou de uma queda de uma ponte, meio a isso, os processos danosos desses desastres tecnológicos estão acometidos pela negligência da técnica, seja na construção, operação ou manutenção de dado objeto espacial. Assim essas falhas podem ocasionar danos a vidas humanas, ao meio ambiente e a economia (SOUZA, 2018).

Muito embora a temática de desastres tecnológicos esteja em pauta recentemente, já existiram vários casos desse tipo de desastre na Antiguidade. Pode-se destacar a ruptura da barragem Sadd-El-Karafa, localizada no Egito, aproximadamente 2.650 a.C. (MELO, 2014). Pelos registros históricos, a barragem possuía a capacidade volumétrica de 570.000 m³, e como não possuía vertedouro, após uma grande cheia a estrutura galgou (quando o nível da água passa a crista do maciço e provoca erosões nos taludes, ocasionando a formação de brechas contínuas), formando uma grande lacuna na área central do maciço (PIMENTA, 2009). Ainda hoje é possível constatar as ruínas das ombreiras do maciço da barragem, representada pela figura 3.

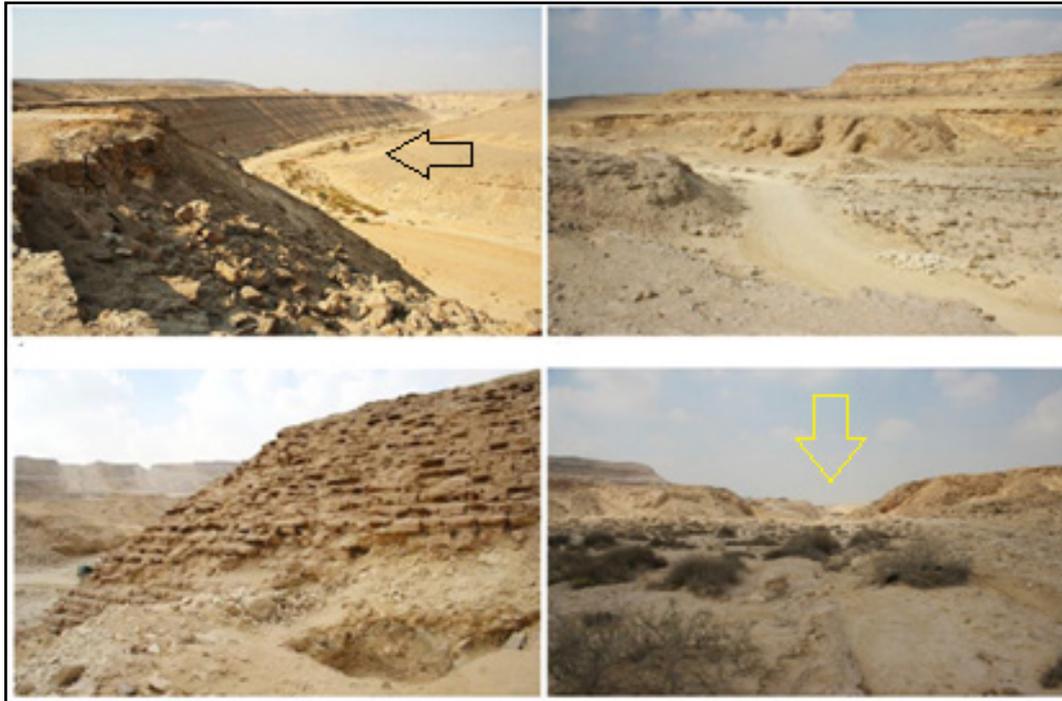
O objetivo da figura 6 é retratar o dimensionamento da barragem Sadd-El-Karafa: a imagem (a) denota a extensão do maciço de 108 metros; a imagem (b) mostra a altura do barramento de 14 metros; a imagem (c) mostra bem o tipo de material feito no enrocamento de aterro; e a imagem (d) mostra o tamanho da fenda aberta após galgamento na barragem.

É importante destacar que a Sadd-El-Karafa foi o primeiro desastre tecnológico associado a barragens da história. Entretanto, existiram outros casos de ruptura de barragem no mesmo período, como é o caso da barragem Marib, que represava as águas do Rio Danah no Iêmen, possuía avançado método de controle de operação, com a presença de dispositivos de descarga. Acerca de 1.500 a.C., essa barragem passou por melhorias em sua estrutura, seu maciço possuía dimensões de 20 metros de altura por 700 metros de coroamento.

O talude dos paramentos era composto por enrocamento (SCHNITTER, 1994). Ainda, a referida barragem possuía um moderno sistema hidromecânico, com a tomada d'água feita de alvenaria de rochas, tendo o vertedouro de 13 metros acima da cota do rio e 50 metros de comprimento. Diante de toda essa modernidade técnica para a época, a barragem de Marib

não suportou a cheia do rio e galgou diversas vezes, sendo desativada após 2.100 de operação (PIMENTA, 2009).

Figura 6 - Barragem Sadd-El-Karafa, no Egito



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Structurae (2008).

De acordo com Souza (2018), em todo o mundo já aconteceram 73 casos de ruptura de barragens, com o total de 250.005 óbitos, desses óbitos, 1.267 ocorreu no Brasil em 17 casos de ruptura. Os casos mais emblemáticos no Brasil foram os da ruptura da barragem de Orós no Ceará e Mariana e Brumadinho em Minas Gerais.

Diante do exposto, deve-se considerar que o risco é um produto da ação humana, sobretudo o risco tecnológico, em decorrência da negligência da técnica na construção de algum objeto espacial. Assim, a grande maioria dos casos de rompimento de barragens desde a antiguidade são provocados por algum tipo de falha humana, ressaltando a importância do debate na formulação de projetos, além da operação e manutenção de barragens por equipes especializadas, no sentido de prevenir e mitigar os riscos de novos rompimentos de barragens.

4.3 Onda de Cheia e Tempo de Resposta

De acordo com Mascarenhas (1990), o conceito de onda de cheia remete a um tipo de escoamento tridimensional, apresentando variação significativa do ponto de vista hidráulico

em um dado espaço de tempo e deslocamento. Ainda para o autor, a onda de cheia é dada como um fenômeno hidráulico complexo e de difícil caracterização matemática.

Um outro conceito importante é o de tempo de resposta, esse muito reverberado no meio dos profissionais de proteção e defesa civil, assim, tempo de resposta é um indicador de tempo usado para estimar o tempo de uma ação de resposta ao evento desastroso, considerando o tempo inicial da deflagração do evento até o tempo da chegada de equipes de salva-guarda CICONET (2015).

A onda de cheia é o volume de uma coluna de água, que se desloca de um barramento rompido, em direção à jusante pela calha do rio. Essa onda tem uma enorme energia hidráulica capaz de arrasar grandes áreas no curso do rio, tornando-se um perigo para cidades que estão no vale a jusante de uma barragem.

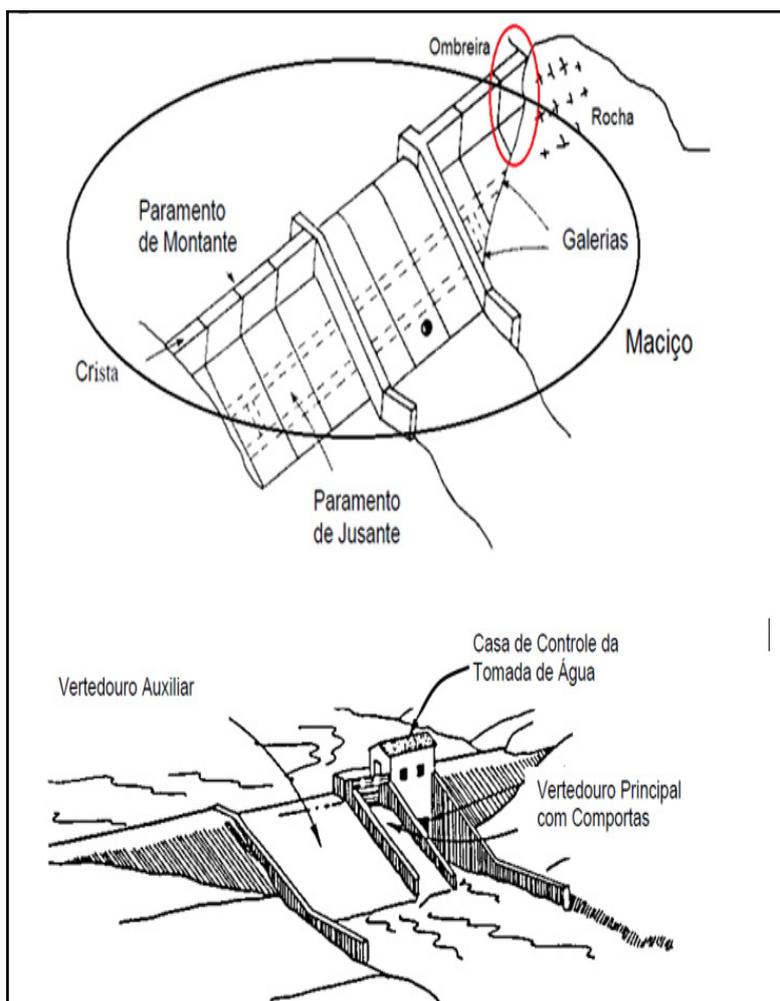
É o caso do município de Caicó/RN, distante cerca de 17 km a jusante da barragem Passagem das Traíras. Como constatado neste estudo, a barragem encontra-se com anomalias em sua estrutura, representando um grau de risco de Emergência. Caso seu volume aumente, poderá romper-se, nessa perspectiva, a ruptura causará uma onda de cheia que poderá ocasionar um desastre para a cidade de Caicó/RN.

Para estimar o número de pessoas expostas ao risco de ser atingidas pela onda de cheia advinda da barragem Passagem das Traíras, foi confeccionada uma cartografia base, com os setores censitários de Caicó, situados nas adjacências do rio Seridó. A figura 25 traz informações do número de pessoas que vivem em cada setor, dado imprescindível para quantificar o número de pessoas em cada cenário de inundação.

4.4 Componentes de uma barragem de concreto

Para que se possa entender melhor os termos que serão usados nas discussões dos resultados e na confecção dos índices, se fazem importante o conhecimento dos componentes de uma barragem de concreto, sejam eles componentes gerais ou da hidromecânica. Assim descritos na figura 7 a seguir.

Figura 7 – Croqui dos componentes de uma barragem



Fonte: Adaptado de MIRANDA (2016).

4.5 O panorama das barragens no mundo e no Brasil

O surgimento e evolução técnica no modo de construção das barragens estão marcadas ao longo da história da humanidade. Tais estruturas sempre tiveram o papel de prover água ou controlar cheias, após a industrialização, passaram também a servir como matriz energética e piscicultura (SCHNITTER, 1994).

No que tange o conceito de barragem, o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB, 2013), aponta que é uma barreira confeccionada artificialmente com a finalidade de represar água ou demais líquidos, rejeitos ou detritos. Sendo tanto para armazenamento como para controle. Ainda para o Comitê, a origem da palavra barragem descende da língua francesa, sendo “*barrage*”, a partir do século XII. O prefixo “*Barre*”, do francês, e “*Barra*” do latim, que significa “travessar, trancar de fechar porta”.

O conceito atualmente definido de barragem, trata-se de uma estrutura construída entre margens de um rio ou talvegue, com objetivo de armazenar água criando um reservatório de contenção. Sendo uma estrutura de controle e de descarga ligando um nível de água superficial de montante para jusante (HULSING, 1968; BRASIL, 2002).

A primeira e segunda revolução industrial trouxeram consigo uma alta demanda por água no seguimento fabril, de modo que esse fato alavancou o processo de construção de barragens em todo o mundo (VERÓL, 2010).

De acordo com ICOLD (2014), entre os anos de 1950 a 1980, teve-se um *boom* no surgimento de barragens, no período entre 1970 a 1979 existia 7.511 barragens catalogadas pelo órgão. Face a isso, atualmente existem 39.188 grandes barragens no portfólio do painel internacional, destas, 1.431 estão situadas no Brasil.

Cabe destacar que ainda existe no mundo cerca de 768 milhões de pessoas com problemas relacionados ao acesso à água potável. A agenda da água deve ser encarada como um direito essencial a todos, porém estamos muito longe de conseguir que esse direito chegue para todos, somente cerca de 3,5 bilhões de pessoas tem acesso à água, sendo destes 2,5 bilhões sem condições sanitárias básicas. Além disso, 1,3 bilhões de pessoas não têm acesso à energia elétrica (ONU, 2014).

Ainda segundo dados da Organização das Nações Unidas, há projeções em que até o ano de 2030, tenha-se o aumento da demanda de alimentos em 35%, seguindo do aumento da demanda de 40% de água, além do aumento da demanda em 50% no consumo de energia elétrica.

Fatores como as mudanças climáticas corroboram para as alterações dos regimes de precipitações, causando falta de água em algumas regiões, o que ocasiona falta de energia, perda de safras, de rebanhos e até falta de água para dessedentação. É nesse sentido que a construção de barragens é colocada como uma ferramenta de adaptação humana de convivência com as condicionantes ambientais, portanto esse tipo de infraestrutura se torna de fundamental importância para a população da região semiárida.

Pensando na questão climática e da seca na região nordestina, há um debate muito antigo nesse contexto, mais precisamente desde o Brasil Império. Discutia-se a possibilidade do levantamento de informações acerca das localidades do nordeste que mais sofria as consequências da seca na época. Dessa forma, uma comissão de profissionais a mando do governo central foi ao nordeste para tratar, desse caso em questão (CAMPOS, 2014).

Ainda para o autor supracitado, ao regressar, a comissão elaborou estudos e encaminhou ao governo informando a necessidade da adoção de mecanismos de combate à seca, sendo o programa de açudagem a maior delas, a qual viabilizava a construção de infraestruturas hídricas no Nordeste para provimento de água para a população.

As obras foram iniciadas, todavia, no ano de 1879 a comissão foi dissolvida, retornando

apenas em 1889 com a instituição da República Velha, a partir disso a agenda da construção de açudes retoma a ordem do dia (SILVA, 2012).

Cabe destacar que no período da República Velha, os governantes não simpatizavam muito com a ideia de uma comissão de pesquisadores realizar os levantamentos técnicos, isso em função da centralização das informações na mão de poucos. Nesse sentido, foi articulado a criação de órgão que pudesse de fato estudar permanentemente as questões do nordeste voltadas a seca e a busca por soluções. A partir disso, surge a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), tal instituição é o marco legal e institucional na política permanente de enfrentamento as secas (CAMPOS, 2014).

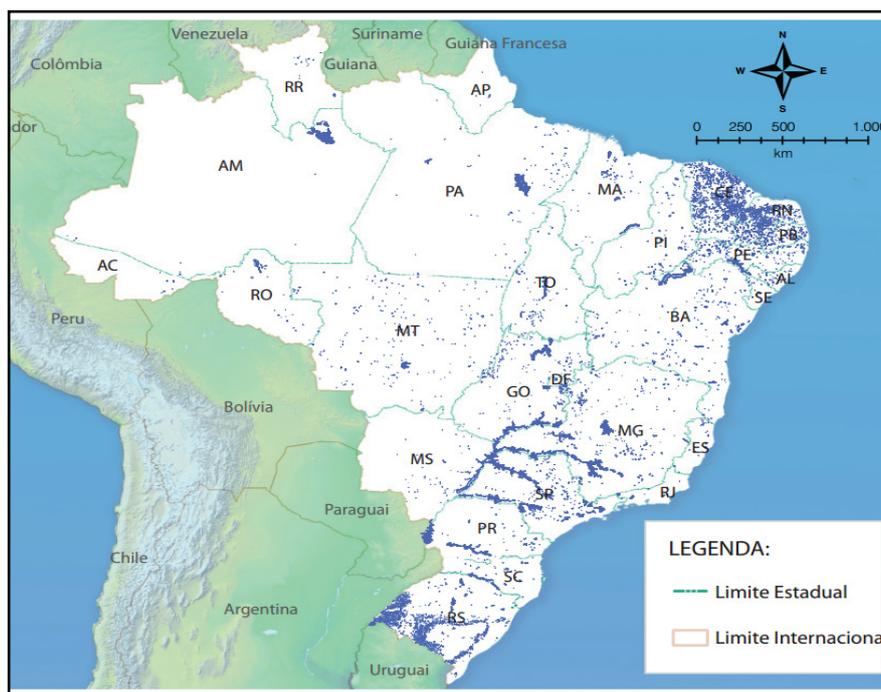
Em 1919 por meio de decreto presidencial, o IOCS foi federalizado e passou a ser a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), logo mais, em 1945, a Inspetoria Federal tornou-se uma autarquia, surgindo o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) (SOUZA, 2018).

Para Souza (2018), o funcionamento das três instituições ao longo dos anos, contribuíram para o mapeamento de áreas mais vulneráveis à seca no país, de forma que esses estudos serviram como um norte para dar uma nova perspectiva ao nordeste, no que tange a construção de infraestruturas voltadas ao armazenamento de água.

A fundação de Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), veio à tona com o debate sobre o desenvolvimento da região, porém isso refletia na questão da seca, o que era um atraso para a região. Assim, após a Sudene, a política de açudagem ganhou ainda mais força, visando a garantia da segurança hídrica, implicando na geração de renda e fomento socioeconômico.

Como herança de todas essas políticas de “combate à seca”, o semiárido brasileiro detém uma rede de açudes da ordem de centenas de milhares. É possível notar que a maioria dos espelhos d’água são na região nordeste, podendo ser observado na figura 8 a seguir.

Figura 8 - Rede de reservatórios do Brasil



Fonte: BRASIL (2011).

Dentro do contexto da política de açudagem, o Estado do Rio Grande do Norte, recebeu as obras e inaugurou o açude Gargalheiras em Acari e o Itans em Caicó como os principais reservatórios na época de 1950. Esses reservatórios estão na bacia hidrográfica do Rio Seridó e contaram com modernas técnicas de engenharia civil em suas construções (SILVA, 2012).

Com o grande volume de água advindos do vertimento do Gargalheiras e do açude de Cruzeta/RN, a descarga de água na calha do rio Seridó era grande, assim causando problemas de inundações. Além disso, ao passar os períodos de cheia, os municípios de São José do Seridó e Jardim do Seridó ficavam com o fornecimento de água comprometidos em algumas comunidades, além da ausência de água para agricultura.

Dessa forma, surge a necessidade de construir uma barragem para reter as águas do rio Seridó e controlar por meio de perenização à jusante as descargas de água no rio. Assim, no ano de 1994 as obras da barragem Passagem das Traíras foram iniciadas e cem dias após o início das obras, de propriedade da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, a estrutura foi inaugurada pelo então governador do Estado Vivaldo Costa.

Construída pelo Departamento Estadual de Estradas e Rodagem do RN em consórcio com a COTEC – Engenharia, a barragem é do tipo concreto compactado a rolo com vertedouro de soleira livre, com a capacidade de armazenamento de 49 milhões/m³ a qual teve seu primeiro vertimento no ano de 2004 (SEMARH, 2019).

Após mais de 20 anos de operação, a barragem nunca passou por reformas, até que

técnicos da Agência Nacional de Águas encontraram anomalias estruturais nos anos de 2005 e 2015. Logo mais, em 2018 e 2019, surgiram novos relatórios que motivaram o presente estudo de risco dessa estrutura.

4.6 Diretrizes legais de gestão de risco em barragens

Para que o risco em barragem seja gerenciado, é preciso considerar alguns fatores de maneira integrada, tais como o planejamento; a emergência; a decisão; a comunicação; e a revisão que são elementos integrantes do gerenciamento do risco. Nesse sentido, para que esses objetivos de sistematização sejam alcançados, é preciso que os países criem um acervo de normas para auxiliar as decisões e gerenciar os riscos ligados à segurança de barragens (PIMENTA, 2009).

Do ponto de vista internacional, foi criado o Comitê de Segurança de Barragens, constituído por 28 países, essa organização criou o do boletim *Risk Assessment in Dam Safety Management*, publicando a lista com as normas técnicas de avaliação de riscos em barragens. De acordo com o CIGB (2005), O levantamento obteve baixa representatividade, visto que somente 60% dos 82 países membros da Comissão Internacional de Grandes Barragens - CIGB participaram do levantamento.

A seguir, o quadro 2 denota as informações coletadas no levantamento realizado pelo CIGB, acerca das técnicas abordadas pelos países no seguimento de segurança de barragens.

Quadro 2 - Informações feitas a partir do levantamento do CIGB

Número de países membros da CIGB (à data da realização do inquérito)	82
Número de países membros do Comitê de Segurança de Barragens	28
Número de países aos quais foi enviado o inquérito relativo à prática das atividades de análise e apreciação de riscos no âmbito da segurança de barragens	82
Número de países que responderam ao inquérito	24
Número de países, dentre os que responderam ao inquérito, que não usa apenas abordagens tradicionais.	12

Fonte: Adaptado de CIGB (2005).

De acordo com Pimenta (2009), a falta do empenho de técnicas na área de gestão de risco em barragens, acontece pela ausência de uma literatura mais técnica nesse campo do conhecimento, gerando limitações das normas legais. Assim as práticas de mensuração dos riscos não se tornam periódicos, deste modo, reverbera o comportamento do emprego da segurança de pronto-resposta e não de prevenção.

O Estado brasileiro conta com vários instrumentos legais que norteiam os procedimentos de gestão de barragens, a legislação existe no sentido de evitar novos tipos de rupturas de barragens. Comparado a outros países, o Brasil se destaca por ter uma legislação moderna e nos padrões do Comitê Internacional. Há de ser considerado que poucos países aderem aos protocolos legais de segurança, devido a uma série de fatores como a falta da cultura de risco, a carência de um corpo técnico e também de tecnologia para viabilizar a implementação dessas normas.

O Brasil tem o histórico de diversos casos de rompimento de barragens, em face disso foi gerada a preocupação em cima da possibilidade de futuros casos. Nesse sentido, o Estado brasileiro criou uma série de normas para gerir as barragens no país. Entretanto, a criação dessa legislação foi fruto de mobilizações de instituições profissionais que atuam na área, somente no ano de 2003 foi protocolado projeto de lei que foi sancionado em 2010.

A Lei nº 12.334 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) (BRASIL, 2010).

A PNSB objetiva cumprir os padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento das barragens e acompanhar as ações de segurança dos responsáveis pelo barramento, visando minimizar possíveis novos eventos de rupturas e suas consequências junto à população (ANA, 2013).

O Art. 1º da Lei, aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A Lei abarca critérios de porte e de eventuais danos provenientes das rupturas, assim caracterizados:

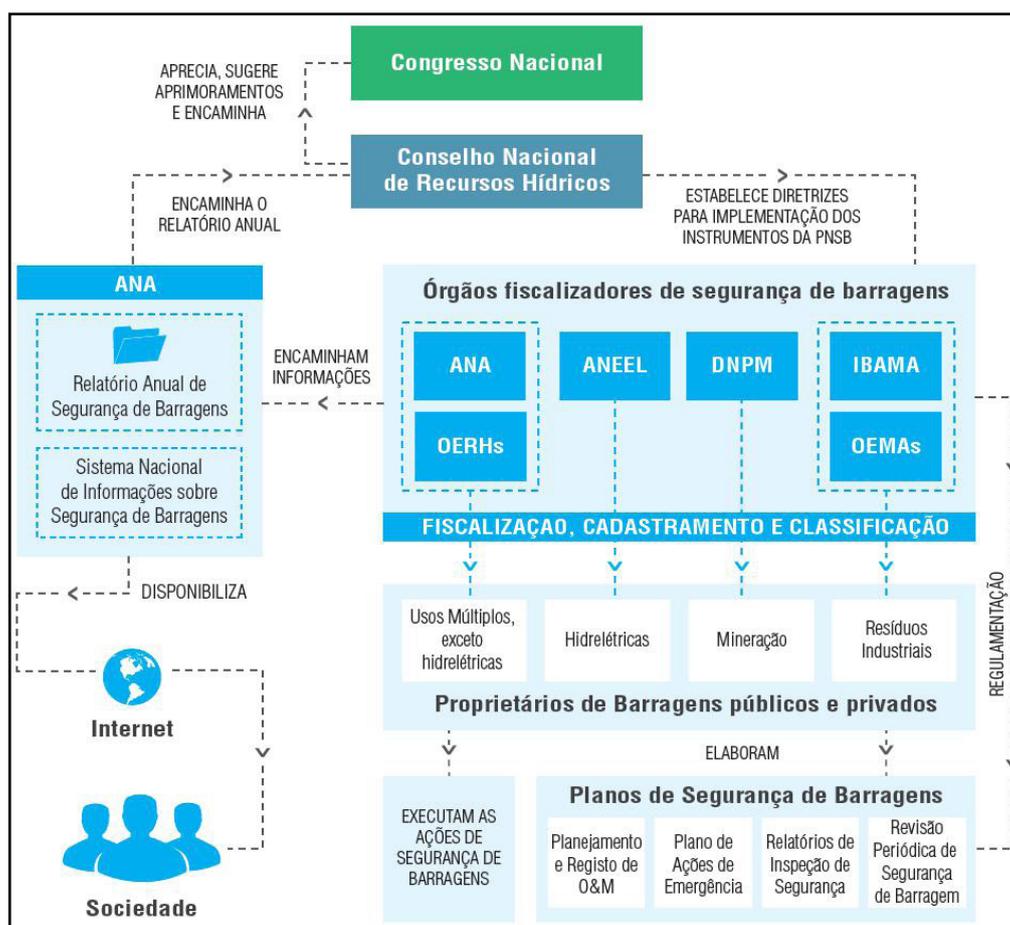
- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

A Lei nº 12.334 regulamenta os agentes que irão fiscalizar e outorgar os direitos dos recursos hídricos para acumulação de água, geração hidrelétrica, disposição de rejeitos ou disposição de resíduos industriais (BRASIL, 2010).

Os órgãos responsáveis por determinado tipo de barragem têm a responsabilidade de regulamentar as diretrizes que complementam a Lei. As barragens hidrelétricas são de

competência da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as barragens de segurança hídrica são geridas pela Agência Nacional de Águas (ANA), as barragens de rejeitos minerais são de jurisdição do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e os reservatórios de efluentes industriais são de responsabilidade dos Órgãos Estaduais de Recursos Hídricos (OERH). As instituições que fazem parte da Política Nacional de Segurança de Barragem estão dispostas no organograma representado pela figura 9.

Figura 9 - Organograma esquemático da Política Nacional de Segurança de Barragens



Fonte: ANA (2013).

O sistema é complexo e robusto, todavia existem dificuldades para operacionalizar a Política Nacional de Segurança de Barragens, devido à dimensão territorial do país ser extensa e apresentar um elevado número de barragens catalogadas e não catalogadas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013).

De acordo com Ana (2013), no território brasileiro hoje existem 13.529 barragens cadastradas no Brasil, sendo divididas em 11.748 barragens de usos múltiplos, 1.261 para

geração de energia hidrelétrica, 264 de rejeitos de mineração e 256 de resíduos industriais. Nessa perspectiva, há uma dificuldade em acompanhar de perto todos esses reservatórios, isso é atribuído à insuficiência no contingente de técnicos para vistoriar os barramentos, assim a PNSB muitas vezes não é posta em prática. Desse modo, a falta de acompanhamento dessas estruturas resulta em seu colapso por falta de vistorias.

De acordo com a PNSB, é de responsabilidade do empreendedor e do proprietário da barragem, mantê-la em condições adequadas de segurança. A Política ainda estabelece algumas obrigações aos proprietários dos barramentos, como a obrigatoriedade da implantação de um efetivo sistema de gestão de segurança de barragens. Dentre os principais pontos, destaca-se:

- Elaboração do Plano de Segurança da Barragem;
- Elaboração do Plano de Ação de Emergência;
- Realização das Inspeções de Segurança Regular e Especial nas barragens;
- Realização da Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Um dos instrumentos da Lei é a classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, assim constituindo a base de aporte para as análises, estabelecendo níveis de prioridade de monitoramento, inspeção e planos de segurança.

APNSB hoje caracteriza-se como um divisor de águas no segmento de gestão de barragens no Brasil, assim, alavancando a cultura de prevenção de riscos de novas rupturas no país. A legislação brasileira encontra-se metodologicamente baseada nas diretrizes internacionais do Comitê Internacional, destacando a importância das instituições de gestão nas vistorias dos barramentos. Menescal (2009) contribui com sua metodologia para com a Lei nº 12.334/2010, do ponto de vista dos meios de sustentabilidade, descentralização, transparência e participação pública.

A lei é clara ao que se refere a necessidade da adoção de ações criteriosas, no ponto de vista de evitar colapso de estruturas, buscando uma transparência dos dados e informações sobre o estado real dos barramentos, proporcionando a população o conhecimento para reivindicar, sendo o controle social uma ferramenta da cultura de risco (MELO, 2014).

Além da legislação nacional, o Estado do Rio Grande do Norte possui uma série de instrumentos normativos legais que balizam a gestão de riscos em barragens. A Lei nº 6.908, de 1996, institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. Um dos instrumentos dessa Lei é a criação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNERH), cujo objetivo é aplicação de recursos no custeio de:

- Realização de planos, programas, projetos e pesquisas com vistas ao desenvolvimento e controle dos recursos hídricos;

- Execução de obras e serviços com objetivo de desenvolver e controlar os recursos hídricos;
- Programas de estudos com objetivo à capacitação de recursos humanos, pesquisas e desenvolvimento de inovação tecnológica de interesse a gestão dos recursos hídricos.

O FUNERH é constituído por recursos do tesouro estadual, cobrança pelo uso da água, transferência da União destinado a projetos, compensação financeira com relação ao aproveitamento de energia eólica, impostos das atividades mineradora e petroleira, doações e de recebimento de pagamento de multas (RIO GRANDE DO NORTE, 1996).

O Fundo Estadual de Recursos Hídricos é uma das alternativas para a busca de recursos para o financiamento de um monitoramento constante da barragem Passagem das Traíras e de outros reservatórios, bem como reparos quando necessários, além de estudos mais aprofundados.

No Rio Grande do Norte existem portarias e decretos que regulamentam a gestão de águas e reservatórios. O Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte – IGARN no uso de suas atribuições legais, estabeleceu a portaria nº 10 de 2017, que determina o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem; das Inspeções de Segurança Regular e Especial; da Revisão Periódica de Segurança de Barragem; do Plano de Ação de Emergência; a qualificação dos responsáveis técnicos e a periodicidade de execução destas atividades, conforme artigos 8º, ao e 12º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (RIO GRANDE DO NORTE, 2017).

Devido às pressões da sociedade civil organizada, sobretudo na microrregião Seridó Potiguar, acerca do agravamento do estado de conservação e de risco da barragem Passagem das Traíras, no ano de 2019 o Estado do Rio Grande do Norte estabeleceu o decreto nº 28.820 que institui o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte (CPAMB/RN) e dá outras providências conforme observar as diretrizes estabelecidas na Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Compete ao Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte (CPAMB/RN):

- Acompanhar e monitorar a segurança da infraestrutura de barragens com risco de ocorrência de incidentes;
- Elaborar mapeamento sobre as condições de segurança das barragens do Rio Grande do Norte;
- Promover a articulação, entre entidades públicas e privadas, voltada à consecução de gerenciamento de crises e medidas de proteção e minimização de danos;

- Advertir, aos proprietários de barragens privadas, os riscos de segurança em torno da construção e recomendar medidas a serem adotadas;
- Propor intervenção em barragens privadas com vistas à minimização de riscos e de potenciais danos associados à segurança da barragem, nos termos do art. 18, § 2º, da Lei Federal nº 12.334, de 2010;
- Monitorar a ação fiscalizatória das entidades envolvidas;
- Propor aos órgãos competentes estudos ou medidas para alcançar nível de segurança às barragens;
- Recomendar ações para a efetivação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei Federal nº 12.334, de 2010; e
- Realizar outras tarefas condizentes com seu objetivo.

Diante do exposto, é notório que no quesito legislação o Rio Grande do Norte é um ente federativo que possui instrumentos legais a mais e mais restritivos a PNSB, no sentido de prevenir casos de rompimento de barragens no Estado Potiguar, sobretudo com o exemplo da barragem Passagem das Traíras.

Além da Política Nacional de Segurança de Barragens, e da legislação norte-rio-grandense vigente, destaca-se também a importância da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, a qual é muito importante para as ações de risco em barragens no Brasil, visto sua atuação nos Planos de Ações Emergenciais e de Contingência durante os desastres.

No território nacional, os direcionamentos das ações de proteção e Defesa Civil voltam-se para o atendimento à população, em face aos eventos calamitosos naturais ou humanos. Cabe, portanto, ressaltar o papel da Lei nº 12.608, de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). A referida Lei estabelece a criação do Sistema de Informações e Monitoramento de Desastre, esse sistema auxilia na aquisição de dados para uma melhor gerência da tomada de decisão. A Lei também dispõe do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012).

Entre os objetivos da PNPDEC ressalta-se que a operacionalização das ações é voltada ao atendimento de muitos tipos de desastres, entre eles a gestão de recursos hídricos e inundações. As principais diretrizes norteadoras são:

- A atuação deve ser feita em conjunto entre a União, os estados e os municípios na redução de desastres em áreas atingidas;
- Mitigação, preparação, resposta e recuperação de áreas atingidas;
- Adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres em corpos d'água;

- Participação da sociedade civil e organizada;
- Identificar e avaliar riscos;
- Estimular a cultura de prevenção aos riscos.

Cabe relatar que ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC estão subordinados os organismos estaduais e municipais, sendo Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil e Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil, respectivamente.

É de competência da União:

- Instituir declarações de reconhecimento de situação de emergência;
- Identificar áreas de riscos nos estados e nos municípios;
- Coordenar o SINPDEC;
- Promover estudos sobre causas de ocorrência de desastres.

É de competência dos Entes Federados:

- Executar a PNPDEC no seu território;
- Coordenar a articulação com a União e os Municípios;
- Instituir o Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil;
- Identificar e mapear as áreas de risco;
- Realizar monitoramento meteorológico e geológico;
- Identificar as bacias hidrográficas com riscos de desastres.

É de competência dos Municípios:

- Executar a PNPDEC a nível local;
- Incorporar ações de proteção de defesa civil no planejamento territorial do município;
- Vistoriar edificações em áreas de risco, bem como intervir se necessário com a desocupação;
- Organizar e administrar abrigos provisórios para assistência da população em um desastre, com condições de segurança e higiene;
- Realizar exercícios simulados;
- Promover a coleta, a distribuição e o controle de suprimentos;

- Prover moradias temporárias às famílias desabrigadas por desastres.

A Lei ainda determina a destinação de recursos por meio de um fundo emergencial, tanto para os estados como para os municípios, mesmo sem licitações públicas, visto ser um recurso de pronta resposta as áreas atingidas por desastres (BRASIL, 2012).

Diante disso a PNPDEC é de suma importância para a gestão integrada dos riscos, no tocante a segurança de barragens, a Defesa Civil auxilia os órgãos gestores e empreendedores de barragens nos planos de ações emergenciais e nos planos de contingência, assim atuando no pré-desastre, durante o desastre e no pós-desastre.

Além da Defesa Civil, existem outras instituições que trabalham no auxílio de gestão de riscos, no Rio Grande do Norte possui o Corpo de Bombeiros Militar - CBM, este trabalha na salvaguarda de populações em risco durante os eventos de rompimento de barragens. A instituição também lança seus esforços em atividade de defesa civil e de meio ambiente.

As funções institucionais do CBM são:

- Atuar na execução das atividades de defesa civil;
- Prevenção e combate aos incêndios;
- Realizar atividades de resgate, busca e salvamento;
- Realizar atividades auxiliares de socorros de urgência e atendimento de emergência pré-hospitalar;
- Notificar, isolar e interditar, no âmbito de sua competência, as obras, habitações, serviços, locais de uso público e privado que não ofereçam condições de segurança;
- Desenvolver pesquisa científica em seu campo de atuação funcional.

Dentro da estrutura organizacional do CBM existe uma divisão de órgãos. São eles: Serviço de Operações, no qual se encontra a Comissão de Defesa Civil (CODEC) e o Grupamento de Busca e Salvamento (GBS). No setor de Serviço Operacional de Saúde, existe Pronto Atendimento de Saúde e Serviço de Atendimento Pré-Hospitalar de Urgência, atual SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (RIO GRANDE DO NORTE, 2002, p. 5).

Dentre o arcabouço normativo que existe no Brasil, tem-se subsídios legais para atuar tanto na prevenção, no desastre e no pós-desastre. Com estudos de monitoramentos, reparos estruturais e auxílio às vítimas do desastre. Entretanto, ainda existem fragilidades no sistema e carência de um corpo técnico para monitorar uma grande quantidade de barragens, além da falta de recursos, a falta de serviços de Defesa Civil, do Corpo de Bombeiros Militar e do SAMU agravam ainda mais a exposição da população aos desastres associados a segurança de

barragens e, nesse sentido, atribuímos o risco tecnológico associado a rupturas em barragens como um produto da negligência do Estado.

4.7 A trama institucional na gestão da Barragem Passagem das Traíras

Para que possa ser entendido todo o debate feito à luz do risco de ruptura da barragem Passagem das Traíras devido a sua falta de manutenção e suas falhas no projeto executivo, nesta sessão apresenta-se todos os acontecimentos dado por meio de documentos oficiais conforme apresenta o quadro 3.

Quadro 3- Lista de documentos normativos oficiais da barragem Passagem das Traíras.

Natureza do documento	Entidade responsável	Data de emissão do documento
Relatório PSB- RN - 01/2005- “Visita Técnica de Inspeção às Barragens no Estado do Rio Grande do Norte”	Unidade de Gerenciamento do PRÓ-ÁGUAS/ Semiárido- UGPO	Setembro de 2005
Relatório de Visita Técnica de Inspeção Barragem Passagem das Traíras – São José do Seridó – RN	Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial	Janeiro de 2015
Ofício nº 101/2015/AA-ANA - Informa a situação de barragens no Rio Grande do Norte	Agência Nacional de Águas	23 de março de 2015
Relatório da 5ª inspeção regulada barragem	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	23 de fevereiro de 2016
Elaboração dos projetos executivos para recuperação/ampliação/manutenção da Barragem Passagem das Traíras e Bananeiras	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Junho de 2016
Relatório da 6ª inspeção regulada barragem	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	08 de setembro de 2016
Ofício nº 352/2016/AA-ANA - Informa acerca das restrições operacionais e Plano de Contingência - Barragem Passagem das Traíras/RN	Agência Nacional de Águas	22 de dezembro de 2016
Nota Técnica nº 2/2017/COMAR/SER - Volume de água acumulado mínimo no reservatório Passagem das Traíras para garantir o abastecimento público de Jardim do Seridó e o consumo humano e a dessedentação animal no entorno no próximo período de estiagem (julho/2017 - janeiro/2018)	Agência Nacional de Águas	10 de fevereiro de 2017

Ofício no 102/2017/SFI-ANA - Reservatório Passagem das Traíras Acumulação mínima de água para garantir os usos prioritários respectivos no próximo período de estiagem	Agência Nacional de Águas	6 de março de 2017
Classificação de barragem por Categoria de Risco, por Dano Potencial Associado e pelo volume	Agência Nacional de Águas	27 de março de 2017
Elaboração dos projetos executivos para recuperação/manutenção da Barragem Passagem das Traíras	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Novembro de 2017
Nota Técnica no 7/2018/COMAR/SER - Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Passagem das Traíras, no Estado do Rio Grande do Norte	Agência Nacional de Águas	27 de fevereiro de 2018
Ofício nº 184/2018/SFI-ANA - Estabelece restrições operacionais e faz outras solicitações - Barragem Passagem das Traíras/RN	Agência Nacional de Águas	17 de abril de 2018
Plano de contingencia municipal de desastres naturais de proteção e defesa civil	Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caicó - RN	Maio de 2018
Relatório de avaliação técnico econômica de alternativas para garantir a segurança da barragem passagem das traíras	Engecorps Engenharia S.A.	Novembro de 2018
Projeto conceitual da alternativa selecionada no estudo visando garantir a segurança da barragem passagem das traíras	Engecorps Engenharia S.A.	Janeiro de 2019
Estudo e elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da barragem passagem das traíras	Acquatool Consultoria	Março de 2019

Fonte: Elaborado pelo autor com base no acervo documental da SEMARH/RN (2018).

Após dez anos de operação da barragem Passagem das Traíras, a Unidade de Gerenciamento do Pró-Águas Semiárido realizou a primeira inspeção técnica na barragem para verificar a atual situação da estrutura. A vistoria foi realizada a pedido da Secretaria de Infraestrutura Hídrica no período de 26 a 29 de setembro de 2005 (MIN, 2005).

A barragem foi construída no modelo de Concreto Compactado a Rolo – CCR e, no ano de 2005, já apresentava algumas anomalias estruturais, constatadas pela equipe de campo.

O aspecto geral do barramento é precário, como se confirma pelas fissuras que se seguem, evidenciando pouco cuidado do Construtor no uso da metodologia adotada, bem como a atuação pouco eficiente da Fiscalização – Supervisão, e a aceitação pela Entidade Contratante. Nada há para se justificar a aceitação de deficiências ou falhas que se evidenciam, em uma obra construída há cerca de 10 anos (MIN, 2005, p. 42).

A comissão constatou que a barragem apresentava alguns sinais de avaria, tais como: fragilidade nos moldes; precária e inadequada prática de lançamento e adensamento do concreto de face; pontos potenciais de percolação e vazamentos; pontos evidentes de pouca resistência do CCR empregado caracterizando-se pela soltura de agregados; acabamento da crista são observados diversos panoramas de fissuras (MIN, 2005).

Em face disso, constata-se que no ano de 2005, a barragem já apresentava anomalias estruturais e que os procedimentos adotados pela construtora são inadequados de acordo com a equipe fiscalizadora, descrito a seguir:

O Comitê de Segurança de Barragem se mostra bastante surpreso com esses dados, que demonstram um baixo nível das resistências associadas a uma elevadíssima dispersão (caracterizada pelos elevados Coeficientes de Variação) em todas as idades de ensaios. De outro modo, além disso corrobora com o péssimo aspecto visual da obra executada, denotando a baixa qualidade, não fez requerer nenhum comentário no Relatório de Controle (MIN, 2005, p. 48).

Para o Comitê de Segurança de Barragem responsável pela vistoria e de acordo com os documentos oficiais da época, foi constatado que:

- Houve sobreposição de responsabilidades durante a construção, como por exemplo a responsabilidade do empreiteiro executar os estudos e propor as dosagens, sendo que a supervisão absorveu para si essa responsabilidade;
- Vários requisitos das especificações não foram atendidos, principalmente quanto às tolerâncias de alinhamento e prumo;
- Não se notou atenção nos controles e respectivos resultados (resistências do CCR), inclusive a ausência de análise e providências decorrentes;
- Não se tem notícias da extração de testemunhos como requerido pelas Especificações Técnicas, e como resultado decorrente dessas injunções;
- Teve-se (e tem-se) uma obra com péssimo aspecto, com Durabilidade e Qualidade suspeitas.

Diante do exposto, percebe-se que desde 2005 as anomalias estruturais da Barragem Passagem das Traíras eram de conhecimento dos órgãos responsáveis, todavia, nada foi feito para corrigir as avarias. O que surpreende é que em 2009 e em 2011 a barragem verteu, e que por “sorte” não rompeu, o que causaria danos desastrosos a Caicó/RN à jusante.

Passada a vistoria de 2005, a segunda vistoria foi realizada dez anos depois em 2015. A ANA solicitou ao Banco Mundial uma nova vistoria na barragem em 2014, porém, somente em 2015 a visita técnica foi realizada com a orientação da ANA e da SEMARH (ANA, 2015).

Ao realizar a incursão de campo na barragem, a equipe técnica constatou as avarias,

assim como no último relatório de 2005. As informações da barragem dada pelos documentos indagaram a equipe nos seguintes pontos, quanto a segurança da barragem:

- Há a necessidade de se restabelecer as condições de inspeções e manutenção da galeria, inclusive de iluminação;
- Há a necessidade de se implantar um sistema de monitoramento que acompanhe a vida da barragem, mormente devido à precariedade observada;
- Há a necessidade de se monitorar a qualidade da água do reservatório;
- Deve ser estabelecido um Plano de Reparo para recuperar as condições originais do projeto.

A equipe constatou que mesmo após a publicação do relatório de segurança da barragem em 2005, nenhuma intervenção significativa para melhoria das condições de segurança da estrutura do barramento e manutenção da descarga de fundo foi efetivada pela SEMARH, até a data de publicação do segundo relatório em 2015 (ANA, 2015).

De acordo com a PNSB no capítulo IV - Dos Instrumentos. Seção II, Art. 8. O Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

- I - Identificação do empreendedor;
- II - Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, nos casos de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;
- III - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
- IV - Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- V - Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- VI - Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- VII - Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;
- VIII - Relatórios das inspeções de segurança;
- IX - Revisões periódicas de segurança.

De acordo com a legislação vigente e com base no que foi relatado nos relatórios, a barragem Passagem das Traíras encontra-se em consonância com os incisos IV, V, VI, VII, VIII e IX da PNSB.

Após a verificação *in loco*, os técnicos atribuíram uma série de recomendações a serem realizadas, no sentido de garantir o bom estado de operação da barragem e diminuição dos riscos de rompimento (ANA, 2015).

- Verificar a influência do material orgânico decorrente das carapaças existentes;
- Verificar a condição de ocupação às margens do Reservatório;
- Redirecionar os drenos para zonas fora da bacia de dissipação;
- Obter testemunhos (sondagens com recuperação de 100%);
- Na região da face de montante buscando caracterizar o concreto da face, o massivo (CCR-Compactado com Rolo) e o contato com a fundação junto a margem esquerda;
- Na região da face de montante buscando caracterizar o concreto da face, o massivo (CCR-Compactado com Rolo) e o contato com a fundação, bem como a condição das falhas junto a margem direita e conhecer-se o grau de coerência da rocha de fundação, ensaios de perda d'água e elaboração de seções geológicas;
- Realizar ensaios de perda d'água na região da margem direita, para verificar a condição das falhas com preenchimentos;
- Obter informações da resistência dos concretos;
- Com base nessas informações deve-se avaliar as condições de estabilidade e tensões do barramento, considerando o contato com as fundações.

Diante do exposto a equipe técnica recomendou a ANA elevar o nível de risco da barragem para “Atenção”, o que se torna indispensável ações de intervenção e melhorias na barragem (ANA, 2015).

No dia 23 de março de 2015, por meio de ofício, a ANA encaminhou ao gabinete do governador do RN, a documentação referente ao atual estado da barragem em questão. Ainda, no documento, a ANA informou ao governador que o estado de risco da barragem permanecia em “Atenção”, até que os reparos fossem efetuados, conforme o inciso I do artigo 17º da lei 12.334/2010, que diz que é de obrigação do empreendedor da barragem prover recursos necessários para a garantia da manutenção da barragem ANA (2015).

Diante disso, é notório que o governo do estado do RN sempre teve o conhecimento da gravidade do caso da barragem Passagem das Traíras. Devido à gravidade da situação, a SEMARH passou a fazer vistorias periódicas, para verificar se as patologias estruturais estavam

avanzando. Assim, em 23 de fevereiro de 2016 e em 08 de setembro de 2016 foram realizadas as inserções na barragem, constatando que as anomalias apresentadas nos relatórios anteriores persistiam e novas apareceram, assim mostradas a seguir:

- Fissuras no concreto no paramento de montante, na sua ombreira esquerda;
- Fissuras no concreto de revestimento da crista e juntas em decomposição;
- Em alguns pontos do paramento de jusante ocorreram deterioração do concreto, em estado bem avançado;
- Trinca no final do muro lateral direito da bacia de dissipação;
- Falta de manutenção do sistema de tomada d'água;
- Falta de manutenção do sistema de descarga de fundo;
- Não foram construídos os acessos as válvulas destes dois sistemas de tomada d'água conforme solicitado anteriormente;
- Falta de abrigo aos equipamentos da tomada d'água;
- O abrigo das válvulas do descarregador de fundo não permite a entrada do operador;
- A galeria de inspeção não dispõe de iluminação e o portão de acesso à mesma foi retirado.

Em decorrência do grave estado de fragilidade da estrutura, a equipe técnica responsável recomendou que em caráter de urgência fosse realizado o projeto para a recuperação da barragem, e sua imediata reforma. Além, disso é de suma importância a implantação da instrumentação de aferição, leitura e monitoramento da barragem (SEMARH, 2016).

Destaca-se aqui que nos relatórios da COTEC, empresa responsável pela obra, há a ausência das injeções de colagem da barragem com a rocha de fundação da ombreira, o estudo é bastante relevante para verificar isso de forma mais minuciosa (SEMARH, 2016). Tendo como base as novas análises das anomalias *in loco* e as resoluções da ANA, a equipe técnica elevou o grau de risco da barragem: “Após a realização da presente inspeção e a análise das anomalias encontradas e registradas na ficha de inspeção, registro que o nível de perigo da barragem Passagem das Traíras passa a ser classificado como ALERTA” (SEMARH, 2016, p. 23).

De acordo com SEMARH (2017), em agosto de 2016 e em novembro de 2017, foram publicados os TDR – Termos de Referência do Projeto Executivo para a Recuperação e Manutenção da barragem Passagem das Traíras de Instrumento legal balizador, para que as empresas licitantes do contrato pudessem saber o que precisava ser feito na barragem. Assim a SEMARH solicitou as seguintes ações:

- Levantamento da situação;
- Estudos hidrológicos;
- Estudos de campo;
- Estudos topográficos;
- Levantamento de áreas danificadas;
- Levantamento de áreas de jazidas;
- Diagnostico ambiental da barragem;
- Projeto de intervenções;
- Reparo nos paramentos, muros e coroamento;
- Reconstituição das estruturas de drenagem;
- Construção e recuperação de guarda corpo e concreto de revestimento da crista;
- Reforma e recuperação da tomada d'água;
- Retirada com deslocamento de vegetação a montante e jusante do corpo da barragem;
- Elaboração do manual de operação e manutenção da barragem;
- Plano de Ações Emergenciais;
- Plano de Contingência.

Meio a toda essa problemática, a ANA encaminhou um ofício ao gabinete do governador, para informar acerca das restrições operacionais e Plano de Contingência – Barragem Passagem das Traíras.

Até o momento, o estudo ainda não havia sido feito, tão pouco havia empresa concorrendo a licitação para os estudos. Nesse contexto, a ANA (2016) recomendou a SEMARH que no período chuvoso de 2016, a Secretaria rebaixar o nível de água da barragem, por meio da abertura dos dispersores de fundo, essa ação foi determinada no sentido de minimizar os riscos até que os estudos e as obras fossem realizadas. Além disso, a Ana determinou que a SEMARH confeccionasse e apresentasse o Plano de Contingência em consórcio com a Defesa Civil de Caicó, considerando o caso de uma possível ruptura, no prazo de 90 dias. Após a finalização do plano a SEMARH deveria encaminhar cópia aos órgãos de segurança pública (ANA, 2016).

A Agência Nacional de Águas, emitiu uma Nota Técnica nº 2/2017/COMAR/SER, sobre o volume de água acumulado mínimo no reservatório Passagem das Traíras para garantir o abastecimento público de Jardim do Seridó e o consumo humano e a dessedentação animal no entorno no próximo período de estiagem (julho/2017 - janeiro/2018).

A ANA simulou projeções de elevação do nível da barragem para o ano de 2017, e considerando esse prognóstico, por medida de segurança foi determinado que a SEMARH abrisse os descarregadores da barragem caso o nível elevasse até a cota 185mm, equivalente a 3 milhões de metros cúbicos, isso para que a barragem não elevasse seu nível e o maciço não rompesse. Em ação complementar a nota técnica, a ANA no dia 6 de março de 2017, encaminhou a SEMARH um Ofício com essas recomendações, sobre a acumulação mínima de água para garantir os usos prioritários respectivos no próximo período de estiagem, conforme o quadro 4 (ANA, 2017).

Quadro 4 - Recomendação de operação dos dispersores da barragem.

Mês	Nível d'água no início do mês	Situação dos dispositivos de controle (descarga de fundo e tomada de água)
Fevereiro a maio/2017	cota \leq 184,00	Fechados totalmente
	184,00 < cota \leq 185,00	Abertos totalmente ou parcialmente em função do volume de água afluente, com o objetivo de manter o nível no patamar entre as cotas 184,00 e 185,00
	cota \geq 185,00	Abertos totalmente, com o objetivo de baixar o nível da água para o patamar abaixo da cota 185,00
A partir de junho/2017	cota \leq 185,00	Fechados totalmente
	cota > 185,00	Abertos totalmente ou parcialmente, com o objetivo de baixar o nível da água para o patamar abaixo da cota 185,00

Fonte: ANA (2017).

Enquanto a SEMARH ainda não havia realizado o estudo de diagnóstico e correções, a Engecorps Engenharia S.A., a serviço da ANA, elaborou o Relatório de avaliação técnico econômico para garantir a segurança da barragem Passagem das Traíras, bem como o Projeto conceitual da alternativa selecionada no estudo visando garantir a segurança da barragem Passagem Traíras (ANA, 2018; 2019).

De acordo com o referido relatório, o objetivo é apresentar as alternativas de implementação de ferramentas técnicas, no sentido de impedir uma possível ruptura da barragem, assim impedindo que o grau de risco chegue ao limiar aceitável. Diante disso, a equipe técnica elencou alguns fatores importantes a serem considerados, tais como:

- Alternativa de Rebaixamento do Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 1.000 anos admitindo-se Carregamento Normal;

- Alternativa de Rebaixamento do Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Excepcional;
- Alternativa de Rebaixamento do Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Normal;
- Alternativa de Readequação Completa da Barragem e Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Excepcional, sem considerar a necessidade de rebaixamento da soleira do Vertedouro;
- Alternativa de Escavação de Brecha na Ombreira Esquerda – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Excepcional;

Além do diagnóstico geral, a equipe também formulou soluções de cunho emergencial, para que o empreendedor da barragem pudesse efetivar. Tais como:

- Implantação de um túnel para atuar como “descarregador de fundo” cruzando o corpo do barramento;
- Implantação de um túnel na ombreira direita para atuar como “descarregador de fundo”;
- Abertura de uma brecha na ombreira esquerda;
- Implantação de um sifão sobre a soleira do Vertedouro.

Conforme recomendação da ANA, a SEMARH já deveria ter elaborado tanto o Plano de Ações Emergências, como o Plano de Contingência em caso de ruptura. Como até o presente momento não foi confeccionado os planos, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caicó – RN, adiantou-se diante do agravo da situação e com ajuda das instituições do Corpo de Bombeiros e do 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro, formularam o Plano de Contingenciamento do município de Caicó – RN, em caso de uma possível ruptura da barragem Passagem das Traíras.

O principal objetivo do Plano de Contingência é direcionar o emprego de ações de prevenção e socorro a pessoas em áreas vulneráveis ao risco de desastres, este relacionado a eventos naturais e a rompimento da barragem Passagem das Traíras. Isso, no sentido de evitar danos à população.

De acordo com a Coordenadoria, o Plano de Contingência é o instrumento de gestão dos procedimentos que serão empregados no momento do desastre, e quais as competências de cada ator envolvido na equipe de emergência.

Ainda, conforme o Plano de contingência apresentado pela Defesa Civil de Caicó/RN, foi realizado o censo nos bairros que poderiam ser atingidos pela onda de cheia da barragem,

para saber a quantidade de famílias expostas ao risco. Esse trabalho foi feito com o auxílio da Secretaria de Assistência Social de Caicó/RN. Esse censo servirá como uma ferramenta de planejamento para o direcionamento de ações no momento do desastre.

De forma sistemática e periódica, a Defesa Civil se comprometeu a elaborar novos relatórios de risco e encaminha-los às instituições de salvaguarda para o conhecimento de todos, visando a elaboração de estratégias para rotas de fuga e abrigos. Porém esse mapeamento ainda não foi feito pela Coordenadoria, devido às chuvas terem danificado a pavimentação das ruas de Caicó/RN.

Com relação a insumos de consumo no momento do desastre, a Defesa Civil de Caicó/RN encaminhou orçamento ao Executivo Municipal para conhecimento. A coordenadoria aguarda os materiais para continuar o monitoramento das áreas de risco do município.

Em meio a toda problemática do risco da barragem Passagem das Traíras romper e atingir Caicó/RN, a Defesa Civil municipal com muito boa vontade, mas sem preparo técnico, chama uma “lista de desejos” de um Plano de Contingência, e isso além de ser preocupante pela fragilidade da COMPEDC no sentido técnico e logístico, mostra-se um cenário assustador em uma cidade como Caicó, onde não existe um Plano de Ações Emergenciais, nem o Plano de Contingência, que ainda não foi confeccionado pelo empreendedor da barragem, conforme recomendação da ANA, baseada na legislação vigente. Corroborando para a manutenção do estado de vulnerabilidade da população de Caicó/RN exposta ao risco de um desastre associado ao rompimento da barragem Passagem das Traíras.

Prontamente, por meio de reivindicação social, devido ao alto risco de ruptura da barragem, o Governo do Rio Grande do Norte por meio de decreto, instituiu o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte, para dar uma maior celeridade às questões ligadas a barragem Passagem das Traíras.

5

O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO NAS ADJACÊNCIAS DO RIO SERIDÓ EM CAICÓ/RN E AS AÇÕES EMERGENCIAIS

5.1 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento

O Estado brasileiro realiza a gestão dos seus recursos hídricos por meio da Lei nº 9.433/1997, a qual institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. A referida lei dispõe ao Brasil o papel de destaque quanto a robustez de uma legislação sobre a água. Em seu texto a lei conceitua a Bacia Hidrográfica como uma área de confluências da drenagem, possuindo um rio principal e seus tributários, de modo que essa área é definida e gerida como uma unidade territorial de planejamento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Desde os tempos clássicos da geografia francesa e alemã, a geografia enquanto ciência abarcou a bacia hidrográfica em seus estudos, todavia, essa sempre teve um caráter voltado para o natural-ecológico. Atualmente a bacia hidrográfica ganhou outro sentido com a força da legislação vigente e passou a ser tratada de fato como um território geográfico dotado de normas, com questões culturais e sociais associadas, assim esse conceito passa da dimensão do caráter físico para o político (CUNHA; COELHO, 2003).

A partir da referida lei foram determinadas divisões hidrográficas, no sentido de colaborar e/ou influenciar nas gestões urbanas a nível local e regional, devido aos limites territoriais de uma bacia hidrográfica perpassar divisões municipais e estaduais. É preciso lembrar que nessa unidade existem cidades, áreas de agricultura, indústrias e áreas de preservação/conservação. Destaca-se assim, a importância da regulação do Estado para gerir todos os conflitos e demandas ao longo do alto, médio e baixo curso, representando um desafio na operacionalização do sistema (PERES; SILVA, 2010).

Para que a legislação pudesse ser aplicada, criou-se uma série de instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Enquadramento dos corpos de água;
- Outorga dos direitos de uso;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Compensação aos municípios;
- Sistema de Informações.

Dessa forma, os Planos de Bacias Hidrográficas são utilizados pelo Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos. Esses planos são uma espécie de plano diretor da bacia hidrográfica, que visa colocar em prática as diretrizes da política de águas do país.

Dentro da perspectiva do planejamento, o plano de bacia hidrográfica funciona como uma ferramenta que auxilia no planejamento das decisões que serão traçadas na bacia, através da participação de vários entes da sociedade civil organizada e dos técnicos especialistas (PORTO; PORTO, 2008).

Em suma, Leal (2003) relata que os planos para bacias hidrográficas são instrumentos que devem ser atrelados à gestão urbana, sendo este uma referência para a confecção de novos instrumentos de planejamento. Dessa forma, são entendidas quais as principais funções que cada bacia pode desempenhar, e a partir disso uma série de normas são direcionadas conforme a aptidão desse corpo d'água (PORTO; PORTO, 2008).

Conforme a legislação de águas em vigor, a política de gestão de águas deve estar em consonância com as políticas de parcelamento e gestão de uso do solo. Para assim, os municípios enquadrarem as leis locais de uso e ocupação do solo com as medidas de preservação do meio ambiente através do saneamento básico (PERES; SILVA, 2010).

No que tange a relação municipal com a política federal de água, destaca-se que são por meios dos planos e dos comitês gestores que os municípios e as diferentes representações da sociedade podem opinar na gestão da bacia hidrográfica. Identifica-se que os meios legais de gerenciamento de águas não são relacionados à gestão do uso do solo, reforçando o debate que o município deve se adequar territorialmente para receber esse corpo hídrico (PERES; SILVA, 2010).

A relação entre o município e as leis de gestão do território e de gestão dos recursos hídricos deve ser algo indissociável, devido a fragilidade das legislações municipais relacionadas a conservação ambiental do solo e da água. Dessa forma, as leis federais passam a ter o papel de orientar quais os meios para prevenção e conservação dos leitos dos corpos dos rios. As leis federais são mecanismos que obrigam os municípios a seguirem essas diretrizes de proteção dos recursos hídricos (PERES; SILVA, 2010).

Ressalta-se que o Estatuto da Cidade não aborda o papel do município acerca da responsabilidade em lidar com o tema recursos hídricos, apresentando somente uma abordagem sobre a proteção do meio ambiente. Diante desses fatos, os municípios devem apresentar uma maior atenção no gerenciamento dos recursos hídricos e na gestão do uso e ocupação do solo, de modo que ocorra uma gestão integrada do território em conformidade com os planos de bacias hidrográficas e os planos diretores municipais (PERES; SILVA, 2010).

5.2 O ordenamento territorial como ferramenta de redução de riscos

Toda cidade tem seu papel social definido legalmente, e para que isso ocorra é fundamental planejar o território. O Estatuto da Cidade relata que o planejamento territorial é classificado como um instrumento base para o desenvolvimento das cidades, de modo a ocorrer uma orientação nas tomadas de decisões de ações do Estado, para prover o desenvolvimento da cidade em um espaço e em um dado momento.

O conceito de planejamento urbano remete a ação do Estado no território que ele tiver poder legal. De acordo com Villaça (2002), o planejamento territorial pode ser encarado como um processo, assim, questões urbanas como saneamento básico, transporte, moradia e qualidade de vida, estão incorporados dentro do debate legal do planejamento urbano.

O planejamento territorial e o ordenamento do território estão em consonância, visto que todo tipo de ordenamento territorial é fruto de um planejamento anterior, assim não podendo estar dissociados. Planejar o território é uma ferramenta sistemática que norteia a tomada de decisões, na sequência, o ordenamento é posto no campo operacional, é possível colocar em prática o que se pretende, ou seja, o planejamento é o pensar e o ordenamento é o realizar na prática (SANTOS, 2009).

De acordo com Maricato (2003) o planejamento territorial trata-se de uma ferramenta voltada ao social, visando ações que possam transformar a comunidade, garantindo o bem-estar da população através do direito a cidade, por meio dos serviços e equipamentos públicos. Entretanto, há casos em que o planejamento territorial é realizado em benefício de grupos dominantes, privilegiando legalmente forças hegemônicas através do Estado, de modo a contribuir para a segregação e exclusão dos menos favorecidos ao direito a cidade.

A situação fundiária nas cidades brasileiras é marcada por irregularidade nos processos de assentamento de comunidades, o Brasil possui inúmeros instrumentos de gestão do território, atuando como regulamentador do modo de ocupação do solo dos municípios. Todavia, em praticamente todos os municípios se destaca o descumprimento das normas de ocupação. E qual o resultado disso? Ocupações em áreas de risco, normalmente as pessoas ao instalarem suas residências nesses locais desconhecem que estão expostas ao perigo de algum evento que coloque sua vida em risco.

A forma que município planeja como seu território deve ser ocupado relaciona-se diretamente à gestão de riscos. A partir do momento que em um município não tem construções em áreas de risco, uma série de desastres podem ser evitados. Todavia, é notório a falta de planejamento urbano nas cidades, e conforme as pessoas constroem suas casas nessas localidades, pode-se pensar no debate da construção social dos riscos, esses que por sua vez são tidos como um construto natural, em decorrência da falta de lugares adequados para a construção de casas, assim naturaliza-se os eventos desastrosos oriundos da falta do planejamento do território colocando em risco a vida de inúmeras pessoas em todo país.

Segundo Villaça (2002) o planejamento do território com ênfase em áreas de risco, não deve somente pairar no campo teórico, o planejamento deve estar atrelado na prática de políticas públicas contidas nos planos. Assim, os planos diretores municipais devem considerar na prática as possíveis áreas de risco da cidade, determinados com o auxílio de mapeamentos espaciais de áreas com risco de possíveis ocorrências desastrosas. Somente assim é possível mensurar os diferentes níveis de perigo que as pessoas dessas localidades estão acometidas (ZANIRATO et al., 2008).

De acordo com o autor supracitado, o Estado deve encarar os territórios em risco como uma prioridade dentro dos planos diretores, visto que a partir da identificação desses territórios, é possível mensurar os riscos, os graus de riscos e a vulnerabilidades das pessoas que vivem nessas áreas, com o objetivo de ordenar o território preventivamente, no intuito de evitar desastres. Diante disso, a abordagem do risco junto ao planejamento é uma escolha dos gestores e de sua equipe técnica, que podem mitigar as ameaças existentes em uma localidade.

A problemática que envolve os riscos nas cidades ocorre em todo país em decorrência da ausência de planejamento das prefeituras, é preciso que se crie a cultura de redução de riscos de desastre no Brasil, para que a gestão do risco passe a ser tratada de forma integrada, obtendo rigor no planejamento e eficácia ao mitigar os riscos existentes no território municipal, para evitar que vidas sejam ceifadas (COSTA; FERREIRA, 2010).

A configuração do território dos municípios do país passa indiretamente pelas mãos do seguimento imobiliário especulativo. Esse que muitas vezes atua como *lobby* junto as prefeituras sob força do capital, estabelecendo áreas prioritárias para o recebimento de infraestruturas públicas, valorizando-os. Dessa forma, quem não pode pagar por esses espaços, passam a ocupar áreas periféricas, muitas vezes localizadas em locais de risco, em encostas, terraços de rios, entre outros. No entanto, é dever do poder público realizar o planejamento de ordenamento do território, a fim de evitar esses riscos produzidos socialmente e garantir uma melhor qualidade de vida para a população.

A partir da Constituição Federal de 1988, o debate do planejamento do território torna a ser discutido com maior ênfase no Brasil, a Constituição de 1988 passa uma maior responsabilidade e autonomia para os entes municipais, assim o plano diretor torna-se um

instrumento de planejamento municipal, devendo ser elaborado por uma equipe técnica e aprovada pelo legislativo municipal, de modo que municípios a partir de 20 mil habitantes passam a serem obrigados a produzir esse plano como um instrumento legal, de ordenamento do uso e ocupação do solo do município. Destaca-se que o prazo para a confecção dos planos para municípios com mais de 20 mil pessoas se expirou em 2006, e muitos municípios ainda não dispõe desses dispositivos de planejamento.

Além do plano diretor, existem outras ferramentas que auxiliam no planejamento, uma delas é o Estatuto das Cidades, criado em 2001 através da Lei 10.257/2001 (BRASIL, 2001). Nele é enfatizado a importância da regularização dos imóveis urbanos e de sua função social para a comunidade. O Estatuto detém algumas diretrizes balizadoras para as gestões municipais, tais como:

- Garantia do direito a cidades sustentáveis;
- Gestão Democrática;
- Cooperação;
- Planejamento do desenvolvimento das cidades;
- Oferta de equipamentos urbanos;
- Controle e ordenamento do uso da terra urbana, a fim de se evitar especulações imobiliárias e buscar a justiça ambiental;
- Justa distribuição dos benefícios e do ônus decorrente do processo de urbanização;
- Proteção e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural e paisagístico;
- Audiências do poder público municipal e da população por ocasião de implantação de empreendimentos que possam rebater sobre o território; dentre outros pontos.

Como prevê o Estatuto da Cidade, o plano diretor deve ter a participação popular da comunidade nas etapas de produção e revisão do texto, principalmente quando o debate envolve o tema “risco nas cidades”, a população deve participar ativamente para cobrar ações concretas que visem uma maior capacidade de lidar e de convivência com os riscos nas comunidades.

O Estatuto da Cidade em seu Artigo 4º, Inciso III, Alíneas de A até H –, determina que o planejamento municipal deve promover o desenvolvimento da política urbana, por meio dos seguintes instrumentos:

- Plano diretor;
- Disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo;

- Zoneamento ambiental;
- Plano plurianual;
- Diretrizes orçamentárias;
- Gestão orçamentária participativa;
- Planos, programas e projetos setoriais;
- Planos de desenvolvimento econômico e social.

Sabe-se que existem uma série de instrumentos legais para o planejamento do território, mas por qual motivo as cidades ainda sofrem com desastres em áreas de risco? De acordo com Maricato (2003), esses eventos acontecem em decorrência do crescimento desordenado se perpetuar pela falta de operacionalização do planejamento antes feito, bem como em virtude de governos municipais não priorizarem áreas de risco, mas sim áreas de maior valor econômico.

Dessa forma, ocorre na cidade de Caicó/RN, como afirma Salvador e Brito (2018, p. 165), através do relato de um parlamentar do município:

Temos um Plano Diretor que foi copiado de outro município que não condiz com a nossa realidade. Este plano entrou em vigor em 2006 e não foi colocado em prática. Com a nova dimensão urbanística de Caicó ele está desatualizado. Temos que elaborar um novo projeto que deverá ser construído a partir de audiência pública.

Por determinação do Estatuto da Cidade, como o município de Caicó/RN possui mais de 60 mil habitantes, é obrigatório ter um plano diretor. Salvador e Brito (2018) explanam que o plano diretor de Caicó/RN foi elaborado no ano de 2006, e regulamentado pela Lei nº 4.204, de 17 de outubro de 2006, que institui o Plano Diretor Municipal.

Para Salvador e Brito (2018), o plano diretor de Caicó/RN é um documento que foi feito equivocadamente. Na análise dos autores, o plano foi elaborado por um escritório de advocacia, apenas por advogados e que segue o modelo feito a partir do plano diretor de uma cidade da região sul do país.

Ainda, conforme os autores, o plano diretor de Caicó/RN não contou com uma equipe multidisciplinar na sua elaboração, fragilizando o plano por não atender as especificidades da cidade. O plano diretor de Caicó/RN foi elaborado às pressas para cumprir ritos legais, não tendo a participação popular da comunidade. Durante a construção do plano não houve nenhuma audiência pública para debater os anseios da população, assim esse plano não cumpriu as diretrizes estabelecidas no Estatuto da Cidade. Além disso, o plano diretor de Caicó/RN não passa por revisão há 13 anos, o que mostra que ele não rege a realidade atual

do município, o processo de revisão encontra-se atrasado há mais de 3 anos, mostrando assim, o despreparo técnico e o descaso das autoridades do município para com o planejamento da cidade (SALVADOR; BRITO, 2018).

O plano diretor vigente no município é marcado por utopias, de uma Caicó/RN perfeita, mas que na realidade não funciona assim. No texto aborda-se um discurso de ordenamento territorial em todos os espaços, em prol do fundamental bem-estar da comunidade. Embora o texto tenha um rigor em sua escrita, ele não contempla a realidade do município, de modo que no texto apresenta-se inúmeras contradições e fragilidades, as quais não estão em conformidade com a atual Caicó/RN (SALVADOR; BRITO, 2018).

Do ponto de vista legal, a cidade de Caicó/RN atualmente dispõe de várias legislações oficiais, tais como a Lei Orgânica Municipal; o Plano Diretor Municipal; o Código de Obras; a Municipalização do Trânsito; e o Código de Postura Ética Cidadã. Entretanto, ao observar a cidade, o cidadão vê que a realidade está em discrepância com as propostas desses regimentos.

A constituição municipal, ou seja, a Lei Orgânica do Município de Caicó/RN foi criada por força de lei em 04 de abril de 1990, tendo quase 30 anos sem revisão. O papel dessa lei é balizar as ações do Estado, com suas atribuições. Assim, no Capítulo II, em seu Artigo 10 - Compete ao município:

IX - Promover, no que couber adequado ordenamento territorial mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;

XI - Elaborar e executar a política de desenvolvimento urbano com o objetivo de ordenar as funções das áreas habitadas do Município e garantir o bem-estar de seus habitantes;

XII - Elaborar e executar o plano diretor como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana;

XIII - Exigir do proprietário do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, que promova sua adequação, na forma do plano diretor, sob pena, sucessivamente, de parcelamento ou edificação compulsórios, imposto sobre a propriedade urbana progressivo no tempo e desapropriação com pagamentos mediante títulos da dívida pública municipal, com prazo de resgate até dez anos, em parcelas anuais e sucessivas, assegurados o valor real da indenização e os juros legais;

XV - Planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas;

XVII - Estabelecer normas de edificações, de loteamento, de arruamento e zoneamento urbano e rural;

XVIII - Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990, p. 6).

Em seu Capítulo VI, referente a Política Urbana e Rural, na Seção I, em seu Artigo 110:

§ 2º - A propriedade urbana cumprirá sua função social, quando atender às exigências fundamentais de ordenação da cidade, expressa no plano diretor (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990, p. 34).

Sobre o debate do meio ambiente, o Capítulo VII, em seu Artigo 115 relata que:

Fica o Poder Público Municipal obrigado a elaborar, até cento e oitenta dias após a promulgação desta Lei Orgânica, o Plano Municipal de Meio Ambiente, que deverá conter, além dos princípios especificados em leis federais e estaduais (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990, p. 36).

VI - Estimular e promover o reflorestamento em áreas degradadas, objetivando especialmente a proteção de encostas e dos recursos hídricos;

X - XI - considerar áreas de proteção permanente as seguintes:

Matas ciliares (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990 p. 36).

Percebe-se que a Lei Orgânica Municipal tem todo um rigor a respeito das questões voltadas ao planejamento territorial, no que tange questões de ocupações em áreas de proteção permanente.

O Código de Obras Municipal foi criado através da Lei nº 4.722/2014, de 26 de setembro de 2014, sendo um regimento de cunho operacional. Em seu Artigo 4 são apresentados os seus objetivos, destacando-se que é preciso:

Regular toda e qualquer construção, reforma, ampliação e demolição de imóveis, efetuada por particulares ou entidade pública, a qualquer título, observadas as normas federais e estaduais relativas à matéria (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2014, p. 1).

O código prevê instrumentos de ordenamento territorial, especialmente no que se refere a construções de equipamentos urbanos. Sendo utilizado para novos prédios ou reformas, além da sua utilização para construções em áreas de proteção permanente às margens de rios. Todo tipo de alteração nas edificações de Caicó/RN, segundo o código, deve se enquadrar nas diretrizes do plano diretor municipal. Pode-se destacar os artigos seguintes:

Art. 30. Cabe ao Município a aprovação do projeto de arquitetura, observando as disposições deste Código e do Plano Diretor do Município, além de padrões urbanísticos definidos em legislação própria;

Art. 55. É proibida a construção nas faixas de domínio de rios, junto a córregos ou fundos de vale, ou ainda, junto a faixas de escoamento de águas pluviais;

Art. 105. O parcelamento do solo na cidade de Caicó deverá ser previamente

aprovado pela prefeitura e atender a legislação pertinente, especialmente o Plano Diretor do Município (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2014, p. 8; 12; 22).

O Plano Diretor Municipal é o instrumento que o município dispõe para regular o ordenamento do território. No início do texto, mais precisamente no Artigo 2, dispõe que:

Todos os agentes públicos e privados de forma abrangente, contemplando todas as dimensões do desenvolvimento político, social, econômico, espacial administrativo e financeiro, garantindo o bem-estar dos munícipes, propiciando a ocupação ecologicamente equilibrada e sustentável do território municipal e o acesso à terra urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 01).

No Capítulo II, Artigo 4, inciso 1 destaca que:

§ 1. Áreas de interesse ambiental: São porções do território municipal localizadas em zona urbana e rural, nas quais as características do meio físico e aspectos geomorfológicos exigem controles adicionais de parcelamento do uso e ocupação do solo, para atendimento à legislação ambiental nacional (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 01).

No Título II, Capítulo I, Artigo 11 dispõe sobre as normas do ordenamento territorial de Caicó/RN.

§ 1. Integrar, viva, eficaz e permanentemente as atividades públicas e privadas, atendendo às aspirações e necessidades da comunidade, promovendo uma maior participação da população na elaboração das ações do governo municipal com vistas a expansão urbana;

§ 6. Estruturar o tecido urbano, de forma a oferecer o suporte físico adequado ao desenvolvimento dos sistemas de relações sociais econômicas (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 02).

O Artigo 62 da Seção IV, relata sobre a formulação de projetos que a prefeitura pode desenvolver conforme demandas específicas, tais como “§ 4. Reservas de mata, de recursos hídricos ou de relevo expressivo, no interior do perímetro urbano ou periférico” (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 03).

Ainda nessa seção, o Artigo 63 remete ao plano diretor, definindo como objeto de projetos urbanísticos especiais, os seguintes sítios urbanos:

§ 1. Área ao longo do rio Seridó no trecho compreendido entre as ruínas do Forte do Cuó e o rio Barra Nova, incluindo as áreas ribeirinhas, a ilha de Santana e o complexo turístico Santa Costa, comunidade Salgadinho até os limites com o município de São Fernando/RN (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 03).

Na Seção III, o plano dispõe sobre o ordenamento territorial e o meio ambiente: “Art. 73. A promoção do desenvolvimento urbano e rural deve ser compatível com a proteção ambiental e cultural. ”; “Art. 74. Visando a proteção e melhoria ambiental, constituem exigências fundamentais: § 2. O estabelecimento da ocupação racional e apropriada para cada manancial e bacia hídrica, respeitando suas características físicas específicas”; § “o estabelecimento de mecanismos para assegurar o controle de situações emergenciais em obras de risco”; § 8. “Desenvolver projeto de vegetação e recuperação dos rios e mananciais, com a recomposição de mata ribeirinha e arborização urbana” (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 04).

Ao destacar as principais disposições dos instrumentos legais de ordenamento do território de Caicó/RN, percebe-se que não há menção ao debate sobre áreas de risco de desastres. Essa falta de visão dos riscos nos planos ocorre de maneira geral, não somente em Caicó, e acontece por questões políticas e também pela falta de técnicos qualificados que possam ter percepção sobre o tema em questão.

Dessa forma, as legislações municipais de planejamento e ordenamento territorial não estão em conformidade com a realidade atual do município, bem como com as diretrizes colocadas no Estatuto da Cidade. O que está claro é que há uma preocupação com o planejamento do município em prol da população, mas isso é só no papel, na realidade esses benefícios do Estado **são obtidos somente por** grupos hegemônicos locais que fazem pressão no governo municipal, como meio para que seus interesses sejam atendidos conforme as demandas dentro do território.

Como explanado anteriormente, a negligência no uso e ocupação do solo em Caicó/RN, fez com que a população ocupasse áreas que apresentam risco de inundação, como é o caso da Área de Preservação Permanente do rio Seridó em ambas as margens, como mostra a figura 10. A legislação florestal atual, sob forma da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, dispõe que no entorno de corpos hídricos devem ser preservados uma faixa de 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura nas margens de rios em zonas rurais ou urbanas (BRASIL, 2012). Entretanto, apesar da lei citada anteriormente, é possível observar a existência de bairros inteiros construídos nas margens do rio Seridó.

Atualmente existem 16 bairros em Caicó/RN, criados por lei municipais, porém Brito (2016) relata que no plano diretor há a existência de pelo menos 31 bairros catalogados. O

que para Santos (2018), esses bairros sem registros são atribuídos ao capital imobiliário que constroem loteamentos de forma desordenada na área urbana da cidade, que passam a ser bairros posteriormente. Dificultando a implementação do ordenamento territorial na cidade, visto que esses bairros foram criados sem atender as normas do plano diretor. No quadro 5 é apresentado a lista com os bairros de Caicó/RN.

Figura 10 - Vista aérea das margens do rio Seridó totalmente ocupadas



Fonte: Elaboração própria (2019).

Quadro 5 - Bairros de Caicó/RN

Zonas Urbanas	Bairros
Norte	Boa Passagem, Vila do Príncipe, Recreio, Darcy Fonseca, Alto da Boa Vista, Samanaú, Salviano Santos, Nova Caicó e Loteamento Serrote Branco.
Sul	Paraíba, Centro, Soledade e Adjuto Dias.
Leste	Penedo, Nova Descoberta, Conjunto Castelo Branco, Vila Altiva, Vila Carlindo Dantas, Itans, Canutos e Filhos, Maynard, Loteamento Diniz, Santa Costa e Conjunto IPE.
Oeste	Barra Nova, João XXIII, Paulo VI, João Paulo II, Walfredo Gurgel, Frei Damião e Luiz Januário (Novo Horizonte).

Fonte: Santos (2018).

Portanto, no ponto de vista legal, o município de Caicó/RN está amparado pelos planos, resoluções, leis e decretos. Todavia, observa-se o descaso com o planejamento urbano por parte da administração, a questão é piorada quando adiciona-se a falta de conhecimento das áreas de risco da cidade, propiciando um aumento na vulnerabilidade dos caicoenses para lidar com desastres que podem acontecer.

6

PATOLOGIAS ESTRUTURAIS DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS E A MODELIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO

6.1 Anomalias no maciço

Embora a Barragem Passagem das Traíras tenha pouco mais de 20 anos de operação, algumas anomalias foram constatadas em sua estrutura, assim apontam os relatórios técnicos ANA (2015) e SEMARH (2016; 2019), no qual o último categoriza o risco de rompimento. Desse modo serão descritas as patologias presentes em todo o maciço que corroboram para a situação de vulnerabilidade estrutural.

6.1.1 Aspectos geotécnicos, fundações e ombreiras

Projetada pela Coordenadoria de Hidrogeologia – COHIDRO, a Barragem Passagem das Traíras foi pensada para ser uma barragem do modelo Terra, com vertedouro lateral, porém a coordenadoria estadual optou pelo modelo de Concreto Compactado a Rolo, em decorrência de ser 50% menos onerosa do que a do tipo Terra (ANA, 2015).

Os estudos geotécnicos elaborados para a época apontaram que os principais afloramentos presentes nas adjacências do maciço são: Quartzitos e Xisto. De acordo com o relatório da ANA (2015), o Quartzito bandado que aflora na ombreira direita da barragem (figura 11), apresenta uma série de fraturas na rocha, com cerca de 1,0 (um) metro cada. Já as rochas que ancoram a ombreira esquerda são de Xistos e apresentam fraturas, principalmente subverticais ANA (2015).

De acordo com a ANA (2015), é possível perceber que a montante do barramento apresenta intemperismo nos afloramentos, com a evidência de preenchimento com material fino (figura 12).

Figura 11 - Rochas das fundações da ombreira direita com faturamento



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 12 - Afloramentos que ancoram o maciço

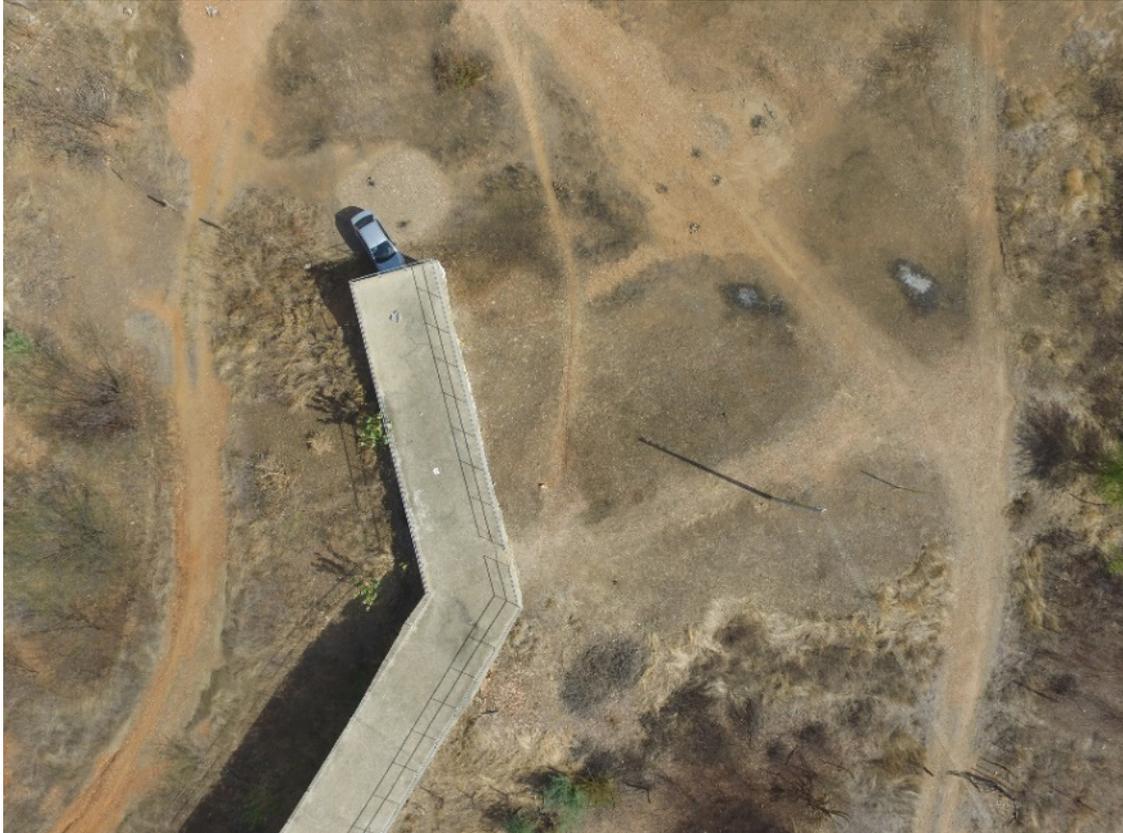


Fonte: Elaboração própria (2019).

6.1.2 Ombreiras

De acordo com o relatório de inspeção de barragem realizado pela ANA (2015), os técnicos relataram que existe a ausência do abraço de fechamento (final de um lado da ombreira) esquerdo da barragem. Como apresenta a figura 13.

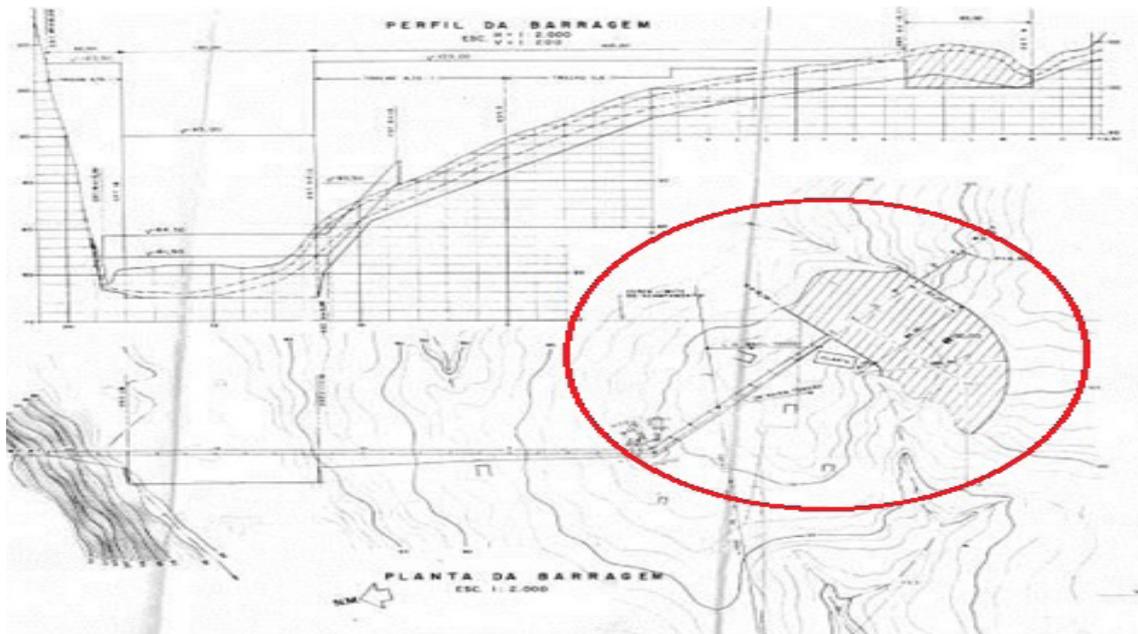
Figura 13 - Local onde há ausência do abraço de fechamento



Fonte: Elaboração própria (2019).

De acordo com a figura 14, é possível visualizar a planta da barragem Passagem das Traíras, a qual comparada com a figura 13, percebe-se que no projeto estava previsto a construção dos abraços de fechamento das ombreiras com um vertedouro auxiliar de emergência.

Figura 14 - Planta do projeto executivo da barragem Passagem das Traíras



Fonte: Modificado de ANA (2015).

Na figura 15, em complemento a informação anterior, é possível verificar que no extremo esquerdo da barragem, apresenta uma intensa degradação do concreto de fase de jusante, além da criação de solo devido a friabilidade, assim ocorrendo vegetação.

Figura 15 - Ombreira esquerda com processo de desagregação de concreto



Fonte: Elaboração própria (2019).

A figura 16 apresenta a friabilidade elevada do concreto compactado a rolo da face de jusante. Destaca-se que durante a primeira vistoria realizada na barragem no ano de 2005,

foi constatado a ocorrência da friabilidade. Além disso, é possível perceber a saturação de agregados de seixos rolados, denotando fragilidade na compactação a rolo.

Figura 16 - Friabilidade no concreto compactado a rolo da ombreira esquerda



Fonte: Elaboração própria (2019).

Na figura 17, destaca-se a permeabilidade e a friabilidade dos materiais permitindo o desenvolvimento de vegetação sobre o maciço.

Figura 17 - Vista do paramento de jusante esquerdo



Fonte: Elaboração própria (2019).

6.1.3 Crista do maciço

De acordo com a ANA (2015), o quadro patológico da crista do maciço permanece o mesmo, existem fissuras de diferentes tamanhos e falhas. Assim como mostra as figuras 18 e 19.

Figura 18 - Fissuras na crista do maciço



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 19 - Avarias na crista do maciço



Fonte: Elaboração própria (2019).

O panorama geral apresentado pela ANA (2015) e SEMARH (2016) relatam que há a existência de múltiplas fissuras no concreto da crista do maciço. As juntas de “Madeirite” expostas encontram-se em decomposição, além do guarda corpo com avarias.

6.1.4 Paramentos e vertedouro

De acordo com os referidos laudos da ANA (2015) e SEMARH (2016; 2019), os paramentos de montante e jusante apresentam uma série de patologias na estrutura, comprometendo a segurança do maciço. Essas anomalias estruturais são vistas como graves irregularidades, estando fora dos padrões de aceitabilidade técnica.

As anomalias, apresentadas pela ocorrência de inúmeras fissuras no paramento de montante, ocorrem nos encontros das juntas de dilatação do concreto, a qual encontra-se de forma descontinuada, fora do padrão técnico aceitável, assim ocasionado uma série de fuga de água advindas dessas fissuras.

Cabe destacar que para os referidos laudos apresentados pelos órgãos aqui citados, o concreto usado na obra não atende as especificações técnicas, em virtude de uma barragem de concreto compactado a rolo com idade de 25 anos apresentar tantas avarias estruturais. Assim, fica claro nos relatórios que há a existência de uma grave trinca no concreto do paramento na parte final do muro lateral direito da bacia de dissipação.

O que pode ser observado é que há uma grave desagregação do concreto do paramento de jusante e do órgão vertedor, além da oxidação, percebe-se que devido a friabilidade nesse concreto há a criação de solo no vertedouro, com a umidade proveniente da percolação vinda da galeria para a face do vertedouro, constata-se a existência de vegetação nos degraus (figura 20).

Os relatórios remetem que existem sobreposição de camadas de concreto, deste modo, evidencia-se uma péssima prática de uso de formas e moldes confeccionados de forma inadequada (seta vermelha) utilizando o método de lançamento e adensamento do concreto de face. Corroborando assim, para uma perda da geometria original por deterioração do concreto e acúmulo de sedimentos nos degraus ANA (2015).

Pode ser percebido buracos de tatus nas fundações de montante para dentro da galeria, o que pode comprometer ainda mais a estrutura (seta amarela).

Desaprumamento no paramento (seta verde) de montante e adensamento irregular das camadas compactadas (seta laranja) e fissura vertical em todo paramento a montante (seta roxa).

Todas essas anomalias na estrutura dos paramentos e do vertedouro estão apresentadas nas figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 - Anomalias estruturais no paramento de montante 1



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 21 - Anomalias estruturais no paramento de montante 2



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 22 - Patologias estruturais no paramento de jusante



Fonte: Elaboração própria (2019).

Na figura 22, é possível constatar a desagregação do concreto, onde observa-se que foi feito com seixos rolados e não com brita; assim como, um desnível nas faces do concreto no paramento de montante, o que mostra que existe anomalias graves. Nessas figuras, visualiza-se a principal fissura com uma fenda que atravessa toda a sessão da ombreira, assim possibilitando fugas de água. Devido à grande quantidade de desagregação do concreto, passam a existir a ocorrência de vegetação nos paramentos.

6.1.5 Galeria, tomada d'água e hidromecânica

A partir dos laudos patológicos vistos anteriormente, acrescentam-se ainda questões de ordem estrutural e de cunho instrumental, visto que, a barragem não detém instrumentos, como piezômetros, drenos, e régua graduadas.

É possível visualizar que a galeria apresenta falta de iluminação, infiltrações generalizadas, carbonatação e fugas de água devido à ausência de drenos, quanto a fuga de água, esta encontra-se percolando por baixo do maciço chegando à bacia de dissipação.

A Hidromecânica encontra-se inoperante, apresentando corrosão do aço das válvulas dispersoras (seta vermelha no item C), ferrugem, descarga de fundo sem proteção e com pedras obstruindo (seta azul no item A) e sem a presença das borboletas de controle de vazão, além da precariedade da tomada d'água (seta verde no item B). Com ênfase aos drenos internos na galeria que estão inoperantes (seta amarela no item E), na figura 23 pode-se observar a fuga de água e infiltrações contínuas, tanto na galeria como por baixo e no corpo do paramento de jusante (seta preta itens D e F).

Figura 23 - Patologias na galeria e hidromecânica



Fonte: Elaboração própria (2019).

Diante disso, foram feitas uma série de recomendações, no sentido das anomalias estruturais da barragem serem consertadas e que a estrutura possa não apresentar risco de rompimento. Os técnicos relatam:

Considerando o atual estado de deterioração do concreto do paramento de jusante, recomenda-se a realização, em curto prazo, de projeto específico para a recuperação do mesmo e a sua imediata execução, bem como a obturação da trinca no concreto existente no final do muro lateral direito da bacia de dissipação (SEMARH, 2016, p.23).

É necessária à construção de um novo abrigo para o sistema descarregador de fundo, uma vez que o atual foi construído de forma totalmente incorreta. descarregando frente a um paredão de rocha resultante da escavação para construção da barragem, que permite a acumulação de água próximo ao muro lateral da bacia de dissipação e escoamento com poder erosivo junto ao muro de ala esquerdo do sistema dissipador (SEMARH, 2016, p.24).

Recomenda-se ainda, pela importância da obra, a instalação de instrumentação nessa barragem e o monitoramento da integridade das juntas de contratação no concreto da face de montante. É importante salientar a prioridade que deve ser dada a esses dois trabalhos (SEMARH, 2016, p.24).

Vale salientar que o projeto desta barragem indicava a execução de injeções de colagem da barragem com a rocha de fundação. No entanto, segundo informações verbais, estas injeções não foram executadas. Sendo assim, é de suma importância que seja realizada uma investigação detalhada sobre esta situação (SEMARH, 2016, p.24).

Os técnicos relatam que há a existência de “uma obra com péssimo aspecto, com durabilidade e qualidade suspeitas” (ANA, 2015, p. 7). Além, disso, destaca que “vários requisitos das especificações não foram atendidos, principalmente quanto às tolerâncias de alinhamento e prumo” ANA (2015, p. 56).

Ao comparar a barragem Passagem das Traíras com outras barragens construídas pelo mesmo método (Concreto Compactado a Rolo – CCR), e tendo a mesma idade de operação (Saco de Nova Olinda, Caraíbas, Gameleira, Várzea Grande), percebe-se que a Passagem das Traíras, do ponto de vista do material empregado na obra, deixa a desejar, assim como com o cuidado técnico-estrutural na realização da obra, e o preço disso é a atual classificação de risco em Alerta, devido a presença de uma série de anomalias presentes na barragem.

6.2 Índice de Perigo Potencial

A barragem Passagem das Traíras atende ao sistema de abastecimento público de Jardim do Seridó (incluindo a comunidade Barra da Espingarda), ao futuro sistema para São José do Seridó e a usos diversos no entorno e a jusante no rio Seridó, sobretudo para irrigação, o cultivo

de vazante e criação de animais. A Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN, operadora dos sistemas de abastecimento público que captam nesse reservatório, informa demanda potencial igual a 54 l/s para Jardim do Seridó/RN.

Adotar-se a disponibilidade de 100 L/s para os usos a montante e 50 L/s a jusante. No sentido de perenizar o curso do rio, a jusante da barragem, regulariza-se que equivaleria a 100 L/s para todo o trecho do Seridó até o rio Chafariz, próximo à sede de Caicó, a 22,5 km da barragem, assim como mostrado no quadro 14 (ANA, 2018).

Tabela 14 – Caracterização do sistema hídrico Passagem das Traíras

Usos	Vazão Média Anual (l/s)
Abastecimento público	54
Demais usos no entorno do reservatório	100
Usos a jusante	50
Perenização a jusante	100
TOTAL	304

Fonte: ANA (2018).

Diante disso, referente à importância da barragem para o órgão gestor de águas, a Barragem Passagem das Traíras enquadra-se como “Elevada” atribuindo o peso (2), visto que o seu reservatório é de extrema importância para a operação do sistema da agência reguladora, assim sua desativação ou ruptura ocasiona na interrupção do sistema de abastecimento de água.

A capacidade do reservatório, segundo informações da SEMARH (2019), é igual a 49,7 milhões, os valores a serem adotados para as simulações hidrológicas, conforme curva cota – área – volume, para as cotas mínimas e máxima, estão descritas na tabela 15. Ainda, Conforme SEMARH (2019) a altura da crista do maciço da barragem mede aproximadamente 25,5 metros.

Tabela 15 – relação cota – área – volume da barragem

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (M/m ³)	Volumes notáveis
183	0,68	0,9	Mínimo
193,3	10,4	49,7	Máximo

Fonte: Elaborado pelo autor com base em SEMARH (2019).

Com base no exposto, a barragem Passagem das Traíras, se enquadra na categoria “Média” com o peso (6), dentro dos parâmetros da variável “Dimensões da Barragem”.

Conforme SEMARH (2019) a última medição do volume de água armazenada na barragem Passagem das Traíras, representa o valor de 0,86% do volume total, cerca de 49.7 milhões de metros cúbicos, como mostra a tabela 16. Em face disso, atribui-se o *status* “Baixo” com o peso (5), conforme o nível de água presente no reservatório.

Tabela 16 - Volume do reservatório nos últimos 12 meses

Data	Volume (m ³)	Percentual (%)
9/2019	429.922,95	0,86
8/2019	580.731,79	1,17
7/2019	720.653,82	1,45
6/2019	870.759,79	1,75
5/2019	954.256,13	1,92
4/2019	424.949,81	0,85
3/2019	365.900,69	0,74
2/2019	392.483,03	0,79
1/2019	478.590,45	0,96
12/2018	643.323,22	1,29
11/2018	835.173,11	1,68
10/2018	1.097.843,52	2,21

Fonte: Monitoramento SEMARH (2019).

6.2.1 Dos Impactos a Jusante

Social

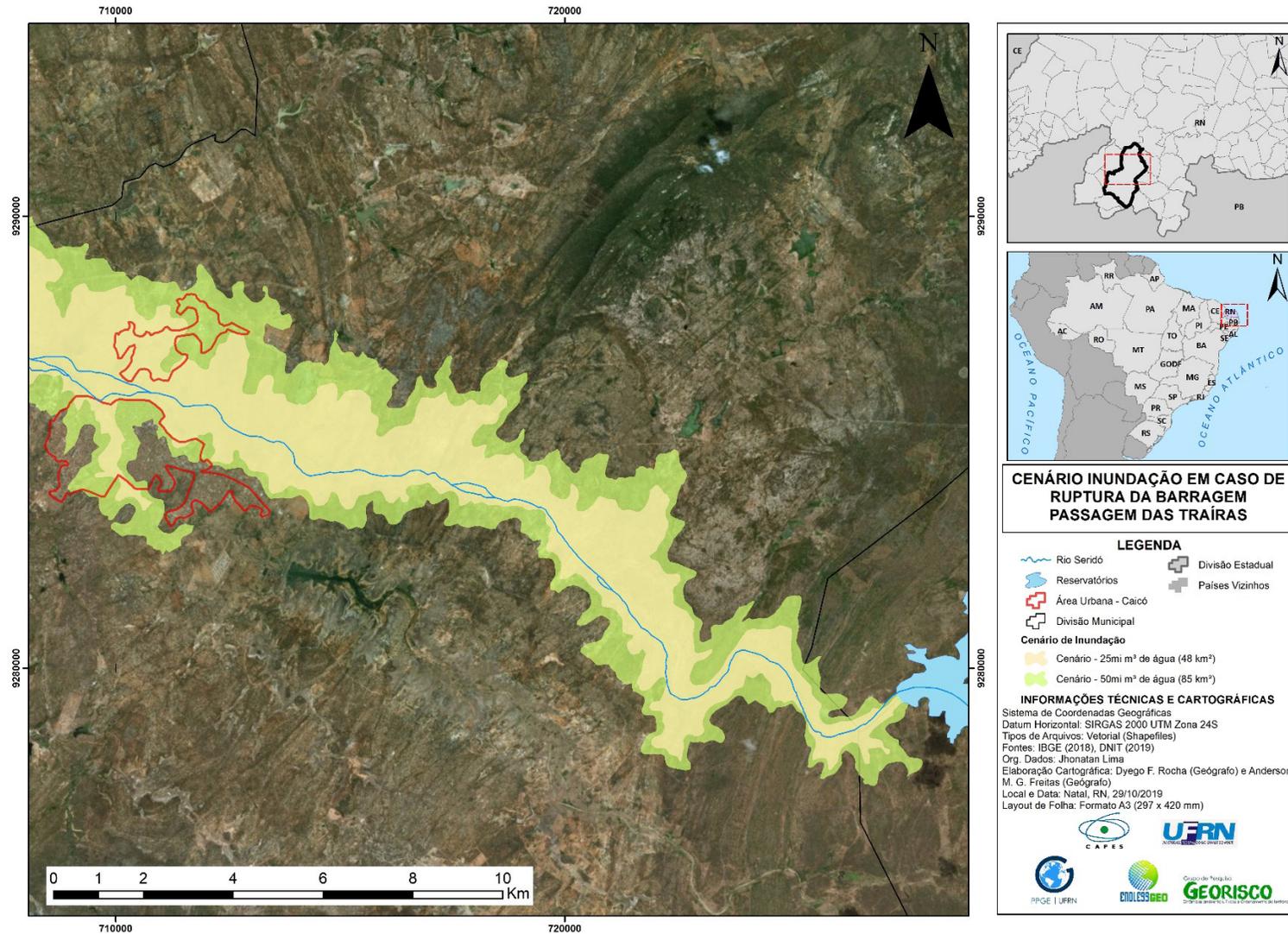
O município de Caicó/RN teve seu crescimento nos arredores da Igreja de Santana, expandindo-se nas adjacências do rio Seridó, esse crescimento da cidade em direção ao rio não levou em consideração os fatores ambientais. As territorialidades empregadas pelo homem, aqui, não estão em consonância com a manutenção da sua própria segurança no presente e no futuro.

Segundo dados do IBGE (2019) aproximadamente 6.971 pessoas residem nos setores censitários que estão na planície do Rio Seridó, ou seja, na área de preservação ambiental do rio. Em face desse dado, percebe-se que o número mínimo de pessoas expostas ao risco de inundação, em caso de ruptura da barragem Passagem das Traíras, passa de 5.000. Dessa forma, o impacto a jusante, a nível Social, enquadra-se como Grande, com o peso (0).

Ambiental

Conforme apresentado no mapa a seguir (mapa 2), é possível observar a extensão total de dois cenários de inundação, nas duas cotas (50% e 100% do volume de água da barragem), na cota de 50% ficou estimado 48 Km² de área inundada, enquanto no cenário de 100% do volume ficou estimando a inundação de 85 Km². Desse modo conforme o índice, essa variável tem o peso (0), devido a área de inundação ser maior que 10 Km², assim recebendo o status “Grande”.

Mapa 2 - Mapa principal de inundação



Fonte: Elaboração própria (2019) com base em IBGE (2017).

Econômico

É certo que existe mais de um setor censitário às margens do Rio Seridó, implicando assim, em mais de 50 casas nas adjacências do rio, diretamente expostas ao risco (figura 24). Desse modo, entende-se que o impacto da onda de cheia poderia afetar mais de 50 casas e os custos com reparos ambientais, sociais e estruturais passariam da ordem de 50 milhões, caracterizando-se o *status* “Grande” de impactos econômicos, atribuindo o peso (0).

Figura 24 - Imagem de drone das áreas as margens do Rio Seridó



Fonte: Elaboração própria (2019).

Sobre a variável do Tipo de Barragem, de acordo com a SEMARH (2019) a Barragem Passagem das Traíras é apresentada como de Concreto Compactado a Rolo – CCR, como mostra a figura 25. Diante disso, atribui-se o *status* de “Concreto” com o peso (12).

Figura 25 - Foto panorâmica do vertedouro e bacia de dissipação



Fonte: Elaboração própria (2019).

A respeito da variável “Órgão vertente”, conforme apresentado no projeto, o vertedouro é do tipo soleira livre, com escoamento pelos degraus e pela bacia de dissipação (figura 24). Assim, atribui-se o *status* de “superfície sem controle”, com o peso (15).

De acordo com SEMARH (2019) no volume III – Estudos Hidrológicos, foram recentemente verificadas as vazões para o vertedouro da barragem, para um período de recorrência entre 1.000 a 10.000 anos. Assim, a variável atribuída, quando a “Vazão de Projeto” enquadra-se no “*status*” “VP 1.000 < Tempo de Ocorrência < 10.000 anos”, atribuindo o peso (20). A tabela 17 a seguir mostra os cálculos recentemente realizados pela SEMARH para o tempo de ocorrência de 100 (A), 1.000 (B) e 10.000 (C) anos.

Tabela 17 - Tempo de Ocorrência de vazões na barragem Passagem das Traíras

(A) Reservatório	Bacia Montante (km ²)	Cota Soleira (m)	Cota Coroamento (m)	Tr - 100 Anos						
				Qafl (m ³ /s)	Qefl (m ³ /s)	Qafl/A (m ³ /s/km ²)	Aten. (%)	NA (m)	Lâmina (m)	Folga (m)
Boqueirão de Parelhas	1.445,12	287,40	294,40	1.598,19	450,44	1,11	71,82%	289,06	1,66	5,34
Caldeirão de Parelhas	188,52	284,10	286,50	191,48	120,59	1,02	37,02%	284,68	0,58	1,82
Cruzeta	1.003,90	123,50	125,50	414,93	255,87	0,41	38,33%	124,54	1,04	0,96
Dourado	478,72	92,50	96,00	537,94	447,16	1,12	16,88%	94,02	1,52	1,98
Marechal Dutra	2.119,27	299,77	304,00	1.039,02	667,58	0,49	35,75%	301,59	1,82	2,41
Passagem das Traíras	6.100,26	193,32	200,80	1.574,36	1.423,43	0,26	9,59%	195,72	2,40	5,08
Várzea Grande	489,61	541,00	545,00	552,49	323,96	1,13	41,36%	542,75	1,75	2,25
Zangarelhas	151,50	95,00	98,00	168,85	100,29	1,11	40,61%	96,07	1,07	1,93

(B) Reservatório	Bacia Montante (km ²)	Cota Soleira (m)	Cota Coroamento (m)	Tr - 1.000 Anos						
				Qafl (m ³ /s)	Qefl (m ³ /s)	Qafl/A (m ³ /s/km ²)	Aten. (%)	NA (m)	Lâmina (m)	Folga (m)
Boqueirão de Parelhas	1.445,12	287,40	294,40	2.526,28	804,58	1,75	68,15%	289,85	2,45	4,55
Caldeirão de Parelhas	188,52	284,10	286,50	290,61	197,54	1,54	32,02%	284,91	0,81	1,59
Cruzeta	1.003,90	123,50	125,50	641,52	410,51	0,64	36,01%	124,93	1,43	0,57
Dourado	478,72	92,50	96,00	842,22	711,62	1,76	15,51%	94,58	2,08	1,42
Marechal Dutra	2.119,27	299,77	304,00	1.743,21	1.123,27	0,82	35,56%	302,34	2,57	1,66
Passagem das Traíras	6.100,26	193,32	200,80	2.646,86	2.381,03	0,43	10,04%	196,71	3,39	4,09
Várzea Grande	489,61	541,00	545,00	874,97	556,19	1,79	36,43%	543,51	2,51	1,49
Zangarelhas	151,50	95,00	98,00	250,73	160,34	1,66	36,05%	96,46	1,46	1,54

(C) Reservatório	Bacia Montante (km ²)	Cota Soleira (m)	Cota Coroamento (m)	Tr - 10.000 Anos						
				Qafl (m ³ /s)	Qefl (m ³ /s)	Qafl/A (m ³ /s/km ²)	Aten. (%)	NA (m)	Lâmina (m)	Folga (m)
Boqueirão de Parelhas	1.445,12	287,40	294,40	3.455,79	1.207,42	2,39	65,06%	290,61	3,21	3,79
Caldeirão de Parelhas	188,52	284,10	286,50	390,43	289,48	2,07	25,86%	285,15	1,05	1,35
Cruzeta	1.003,90	123,50	125,50	875,85	580,66	0,87	33,70%	125,30	1,80	0,20
Dourado	478,72	92,50	96,00	1.151,07	986,64	2,40	14,29%	95,08	2,58	0,92
Marechal Dutra	2.119,27	299,77	304,00	2.488,88	1.620,79	1,17	34,88%	303,05	3,28	0,95
Passagem das Traíras	6.100,26	193,32	200,80	3.804,60	3.394,95	0,62	10,77%	197,62	4,30	3,18
Várzea Grande	489,61	541,00	545,00	1.197,54	801,99	2,45	33,03%	544,20	3,20	0,80
Zangarelhas	151,50	95,00	98,00	332,28	223,93	2,19	32,61%	96,82	1,82	1,18

Fonte: Adaptado de SEMARH (2019).

Diante do exposto, embasados nos laudos da Agência Nacional de Águas e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, foram atribuídos valores, sendo substituídos conforme a metodologia aplicada no trabalho. O resultado de cada variável encontra-se apresentado na tabela 18.

Tabela 18 - Descriminação das variáveis com os pesos atribuídos

Importância da barragem para ANA	Dimensões da barragem	Volume de água armazenada	Impacto a jusante			Tipo da barragem	Órgão vertente	Vazão de projeto
			Social	Ambiental	Econômico			
Elevada (2)	Média (6)	Baixo (5)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)	Concreto (12)	Superfície sem controle (15)	VP 1.000 < Tempo de Ocorrência < 10.000 anos (20)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001), a partir dos dados fornecidos por ANA (2015); SEMARH (2019).

Dessa forma, o somatório das variáveis atribuídas para o Índice de Perigo Potencial, resultou em 60, recebendo o *status* de “Elevado”.

A partir da relação entre as informações dos órgãos de regulação da barragem, atrelados a metodologia aplicada nessa pesquisa, chegou-se ao resultado que a barragem detém um Elevado Perigo Potencial associado, apresentando-se como fator de risco para o município de Caicó/RN, devido sua localização geográfica a jusante do barramento.

6.3 Índice Estado Real da Barragem

Quanto ao Índice do Estado Real da Barragem, com base nas informações cedidas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e pela Agência Nacional de Águas, foram ponderados os pesos das variáveis do índice com base nos critérios apresentados no ERB.

A variável “Informações de Projeto”, classifica-se como “Completas” apresentando peso (5), devido a quantidade de informações apresentadas no dossiê da barragem Passagem das Traíras.

A barragem Passagem das Traíras encontra-se em operação desde 1994, entretanto, até o ano de 2005 não existia monitoramento periódico, somente após a criação da ANA, começaram as vistorias na barragem. De acordo com o quadro 6 quanto a variável “Frequência na avaliação do comportamento”, atribui-se o *status* “Razoável” com peso (6). A classificação desse *status* ocorre em detrimento das inspeções não seguirem um cronograma periódico, as inspeções somente são realizadas quando há a determinação das Coordenações de Infraestrutura da ANA ou da SEMARH. Os dados dos relatórios não constam em um banco de dados institucionalizado pela Secretaria, para que as pessoas acessem via internet. Caso o cidadão deseje o acesso, deverá solicitar formalmente junto à Secretaria.

Quadro 6 - Documentos oficiais das vistorias realizadas na barragem

Documento	Ano	Órgão responsável
RELATÓRIO PSB- RG NORTE - “VISITA TÉCNICA DE INSPEÇÃO ÀS BARRAGENS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE”	2005	Ministério da Integração Nacioal
RELATÓRIO DE VISITA TÉCNICA DE INSPEÇÃO BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS – SÃO JOSÉ DO SERIDÓ – RN	2015	Agência Nacional de Águas
RELATÓRIO DA 5ª INSPEÇÃO REGULAR DA BARRAGEM	2016	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
RELATORIO DA 6ª INSPEÇÃO REGULAR DA BARRAGEM	2016	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS PARA GARANTIR A SEGURANÇA DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS	2018	Agência Nacional de Águas
PROJETO CONCEITUAL DA ALTERNATIVA SELECIONADA NO ESTUDO VISANDO GARANTIR A SEGURANÇA DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS	2019	Agência Nacional de Águas
ESTUDO E ELABORAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO PARA RECUPERAÇÃO/MANUTENÇÃO DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS	2019	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Fonte: Elaborado pelo autor com base em SEMARH (2019).

Quanto a variável “Percolação”, sobre o comportamento do fluxo de água pelo corpo da barragem e pelas ombreiras e fundações, atribuiu-se o *status* “Crítica” com peso (5), considerando que há a existência de anormalidades de acordo com o nível de percolação implicando diretamente na segurança da barragem ANA (2015). É possível constatar a existência de infiltrações internas na bacia de dissipação com a presença de carbonização, bem como a existência de carbonatação na face do paramento de montante. A percolação entre as juntas de dilatação ocorre em virtude das infiltrações na galeria em consequência dos drenos estarem inoperantes, ainda na galeria foram encontradas carbonatação no teto, devido ao contato da água com o calcário do cimento, formando estalactites (Figura 26).



Figura 26 - Percolação e fuga de água na galeria e bacia de dissipação

Fonte: Elaboração própria do autor (2019).

Quanto aos níveis de “Deformação” atribui-se a categoria “Crítica” com peso (5), visto que os órgãos gestores de águas a nível nacional (ANA), regional (IGARN) e proprietário da barragem (SEMARH) têm ciência da existência de patologias na estrutura da barragem Passagem das Traíras, segundo o 6º Relatório de Inspeção Regular da Barragem Passagem das Traíras, realizado no dia 08 de setembro de 2016 (SEMARH, 2016).

Quanto a variável “nível de deterioração do paramento”, atribui-se a classificação “Excessiva” com peso (3), considerando que existem altos níveis de degradação em grandes seguimentos do maciço da barragem, tais como os paramentos de montante, jusante, na crista e no vertedouro. Tendo em vista o relatório da SEMARH (2019, p. 48) afirma: “Este paramento foi executado sem a devida proteção de concreto de face, o que fez com que esta região da barragem se degradasse de forma intensa, inclusive com situações extremas de perda da geometria original”.

Quanto a variável “Erosão a jusante”, levando em consideração que a barragem Passagem das Traíras é de concreto, sem a presença de taludes a jusante do rio e sem erosões visíveis, atribui-se a classificação “Mínimo ou Inexistente” com peso (15).

Acerca da variável “condição dos equipamentos dos descarregadores”, de acordo com os relatórios da ANA (2015) e SEMARH (2019), a hidromecânica da barragem Passagem das Traíras encontra-se inoperante. Atribuindo-se a classificação “Inoperante”, com o peso (3). É possível ser comprovado visualizando a figura 21, que apresenta o principal descarregador da

barragem, com avarias e sem a borboleta girar, além do dispersor dentro do abrigo com avarias, e a descarga de fundo sem manutenção com muita corrosão, tampada com pedras.

Diante dos fatos justificados, apresenta-se a tabela 19 do Índice Estado Real da Barragem, com as variáveis apresentadas e seus respectivos pesos.

Tabela 19 - Índice de Estado Real da Barragem

Informações de projeto	Frequência na avaliação do comportamento	Percolação	Deformações	Nível de deterioração dos paramentos	Erosão a jusante	Condições dos equipamentos hidromecânicos
Completas (5)	Razoável (6)	Crítica (5)	Crítica (5)	Excessiva (3)	Mínimo ou Inexistente (15)	Inoperante (3)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001), a partir dos dados fornecidos por ANA (2015); SEMARH (2019).

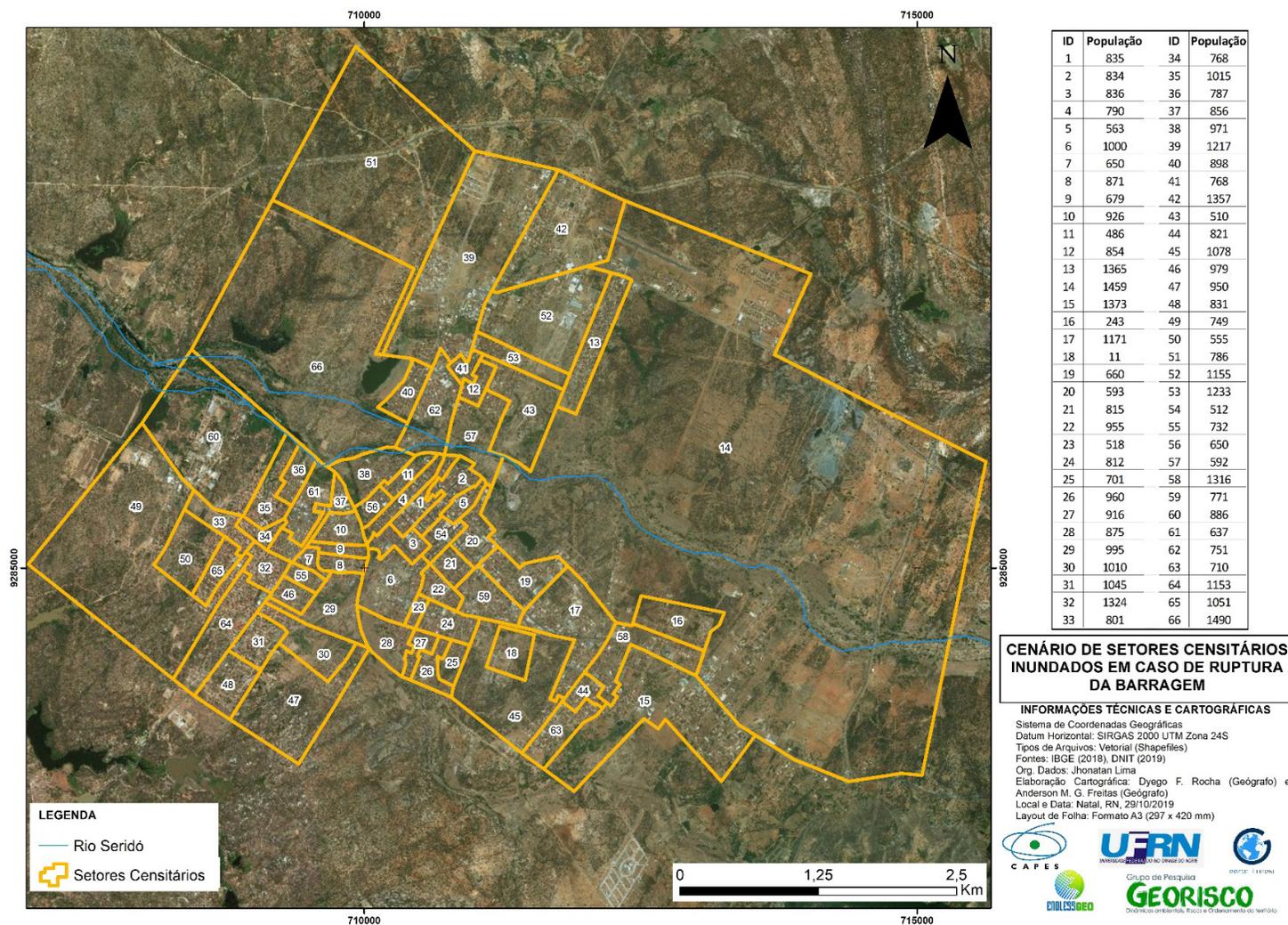
O somatório das variáveis do Índice Estado Real da Barragem, resultou em 42, atribui-se a classificação da barragem como “Insatisfatório”.

De acordo com a metodologia aplicada, para realizar o cálculo do Índice de Comportamento da barragem, é necessário a aplicação da fórmula (vide equação 1), a com a aplicação dos valores do PP + ERB e os pesos, o Índice de Comportamento da Barragem Passagem das Traíras, enquadra-se no grau de risco Emergência apresentando resultado do intervalo de 49,2.

Através da incursão *in loco* na barragem, juntamente com as avaliações anteriores dos órgãos de regulação, foi possível constatar várias anomalias na estrutura do maciço. Patologias essas que colocam a estrutura em situação de fragilidade. Conforme a aplicação dos índices, tanto para o Perigo Potencial como para o Estado Real da Barragem, as cotações dos valores foram significativas, devido à ausência de manutenção na barragem há 24 anos. Além disso, a existência de uma cidade com aproximadamente 60 mil habitantes, poucos quilômetros a jusante, com os dispositivos de contingenciamento frágeis, coloca a barragem e o município de Caicó/RN em um cenário de desastre. No mapa 3 é possível constatar o número de pessoas expostas, por setor censitário em Caicó/RN.

Visto isso, é preocupante tanto para quem pesquisa como para toda a sociedade saber que a barragem Passagem das Traíras, que já estava enquadrada no grau de risco de Alerta, passou para o grau de Emergência. Essa alteração é o reflexo da ausência de medidas de operação e manutenção periódicas nos reservatórios do Rio Grande do Norte, representando um alto grau de risco para a população.

Mapa 3 - Mapa demográfico dos setores censitários de Caicó/RN



Fonte: Elaboração Própria (2019) com base em IBGE (2017).

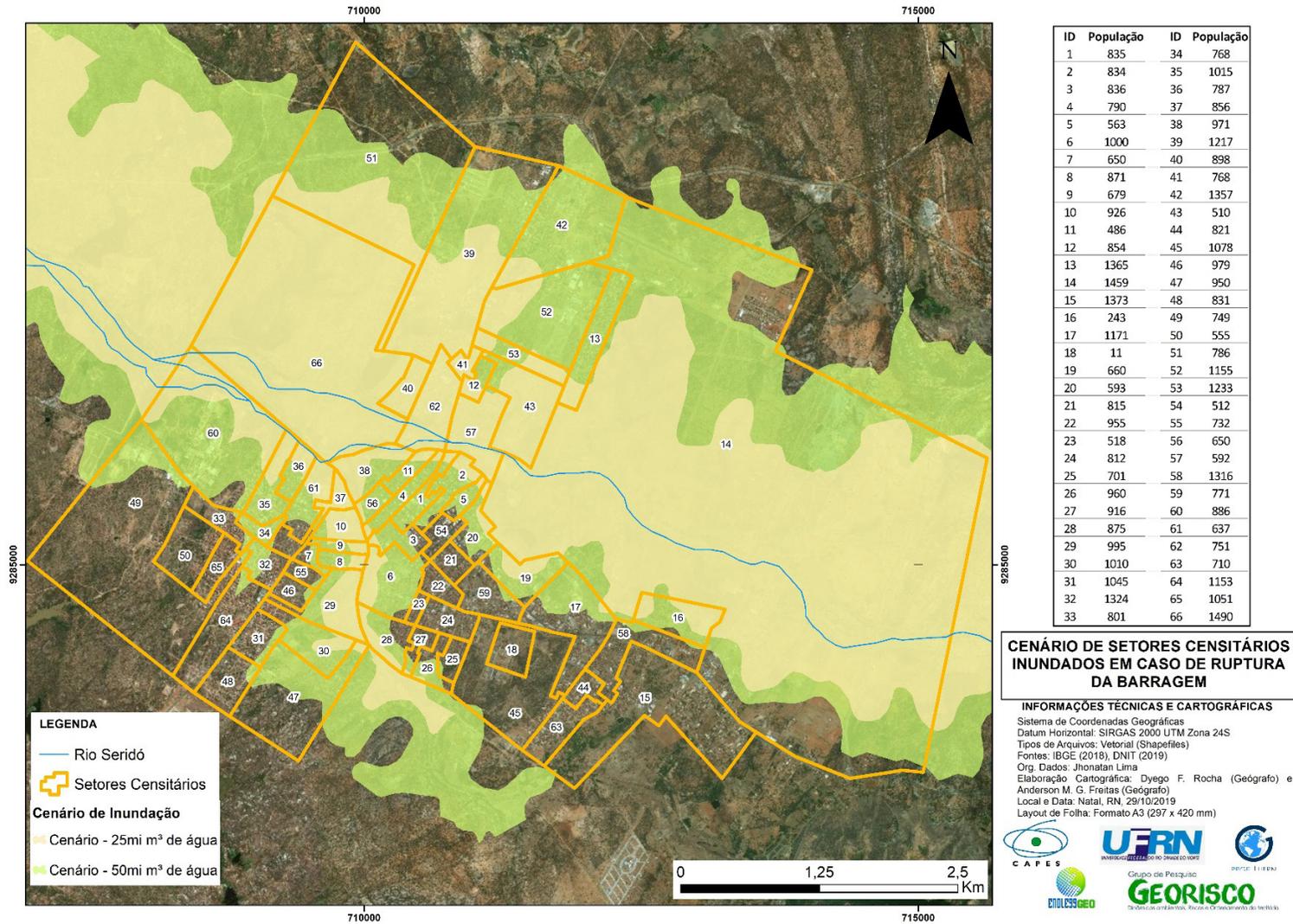
Em seguida, pode-se observar o mapa dos setores censitários de Caicó/RN com as informações demográficas e também com as cotas de inundação da onda de cheia destacando os cenários em que a barragem está com 50% e 100% do seu volume de água (mapa 4). Dessa forma, na figura 29 é possível ver a espacialização dos cenários sobre os setores censitários em Caicó/RN podendo estimar o número de pessoas expostas a esse risco conforme a tabela 20 a seguir.

Tabela 20 - Balanço geral dos cenários de inundação da onda de cheia

#	Volume da onda de cheia	População exposta
Canário Cota de 50%	25 Mi m ³	17.701
Cenário cota de 100 %	49,7 Mi m ³	37.604

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Mapa 4 - Mapa dos cenários de inundação da onda de cheia em Caicó/RN



Fonte: Elaboração Própria (2020) com base em dados do IBGE (2017).

É possível verificar que grande parte do perímetro urbano da sede municipal será inundado nos dois cenários. Aproximadamente 67% da população do município encontra-se em áreas de risco, totalmente expostas caso ocorra a ruptura da barragem Passagem das Traíras. É necessário destacar que todo o vale a jusante da barragem desde o maciço, fica à mercê de um desastre dessa proporção.

No cenário de desastre, após passar por Caicó/RN a onda de cheia seguirá pelo curso do rio Seridó, desembocando na calha do rio Piranhas, sendo amortecida somente pela barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves em Itajá/RN, sendo esta, a única que pode receber todo esse volume de água, devido a sua capacidade de 2,4 bilhões de m³. Todavia, considerando-se um cenário em que a barragem Passagem das Traíras apresente 100% de sua capacidade, a barragem Armando Ribeiro Gonçalves também estará cheia, e ao receber esse volume da onda de cheia, possivelmente haverá um vertimento anormal, que por sua vez, causará danos a região do vale do Açu, no baixo curso do rio Açu a jusante da barragem Armando Ribeiro.

Portanto, a barragem Passagem das Traíras representa uma “bomba relógio” não só para Caicó/RN, como para as demais áreas do Estado potiguar, visto a gravidade do grau de risco que essa estrutura se encontra.

De acordo com a Secretaria Municipal de Tributação e Finanças, existem bairros com o valor do m² diferente, essa variação existe em decorrência do nível de planejamento e infraestrutura que o bairro apresenta. No capítulo anterior sobre os cenários de inundação, tem-se a investigação em cima da mensuração dos possíveis prejuízos imobiliários caso a barragem aqui estudada rompa e inunde a área urbana. O quadro 31 apresenta o valor do metro quadrado por bairro em Caicó/RN.

Com base nos valores do m², foi possível estimar as perdas/prejuízos imobiliários com base nos cenários de inundação nas diferentes cotas (mapa 5 e 6). Com base nos dois cenários de inundação, nas tabelas 21 e 22 expõem os valores das perdas imobiliárias por bairros, de acordo com o valor do m² é possível verificar que os prejuízos são estimados em milhões de reais.

Tabela 21 – Perdas imobiliárias nos bairros de Caicó no cenário de 50% do volume da barragem na onda de cheia

Cenário de inundação de 50 % (25 Mi m³) do volume da da barragem			
Bairro	Valor médio do M²	Área inundada M²	Valor estimado das perdas RS
Recreio	R\$ 42,56	327932,3	R\$ 13.956.798,69
Vila do Príncipe	R\$ 103,91	174474,4	R\$ 18.129.634,90
Darci Fonseca	R\$ 103,91	122485,6	R\$ 12.727.478,70
Boa Passagem	R\$ 103,91	1069578	R\$ 111.139.849,98
Samanauí	R\$ 103,91	452866,6	R\$ 47.057.368,41
Alto da Boa Vista	R\$ 83,13	323888,9	R\$ 26.924.884,26
Salviano	R\$ 34,05	75622,43	R\$ 2.574.943,74
Barra Nova	R\$ 103,00	3062,433	R\$ 315.430,60
Centro	R\$ 437,00	21272,84	R\$ 9.296.231,08
Vila ativa	R\$ 103,91	139282,3	R\$ 14.472.823,79
Penedo	R\$ 124,69	293880,2	R\$ 36.643.922,14
Serrote Branco I	S/ID	148775,8	S/ID
Serrote Branco II	S/ID	61939,09	S/ID
Serrote Branco III	S/ID	167290,6	S/ID
Aeroporto	S/ID	14722,08	S/ID
Nova Caicó	S/ID	42194,41	S/ID
Acampamento	S/ID	19564,86	S/ID
Ilha de Santana	S/ID	93118,11	S/ID
TOTAL			RS 293.239.366,28

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

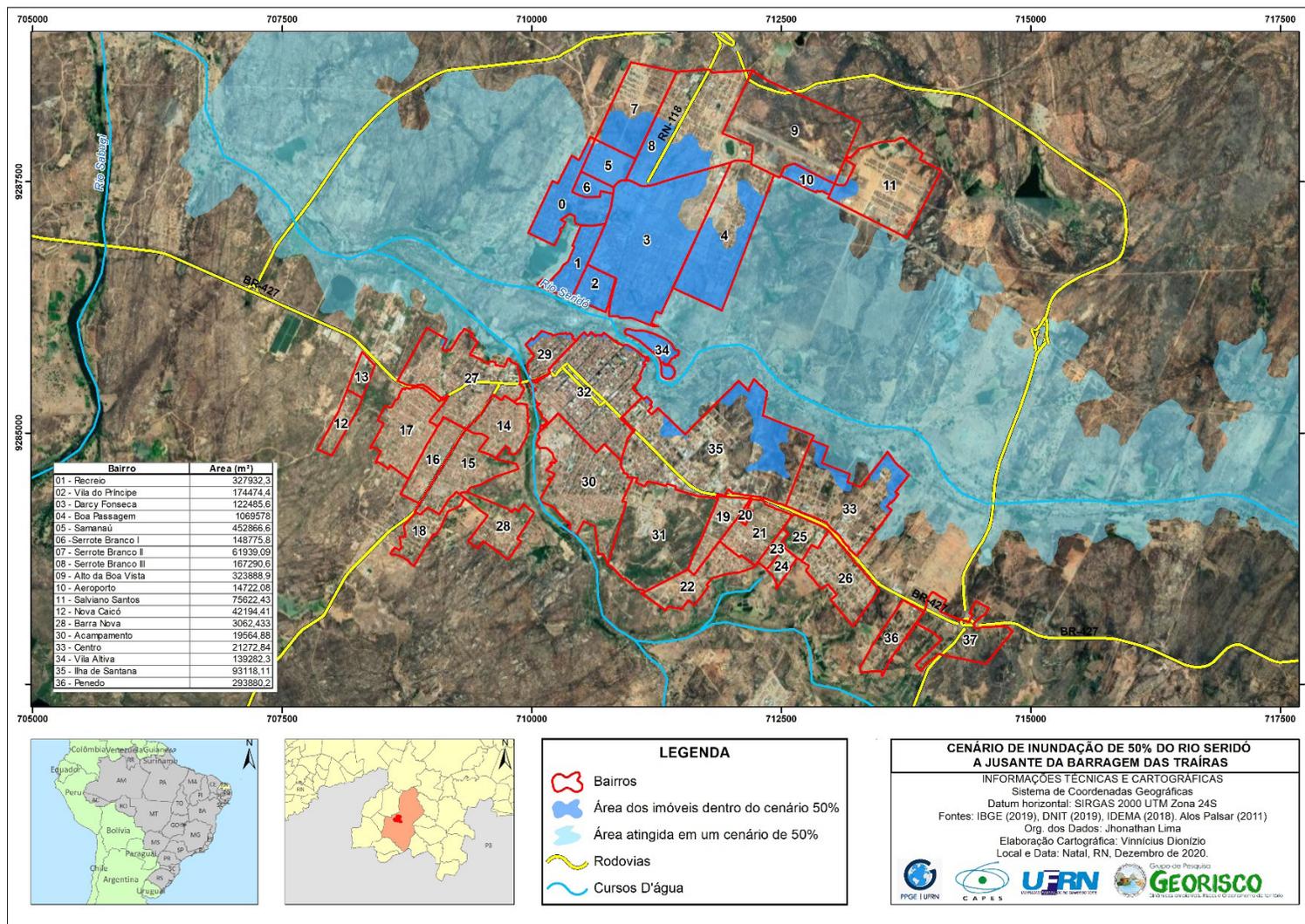
Tabela 22 – Perdas imobiliárias nos bairros de Caicó no cenário de 100% do volume da barragem na onda de cheia

Cenário de inundação de 100 % (47,9 Mi m³) do volume da da barragem			
Bairro	Valor médio do M²	Área inundada M²	Valor estimado das perdas RS
Recreio	R\$ 42,56	330793,2	R\$ 14.078.558,59
Vila do Príncipe	R\$ 103,91	174474,4	R\$ 18.129.634,90
Darci Fonseca	R\$ 103,91	122485,6	R\$ 12.727.478,70
Boa Passagem	R\$ 103,91	1205612	R\$ 125.275.142,92
Samanauí	R\$ 103,91	711068,6	R\$ 73.887.138,23
Alto da Boa Vista	R\$ 83,13	824067,9	R\$ 68.504.764,53
Salviano	R\$ 34,05	78765,55	R\$ 2.681.966,98
Barra Nova	R\$ 103,00	515366,2	R\$ 53.082.718,60
Centro	R\$ 437,00	590153,6	R\$ 257.897.123,20
Vila ativa	R\$ 103,91	497839,6	R\$ 51.730.512,84
Paraíba	R\$ 149,62	274527,3	R\$ 41.074.774,63
Adjunto Dias	R\$ 21,79	20574,12	R\$ 448.310,07
João Paulo II	R\$ 21,79	52238,32	R\$ 1.138.272,99
Walfredo G	R\$ 27,24	72794,4	R\$ 1.982.919,46
Penedo	R\$ 124,69	1075950	R\$ 134.160.205,50
Serrote Branco I	S/ID	150743,6	S/ID
Serrote Branco II	S/ID	61939,09	S/ID
Serrote Branco III	S/ID	354865,7	S/ID
Aeroporto	S/ID	755110,2	S/ID
Nova Caicó	S/ID	589847,2	S/ID
Acampamento	S/ID	138819,4	S/ID
Soledade	S/ID	223950,9	S/ID
1 BEC	S/ID	59458,67	S/ID
João XXIII	S/ID	212254,8	S/ID
Ilha de Santana	S/ID	93188,11	S/ID
TOTAL			RS 856.799.522,13

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

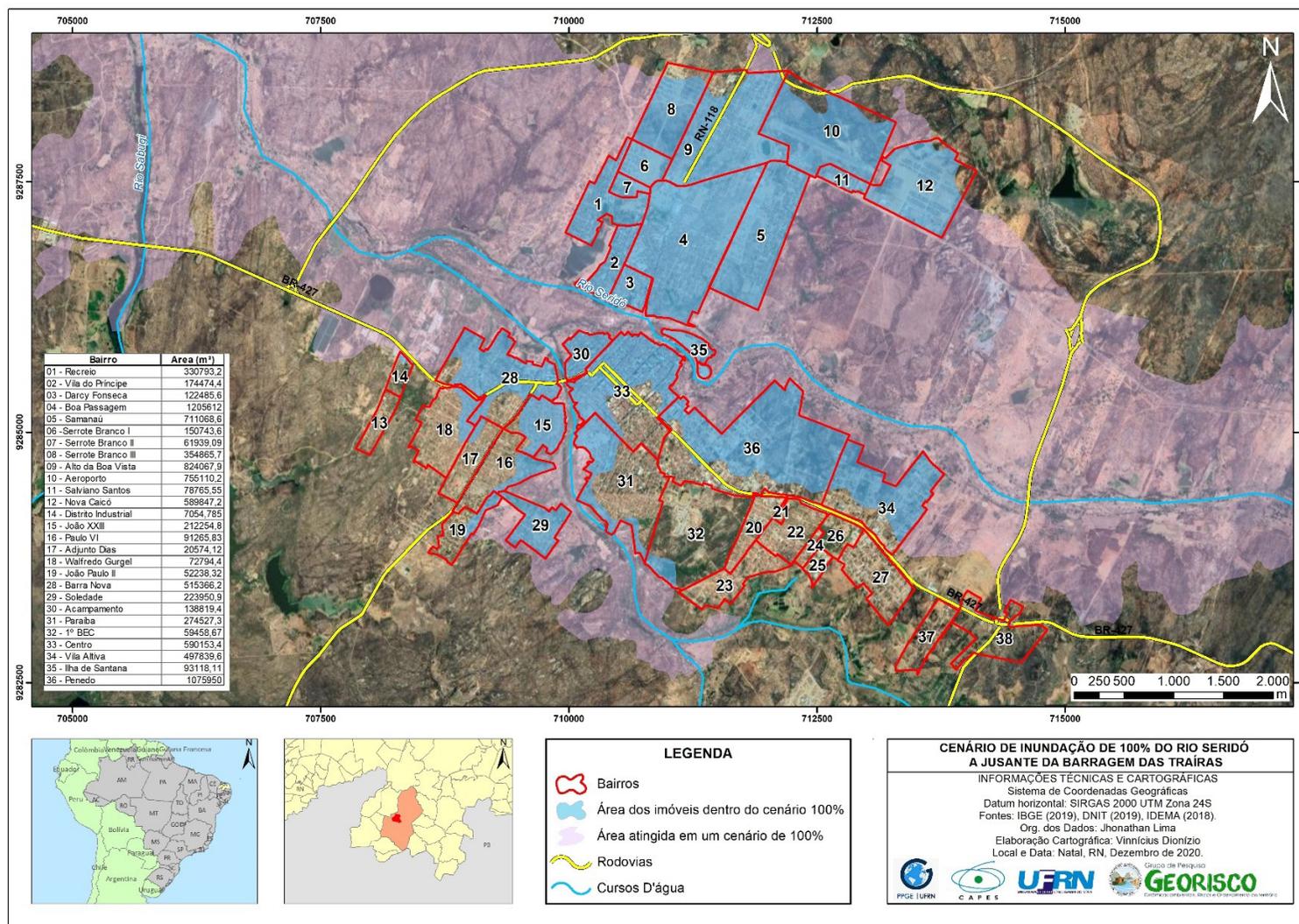
Como pode ser visto, os danos são desastrosos para a economia imobiliária de Caicó/RN. No primeiro cenário, as perdas chegam a aproximadamente 293 milhões de reais, enquanto no segundo cenário são da ordem de 856 milhões de reais. Destaca-se que os bairros que estão com as identificações “S/ID” (sem identificação), são bairros que a Secretaria Municipal de Tributação e Finanças de Caicó/RN não disponibilizou dados. Portanto, os valores das perdas são bem maiores do que os cálculos previstos, uma vez que não há como saber os valores do m² dos bairros em questão.

Mapa 5 – Mapa das áreas em m² dos bairros de Caicó inundados na cota de 50%



Fonte: Elaboração própria (2020) com base em dados do IBGE (2017).

Mapa 6 – Mapa das áreas em m² dos bairros de Caicó inundados na cota de 100%



Fonte: Elaboração própria (2020) com base em dados do IBGE (2019).

6.4 Atores locais e infraestruturas de salvaguarda

Um evento desastroso envolvendo a ruptura de uma barragem é o estágio final de uma série de processos apresentados anteriormente pela estrutura. A estrutura antes do colapso emite sinais, e esses sinais se captados, decodificados e apresentados a comunidade podem ser decisivos para salvar vidas em risco. Essa fase denomina-se de pré-impacto, que é quando a infraestrutura passa a apresentar aspectos anormais (SOUZA, 2018).

É durante essa fase que todos os estudos de emergência e contingência devem ser realizados pelos órgãos responsáveis, no intuito de reparar as anomalias e caso colapse, estes tenham um plano de como proceder durante e após o evento. Caso nada seja feito, é deflagrada a fase do impacto, que é quando há a iminência de uma ruptura, é neste momento que devem ser feitas as remoções de emergência da população, montagem de abrigos, hospitais e realizada a gestão de desastres com fornecimento de água, comida e higiene as pessoas (SOUZA, 2018).

Após a fase do impacto, instala-se a fase da atenuação que consiste-se na realização de buscas e salvamento de pessoas e animais, avaliação de perdas, e a busca pelo estabelecimento emergencial de água, limpeza e energia elétrica (SOUZA, 2018).

A seguir na figura 27 é apresentado o modelo mais indicado para a gestão de risco em barragem. Como pode ser visto, existe a sala de monitoramento, a qual os técnicos têm informações em tempo real da barragem, caso ocorra o colapso da estrutura a mensagem é repassada e são acionadas sirenes de emergência para evacuação total em direção a um ponto de encontro, em seguida as pessoas são destinadas a um abrigo.

Figura 27 - Esquema de gerenciamento de riscos de desastres em barragens



Fonte: Adaptado de Brasil (2016).

Em um cenário de desastre, principalmente no pós-desastre de rompimento de barragem, são necessários recursos humanos e materiais para lidar com as questões de contingenciamento. Nesse sentido, apresenta-se algumas informações que servem como auxílio para as tomadas de decisões no município de Caicó/RN.

Durante o evento desastroso, é importante que cada ator social, principalmente das forças de segurança saibam qual sua função. Através do Comando do Policiamento Militar Interior – CPI, foi informado de maneira informal até por questões de segurança, que o efetivo policial de Caicó/RN conta com 200 agentes de segurança, lotados no 6º BPM - Batalhão de Polícia Militar, não foi relatado o número de viaturas da unidade. O município conta com uma base do Corpo de Bombeiros Militar, o 3º Grupamento do Corpo de Bombeiros que possui aproximadamente 65 agentes, equipados com 2 veículos auto-bomba, 1 caminhonete

operacional, 1 ambulância e 2 veículos menores, além de um bote para buscas e salvamento. A base do SAMU- Serviço de Atendimento Móvel de Urgência dispõe de 2 ambulâncias, sendo uma de suporte avançado e outra de suporte básico, além de uma equipe de 30 profissionais.

O município de Caicó/RN tem também em seu território, o 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro, com um contingente de pelo menos 120 agentes. Sabe-se que no pátio do Batalhão possui inúmeras máquinas pesadas, como retroescavadeiras, caçambas, caminhões pipa, dentre veículos menores como jipes e ambulâncias. O município conta também com uma base do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência, além do efetivo de 4 agentes da Defesa Civil Municipal.

Na sociedade civil organizada, o município conta com 2 grupos de escoteiros, os bombeiros mirins e os policiais mirins, que de alguma forma podem colaborar com ações de contingência, por terem treinamentos em situações de crise.

Os únicos hospitais que não deverão ser inundados devido sua cota topográfica estar fora dos cenários de inundação, é o Hospital Regional Telecila Freitas Fontes. Que conta com 13 leitos clínicos e 27 de UTI e o Hospital do Seridó com 22 leitos, sendo 15 deles do SUS.

Em caso de um plano de contingência pós-desastre em Caicó/RN, foram levantados nesta pesquisa alguns prédios que podem servir como abrigos, visto que estão fora das áreas de inundação. São eles:

- 1º Batalhão de Engenharia de Construção;
- 6º Batalhão de Polícia Militar;
- Associação Atlética Banco do Brasil;
- Associação dos Servidores da Caern;
- Capela Nossa Senhora Aparecida;
- Centro Cultural Adjunto Dias;
- Cooperativa Agrícola de Caicó;
- Escola Estadual Padre Edmundo Kagerer;
- Escola Estadual Vilagran Cabrita;
- Escola Estadual Walfredo Gurgel;
- Fórum Municipal Amaro Cavalcante;
- Ginásio Poliesportivo Manoel Torres de Araújo;
- Hotel de Trânsito Exército;
- Igreja Presbiteriana Independente;
- Igreja de Santo Estevão Diácono;

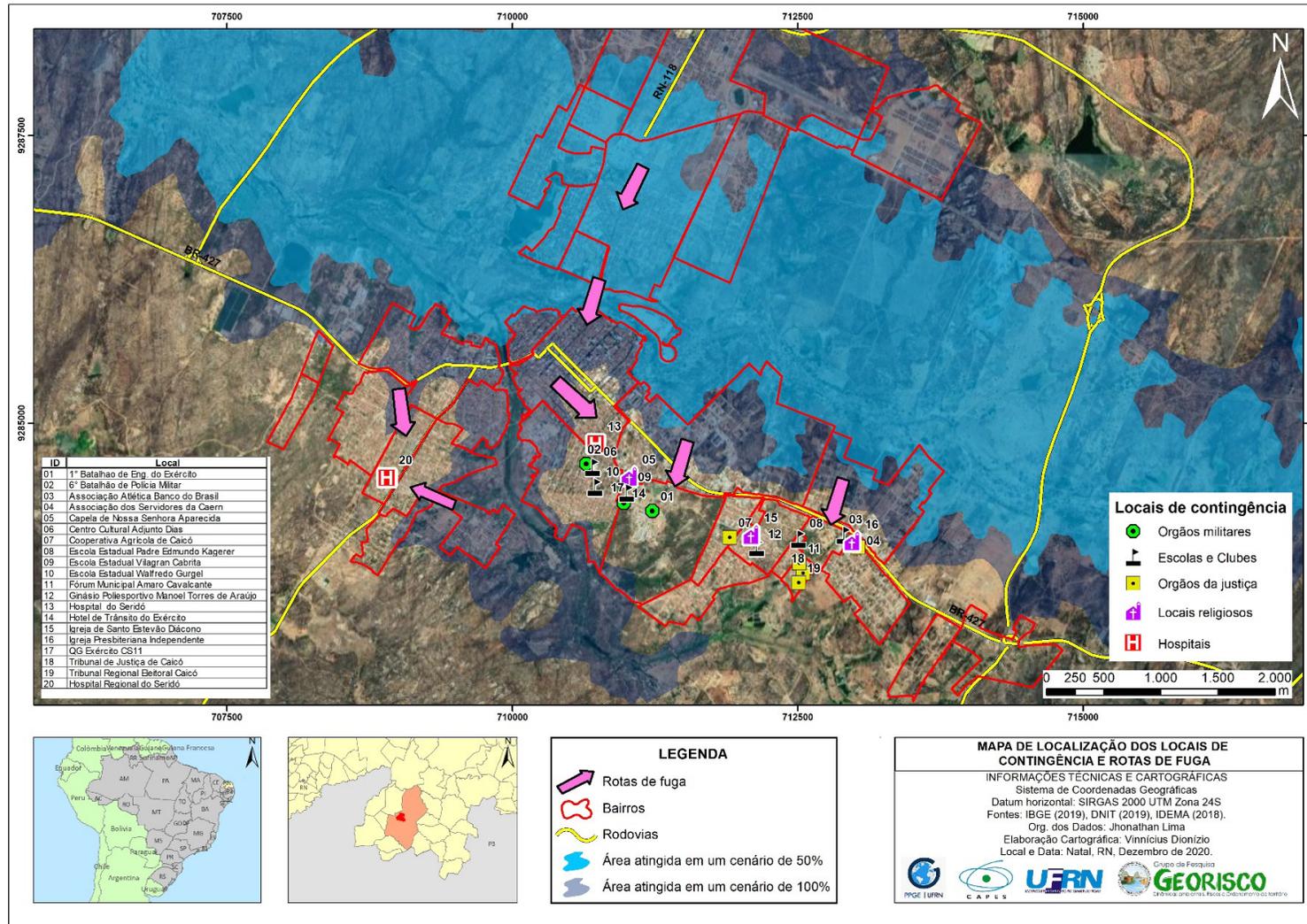
- QG Exército CS11;
- Sede do Ibama;
- Tribunal de Justiça de Caicó;
- Tribunal Regional Eleitoral.;
- Hospital Regional Telecila Freitas Fontes.

Nesse contexto, o principal local para abrigo seria o Quartel do Exército, visto que apresenta uma estrutura segura, com banheiros, alojamentos, barracas de campanha, além de toda organização militar e espaço considerável.

No mapa 7, apresenta-se as possíveis rotas de fugas mais viáveis em caso a cidade seja atingida pela onda de cheia, são caminhos que podem servir para a população tentar sair do perímetro que abrange as cotas da inundação nos cenários. Podem ser destacadas como principais acessos de rotas de fugas: RN – 118; RN – 288; BR – 427; Rua: Chilon Heraclitus de Araújo; Rua: Tonheca Dantas e Rua Marinheiro Manoel Inácio.

As informações aqui explanadas são baseadas nos mapas de inundação, as instituições listadas estão fora da área atingida, esses locais podem servir como pontos de abrigos ou de logística para apoio. As informações sobre o efetivo dos agentes de segurança, de sua logística, do hospital que pode receber as pessoas e dos locais de abrigo, servem como base para a criação de um plano de contingência robusto para Caicó/RN, visto que o atual plano de contingência criado pela Defesa Civil de Caicó não contempla as ações de redução de risco de desastres, em um pré, durante e pós-desastre. O documento existente apresenta-se como uma enciclopédia de conceitos teóricos e nada operacional, dessa forma, destaca-se a importância da criação de um plano de contingência por um corpo técnico capacitado, para que caso ocorra algum sinistro todos os atores saibam como atuar.

Mapa 7 - Mapa das possíveis rotas de fuga



Fonte: Elaboração própria (2020) com base em dados do IBGE (2019).

6.5 Do andamento das ações estruturantes

Como previsto no termo de referência que orientava a construtora vencedora da licitação a executar a obra, para que a barragem Passagem das Traíras não chegasse a romper, de maneira emergencial foi criada uma fenda na ombreira direita da barragem entre os meses de janeiro a março de 2020, ao custo de R\$ 549,6 mil (BRASIL, 2020).

No mês de dezembro de 2020, após a criação da fenda por meio da demolição da ombreira direita (figura 28), foi realizada a construção de uma enseada no espelho d'água da barragem para que se possa ser viabilizadas as obras, ao custo de R\$ 11 milhões (BRASIL, 2020).

Até o presente momento as obras definitivas não foram iniciadas no maciço em si, apenas medidas emergenciais foram realizadas. A depender do desenrolar da pandemia de Covid-19 as obras deverão seguir a passos lentos no melhor dos cenários, enquanto isso a população de Caicó/RN continua vulnerável ao risco da barragem romper. Está seca? Sim! Mas como dito nos capítulos anteriores, em função da rede hidrográfica, nas vazões de retorno milenar e deca milenar, a referida barragem pode encher em questões de horas.

Figura 28 - Imagem das intervenções na barragem Passagem das Traíras.



Fonte: Modificado pelo autor com base em Brasil (2020).

7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É difícil realizar a gestão de riscos quando não se há parâmetros balizadores precisos que possam auxiliar as decisões dos gestores. Dessa forma, pode-se observar que ao longo da pesquisa, os documentos de ordem técnica acerca da barragem remetem ao espectro estrutural do maciço, detalhando as patologias estruturais na barragem, deixando de lado as questões de Redução de Riscos de Desastres - RRD e segurança populacional, como dispõe a legislação de barragem, de proteção e defesa civil vigente.

É possível compreender a gravidade do estado no qual a barragem encontra-se, de acordo com os laudos técnicos de segurança da barragem, onde o grau de risco de rompimento passou do status de “Atenção” para “Alerta”. Quanto ao método de avaliação e validação dos cenários de riscos, pode-se observar que há relação quanto ao grau de risco, embora os caminhos metodológicos sejam distintos. Ao abordar elementos estruturais, ambientais, econômicos e sociais de maneira integrada, de acordo com os manuais de gestão de riscos de desastres em barragens de todo mundo, o trabalho oferece uma nova perspectiva na análise dos riscos oriundos de uma possível ruptura da barragem em decorrência da falta de manutenção prolongada.

Os resultados mais expressivos foram o do Perigo Potencial (Elevado), Estado Real da Barragem (Insatisfatório) e o Índice de Comportamento da Barragem (Emergência). Reforçando quão grave é a situação do objeto de estudo, que em diferentes cenários de onda de cheia o contingente populacional exposto varia entre 17 mil e 37 mil pessoas expostas ao risco de inundação. Quanto às perdas materiais imobiliárias, em ambos os cenários são da ordem de milhões de reais em prejuízos, variando entre 290 e 850 milhões de reais.

Este estudo é de grande valia tanto para os órgãos de proteção e defesa civil do município de Caicó/RN, como também para os órgãos estaduais. Salienta-se que o Governo do Estado do RN contratou uma empresa de consultoria para realizar um estudo de risco semelhante a este, com aspectos de planos de contingência para a barragem em questão com o orçamento em milhões de reais. Essa pesquisa estará disponível a custo zero para os órgãos reguladores estaduais e nacionais.

O “atual plano de contingência” do município de Caicó/RN apresenta algumas limitações, além de diversas dúvidas quanto às principais áreas de risco e possíveis danos. Esse estudo buscou sanar essas lacunas, de forma técnica, responsável e científica. Com o intuito de ser utilizado como arcabouço teórico-metodológico para o ordenamento e planejamento territorial

de Caicó/RN, e na elaboração de um plano de ações emergenciais e contingência relacionadas a inundações provenientes de barragens, visto que dentro do município há reservatórios com alto perigo potencial associado.

Do ponto de vista da contribuição do estudo para a ciência, conseguiu-se pioneiramente integrar elementos da engenharia civil e da geografia, essa visão multidisciplinar é pertinente e urgente nos estudos de riscos associados a barragens, visto que há um objeto técnico representando um risco a uma sociedade. Dessa forma, de maneira holística, este estudo contempla essa problemática utilizando uma visão de totalidade.

Embora os objetivos propostos tenham sido elucidados, no decorrer do curso dessa pesquisa tivemos algumas limitações metodológicas referentes aos modelos cartográficos. Para a construção dos modelos de onda de cheia, a melhor técnica para esse procedimento é através do levantamento preciso das cotas topográficas do canal do rio, como também de toda a malha urbana do município. A expectativa era de coletar as curvas de nível utilizando drone, entretanto tivemos um problema com o drone do nosso Laboratório em outro trabalho de campo, perdendo-o. Assim, se pensou em alugar um drone para realizar este serviço, todavia, ao realizar o plano de voo para a área de estudo, verificou-se que devido a extensão da área ser grande, e as baterias do drone limitadas, o tempo de coleta das imagens seria prolongado, encarecendo o serviço. Além disso, o processo de tratamento e conversão das imagens para gerar o *Shapefile* duraria em média 3 meses, em função da ausência de computadores de alta performance no laboratório.

Uma outra tentativa para obter as cotas topográficas, seria por meio de aparelho de GPS RTK (*Real Time Kinematic*), para isso, realizou-se uma simulação do número de pontos de controle que seriam coletados, resultando em mais de 1 mil pontos, dessa forma, a coleta demoraria muitos dias. Entretanto, o nosso departamento na universidade não dispõe deste equipamento, necessitando assim, fazer uma cotação particular para o aluguel do mesmo. Porém, ao realizar o orçamento com a logística de muitos dias em campo com a equipe, o valor se tornou infinitamente inviável e em decorrência dos cortes orçamentários da Universidade, esta não tinha como arcar com tais custos.

Portanto, o procedimento cartográfico realizado neste estudo foi realizado por meio do Satélite *ALOS/Sensor Palsar*, com precisão de 12,5 metros, refinadas através do método de interpolação para 1 metro. Todavia, o modelo não é o mais preciso para indicar cenários de inundações de barragem, visto que áreas que não foram mapeadas podem estar em áreas de risco de inundação, assim como algumas áreas não inundáveis pela onda de cheia podem estar no perímetro delimitado.

Diante das limitações enfrentadas, esse estudo tem o caráter inovador, sendo o único até o presente momento realizado para obter informações de segurança em áreas de risco de medidas de contingenciamento. Essa pesquisa ficará disponível para prefeitura de Caicó/RN

sem nenhum ônus ao erário municipal, apresentando-se como instrumento complementar e necessário à tomada de decisões.

O interessante é que ao realizar esta pesquisa, foi constatado que uma barragem do porte da Passagem das Traíras, com uma cidade localizada em um vale a jusante, foi construída em 100 (cem) dias e inaugurada em 1994, pelo então governador do Estado.

Os materiais empregados na construção do maciço da barragem dificilmente sofrem elevados graus de desagregação de concreto, como ocorre na Passagem das Traíras. Percebe-se que há seixos rolados de rios junto ao concreto altamente friável, o material utilizado deveria ser britas no concreto armado com vergalhões de metais. Além disso, é inadmissível que em uma barragem dessa proporção, sendo essa com mais de 25 anos de operação, não tenham sido realizadas inspeções regulares ao longo de seu funcionamento. O órgão responsável pela barragem deixou a barragem verter 2 (duas) vezes sabendo que o reservatório apresentava problemas desde o ano de 2005, onde foram encontradas algumas anomalias estruturais.

Há uma pressão da sociedade civil organizada junto ao órgão responsável pela reforma da barragem, aparentemente a Secretaria repassou a responsabilidade ao DNOCS, assim a passos lentos, a barragem sofre algumas intervenções, mas até o presente momento, sem obras no maciço, sob o risco de sediar um desastre vive a população de Caicó/RN.

Portanto, espera-se que esta pesquisa seja o ponto inicial para tantas outras que venham a surgir no campo teórico-metodológico. Dessa forma, surge a possibilidade de estudar e relacionar a temática de riscos em barragens com a geografia, como também tentar reformular ou abranger o conceito de risco tecnológico, visto que em um dado momento, com todos os avanços técnicos esse conceito não dará mais conta de investigar problemas relacionados a si.



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais em rios urbanos**: bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº 2/2017/COMAR/SER**. Volume de água acumulado mínimo no reservatório Passagem das Traíras para garantir o abastecimento público de Jardim do Seridó e o consumo humano e a dessedentação animal no entorno no próximo período de estiagem Julho/2017-janeiro/2018). Brasília, DF, 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº 7/2018/COMAR/SER**. Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Passagem das Traíras, no Estado do Rio Grande do Norte. Brasília, DF: Sede da ANA, 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 101/2015/ AA – ANA**. Informa situação de barragens no Rio Grande do Norte. Brasília, DF: Sede da ANA, 2015.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 102/2017/SFI-ANA**. Reservatório Passagem das Traíras - Acumulação mínima de água para garantir os usos prioritários respectivos no próximo período de estiagem. Brasília, DF: Sede da ANA, 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 184/2018/SFI-ANA**. Estabelece restrições operacionais e faz outras solicitações - Barragem Passagem das Traíras/RN. Brasília, DF: Sede da ANA, 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 184/2018/SFI-ANA**. Estabelece restrições operacionais e faz outras solicitações - Barragem Passagem das Traíras. 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 352/2016/AA-ANA**. Informa acerca das restrições operacionais e Plano de Contingência – Barragem Passagem das Traíras/RN. Brasília, DF: Sede da ANA, 2016.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 657/2016/SFI-ANA**. Restrições operacionais e Plano de Contingência – Barragem Passagem das Traíras/RN. Brasília, DF: Sede da ANA, 2016.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 658/2016/SFI-ANA**. Encaminha Auto de Infração 3056/2016/COFIS/SFI-ANA Barragem Passagem das Traíras/RN. Brasília, DF: Sede da ANA, 2016.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Projeto Conceitual da Alternativa Selecionada no Estudo Visando Garantir a Segurança da Barragem Passagem das Traíras**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2019.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Avaliação Técnico Econômica de Alternativas para Garantir a Segurança da Barragem Passagem das Traíras**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Segurança de Barragens 2012-2013**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2013.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Visita Técnica de Inspeção Barragem Passagem das Traíras – São José do Seridó – RN**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2005.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório PSB- RGNorte- 01/2005**. Visita Técnica de Inspeção às Barragens no Estado do Rio Grande do Norte. Brasília, DF: Sede da ANA, 2015.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução nº 579**. Aprovar o ato relacionado com classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado, à Categoria de Risco e ao volume. Brasília, DF: Sede da ANA, 2017.

BLAIKIE, P. M. et al. **At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters**. London: Routledge, 1994.

BOGARDI, J. J. Hazards, risks and vulnerabilities in a changing environment: the unexpected onslaught on human security? **Global Environmental Change**, v. 4, n. 14, p. 361-365, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Governo Federal garante a conclusão de Obras Hídricas no Estado do Rio Grande do Norte**. 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-garante-a-conclusao-de-obras-hidricas-no-estado-do-rio-grande-do-norte> > Acesso em: 26 de dez de 2020.

BRASIL. **Lei n. 12.334 de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm>. Acesso em: 30 agosto 2019.

BRASIL. **Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 30 agosto. 2019.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 30 agosto. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1974. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 30 agosto. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 30 agosto. 2019.

BRASIL. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Cartaz, 2002.

BRITO, D. M. **Planejamento e ordenamento do espaço de Caicó (RN) na atualidade**. 2016. 58 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó/RN, 2016.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos avançados**, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.

CICONET, Rosani Mortari. **Tempo de resposta de um serviço de atendimento móvel de urgência**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2015.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (CIGB). Risk assessment in dam safety management: A reconnaissance of benefits, methods and current applications. **ICOLD Bulletin**, v. 130, 2005.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - 50 anos do acidente de Vajont – Itália (1963-2013)**. 2013. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/site_antigo_2013/img/45geral2.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

COSTA, E B.; FERREIRA, T A. Planejamento urbano e gestão de riscos: vida e morte nas cidades brasileiras. **Revista Olam Ciência e Tecnologia (UNESP)**, Rio Claro, v. 10, n. 2, p. 171-196, 2011.

CUNHA, L. H.; COELHO, M. N. Política e Gestão Ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Org). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 43-79.

CUTTER, S. L. **Living with risk: The geography of technological hazards**. Londres: Arnold, 1993.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 3, p. 488-506, 2015.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Positivo, 2010.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1985.

HULSING, H. **Measurement of peak discharge at dams by indirect methods: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations**. 2 ed. Washington: U.S. Government Printing Office, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse Setores Censitários**. 2017. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>> Acesso em: 15 maio 2019.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Register of Dams: General Synthesis**. 2014. Disponível em: <http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp>. Acesso em: 28 set. 2017.

JANSEN, R. B. **Dams and public safety: a water resources technical publication**. Denver: US Government Printing Office, 1983.

KUREK, R. K. M. **Avaliação do tempo de retorno dos níveis das inundações no Vale do Taquari/ RS**. Monografia. Univates, 2012.

KUPERMAN, S.C.; RE, G.; FERREIRA, W.V.F.; TUNG, W.S.; VASCONCELOS, S.E.; ZÚÑIGA, J.E.V. RABELLO, M. **Análise de risco e metodologia de tomada de decisões para barragens: evolução do sistema empregado pela Sabesp**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (SNGB), 2001, Fortaleza, CE. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Anais. Rio de Janeiro: CBDB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 2001. v. 02. p. 535-548.

LAURIANO, A. W. **Estudo de ruptura da Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS**. 2009. 193 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

LEAL, A. C. **Gestão urbana e regional em bacias hidrográficas**: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. (Org). Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal/DEPLAN/UNESP/IGCE, 2003. p. 65-85.

LIEBER, R. R.; LIEBER, N. S. R. Risco e precaução no desastre tecnológico. **Cadernos Saúde Coletiva**, n. 13, v. 1, p. 67-84, 2005.

MARICATO, E. Metrópole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançado**, São Paulo, v. 17, n. 48, p. 151-166, 2003.

MASCARENHAS, F. C. B. **Modelação matemática de ondas provocadas por ruptura de barragens**. 1990. 291 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

MEDEIROS, W. D. A. **Sítios geológicos e geomorfológicos dos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas e Currais Novos, região Seridó do Rio Grande do Norte**. 2003. 154 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais, Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

MELO, J. A. B. Ordenamento territorial e sustentabilidade: um diálogo possível? **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 33, p. 220 - 229, 2010.

MENESCAL, R. A. **Gestão da segurança de barragens no Brasil** – Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009. 727 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Segurança de barragens. **Relatório PSB - RGNorte - 01/2005** – “Visita Técnica de Inspeção às Barragens no Estado do Rio Grande do Norte”, 2005. Disponível em: <<http://documents1.worldbank.org/curated/en/607301468214224973/pdf/E1354010Vol11030Paper.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

MIRANDA, Antônio Nunes de. **Notas de aula: inspeção de barragens**. 2016. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/conhecerh/bitstream/ana/111/1/material_didatico_-_parte_i.pdf>. Acesso em 21 mar. 2019.

MUNASINGHE, M.; CLARKE, C. **Disaster prevention for sustainable development**: economic and policy issues. Washington: World Bank, 1995.

PELLING, M. **The vulnerability of cities**: natural disasters and social resilience. London: Earthscan, 2003.

PERES, R B.; SILVA, R. S. A relação entre planos de bacia hidrográfica e planos diretores municipais: análise de conflitos e interlocuções visando políticas públicas integradas. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5, 2010, Florianópolis/SC. **Anais** [...]. Florianópolis, 2010.

PIMENTA, M. L. B. **Abordagens de riscos em barragens de aterro**. 2009. 570 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p.43-60, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ. **Lei nº 4.204, de 17 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Caicó – Rio Grande do Norte, e dá outras providências. Secretária de infraestrutura e urbanismo, Caicó/RN, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ. **Lei nº 4.722 / 2014, de 26 de setembro de 2014**. Dispõe sobre o Código de Obras do Município de Caicó (RN) e dá outras providências. Secretária de infraestrutura e urbanismo, Caicó/ RN, 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ. **Lei Orgânica do Município de Caicó (RN), de 04 de abril de 1990**. Disponível em: <<http://www.caico.rn.gov.br/post.php?codigo=633>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

QUARANTELLI, E. L. **What is a disaster?** Perspectives on the question. Psychology Press, 1998.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto Nº 16.038, de 2 de maio de 2002**. Regulamento Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Norte. Natal/RN. 2002.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 6.908, de 1º de julho de 1996**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências. Palácio de Despachos de Lagoa Nova, Natal/RN, 1996.

RIO GRANDE DO NORTE. **Portaria nº 10, de 16 de novembro de 2017**. Estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem, do Plano de Ação de Emergência e a qualificação dos responsáveis técnicos e a periodicidade de execução destas atividades, conforme artigos 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Natal, RN. 2017.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 28.820, de 30 de abril de 2019**. Institui o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte (CPAMB/RN) e dá outras providências. Natal, RN. 2019.

SALVADOR, D.S.C.O.; BRITO, D. M. Planejamento e ordenamento do território urbano de Caicó (RN) na atualidade. **Geografia em Questão**, v. 11, n. 1, p. 157-173, 2018.

SANTOS, M. **Espaço e método**. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado**: Fundamentos Teóricos e Metodológicos da Geografia. 5 ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SANTOS, M. P. **Lei de delimitação de bairros**: Relevância para o planejar e o ordenar o espaço urbano de Caicó (RN). 2018. 37f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó/RN, 2018.

SCHNITTER, N. J. **A history of dams**: the useful pyramids. Rotterdam: Balkema, 1994.

SCHNITTER, N. J. **Roman dams**: Water Supply and Management. Londres: Pergamon Press, 1979.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da Barragem Passagem das Traíras**. Natal, RN. 2017.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Estudo e elaboração do projeto executivo para Recuperação/manutenção da barragem Passagem das Traíras – contrato no 009/2018-SEMARH**. Natal, RN. 2019.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Projetos executivos para recuperação/ampliação/ manutenção das barragens Passagem das Traíras e Bananeira**. Natal, RN. 2016.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório da 5ª inspeção regular da barragem**. Natal, RN. 2016.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório da 6ª inspeção regular da barragem**. Natal, RN. 2016.

SECRETARIA MUNICIPAL DE TRIBUTAÇÃO E FINANÇAS. **Valores do metro quadrado dos bairros de Caicó a partir do cadastro do IPTU**. Centro administrativo. Caicó, RN. 2019.

SILVA, A. W. **Engenharia nos sertões nordestinos**: o Gargalheiras, a Barragem Marechal Dutra e a comunidade de Acari, 1909-1958. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SMITH, K. **Environmental hazards**: assessing risk and reducing disaster. 3 ed. London: Routledge, 2001.

SOUZA, J. L. de. **A avaliação da percepção da população face ao risco de desastre tecnológico na Barragem Gargalheiras, Acari/RN – Brasil**. 2018. 204 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SUERTEGARAY, D. M. As representações no geográfico. In: MENDONÇA, F.; KOZEL, S. (Org.). **Elementos de epistemologia da Geografia contemporânea**. Curitiba, UFPR, 2002.

STRUCTURAE. 2008. **Sadd-el-Kafara Dam**. Disponível em: <<https://structurae.net/structures/sadd-el-kafara-dam>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

UNISDR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate**. Geneva, Switzerland: UNISDR, 2009.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy**. Paris: UNESCO, 2014.

VERÓL, A. P. **Simulação da propagação de onda decorrente de ruptura de barragem, considerando a planície de inundação associada a partir da utilização de um modelo pseudo-bidimensional**. 2010. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

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

VIANNA, L. F. V. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2015.

VILLAÇA, F. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. (Orgs.). **O processo de urbanização no Brasil**. São Paulo: Edusp, 2002, p. 168-243.

WHITE, G. F.; KATES, R. W.; BURTON, I. Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. **Environmental Hazards**, v. 3, n. 3, p. 81-92, 2001.

WILLIINGHOEFER, M. **Avaliação do Risco de Rompimento da Barragem de uma Pequena Central Hidrelétrica na Bacia do Rio do Peixe/Bonumá**. 2015. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, SC, 2015.

ZANIRATO, S. H. et al. Sentidos do risco: interpretações teóricas. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 13, n. 785, p. 1-16, 2008.

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para avaliação da segurança de Barragens**. Campinas, SP: 2005. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257858/1/Zuffo_MonicaSoaresResio_M.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019.

An aerial photograph showing a large concrete dam in the foreground, with a wide river flowing through a semi-arid landscape. The river has several meanders and is surrounded by dry, brownish vegetation. In the background, there are some small settlements and more distant hills under a clear sky.

CENÁRIOS DE RUPTURA DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS — EM CAICÓ/RN —

**CENÁRIOS DE RUPTURA
DA BARRAGEM
PASSAGEM DAS TRAIÇAS
— EM CAICÓ/RN —**

Francisco Dantas de Medeiros Neto

Diretora de Sistema Integrado de Bibliotecas

Jocelânia Marinho Maia de Oliveira

Chefe da Editora Universitária – EDUERN

Francisco Fabiano de Freitas Mendes



Conselho Editorial das Edições UERN

José Elesbão de Almeida

Isabela Pinheiro Cavalcanti Lima

Kalidia Felipe de Lima Costa

Regina Célia Pereira Marques

Maria José Costa Fernandes

José Cezinaldo Rocha Bessa

Diagramação

Maria Helena de Medeiros

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**



Meus amigos e minhas amigas,

O Programa de Divulgação e Popularização da Produção Científica, Tecnológica e de Inovação para o Desenvolvimento Social e Econômico do Rio Grande do Norte, pelo qual foi possível a edição de todas essas publicações digitais, faz parte de uma plêiade de ações que a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN), em parceria, nesse caso, com a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN), vem realizando a partir do nosso Governo.

Sempre é bom lembrar que o investimento em ciência auxilia e enriquece o desenvolvimento de qualquer Estado e de qualquer país. Sempre é bom lembrar ainda que inovação e pesquisa científica e tecnológica são, na realidade, bens públicos que têm apoio legal, uma vez que estão garantidos nos artigos 218 e 219 da nossa Constituição.

Por essa razão, desde que assumimos o Governo do Rio Grande do Norte, não medimos esforços para garantir o funcionamento da FAPERN. Para tanto, tomamos uma série de medidas que tornaram possível oferecer reais condições de trabalho. Inclusive, atendendo a uma necessidade real da instituição, viabilizamos e solicitamos servidores de diversos outros órgãos para compor a equipe técnica.

Uma vez composto o capital humano, chegara o momento também de pensar no capital de investimentos. Portanto, é a primeira vez que a FAPERN, desde sua criação, em 2003, tem, de fato, autonomia financeira. E isso está ocorrendo agora por meio da disponibilização de recursos do PROEDI, gerenciados pelo FUNDET, que garantem apoio ao desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação (CTI) em todo o território do Rio Grande do Norte.

Acreditando que o fortalecimento da pesquisa científica é totalmente perpassado pelo

Por fim, esta publicação que chega até o leitor faz parte de uma série de medidas que se coadunam com o pensamento – e ações – de que os investimentos em educação, ciência e tecnologia são investimentos que geram frutos e constroem um presente, além, claro, de contribuir para alicerçar um futuro mais justo e mais inclusivo para todos e todas!

Boa leitura e bons aprendizados!



Fátima Bezerra

Governadora do Rio Grande do Norte

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN) e a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN) sentem-se honradas pela parceria firmada em prol do desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação. A publicação deste livro eletrônico (e-book) é fruto do esforço conjunto das duas instituições, que, em setembro de 2020, assinaram o Convênio 05/2020–FAPERN/FUERN, que, dentre seus objetivos, prevê a publicação de quase 200 e-books. Uma ação estratégica como fomento de divulgação científica e de popularização da ciência.

Esse convênio também contempla a tradução de sites de Programas de Pós-Graduação (PPGs) das Instituições de Ensino Superior do Estado para outros idiomas, apoio a periódicos científicos e outras ações para divulgação, popularização e internacionalização do conhecimento científico produzido no Rio Grande do Norte. Ao final, a FAPERN terá investido R\$ 100.000,00 (cem mil reais) oriundos do Fundo Estadual de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDET), captados via Programa de Estímulo ao Desenvolvimento Industrial do Rio Grande do Norte (PROEDI), programa aprovado em dezembro de 2019 pela Assembleia Legislativa na forma da Lei 10.640, sancionada pela governadora, professora Fátima Bezerra.

Na publicação dos e-books, estudantes de cursos de graduação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) são responsáveis pelo planejamento visual e diagramação das obras. A seleção dos bolsistas ficou a cargo da Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE/UERN).

Foram 41 obras submetidas em sete (07) editais, 38 delas serão lançadas. Os editais abrangeram diferentes temáticas assim distribuídas: no Edital 17/2020 - FAPERN, os autores/organizadores puderam inscrever as obras resultantes de suas pesquisas de mestrado e doutorado defendidas junto aos PPGs de todas as Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTIs) do Rio Grande Norte, bem como coletâneas que foram resultados de trabalhos dos grupos de pesquisa nelas sediados.

do Norte: relatos de ações exitosas”. O Edital nº 21/2021 - FAPERN trouxe a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Segurança pública, desenvolvimento social e cidadania no Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. O Edital nº 22/2021 - FAPERN apresentou a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Pesquisas sobre o Bicentenário da Independência do Brasil (1822-2022): desdobramentos para o desenvolvimento social e/ou econômico do RN”. O Edital nº 23/2021 – FAPERN realizou a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Pesquisas sobre o Centenário da Semana de Arte Moderna (1992-2022) desdobramentos para o desenvolvimento social e/ou econômico do RN”.

Com essa parceria, a FAPERN e a FUERN unem esforços para o desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Norte, acreditando na força da pesquisa científica, tecnológica e de inovação que emana das instituições potiguares, reforçando a compreensão de que o conhecimento é transformador da realidade social.

Agradecemos a cada autor(a) que dedicou seu esforço na concretização das publicações e a cada leitor(a) que nelas tem a oportunidade de ampliar seu conhecimento, objetivo final do compartilhamento de estudos e pesquisas.



Maria Lúcia



Cicília Raquel

de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, integra o Laboratório de Geografia dos Riscos e Resiliência - LAGERR da Universidade Estadual de Campinas. Membro do Grupo de Pesquisa Dinâmicas Ambientais, Riscos e Ordenamento do Território - GEORISCO da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, compõe o Núcleo Interdisciplinar de Pesquisas sobre Desastres - NUPED da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atuou como membro do Grupo de Pesquisadores Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - CAATINGUEIROS, foi membro do Grupo de Estudos Geoambientais do Departamento de Geografia da UFRN, atuou como membro colaborador do Setor de Produção Audiovisual da Agência de Comunicação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, atuou como coordenador de projetos da startup Safe Drinking Water For All no estado do Rio Grande do Norte. Atua como consultor voluntário junto ao gabinete da vereadora Divaneide Basílio na Câmara Municipal de Natal-RN. Atualmente trabalha com indicadores de adaptação e resposta à seca no semiárido Noroeste-riograndense e riscos tecnológicos associados a pontes rodó-ferroviárias, bem como com levantamento de cenários de rupturas de barragens de concreto no semiárido nordestino, além disso tem atuado com questões de risco e vulnerabilidade voltadas a geografia da saúde, nos temas de suicídios e pandemias como do Sars-Cov-2.

LUTIANE QUEIROZ DE ALMEIDA

Possui Graduação (Licenciatura e Bacharelado) em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (2002) e Mestrado em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (2005). Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro, com período sanduíche na Université de Paris X, Nanterre, e bolsista da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. Atualmente é Professor Associado do Departamento de Geografia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Professor do Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da UFRN, coordenador do grupo de pesquisa GEORISCO - Dinâmicas ambientais, Riscos e Ordenamento do Território. Recebeu o Prêmio de Melhor Tese pela Associação Nacional de Pós-Graduação em Geografia - ANPEGE, em 2011 e o Prêmio Capes de Teses na área de Geografia, em 2012. Em 2014/2015, realizou pós-doutorado na United Nations University, em Bonn e período complementar no Institute of Regional Development Planning, University of Stuttgart, também na Alemanha, na condição de Bolsista CAPES Pós-Doutorado (Ciência sem Fronteiras), Processo nº 4289/14-5. Tem experiência na área de Geografia Física, com ênfase em Planejamento Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: análise geoambiental, problemática ambiental urbana, rios urbanos e bacia hidrográfica.

Agradecemos à Fundação Capes pelo incentivo e financiamento a pesquisa que resultou neste livro.

*Dá pra ver que o desmando aqui é certo
Sobra voto, mas, falta competência
Pra tirar das cacimbas da ciência
Água doce que regue a plantação*

*Eu sei que a chuva é pouca e que o chão é quente
Mas tem mão boba enganando a gente
Secando o verde da irrigação*

*Não, eu não quero enchentes de caridade
Só quero chuva de honestidade
Molhando as terras do meu sertão*

Água é um elemento vital para a humanidade, e por isso perenizar o acesso a água ao longo do tempo se torna uma prática fundamental principalmente em regiões com regimes pluviométricos irregulares. Assim, desde a antiguidade as populações têm o hábito de construir barragens, as quais ao longo do tempo passaram por diferentes métodos e processos de construção. Essas estruturas normalmente seguem o rigor que pede a engenharia civil, porém com a falta de reparos, a barragem tornou a apresentar falhas em sua infraestrutura, sejam por razões intempéricas ou por falhas humanas. Tal fato representa um risco tecnológico, pela ausência ou mau emprego de técnicas robustas, para as populações nos vales à jusante. Este é o caso da barragem Passagem das Traíras, localizada no Semiárido, no interior do Rio Grande do Norte. A estrutura desse barramento passou mais de 24 anos sem intervenções significativas em sua estrutura, e no ano de 2015 a Agência Nacional de Águas constatou patologias estruturais na barragem. Desta forma, em 2018 foi elevado o risco de Atenção para Alerta de rompimento na barragem, cuja capacidade volumétrica é 49,7 milhões de metros cúbicos, representando um risco para a cidade de Caicó/RN, localizada no vale no Rio Seridó com uma população de aproximadamente 60 mil habitantes, situada cerca de 14 km à jusante da barragem. Desta forma, o objetivo central deste estudo é a análise dos perigos de desastre de uma possível ruptura da barragem Passagem das Traíras no município de Caicó/RN, dentro do debate de conhecer as consequências que pode ocasionar a cidade. Para alcançar os objetivos, foi realizada a discussão teórica sobre os conceitos de risco, perigo e vulnerabilidade com o foco em desastres tecnológicos e vulnerabilidade institucional e física. Além disso, foi adaptada a metodologia de Kuperman (2001) para a realidade desse estudo, os Índices de Perigo Potencial, Estado Real da Barragem e Índice de Comportamento, foram construídos com base na substituição dos pesos, conforme os critérios apresentados na metodologia original, para a atribuição dos valores dos índices, foram consultados laudos técnicos da ANA (2005;2015;2018;2019) e SEMARH (2016;2019), e conforme cada justificativa das variáveis as tabelas dos índices foram preenchidas. Através das técnicas de geoprocessamento, foi estimada por meio de interpolação na topografia de Caicó/RN, as curvas de nível que deram margem para a realização do Buffer da onda de cheia, a qual foi estimada em dois cenários, de 50% e 100%, equivalentes a 25 M³ e 49,7 M³ respectivamente, cujas áreas de inundação são 48 km² e 85 km² em ambos cenários, contando a partir da parede da barragem até a zona urbana de Caicó/RN. Através

imobiliária, através da sobreposição dos valores do metro quadrado de cada bairro de Caicó, dentro de cada Buffer das cotas de inundação. Como resultados, obteve-se os valores de 60 para o Perigo Potencial, obtendo o grau de Elevado. Para o Estado Real da Barragem o valor foi de 42, caracterizando como insatisfatório, e para o Índice de Comportamento o valor foi 49,2, atribuindo o grau de Emergência. O número de pessoas expostas nos dois cenários varia entre 17 mil a 37 mil, além disso, para a cota de 50% tem aproximadamente a estimativa de perdas imobiliárias de 293 milhões de reais, e para a cota de 100% tem aproximadamente o valor de 856 milhões em perdas imobiliárias. Diante disso, o estudo colabora para a temática estudada e servirá como subsídio a gestão municipal e a Defesa Civil para a elaboração de planos de ações futuros que possam planejar melhor o território de Caicó/RN. Essa obra é fruto da pesquisa de mestrado dos autores, junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no ano de 2021.

Palavras chaves: Cenários de desastre tecnológico. Segurança de barragem. Ordenamento do território. Passagem das Traíras. Caicó/RN.

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEC – Batalhão de Engenharia de Construção

BPM – Batalhão de Polícia Militar

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CBM – Corpo de Bombeiros Militar

CCR – Concreto Compactado a Rolo

CIGB – Comissão Internacional de Segurança de Barragens

COHIDRO – Coordenadoria de Hidrogeologia

COMPEDC – Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil

COTEC – Engenharia LTDA

CPAMB – Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

DNPM – Departamento Nacional de Prospecção Mineral

ERB – Estado Real da Barragem

FUNERH – Fundo Estadual de Recursos Hídricos

GBS – Grupamento de Busca e Salvamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Comportamento

IDNDR – International Decade for Natural Disaster

IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte

OERH – Órgãos Estaduais de Recursos Hídricos

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragem

PP – Perigo Potencial

RN – Rio Grande do Norte

RRD – Redução de Riscos de Desastres

SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência

SEMARH – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SINPDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SNISB – Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens

VMP – Vazão Máxima Provável

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

<u>1 INTRODUÇÃO</u>	16
<u>2 OBJETIVO GERAL</u>	21
<u>2.1 Objetivos específicos</u>	21
<u>3 METODOLOGIA</u>	22
<u>3.1 Procedimentos teóricos</u>	22
<i>Analíticos</i>	22
<i>Operacionais</i>	23
<i>Impactos a Jusante</i>	26
<i>Social</i>	26
<i>Ambiental</i>	27
<i>Econômico</i>	28
<i>Tipo de Barragem</i>	28
<i>Tipo de Órgão Vertente</i>	29
<i>Vazão de Projeto</i>	29
<i>Informação de Projeto</i>	30
<i>Frequência na Avaliação do Comportamento</i>	30
<i>Quanto à Percolação</i>	31

Condições dos Equipamentos Descarregadores	33
3.2 Procedimentos empíricos	36
Analíticos	36
Características gerais da Bacia Hidrográfica do Rio Seridó	36
Topografia do vale	38
Climatologia	40
Hidrologia	40
População	43
Operacionais	44
4 A OPERACIONALIZAÇÃO DO RISCO NA GEOGRAFIA À LUZ DA GESTÃO DE BARRAGENS NO BRASIL	46
4.1 O Espaço geográfico e a relação sociedade-natureza	46
4.2 O risco tecnológico enquanto uma criação humana	50
4.3 Onda de Cheia e Tempo de Resposta	56
4.4 Componentes de uma barragem de concreto	57
Fonte: Adaptado de MIRANDA (2016)	57
4.5 O panorama das barragens no mundo e no Brasil	57
4.6 Diretrizes legais de gestão de risco em barragens	61
4.7 A trama institucional na gestão da Barragem Passagem das Traíras	69
5 O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO NAS ADJACÊNCIAS DO RIO SERIDÓ EM	

<u>6 PATOLOGIAS ESTRUTURAIS DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIRAS E A MODELIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO</u>	91
<u>6.1 Anomalias no maciço</u>	91
<u>6.1.1 Aspectos geotécnicos, fundações e ombreiras</u>	91
<u>6.1.2 Ombreiras</u>	93
<u>6.1.3 Crista do maciço</u>	95
<u>6.1.4 Paramentos e vertedouro</u>	96
<u>6.1.5 Galeria, tomada d'água e hidromecânica</u>	100
<u>6.2 Índice de Perigo Potencial</u>	102
<u>6.2.1 Dos Impactos a Jusante</u>	103
<u>Social</u>	103
<u>Ambiental</u>	104
<u>6.3 Índice Estado Real da Barragem</u>	109
<u>6.4 Atores locais e infraestruturas de salvaguarda</u>	121
<u>6.5 Do andamento das ações estruturantes</u>	126
<u>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	127
<u>8 REFERÊNCIAS</u>	130

INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida. Desde os primórdios da origem humana, nossos ancestrais no período Neolítico criaram aldeias e desenvolveram a agricultura em um lugar fixo, localizados próximos a corpos de água, os quais abasteciam a aldeia (SCHNITTER, 1979).

Deste modo, em regiões áridas ou semiáridas, o homem ao longo de sua evolução intelectual e técnica, aprendeu a conviver com a cultura de represamento de água, seja para os fins de abastecimento ou até mesmo para a contenção de inundações.

De acordo com Santos (1997), como fomento do período técnico-científico-informacional, as técnicas e instrumentos utilizados para a construção das barragens passaram de simples equipamentos de contenção de água, para grandes vultos estratégicos no território, sobretudo para a produção de energia hidrelétrica, tal como para a perenização e integração de grandes bacias hidrográficas (PIMENTA, 2009).

Com o aumento da população em todo o mundo, demanda-se cada vez mais água e energia. Em países que possuem grandes redes hídricas e regimes de precipitação irregulares, opta-se pelo método de construção de grandes barragens para suprir as necessidades da população (PIMENTA, 2009).

De acordo com o ICOLD (2014), existem cerca de 39.188 barragens catalogadas no mundo, destas 1.431 estão localizadas no Brasil, sobretudo no semiárido nordestino. As barragens do Nordeste foram construídas pelos Instituto Obras Contra as Secas - IOCS, Instituto Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, para o enfrentamento da falta de água na região. São barragens com um considerável tempo de operação do século XX, sendo estruturas sem monitoramento e manutenção, que por vezes apresentam anomalias.

Conforme Pimenta (2009), rupturas em barragens acontecem desde a Antiguidade, e esses eventos vêm se repetindo ao longo da história evolutiva das construções de reservatórios. Pode-se citar alguns fatores que promovem rompimentos em barragens: a atuação de agentes naturais internos e externos, que causam fragilidades nas estruturas; falhas técnicas no projeto

Portanto, esses fatores condicionam as barragens ao risco de ruptura, podendo ocasionar danos irreversíveis, como perdas de vida, danos econômicos e ambientais às populações de jusante da barragem, assim como aconteceu no município de Mariana em Minas Gerais no ano de 2015 (SOUZA, 2018).

Segundo Souza (2018), os números de casos de ruptura de barragem somam 70 em todo o mundo desde 2.650 a.C., sendo que 14 desses eventos ocorrem no Brasil. Ainda de acordo com autor, foram a óbito 249.738 pessoas, vítimas de inundações oriundas de barragens que romperam, desse total, 1.058 óbitos foram no Brasil.

No Brasil os casos mais recentes de rompimento de barragem, são do tipo rejeitos do setor mineral. Porém, no que tange a rompimentos de barragens de água, já tivemos casos com barragens no nordeste brasileiro. Foi o caso da barragem de Orós no Ceará que rompeu, matando mais de 1000 pessoas e deixando mais de 100 mil evacuados em março de 1960. Além desse, em 2004 no município de Alagoa Nova no estado paraibano a barragem de Camará rompeu, causando 5 óbitos e mais de 3000 desabrigados (SOUZA, 2018).

Em função das condições climática, do nordeste brasileiro há a cultura do represamento de água em barragens, para que haja a perenização do abastecimento hídrico nos anos de precipitações irregulares. Porém, a maioria das barragens da região são da década de 1960, estruturais antigas e sem o acompanhamento periódico nas manutenções preventivas. É o caso da barragem Passagem das Traíras objeto deste estudo.

De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2015), a barragem Passagem das Traíras inaugurada no ano de 1994, foi construída com concreto compactado a rolo. Esta barragem está localizada nos limites dos municípios de Jardim do Seridó/RN e São José do Seridó/RN (mapa 1), armazena 49 milhões de m³ de água. É um reservatório considerado como estratégico para o sistema estadual de recursos hídricos com finalidade múltipla de uso da água, conforme a Lei das Águas - nº 3.433/97.

A barragem tem o intuito de represar água para conter inundações do rio Seridó, além de fornecer água para os municípios de Jardim do Seridó/RN, São José do Seridó/RN e algumas comunidades do município de Caicó/RN que encontra-se a 14 km de distância a jusante da barragem.

A barragem é de responsabilidade da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), tendo sua fiscalização de operação e vistoria pelo Instituto de Gestão das

estruturais. Desde então, são feitos monitoramentos periódicos para avaliar as condições da barragem em questão, em 2015 e 2016, foram produzidos novos relatórios pela SEMARH (órgão estadual proprietário da barragem) com o diagnóstico das vistorias.

Nas vistorias foram constatadas anomalias estruturais que comprometem a segurança da barragem. Essas anomalias tratam-se de rachaduras nos parâmetros e desagregação e oxidação do concreto na parede da barragem. Além disso, os técnicos da ANA constataram uma falha na rocha que ancora a ombreira esquerda da barragem (ANA, 2015).

Assim, a barragem Passagem das Traíras representa um perigo de ruptura, o que deixa a cidade de Caicó/RN a jusante da barragem exposta a um desastre caso a estrutura entre em colapso. Caicó detém, aproximadamente 60 mil habitantes e detém poucos recursos operacionais de salvaguarda para gerenciar um desastre dessa magnitude.

Deste modo, este trabalho poderá subsidiar a gestão de riscos no território do município de Caicó, auxiliando a Defesa Civil na formulação do Plano de contingência.

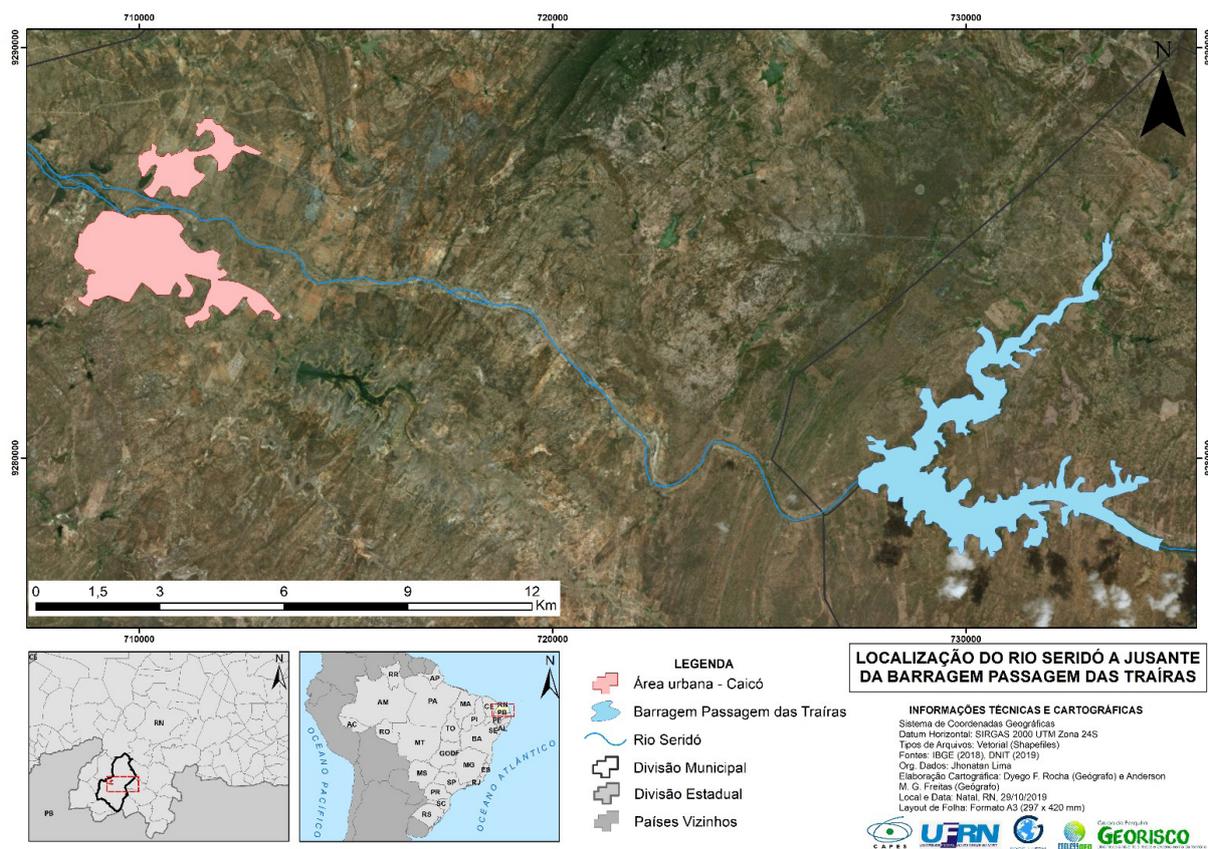
Assim, faz-se necessário o estudo dos riscos associados à segurança de barragens, dentro da perspectiva geográfica, tentando relacionar com outras áreas do conhecimento como da engenharia, a qual nesse trabalho ajuda a subsidiar as análises dos gestores, no sentido de evitar novos casos de rompimento de barragens no país. A presente pesquisa é de relevância social para o Rio Grande do Norte, pois, estudar essa temática possibilitará a realização de levantamento de cenários de riscos de rupturas de barragens, uma vez que os problemas estruturais da barragem Passagem das Traíras podem comprometer o abastecimento de água de cidades do Seridó Potiguar.

Desta forma, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa: qual a relação entre o risco de ruptura da barragem Passagem das Traíras e as consequências adversas para a população do município de Caicó/RN?

Diante da falta de manutenção, a barragem Passagem das Traíras, teve um aumento da vulnerabilidade estrutural, além da elevação nos níveis de perigo de ruptura que mudou do nível de Atenção para o nível de Alerta (existem quatro níveis: Normal, Atenção, Alerta e Emergência). A jusante da barragem está localizado o município de Caicó, que possui uma Defesa Civil limitada, visto que possuem baixo efetivo e reduzido material logístico para pronto atendimento em caso de uma possível ruptura da barragem.

No mapa 1 é possível constatar a área geral do estudo, a partir da Barragem Passagem

Mapa 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaboração Própria (2020).

Analisar o risco de desastre de uma possível ruptura da barragem Passagem das Traíras no município de Caicó/RN.

2.1 Objetivos específicos

- Discutir a temática de segurança de barragens a partir dos riscos tecnológicos;
- Identificar as anomalias na estrutura da barragem Passagem das Traíras;
- Compreender as questões normativas e institucionais que envolvem a estrutura de organização legal da barragem;
- Analisar as áreas exposta à inundação em caso de ruptura da barragem;
- Analisar os danos socioeconômicos relacionados aos cenários de inundação.

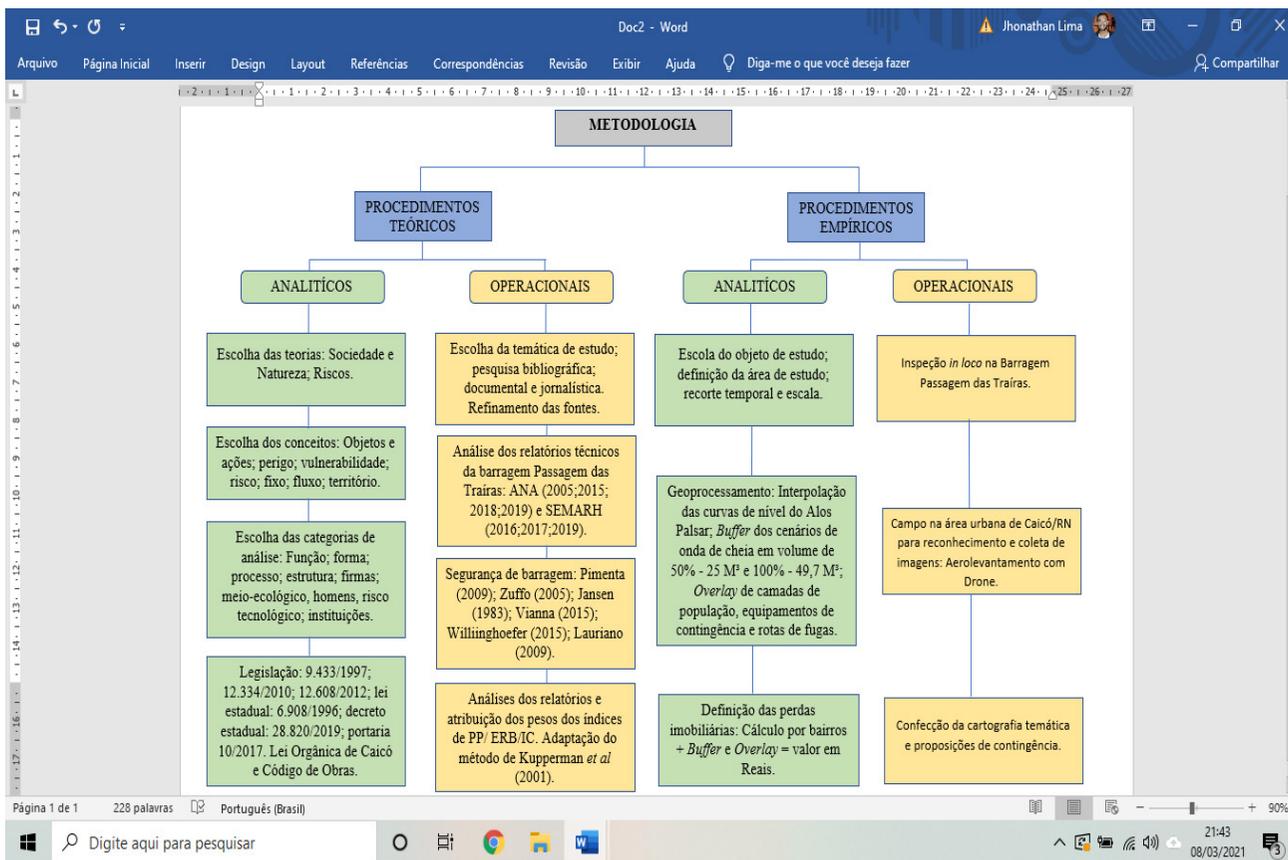


Figura 1 – Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.1 Procedimentos teóricos

Nesta sessão serão abordadas as principais teorias, conceitos e categorias usadas neste trabalho, subdivididos em procedimentos analíticos e operacionais que compõem a base dos procedimentos teóricos.

Analíticos

Do ponto de vista teórico, destaca-se a ideia de totalidade colocado por Santos (1997), a qual

A respeito da discussão do homem e o meio, o método de Sociedade e Natureza de Suertegaray (2002).

Operacionais

Do ponto de vista operacional, o trabalho será pautado nos relatórios de segurança da barragem Passagem das Traíras formulados através dos órgãos: Ministério da Integração Nacional (2005), Agência Nacional de Águas (2015; 2018; 2019) e Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2016; 2017; 2019).

Para nortear o debate sobre o Risco de Ruptura em Barragem, o trabalho ampara-se nos trabalhos de Jansen (1983), Zuffo (2005), Pimenta (2009), Lauriano (2009), Vianna (2015) e Willinghamofer (2015). Esses autores tratam diretamente dos conceitos usados na temática de Segurança de Barragens.

Destaca-se uma grande variedade de trabalhos que abordam propostas de modelos para a elaboração de documentos técnicos de segurança de barragens, entretanto em sua grande maioria abordam apenas quesitos de engenharia civil estrutural, sem contar com os aspectos gerais que podem ser desencadeados em caso de uma ruptura. A abordagem de Kuperman et al. (2001), analisa o risco de rompimento da barragem relacionando aspectos técnicos da engenharia estrutural com a ciência geográfica, e do ponto de vista das variáveis da metodologia atendendo fatores estruturais, ambientais e econômicos. Assim, a abordagem de Kuperman et al. (2001) foi escolhida para ser utilizada neste estudo.

Baseado na metodologia da tomada de decisões para barragens, o trabalho propõe a aplicação adaptada dos Índices de Comportamento, Perigo Potencial e Estado Real da Barragem. Propiciando identificar o grau de risco da barragem, essa metodologia foi também utilizada nas barragens da companhia de águas de São Paulo – SABESP.

Segundo Kuperman et al. (2001), a metodologia geral de classificação é empregada para atender aos requisitos:

- Efetuar a classificação de maneira diferenciada em dois contextos distintos, quais sejam, aquele definido pela periculosidade potencial que cada unidade apresenta em função das suas características de localização e de projeto e aquele definido por seu estado real de funcionamento;

- Permitir a aplicação dos métodos classificatórios de modo evolutivo, de maneira a possibilitar a alteração, com o tempo, da classificação de cada unidade em função de suas condições de contorno e de seu comportamento observado;

intervenções.

A classificação proposta por Kuperman et al. (2001), é dividida em Perigo Potencial, que trata-se da sistematização em níveis de potencialidade da ocorrência de danos humanos ou perdas materiais ou a paralização da operação da barragem; Estado Real da Barragem, o qual está atrelado a uma hierarquização feita de modo a atribuir notas as variáveis de maneira ponderada, em decorrência das informações referentes ao comportamento da barragem e as condições dos elementos que constituem a estrutura, e o Comportamento da barragem – IC, é o mais importante, visto que é a partir dele que as tomadas de decisões são convertidas em ações de intervenções na barragem. Desse modo, a formulação dos índices propicia o diagnóstico geral classificatório da barragem.

Dentro das tabelas de PP e ERB encontram-se parênteses com números, estes que são os pesos de cada variável a ser atribuída, conforme a justificativa.

Com base na tabela 1, a classificação segundo o Perigo Potencial foi estabelecida, considerando as variáveis a seguir.

Importância da barragem para ANA	Dimensão da barragem	Volume de água armazenada	Impacto a jusante			Tipo da barragem	Órgão vertente	Vazão do projeto
			Social	Ambiental	Econômico			
Pequena (10)	Pequena (10)	Baixo (5)	Baixo (10)	Baixo (10)	Baixo (5)	Concreto (12)	Superfície sem controle (15)	VP ou $1000 < Toc < 10000$ (20)
Média (8)		Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (4)	Enrocamento (12)	Superfície com controle (10)	VP ou $100 < Toc < 1000$ (12)
Significativa (6)	Média (6)	Médio (3)	Médio (6)	Médio (3)	Médio (3)			De fundo (5)
Grande (4)		Grande (4)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)	Terra (8)		
Elevada (2)	Grande (2)	Elevado (1)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)	Terra (8)	De fundo (5)	Toc < 100 ou desconhecido ou calculado a mais de 20 anos (2)

Tabela 1 - Perigo Potencial

Fonte: Kuperman et al. (2001).

A Importância da Barragem para a ANA, é classificada como:

- Elevada: quando a barragem e o seu reservatório são de extrema importância para a operação do sistema da agência reguladora, assim sua desativação ou ruptura ocasiona a interrupção do sistema de abastecimento de água;
- Grande: quando sua desativação pode ser evitada, pois implica em custos elevados e obriga a remanejamentos importantes para conseguir a redução, mesmo que

- Pequena: quando a redução da oferta de água à sua eventual desativação é suportável por um período razoável; é fácil suprir de maneira alternativa esta eventual redução.

As dimensões da barragem são classificadas como Pequena, Média ou Grande, conforme a tabela 2.

Categoria	H – Altura (m)	V – Volume do reservatório (x10⁶m³)
Pequenas	H < 15 m	0,05 < V < 1
Médias	15 m < H < 30 m	1 < V < 50
Grandes	H < 30 m	V > 50

Tabela 2 - Classificação de barragens segundo sua altura e/ou volume armazenado

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

O volume de água do reservatório é dado pelas variáveis:

- Baixo: quando o volume de água bruta armazenada pelo reservatório for inferior a $0,05 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Pequeno: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estiver entre $0,05 \times 10^6$ e $1 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Médio: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estiver entre $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $50 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Grande: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estiver entre $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $100 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- Elevado: quando o volume de água armazenada pelo reservatório for superior a $100 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Impactos a Jusante

Essa classificação é a que mais se aproxima aos aspectos estudados pela Geografia. Dessa forma, o Impacto a Jusante é uma classificação dentro do Perigo Potencial, a qual remete à ocupação da região a jusante da barragem. Os danos e perdas potenciais são agrupados conforme suas consequências

conforme cada evento. Assim, para a classificação social as seguintes variáveis são consideradas:

- Características demográficas;
- Serviços públicos afetados;
- Deslocamento de pessoas;
- Empregos afetados;
- Influência sobre a capacidade produtiva;
- Efeitos sobre o patrimônio cultural;
- Efeitos sobre as áreas de recreação e lazer;
- Influência sobre a saúde pública;
- População afetada (falecimentos, traumas).

Dentro desses critérios são estabelecidas as classes:

- Baixo: quando não se espera nenhum efeito sobre as populações a jusante do barramento;
- Pequeno: quando houver possibilidades de menos de 100 pessoas serem afetadas e/ou ocorrência de perdas de capacidade produtiva inferior a 10%;
- Médio: quando houver possibilidades de entre 100 e 1000 pessoas afetadas e/ou ocorrência de perdas de capacidade produtiva inferior a 30%;
- Grande: quando houver a possibilidade de mais de 1000 pessoas serem afetadas e/ou ocorrência de perda superior a 30% da capacidade produtiva.

Entende-se por pessoas afetadas, pessoas que são acometidas a traumas físicos e psicológicos, em decorrência de danos provenientes da ruptura. Perda da capacidade produtiva é compreendida como perdas de empregos provenientes da ruptura, nos segmentos agrícolas, fabril. Sejam por danos diretos ou pelo desabastecimento temporário de água.

ambiental é inferior a 1 mês de duração e nenhum efeito ecológico grave é esperado, seja do ponto de vista de vegetação ou animal;

- Pequeno: quando a área afetada é superior a 0,1 km², mas inferior a 1 km², a duração do impacto varia de 1 mês a 1 ano, a inundação pode causar algumas alterações na vegetação sem afetar significativamente a vida animal;
- Médio: quando a área afetada estiver entre 1 km² e 10 km², a duração do impacto ambiental variar de 1 ano a 10 anos, houver diversas espécies de vida animal na área afetada, os efeitos sobre o meio-ambiente sejam sensíveis;
- Grande: quando a área do impacto for superior a 10 km², a duração do impacto for superior a 10 anos, haja importantes efeitos ecológicos e grandes impactos ao meio-ambiente.

Econômico

Em casos de desastres provenientes de rompimento de barragem, acontecem muitos prejuízos econômicos, devendo ser considerado:

- Quantidade de residências danificadas ou destruídas;
- Quantidade de indústrias, comércios e agricultura afetadas;
- Itens relativos à infraestrutura, reparos e recuperação das estruturas do barramento;
- Fornecimento temporário de serviços anteriormente supridos pela barragem.

Deste modo, no sentido de mensurar cada área que poderá ser impactada são estabelecidas as classes:

- Baixo: quando não ocorrem danos a residências e/ou a despesa total das reparações for inferior a R\$ 200.000,00 (incluindo os reparos da barragem);
- Pequeno: quando forem danificadas no máximo 5 casas e/ou as despesas totais estiverem entre R\$ 200.000,00 e R\$ 10.000.000,00 (incluindo os reparos ou reconstrução da barragem);
- Médio: quando forem destruídas entre 6 e 49 casas ou danificadas muitas casas e/ou as despesas totais estiverem entre R\$ 11.000.000,00 e R\$ 50.000.000,00;

Um fator importante a ser considerado dentro dessa classificação de Risco Potencial é o Tipo de Barragem e a qualidade do material utilizado na construção, sendo a classificação apresentada como:

- Concreto: quando a totalidade da estrutura for constituída por barragem de concreto, seja qual for o modelo estrutural;
- Enrocamento: quando houver maciços de enrocamento ou barragens mista terra/enrocamento com talude de jusante em enrocamento, fazendo parte do barramento e com alturas da mesma ordem de grandeza das estruturas principais;
- Terra: quando as estruturas principais do barramento, ou parte delas, forem constituídas por terraplenos de solo compactado.

Tipo de Órgão Vertente

Nas barragens existem diferentes tipos de dispersores de cheias, sendo como vertente principal ou como descarregadores auxiliares. Essa metodologia propõe três classes, são elas:

- De superfície sem controle;
- De superfície com controle;
- De fundo.

Vazão de Projeto

O dimensionamento dos descarregadores de controle de cheias foi classificado com base na vazão de dimensionamento ou Vazão Máxima Provável (VMP):

- Foi recentemente verificada para um período de recorrência entre 1.000 a 10.000 anos;
- Foi recentemente verificada para um período de recorrência entre 100 a 1.000 anos;
- Foi calculada para um período de recorrência inferior a 100 anos, ou é desconhecida, ou foi calculada há mais de 20 anos e não mais verificada.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Quanto a classificação sobre o Estado Real da Barragem foi elencada variáveis gerais que representam de forma global a estrutura, assim representada pela tabela 4 a seguir.

Informações de projeto	Frequência na avaliação do comportamento	Percolação	Deformações	Nível de deteriorização de paramentos ou taludes	Erosão a jusante	Condição dos equipamentos dos descarregadores
Completas (5)	Adequada (10)	Prevista em projeto ou inexistente (20)	Prevista em projeto ou inexistente (20)	Mínimo ou inexistente (15)	Mínimo ou inexistente (15)	Boa (15)
				Baixo (12)	Baixo (12)	
Parciais (4)	Razoável (6)	Fora do previsto ou não críticas (15)	Fora do previsto ou não críticas (15)	Moderado (6)	Moderado (6)	Razoável (8)
Incompletas (2)	Inadequada (20)	Crítica (5)	Crítica (5)	Alto (4)	Alto (4)	Ruim (6)
Inexistentes (0)	Nenhum (0)	Desconhecida (0)	Desconhecida (0)	Excessivo (3)	Excessivo (3)	Inoperantes ou sem registros (3)

Tabela 4 - Classificação segundo ao Estado Real da Barragem

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Informação de Projeto

As barragens foram enquadradas nas seguintes categorias:

- Completas: quando a documentação de projeto está disponível e acessível nos arquivos do órgão gestor;

de comportamento.

Frequência na Avaliação do Comportamento

As barragens foram classificadas quanto ao seu comportamento:

- Adequada: quando são realizadas inspeções rotineiras, periódicas e formais na periodicidade recomendada pela ANA, com inserção dos resultados no banco de dados e emissão de relatórios e pareceres específicos avaliando o comportamento, tanto pela instrumentação visível quanto pela instrumentação instalada;
- Razoável: quando são realizadas inspeções rotineiras e periódicas com a periodicidade recomendada pela ANA, são preenchidas planilhas de inspeção que alimentam o banco de dados;
- Inadequada: quando as inspeções periódicas não seguem as frequências recomendadas ou não são preenchidas as planilhas de inspeção nem realizadas análises de comportamento, sendo a última inspeção realizada há 5 anos;
- Nenhuma: quando não são realizadas inspeções rotineiras ou periódicas e a última inspeção formal foi realizada há mais de 5 anos.

Entende-se por inspeção rotineira aquela executada por técnicos da operação à medida que vão exercendo suas atividades habituais. A vistoria em todas as partes da barragem é realizada. A inspeção periódica é efetuada por equipe multidisciplinar de especialistas, inicialmente a cada 3 anos para estruturas consideradas como tendo Índice de Comportamento “Normal”.

Quanto à Percolação

O comportamento do fluxo de água pelo corpo da barragem e pelas ombreiras e fundações classifica-se:

- Conforme previsto em projeto ou inexistente: significando que os níveis piezométricos e as vazões de percolação se encontram dentro do previsto pelas hipóteses

no desempenho global do trecho afetado;

- Crítica: significando ter sido constatada anormalidades na distribuição das pressões ou das vazões, com implicações reconhecidamente importantes (ou em vias de se tornarem importantes, em vistas da evolução do fenômeno) para a segurança da unidade;
- Desconhecida: quando nada se conhece acerca do acompanhamento quanto à percolação.

Deformações

No que tange às deformações, sejam de quais origens forem, são contempladas em:

- Conforme prevista em projeto;
- Fora do previsto, mas não crítico;
- Crítico;
- Desconhecido.

Quanto à deterioração dos paramentos

Esta classificação contempla barragens de concreto e enrocamento, sendo classificadas da seguinte forma:

- Nível mínimo ou nenhum: quando não houver degradação visível, a olho nu, dos materiais de proteção. O comportamento dos taludes está de acordo com o esperado;
- Nível baixo: quando não houver indícios importantes que denotem a degradação dos materiais de proteção;
- Nível moderado: quando há evidentes indícios de degradação, trincamentos generalizados afetam áreas importantes das estruturas, no concreto há sinais de carbonatação e poucos vazamentos a jusante, apenas com merejamento. Observa-se uma evidente redução da granulometria do rip-rap em áreas bem definidas dos taludes, etc. A evolução dos fenômenos, entretanto é lenta, não havendo indícios de iminência de problemas criados por estes fatores;

do concreto está alterada; a frequência e a profundidade da fissuração são muito intensas; as propriedades de permeabilidade e estanqueidade da estrutura foram muito afetadas. Ocorrem vazamentos a jusante, através do concreto, com fluxos grandes.

Erosão a Jusante

Quando trata-se de segurança de barragens não podemos deixar de abordar a erosão a jusante do reservatório, pois essa patologia pode provocar a destruição das ombreiras e fundações, ameaçando a estabilidade de estruturas próximas. Desse modo, a classificação apresenta:

- Mínimas ou inexistentes: se não ocorrem erosões visíveis, a olho nu, em nenhum ponto a jusante. Às margens do rio imediatamente a jusante, encontra-se em perfeitas condições;
- Poucas: se ocorrem pontos localizados erodidos, principalmente nas margens, não havendo perigo de solapamento ou instabilidade de quaisquer estruturas da barragem ou da vizinhança, tais como entradas de acesso ou das margens do rio;
- Moderadas: se ocorrem pontos localizados erodidos, entretanto não há perigo imediato de solapamento ou instabilidade de quaisquer estruturas importantes para a barragem;
- Elevadas: se ocorrem erosões em grandes áreas, susceptíveis de solapar e instabilizar estruturas da barragem ou provocar danos a terceiros;
- Significativas: ocorrem erosões importantes em grandes áreas, susceptíveis de solapar e instabilizar estruturas da barragem ou provocar danos a terceiros, sendo necessárias intervenções imediatas, para evitar rupturas.

Condições dos Equipamentos Descarregadores

Os descarregadores são componentes de extrema segurança de uma barragem, eles são responsáveis por regular a vazão do reservatório. Quanto ao nível de segurança, são classificados como:

- Em boas condições: se operantes a qualquer tempo e em perfeito estado de conservação;

de quando foram testados pela última vez.

A partir da soma das “notas”, a classificação do Estado Real da Barragem é apresentada, conforme a tabela 5.

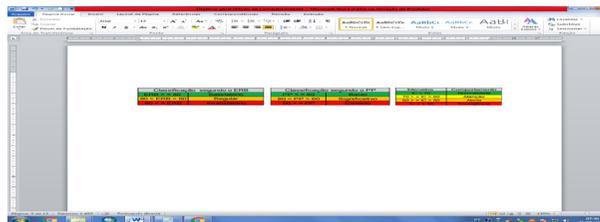


Tabela 5 - Classificação quanto o Estado Real da Barragem

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Por fim, determina-se o “Índice de Comportamento” - (IC) para cada unidade, por meio da aplicação da equação, conforme apresenta a tabela 6.

Tabela 6 - Índice de comportamento

Cálculo do Índice de Comportamento da barragem
$IC = (0,4 * PP) + (0,6 * ERB)$

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Como resultado final, a cada barragem é atribuído um número que determina sua classificação de acordo com as seguintes classes ou categorias, conforme a tabela 7.

- **IC > 70 – Normalidade:** não há defeitos reportáveis; caracteriza a barragem

necessidade de priorizar eventuais intervenções corretivas.

- **60 > IC > 50 – Alerta:** Existem anomalias que podem representar eventual risco à segurança da barragem e/ou à operação do sistema. Há uma necessidade de uma avaliação detalhada da real situação da barragem, reavaliação do índice de comportamento e estudo de alternativas para reparos. Devem ser tomadas providências para eliminação ou controle do problema.

- **IC ≤ 50 – Emergência:** Estudos detalhados sobre a barragem indicam haver anomalias que representam risco à segurança da mesma e/ou à operação do sistema. Dependendo do tipo de barragem e do problema apresentado a situação pode ficar fora de controle e haver risco de ruptura iminente, dependendo da operação do sistema. Pode haver necessidade de rebaixamento imediato do reservatório, eventualmente de abandono do local e de acionamento de um Plano de Ação Emergencial.

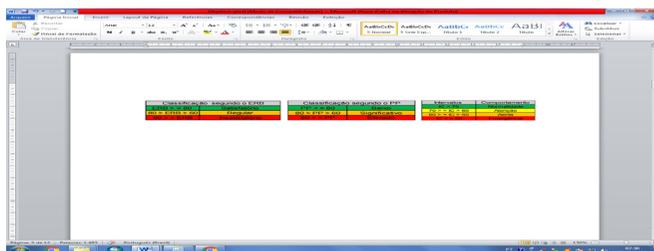


Tabela 7 - Classificação quanto ao

Estado Real da Barragem

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001).

Diante disso, a aplicação e adaptação dessa metodologia para a barragem Passagem das Traíras, servirá como ferramenta de comparação do nível de risco com o publicado pela Agência Nacional de Águas. A partir disso, teremos o conhecimento sobre a quantidade de atenção intervencionista e acompanhamento a barragem carecerá.

Para tratar a temática de gerenciamento de riscos em barragens, o trabalho será pautado na

de 25 de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; Portaria nº 10 de 2017, que determina o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem; Decreto Estadual nº 28.820 de 2019 que institui o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte; Decreto nº 16.038 de 2002 institui o Regulamento Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Norte; Plano de Contingência do Município de Caicó/RN; e o Código de Obras de Caicó/RN.

3.2 Procedimentos empíricos

Analíticos

Para empirizar a pesquisa é preciso buscar em primeiro lugar o conhecimento “*a priori*” para compreender o objeto ou fenômeno estudado. Assim a partir das teorias, conceitos e categorias, foram elaboradas abordagens a serem empregadas.

Com base na análise dos laudos de vistoria da ANA (2005; 2015; 2018; 2019) para a barragem Passagem das Traíras e toda a problemática envolvida, foi possível definir o recorte a ser estudado, abordando sobre o risco da barragem em questão romper. Dessa forma, a área de estudo é a cidade de Caicó/RN, com enfoque nos setores censitários das adjacências do Rio Seridó, sendo este, o rio de descarga da barragem a jusante em caso de uma possível ruptura.

Do ponto de vista da escala temporal, foi adotado o período entre 2004-2019. Sendo 2004 o ano em que o Código de Obras do Município de Caicó/RN foi regulamentado; e 2005, o ano do primeiro laudo da barragem; e 2019, ano que o laudo de vistoria mais recente foi publicado pela SEMARH.

Características gerais da Bacia Hidrográfica do Rio Seridó

A barragem Passagem das Traíras (figura 2) está inserida dentro da bacia hidrográfica do rio



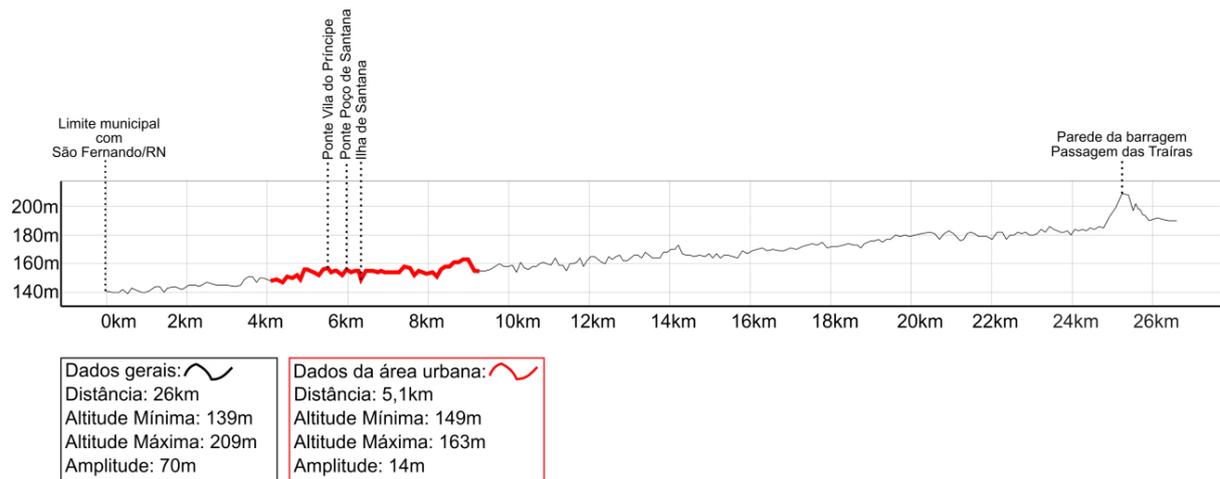
Figura 2

– Imagem aérea da barragem Passagem das Traíras

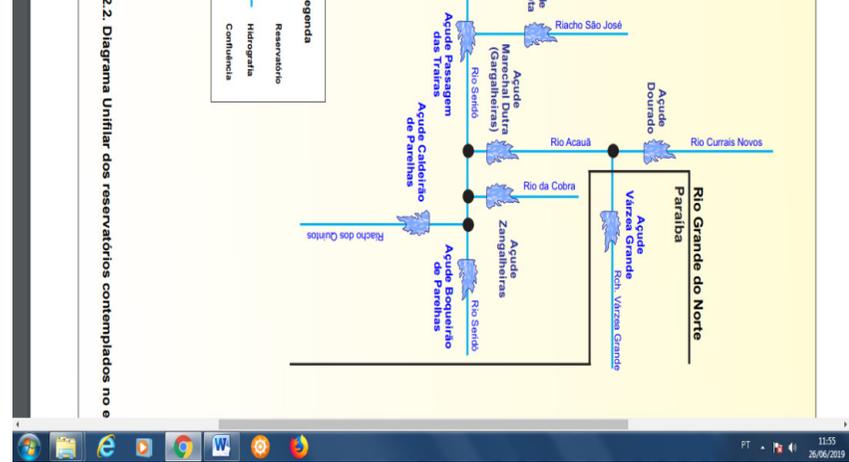
Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 3 - Esquema encadeando dos reservatórios da bacia do Rio Seridó

Gráfico 1 - Perfil topográfico da calha do rio Seridó



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Souza (2018).



Fonte: SEMARH (2019).

Considerando o perigo de ruptura da Barragem Passagem das Traíras, apresenta-se na figura 2 o mapa global da área de estudo. Em caso de vertimento da barragem, a vazão de onda de cheia é direcionada pela calha do Rio Seridó, passando pelo perímetro urbano de Caicó/RN.

gráfico 1, ilustra a variação de altitude da barragem Passagem das Trairas ate o perimetro urbano de Caicó/RN ao longo de toda calha do rio Seridó, a cidade de Caicó/RN está representada na cor vermelha. A figura descreve informações gerais de variação de altura na área urbana, tendo como referência o maciço da barragem a montante.



temporal da região por causa de fatores atmosféricos, sendo a influência do Enos (El Niño Oscilação Sul) e da ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical. Assim a média acumulada para os municípios de Jardim do Seridó é 684,8 mm/ano e Caicó, 765,5 mm/ano. O clima da região, segundo a classificação de Koppen e do tipo Bsh'w, ou seja, quente e seco, com forte evaporação, Caicó, no sertão do Seridó tem clima semiárido com sete meses secos, sendo o trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril, como mostra a gráfico 2 (DINIZ; PEREIRA, 2015).

Gráfico 2 - Climograma Ombrotérmicos de Caicó/RN

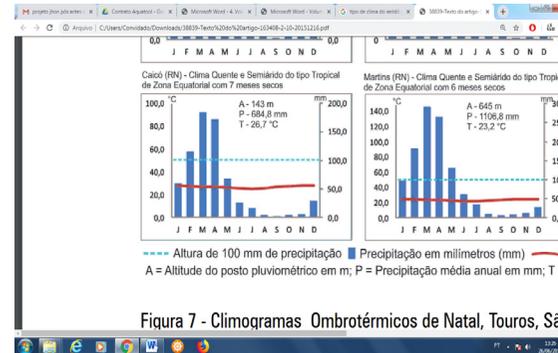


Figura 7 - Climogramas Ombrotérmicos de Natal, Touros, São

de Diniz e Pereira (2015).

Fonte: Modificado

Hidrologia

Do ponto de vista hidrológico, a barragem Passagem das Trairas, em seus anos de operação apresenta nível elevado de sua capacidade volumétrica em grande parte dos períodos como demonstra o Gráfico 3.

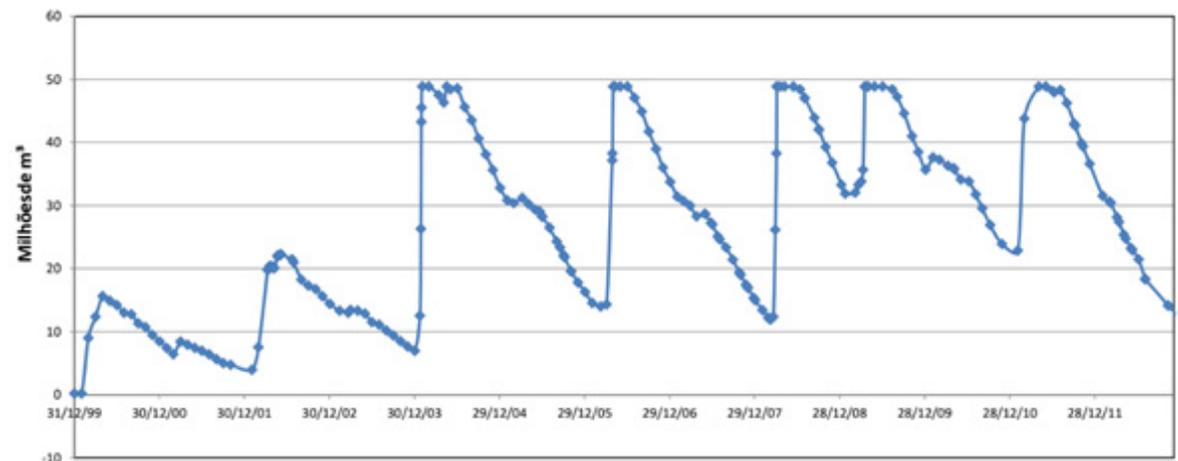


Gráfico 3 - Variação volumétrica ao longo dos anos de operação da barragem

projeto /on p... antes de ren... X Contrato Aguard... - Google Dr... X Email - Jonathan Lima - Outlook - X

https://drive.google.com/drive/folders/1JHF.../1z...?q=vert...&usp=sharing

Tabela 3.1. Registros de vertimentos em Passagem das Traíras (Período 1999-2013). Fonte: Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos

Data de referência	Cota	Área	Volume	Duração do vertimento no ano
01/02/2004	95	10.048.200	48.858.100	
01/03/2004	95	10.048.200	48.858.100	
17/05/2004	95	10.048.200	48.858.100	44 dias
01/05/2005	95	10.048.200	48.858.100	
10/05/2005	95	10.048.200	48.858.100	
01/06/2005	95	10.048.200	48.858.100	
01/07/2005	95	10.048.200	48.858.100	64 dias
01/04/2008	95	10.048.200	48.858.100	
09/04/2008	95	10.048.200	48.858.100	
17/04/2008	95	10.048.200	48.858.100	
06/05/2008	95	10.048.200	48.858.100	
12/06/2008	95	10.048.200	48.858.100	72 dias
15/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
16/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
28/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
30/04/2009	95	10.048.200	48.858.100	
27/05/2009	95	10.048.200	48.858.100	
01/07/2009	95	10.048.200	48.858.100	84 dias
01/05/2011	95	10.048.200	48.858.100	
01/06/2011	95	10.048.200	48.858.100	92 dias

projeto da pós.docx

Exibir todos

PT 11:38 26/06/2019

Tabela 8 - Informações de vertimento da barragem Passagem das Traíras

o tempo de retorno por meio de projeções (intervalo entre uma ocorrência e outra de acordo com Kurek, (2012)) das chuvas e o acumulado provável da precipitação em 1 dia, e a tabela 10 mostra a vazão estimada de vertimento em cheias com tempos de retorno variados.

Passagem das Traíras.

Quadro 4.2 - Precipitações de 1 dia (mm)

Período de Retorno	Precipitações de 1 dia (mm)
T = 2 anos	53,3
T = 5 anos	73,1
T = 10 anos	87,4
T = 20 anos	102,3
T = 50 anos	123,1
T = 100 anos	140,0
T = 1.000 anos	204,8
T = 10.000 anos	288,1

Na sequência, a figura 4.2 mostra o histograma de frequência da série anual para a bacia controlada por Passagem das Traíras. Conforme pode ser observado é nítida a assimetria esperada para esse tipo de coleção de dados.

SÍNTESE DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS
BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIRAS

ENGECORPS
1342-ANA-01-10-RT-0001-00

precipitação em 1 dia

Tabela 9 - Período de retorno por

Fonte: (ANA, 2019).

vertimento foi aplicada a metodologia de regionalização de cheias do US Geological Survey. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Estimativa da Magnitude das Cheias
Projeto Básico - COTEC - Consultoria Técnica Ltda.

T _r	Vazão
Anos	m ³ /s
10	1.150
50	1.760
100	2.110
500	2.964
1000	3.215

SÍNTESE DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS
BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIRAS

ENGECORPS
1342-ANA-01-10-RT-0001-00

vazão

Tabela 10 - Tempo de retorno pela

Fonte: ANA (2019).

Sobre as características gerais da barragem estudada, apresenta-se uma síntese com suas especificações técnicas no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Informações gerais da barragem Passagem das Traíras

Código ANA	43	Outorga	Res. nº 309/ANA de 16/07/2012, publicado no DOU, seção 1 de 27/07/2012.	
Início Construção	1994	Término da Construção	1995	
Entidade Responsável pela Construção	D.E.R.- RN	Empresa Contratada para a Construção	EIT	
Bacia	Curso d'água barrado	Finalidade		
Rio Piranhas / Açu	Rio Seridó	Abastecimento / Irrigação / Perenização de rio		
Capacidade do reservatório	Área da Bacia Hidráulica	Área inundada	Cota da crista	
49,70 hm³.	1.000,42 Km2	1.042,90 ha	201,32 m	
Coordenadas	Tipo de barragem		Altura da barragem	
06°31'05" S e 36°56'51" W	Gravidade em Concreto (CCR)		25,50m	
Extensão do Coroamento	Cota do Coroamento		Largura do Coroamento	
429,74m	195,19		4,68	
Tipo do Vertedouro		Extensão do Vertedouro	Cota da Soleira Vertente	Cota da Bacia de Dissipação
Crista em soleira livre, escoamento sobre degraus e bacia de dissipação com ressalto		130,14m	187,20m	78,70m

Fonte: ANA (2015).

População

Apesar das adversidades naturais, vivem na região Seridó do estado quase 300 mil pessoas, representando 11% da população estadual, evidencia-se forte processo de urbanização

com um índice de urbanização de 78% da população total. Jardim do Seridó tem uma população estimada para 2018 de 12.395 pessoas, com um índice de urbanização superior a 81% da população total. Finalmente, Caicó, importante centro regional, possui uma população estimada para 2018 de 67.554 habitantes e uma área territorial de 1.228km², o que representa uma densidade populacional de 55 hab/km². De forma sintética, as tabelas 11 e 12 representam as características gerais populacionais da área de influência da barragem Passagem das Traíras (SEMARH, 2019).

Tabela 2-1. População segundo censo demográfico IBGE 2010.

Município	População Total IBGE 2010	População Urbana IBGE 2010	População Rural IBGE 2010
São José do Seridó	4.231	3.302	929
Jardim do Seridó	12.113	9.835	2.278
Caicó	62.709	57.461	5.248
Totais	79.053		

Tabela 2-2. Outros dados por município IBGE 2010, 2016 e 2018.

Dados por Município	S. José do Seridó	Jardim do Seridó	Caicó
Área em km ²	174,5	387,6	1.228
Estimativa pop. Total 2018	4.602	12.395	67.554
Hab/km ² 2010	24,25	32,86	51,04
Escolaridade 6 a 14 anos - 2010	97,1	98,6	97,3
IBHM 2010	0,654	0,653	0,710
PIB Per Capita 2016	20.198,95	11.433,50	15.672,50

O salário médio mensal era em 2016 de 1,2 salários mínimos em São José do

Tabela 11 - População segundo censo demográfico IBGE 2010

Fonte: SEMARH (2019).

Tabela 2-1. População segundo censo demográfico IBGE 2010.

Município	População Total IBGE 2010	População Urbana IBGE 2010	População Rural IBGE 2010
São José do Seridó	4.231	3.302	929
Jardim do Seridó	12.113	9.835	2.278
Caicó	62.709	57.461	5.248
Totais	79.053		

Tabela 2-2. Outros dados por município IBGE 2010, 2016 e 2018.

Dados por Município	S. José do Seridó	Jardim do Seridó	Caicó
Área em km ²	174,5	387,6	1.228
Estimativa pop. Total 2018	4.602	12.395	67.554
Hab/km ² 2010	24,25	32,86	51,04
Escolaridade 6 a 14 anos - 2010	97,1	98,6	97,3
IBHM 2010	0,654	0,653	0,710
PIB Per Capita 2016	20.198,95	11.433,50	15.672,50

O salário médio mensal era em 2016 de 1,2 salários mínimos em São José do

Tabela 12 - Outros dados por município IBGE 2010, 2016 e 2018

Fonte: SEMARH (2019).

Diante da caracterização geral da área de estudo, foi possível embasar as análises para que os objetivos a seguir sejam efetivados.

barragem para verificar as patologias estruturais e compará-las aos laudos da ANA (figura 4), os dados obtidos foram utilizados para a confecção do índice de Estado Real da Barragem – ERB. Posteriormente, foi realizado uma incursão em Caicó/RN para fazer o sobrevoo com drone e visitar o entorno do Rio Seridó, ao longo de seu curso na zona urbana da cidade.



Figura 4 - Equipe realizando incursão na barragem.

Fonte: Elaboração própria (2019).

Todavia, antes do sobrevoo, foi preciso utilizar o *software* Dji Go para a formulação do plano de voo, *in loco* na barragem. Em seguida, foi delimitada a faixa do Rio Seridó e os bairros do município de Caicó adjacentes ao rio. Para isso, foram realizados 2 aerolevantamentos no perímetro urbano da cidade, como mostra a figura 5.



Figura 5 - Equipe de campo realizando aerolevanteamento.

Fonte: Elaboração própria (2019).

Após a coleta de dados, o tratamento das imagens foi realizado em laboratório com auxílio do software QGis 3.10. Utilizando informações das curvas de nível (MDE – Modelo Digital de Elevação) extraídas de uma imagem do Satélite *ALOS/Sensor Palsar* e refinadas através do método de interpolação para 1 metro. A partir do dado de vazão da onda de cheia em caso de rompimento, foi realizado a modelização através da análise multivariada de *overlay e buffer* da área possivelmente atingida em caso de ruptura. Definiu-se que as cotas de volume de água de 50% equivalem a 25 milhões de m³ e a de 100% do volume de água equivalem a 49 milhões de m³, esses valores foram atribuídos para verificar o impacto dos danos nos diferentes cenários nas adjacências do rio Seridó. Cenário 1: a barragem com metade do seu volume; Cenário 2: a barragem em sua capacidade máxima de armazenamento.

Após definir as áreas para os cenários, foram verificados quais setores censitários do município estão dentro do perímetro das cotas de inundação dos cenários. Assim, com auxílio de informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi quantificado o número de pessoas exposta ao risco de impacto da onda de cheia.

Com auxílio de informações da Secretaria de Tributação de Caicó/RN, sobre o valor em R\$ (reais) do m² dos imóveis dentro do perímetro dos dois cenários, realizou-se o cálculo de possíveis perdas imobiliárias em valor monetário das edificações que estão dentro dos cenários da onda de cheia. Os cálculos foram realizados através do *Google Earth*, com a régua de metragem e, o valor dos imóveis foi multiplicado conforme o valor do metro quadrado da área em que está situado, para isso foi utilizada as informações dispostas na tabela 13.

Vila do Príncipe	R\$ 103,91
Boa Passagem	R\$ 103,91
Boa Vista	R\$ 83,13
Vila Altiva	R\$ 103,91
Darci Fonseca	R\$ 103,91
Paraíba	R\$ 149,62
Penedo	R\$ 124,69
Salviano	R\$ 34,05
João Paulo II	R\$ 21,79
Adjunto Dias	R\$ 21,79
Walfredo	R\$ 27,24
Recreio	R\$ 42,56
Raimundo	R\$ 21,79
Maynard	R\$ 103,91
Castelo Branco	R\$ 83,13
Paulo VI	R\$ 27,24
Ver. Antônio	R\$ 103,91
IPE	R\$ 83,13

Tabela 13 - Valor do M² dos imóveis por bairros em Caicó/RN

Fonte: Elaborado pelo autor com base em SEMTF (2019).

Em decorrência das limitações do Plano de Contingência da Defesa Civil de Caicó/RN, realizou-se o levantamento das principais rotas de fuga em caso de ruptura da barragem, assim como os locais mais propícios a serem abrigos, hospitais com número de leitos para atender as vítimas, número de viaturas e contingente de Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Exército, Médicos, SAMU e Defesa Civil, COSERN, CAERN e Grupos de Escoteiros, para mensurar e agregar essas informações que

4.1 O Espaço geográfico e a relação sociedade-natureza

Dentro do arcabouço teórico-metodológico da ciência geográfica, a dicotomia entre o determinismo alemão e o possibilismo francês é posta como duas correntes opostas na ciência. A primeira é abordada no sentido da natureza ser um meio influenciador na vida do homem, e a segunda é apresentada como o homem sendo o agente de transformação da natureza através da técnica para atender suas necessidades. (SUERTEGARAY, 2002).

Na atualidade o objeto de estudo da Geografia é o espaço geográfico. Assim, o espaço geográfico é entendido através da sobreposição de diferentes conceitos e categorias (território: análise política; região: o econômico ou cultural; paisagem: natureza; e lugar: subjetividade humana) que são base para sua concepção. A partir da leitura dos conceitos e categorias, é possível o entendimento de como esses fatores contribuem para a análise do espaço geográfico, compreendendo a relação entre a natureza e o homem (SUERTEGARAY, 2002).

Desde o início das incursões de campo de Humboldt, a geografia trata em suas análises sobre a natureza. A partir da geografia francesa vidaliana, a natureza é abordada em consócio com o construto social, dado através da tecnificação dos modos do homem de lidar com a natureza. Meio a isso, a natureza é tida como algo que não está relacionado ao homem, pelo contrário, a natureza pode ser moldada e produzida se estiver em contato com a presença humana (SUERTEGARAY, 2002).

Para Santos (1997), é preciso pensar a natureza como algo não somente natural, que é fruto de seus autos-processos, é preciso pensar a natureza como algo passível de intervenção humana. É o caso do agronegócio com os processos produtivos em larga escala, dessalinização de água, perenização de rios intermitentes e até mesmo clonagem animal.

A relação entre homem e natureza é lastreada por meio da técnica, em sua origem mais rudimentar, quando o homem passou a caçar e domesticar animais na pré-história. Para Santos (1997) a técnica é um conjunto de ferramentas ou instrumentos que são empregados pelo homem, no sentido de viabilizar suas ações no meio.

Desde a antiguidade, a técnica é usada no seguimento de construção de barragens, desde barragens de aterro que é o caso da barragem Sadd-El-Kafara no Egito 2.650 a.C., passando pela revolução industrial com a consolidação dos modos de construção de barramentos com concreto armado (SOUZA, 2018).

A materialização da técnica é um construto humano no espaço geográfico, que serve de base

âmbito do campo imagético, até a consolidação mecânica da técnica em si. Assim pode-se destacar as fases de pré-projeto, de construção e operação de uma barragem, como essa consolidação das fases da técnica definida pelos atores sociais que as produzem e garantem sua manutenção. Então pode ser dito que, a ação ocorre de forma sistemática e tem papel preponderante no arranjo da vida coletiva e na viabilização da vida individual.

Baseado em Santos (1997), em face a realidade deste trabalho o conceito miltoniano de tecnoestrutura, pode ser empregado ao objeto estudado, haja vista a barragem Passagem das Traíras possuir uma função social e estratégica, dentro do sistema estadual de recursos hídricos para a microrregião do Seridó Potiguar.

Aqui abordaremos os conceitos de objetos e ações da teoria miltoniana para operacionalizar nossa análise. Sendo as ações um processo dotado de um propósito, uma intencionalidade e objetos é algo que remete a fixos no espaço geográfico. Com base no autor supracitado, para o estudo de um objeto técnico, deve ser levado em consideração todo o entorno desse objeto e suas relações. A barragem é uma ação materializada no espaço geográfico, possuindo finalidades e estabelecendo relações com os atores sociais e objetos que estão nas suas adjacências. Assim a barragem pode ser apresentada como um objeto de cunho misto, composto de elementos técnicos e ao mesmo tempo geográficos não dissociados, dotado de intencionalidades (SANTOS, 1997).

Essa relação do emprego das ações por meio da técnica para a criação de objetos, no caso aqui a barragem, tem-se como produto o espaço geográfico. Este que para Santos (1997) é apresentado como “um conjunto indissociável de objetos e ações”. Assim segundo uma lógica de organização dos objetos – apresentada pela barragem na alteração da dinâmica natural do Rio Seridó – e pelas ações que isso pode ocasionar, dada à importância para no abastecimento e contenção de cheias no Rio Seridó, o objeto estudado com esses elementos correlacionados (objetos e ações) é caracterizado como um elemento técnico de transfiguração do espaço geográfico.

Diante disso, a existência da barragem como um objeto técnico marca o espaço geográfico como palco de modificações do meio natural, pautada pela relação da sociedade e natureza por meio da técnica. Por esse motivo, Santos (1997, p. 51) destaca o conceito de configuração territorial ou configuração geográfica, como: “conjunto formado pelos sistemas naturais de um país ou numa dada área e pelos acréscimos que os homens superimpuseram a esses sistemas naturais”. Diante desse conceito, pode-se induzir que a configuração territorial do Rio Seridó foi alterada, a partir do momento em que foi construída uma barragem na calha do rio, alterando todo padrão de drenagem, aportes de sedimento, o aumento da produção agrícola através da irrigação, além da perenização do rio que é classificado como intermitente. Diante do exposto, a modificação do meio natural através da técnica no seguimento barragista é uma forma de garantir a segurança hídrica as populações de regiões com irregularidades dos regimes pluviométricos, como é o caso da Barragem Passagem das Traíras.

lei 12.354/10 sobre segurança de barragens e a lei das águas 9.433/97. De acordo o autor supracitado, o fato de haver uma organização dos objetos concomitante ao ordenamento das ações não necessariamente implica que entre eles haja uma relação automática como é o caso das leis e normas regidas pela lei em questão. Assim, esse intermédio jurídico e a intercessão técnica se complementam, o espaço geográfico é regulado em detrimento de seu conteúdo técnico, mas também pode exercer o papel de regulador das ações e dos objetos dotados da técnica.

Considerando que a materialização do território é originada pelos objetos tecnificados dispostos, o território surge como recorte espacial usado pelo homem, assim pode ser compreendido também por espaço geográfico. É importante dizer que o território está ligado ao debate do poder, da dominação, não dissociando-se das relações sociais conflituosas existentes no palco do espaço geográfico. Aqui destaca-se esse debate dos conflitos na área de estudo pelo risco de rompimento da Barragem Passagem das Traíras, de um lado o Estado com suas normas e do outro lado, inúmeros seguimentos da sociedade civil organizada cobrando a reforma da barragem por medo de um desastre (SANTOS, 1997).

Ainda com base na teoria de Santos (1997), para se entender o espaço geográfico, deve-se pensá-lo enquanto totalidade, o qual os objetos possuem características próprias que vão contribuir para a sua formação. Com base nos conceitos de Processo, Estrutura, Função e Forma de SANTOS (1985) aplica-se estes ao objeto de estudo.

Sendo o Processo, a ação que se faz para alcançar o resultado almejado, aplica-se ao objeto de estudo em questão, de modo que os processos ligados a barragem Passagem das Traíras estão relacionados com a parte de projetos executivos das obras; as tomadas de decisões do órgão gestor de águas a respeito dos planos de operação da barragem; o plano de ações emergências; e do plano de contingência em caso de rompimento. O conceito de Estrutura, é empregado de acordo com o modo que um objeto está organizado, como está relacionado entre si. No objeto estudado, aplicou-se esse conceito com a estrutura do ponto de vista normativa legal e também do ponto de vista físico de sua estrutura em si, relacionada com o sistema de abastecimento de água no Seridó. A Forma, enquanto conceito, é abordada como algo ligada ao campo do visível, sua morfologia espacial. Para a Barragem em estudo a forma é dada pelo seu tipo, um objeto de concreto compactado a rolo, com vertedouro livre com amortecimento em degraus no paramento de jusante. Quanto ao conceito de Função, ocorre de acordo ao desempenho das atividades ou tarefas de um determinado objeto, na barragem a função é representada pelo abastecimento da população, pesca, irrigação e controle de inundações.

À vista disso, as categorias de análise que serão operacionalizadas na sequência, se tornam categorias analíticas importantes para entender o objeto de estudo de maneira integrada. É importante destacar a importância da leitura dos cinco elementos do espaço geográfico para que as relações que o objeto de estudo tem com os objetos ao seu redor possam ser entendidas, como é o caso da cidade de Caicó/RN à jusante da barragem.

normas ou que seguem essas normas, nesse sentido, destacamos a Prefeitura de Caico, a Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros, a Polícia Militar, o 1º BEC do Exército, os Hospitais e a Universidade. O Meio ecológico é destacado pelos elementos de base natural, destacados neste trabalho pela calha do Rio Seridó, a geomorfologia do vale, a topografia, a vegetação de mata ciliar e o lago artificial da barragem. Por fim, as Infraestruturas são todos os objetos materializados pelo trabalho humano, apontamos na área de estudo as casas, as escolas, hospitais, creches, equipamentos religiosos e de lazer que estão nas áreas circunvizinhas do Rio Seridó em Caicó/RN.

Baseado nesse encadeamento lógico de categorias analíticas, o objeto de estudo e a área de estudo poderão ser empiricizados para que a análise do fenômeno seja feita de forma que contemple a totalidade. De acordo com Santos (1997), para que o espaço geográfico seja entendido como uma totalidade, é necessário entender as categorias e os cinco elementos formadores do espaço que são meios para entender as partes do objeto de estudo e sua relação no espaço geográfico, de forma setorizada.

4.2 O risco tecnológico enquanto uma criação humana

O risco é algo inerente à vida humana, somente existe risco se houver pessoas expostas a este. À luz disso, desde o período pré-histórico em que o homem passa a buscar novas formas de sobrevivência através das condicionantes naturais, ele vive sob risco, sejam eles provenientes nos momentos de caçar, até mesmo na coleta frutos que podem ser venenosos ou águas contaminadas para o consumo.

Com a evolução da técnica, os riscos foram se modificando, agregando novas abordagens ameaçadoras ao homem. Com a modernidade surgem novos campos do risco como os econômicos, biológicos, tecnológicos e psíquicos. Porém, antes da presença dessas novas categorias ligadas ao conceito de risco, existia para a ciência somente os riscos naturais ALEMEIDA (2010).

Os primeiros estudos sobre essa temática surgem através de questionamentos como: até que ponto a ação humana poderia interferir nas dinâmicas naturais e causar efeitos colaterais ao meio?. Nesse sentido, a geografia passa a estudar essa relação dos danos causados pelo homem e sua magnitude na natureza (GREGORY, 1985).

De acordo com o Gregory (1985), existem três tendências que fizeram com que os estudos dos riscos fossem alavancados. Primeiramente, existia a preocupação em estudar os eventos extremos causadores de danos, no sentido de criar estratégias de controle, para lidar com esses eventos. Em segundo lugar, os estudos passaram a ter o caráter de diagnósticos socioeconômicos dos eventos, estes eram abordados como acasos naturais de grades potenciais destrutivos. O terceiro fator remete a percepção das pessoas para com os eventos, e essa percepção era importante para formular decisões no sentido de planejar e gerenciá-los.

estudado de forma sistêmica, com outras categorias/conceitos como perigo e vulnerabilidade. Aqui destacamos o conceito de risco com base em Castro (2005), onde o risco remete à probabilidade do encadeamento dos processos no espaço-tempo, porém não pré-determinados a esses processos podendo causar danos à vida humana. O autor frisa que dentro do conceito de risco existem outras subdivisões quando o adjetiva-se, por exemplo: risco ambiental, risco tecnológico, risco natural, risco social, risco biológico, risco econômico.

Ainda para a UNISDR (2009), o risco categoriza-se em duas frentes, uma ligada à aleatoriedade como um acidente; e a outra que remete ao meio técnico e seus efeitos, que tem como danos e perdas um determinado tempo em uma área.

O significado da palavra risco é destacado como “Perigo; probabilidade ou possibilidade de perigo: estar em risco”, de acordo com o Dicionário Aurélio Buarque de Holanda Ferreira (FERREIRA, 2010). Para alguns autores como Veyret (2007), o risco é categorizado e conforme sua vertente ele ganha um significado específico. Trazendo o risco para a ciência geográfica, poderíamos aplicar o conceito empregado pela autora Veyret (2007) supracitado quando afirma que “risco é a percepção de um indivíduo da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, cujas consequências são em função da vulnerabilidade intrínseca desse grupo ou indivíduo” (VEYRET, 2007, p. 24).

A equação global é posta por $R(f) = P(\text{perigo}) * V(\text{vulnerabilidade})$. O Risco sendo o produto dos Perigos, normalmente agentes que ameaçam de forma potencial pessoas ou estruturas, já a Vulnerabilidade é a capacidade de resposta, adaptação de pessoas ou estruturas (VEYRET, 2007).

Esse conceito se torna complexo visto que as características da sociedade ao longo de seu processo evolutivo ganharam novas ameaças. Conforme afirma ALMEIDA (2010), esse movimento possibilitou ao homem uma vida marcada de incerteza, medo e insegurança.

Para o que o conceito de risco possa ser operacionalizado, é importante destacar a importância dos conceitos de perigo e vulnerabilidade. Para White, Kates e Burton (2001), o perigo enquanto conceito está relacionado diretamente ao conceito de risco, visto que advém dos primeiros estudos dos *Hazards*. Mas isso não quer dizer que os dois conceitos sejam sinônimos. É que antes os estudos dos riscos eram concebidos pelos estudos dos *Hazards*, que na tradução remete a perigo. Deste modo, o perigo refere-se ao agente causador de danos materiais e imateriais. Complementando o debate, Veyret (2007) aborda que o termo perigo “é, às vezes, empregado também para definir as consequências objetivas de uma área sobre um indivíduo, um grupo de indivíduos, sobre a organização do território ou sobre o meio ambiente. Fato potencial e objetivo” (VEYRET, 2007, p. 24).

Para a abordagem do risco na geografia, os pesquisadores também abordam a temática da

Em consonância a abordagem de Veyret (2007) para a vulnerabilidade, apresenta-se aqui a formulação do ISDR – *International Strategy for Disaster Reduction*, a qual trata a vulnerabilidade como uma série de condições e processos que resultam de origem físicas, sociais, econômicas e ambientais. Ligada a susceptibilidade de uma comunidade ao impacto de perigos (BOGARDI, 2004, p. 362).

Dentro do estudo da vulnerabilidade, existe os conceitos de exposição, capacidade de lidar, capacidade de se adaptar e resiliência. Assim, a vulnerabilidade é conceituada por Pelling (2003). Destaca-se aqui a resiliência, empregada por Blaikie et al. (1994) como uma ferramenta de adaptação e resposta a um determinado evento.

Nesse contexto, pode ser dito que o emprego da vulnerabilidade no estudo dos riscos, o torna um conceito de cunho social. De acordo com ALMEIDA (2010), o risco é atribuindo a capacidade de percepção de um indivíduo ou grupo de perceber de forma empírica uma possível ocorrência de evento que venha a trazer prejuízos.

Um outro conceito importante a ser destacado nesse debate é o de desastre, esse confundido com *o de catástrofe*. Sendo assim desastre é um evento condensado no espaço e no tempo, acontecendo em pontos isolados em tempo abrupto. Os desastres podem acometer as populações expostas à destruição de serviços básicos, atuando de forma inesperada. Porém existem desastres como a seca, que são graduais no espaço e no tempo. As catástrofes estão relacionadas à magnitude dos eventos, são mensurados de grandes dimensões espaciais e temporais, podendo causar muitos danos a vidas humanas, perdas ambientais e econômicas (QUARANTELLI, 1998).

Ainda dentro do debate do risco, Veyret (2007) relata que há uma gama de tipos de riscos que podem ser tratados pela Geografia. Dessa forma, para operacionalizar melhor a análise do pesquisador, este poderá adotar a adjetivação que melhor se enquadrar em seu objeto e área de estudo.

Esta pesquisa tomará como norte a categoria do risco tecnológico para a análise. De acordo com Veyret (2007), os riscos tecnológicos são abordados como poluição crônica (fenômeno perigoso que ocorre de forma recorrente, às vezes lenta e difusa) e poluição acidental (explosões, vazamentos de produtos tóxicos, incêndios).

Embora a autora não cite questões de falhas técnicas em barragens de água ou rejeitos, como riscos tecnológicos, ao relacionar o termo tecnológico com o de técnica, tentamos fazer o exercício de incluir essa abordagem de barragem nesse conceito, tentando uma revisão futura deste conceito.

O risco tecnológico é tratado como o risco presente da ocorrência de parâmetros técnicos e de segurança mal-empregados. Para entender o risco tecnológico, faz-se necessário buscar e compreender a base etimológica desse conceito. Assim, a palavra “técnico” vem da origem grega ‘*tekhnikós*’, tendo a equivalência do latim “*ars*”. Visto isso, percebe-se etimologicamente

de falhas, essas falhas são originadas pela frágil precisão dos procedimentos técnicos, podendo assim ocasionar insegurança em grandes estruturas como as barragens, e fazê-las ruir.

Ainda para o autor, é possível diferenciar os tipos de cenários de riscos tecnológicos e a magnitude dos processos desse evento. Por exemplo, existe diferença entre um vazamento de um reator nuclear, de uma ruptura de uma barragem ou de uma queda de uma ponte, meio a isso, os processos danosos desses desastres tecnológicos estão acometidos pela negligência da técnica, seja na construção, operação ou manutenção de dado objeto espacial. Assim essas falhas podem ocasionar danos a vidas humanas, ao meio ambiente e a economia (SOUZA, 2018).

Muito embora a temática de desastres tecnológicos esteja em pauta recentemente, já existiram vários casos desse tipo de desastre na Antiguidade. Pode-se destacar a ruptura da barragem Sadd-El-Karafa, localizada no Egito, aproximadamente 2.650 a.C. (MELO, 2014). Pelos registros históricos, a barragem possuía a capacidade volumétrica de 570.000 m³, e como não possuía vertedouro, após uma grande cheia a estrutura galgou (quando o nível da água passa a crista do maciço e provoca erosões nos taludes, ocasionando a formação de brechas contínuas), formando uma grande lacuna na área central do maciço (PIMENTA, 2009). Ainda hoje é possível constatar as ruínas das ombreiras do maciço da barragem, representada pela figura 3.

O objetivo da figura 6 é retratar o dimensionamento da barragem Sadd-El-Karafa: a imagem (a) denota a extensão do maciço de 108 metros; a imagem (b) mostra a altura do barramento de 14 metros; a imagem (c) mostra bem o tipo de material feito no enrocamento de aterro; e a imagem (d) mostra o tamanho da fenda aberta após galgamento na barragem.

É importante destacar que a Sadd-El-Karafa foi o primeiro desastre tecnológico associado a barragens da história. Entretanto, existiram outros casos de ruptura de barragem no mesmo período, como é o caso da barragem Marib, que represava as águas do Rio Danah no Iémen, possuía avançado método de controle de operação, com a presença de dispositivos de descarga. Acerca de 1.500 a.C., essa barragem passou por melhorias em sua estrutura, seu maciço possuía dimensões de 20 metros de altura por 700 metros de coroamento.

O talude dos paramentos era composto por enrocamento (SCHNITTER, 1994). Ainda, a referida barragem possuía um moderno sistema hidromecânico, com a tomada d'água feita de alvenaria de rochas, tendo o vertedouro de 13 metros acima da cota do rio e 50 metros de comprimento. Diante de toda essa modernidade técnica para a época, a barragem de Marib não suportou a cheia do rio e galgou diversas vezes, sendo desativada após 2.100 de operação (PIMENTA, 2009).

Figura 6 - Barragem Sadd-El-Karafa, no Egito



Os casos mais emblemáticos no Brasil foram os da ruptura da barragem de Orós no Ceará e Mariana e Brumadinho em Minas Gerais.

Diante do exposto, deve-se considerar que o risco é um produto da ação humana, sobretudo o risco tecnológico, em decorrência da negligência da técnica na construção de algum objeto espacial. Assim, a grande maioria dos casos de rompimento de barragens desde a antiguidade são provocados por algum tipo de falha humana, ressaltando a importância do debate na formulação de projetos, além da operação e manutenção de barragens por equipes especializadas, no sentido de prevenir e mitigar os riscos de novos rompimentos de barragens.

4.3 Onda de Cheia e Tempo de Resposta

De acordo com Mascarenhas (1990), o conceito de onda de cheia remete a um tipo de escoamento tridimensional, apresentando variação significativa do ponto de vista hidráulico em um dado espaço de tempo e deslocamento. Ainda para o autor, a onda de cheia é dada como um fenômeno hidráulico complexo e de difícil caracterização matemática.

Um outro conceito importante é o de tempo de resposta, esse muito reverberado no meio dos profissionais de proteção e defesa civil, assim, tempo de resposta é um indicador de tempo usado para estimar o tempo de uma ação de resposta ao evento desastroso, considerando o tempo inicial da deflagração do evento até o tempo da chegada de equipes de salva-guarda CICONET (2015).

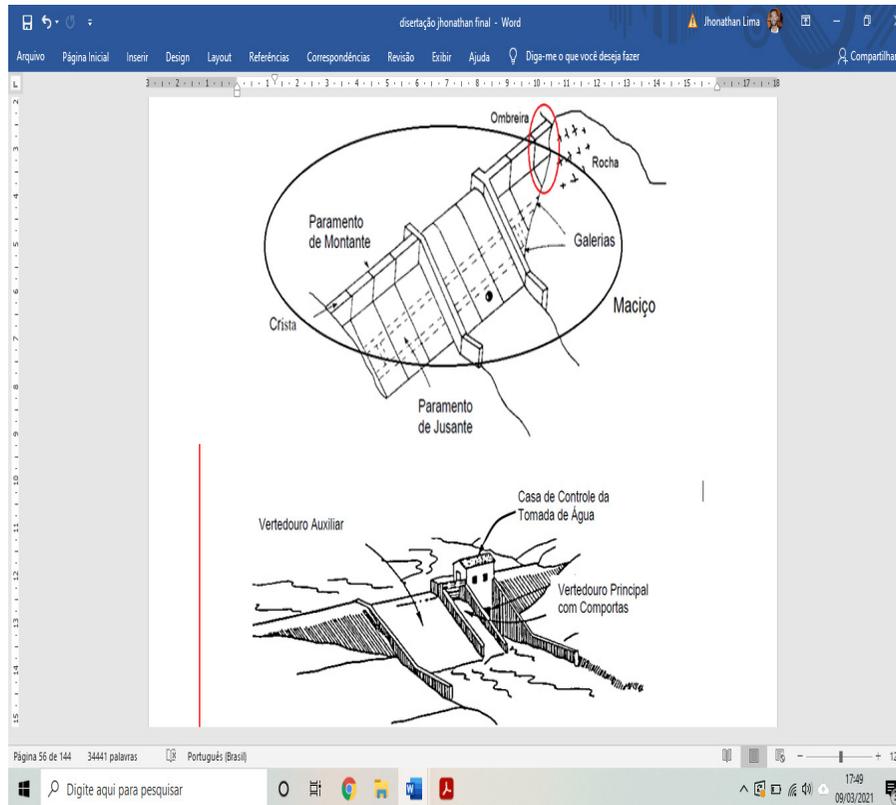
A onda de cheia é o volume de uma coluna de água, que se desloca de um barramento rompido, em direção à jusante pela calha do rio. Essa onda tem uma enorme energia hidráulica capaz de arrasar grandes áreas no curso do rio, tornando-se um perigo para cidades que estão no vale a jusante de uma barragem.

É o caso do município de Caicó/RN, distante cerca de 17 km a jusante da barragem Passagem das Traíras. Como constatado neste estudo, a barragem encontra-se com anomalias em sua estrutura, representando um grau de risco de Emergência. Caso seu volume aumente, poderá romper-se, nessa perspectiva, a ruptura causará uma onda de cheia que poderá ocasionar um desastre para a cidade de Caicó/RN.

Para estimar o número de pessoas expostas ao risco de ser atingidas pela onda de cheia advinda da barragem Passagem das Traíras, foi confeccionada uma cartografia base, com os setores censitários de Caicó, situados nas adjacências do rio Seridó. A figura 25 traz informações do número de pessoas que vivem em cada setor, dado imprescindível para quantificar o número de pessoas em cada cenário de inundação.

Para que se possa entender melhor os termos que serão usados nas discussões dos resultados e na confecção dos índices, se faz importante o conhecimento dos componentes de uma barragem de concreto, sejam eles componentes gerais ou da hidromecânica. Assim descritos na figura 7 a seguir.

Figura 7 – Croqui dos componentes de uma barragem



Fonte: Adaptado de MIRANDA (2016).

4.5 O panorama das barragens no mundo e no Brasil

O surgimento e evolução técnica no modo de construção das barragens estão marcadas ao longo da história da humanidade. Tais estruturas sempre tiveram o papel de prover água ou controlar cheias, após a industrialização, passaram também a servir como matriz energética e piscicultura (SCHNITTER, 1994).

No que tange o conceito de barragem, o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB, 2013), aponta que é uma barreira confeccionada artificialmente com a finalidade de represar água ou demais líquidos, rejeitos ou detritos. Sendo tanto para armazenamento como para controle. Ainda para o Comitê, a origem da palavra barragem descende da língua francesa, sendo “*barrage*”, a partir do século XII. O prefixo “*Barre*”, do francês, e “*Barra*” do latim, que significa “travessar, trancar de fechar porta”.

O conceito atualmente definido de barragem, trata-se de uma estrutura construída entre margens de um rio ou talvegue, com objetivo de armazenar água criando um reservatório de contenção. Sendo uma estrutura de controle e de descarga ligando um nível de água superficial de montante para jusante

de barragens, no período entre 1970 a 1979 existia 7.511 barragens catalogadas pelo órgão. Face a isso, atualmente existem 39.188 grandes barragens no portfólio do painel internacional, destas, 1.431 estão situadas no Brasil.

Cabe destacar que ainda existe no mundo cerca de 768 milhões de pessoas com problemas relacionados ao acesso à água potável. A agenda da água deve ser encarada como um direito essencial a todos, porém estamos muito longe de conseguir que esse direito chegue para todos, somente cerca de 3,5 bilhões de pessoas tem acesso à água, sendo destes 2,5 bilhões sem condições sanitárias básicas. Além disso, 1,3 bilhões de pessoas não têm acesso à energia elétrica (ONU, 2014).

Ainda segundo dados da Organização das Nações Unidas, há projeções em que até o ano de 2030, tenha-se o aumento da demanda de alimentos em 35%, seguindo do aumento da demanda de 40% de água, além do aumento da demanda em 50% no consumo de energia elétrica.

Fatores como as mudanças climáticas corroboram para as alterações dos regimes de precipitações, causando falta de água em algumas regiões, o que ocasiona falta de energia, perda de safras, de rebanhos e até falta de água para dessedentação. É nesse sentido que a construção de barragens é colocada como uma ferramenta de adaptação humana de convivência com as condicionantes ambientais, portanto esse tipo de infraestrutura se torna de fundamental importância para a população da região semiárida.

Pensando na questão climática e da seca na região nordestina, há um debate muito antigo nesse contexto, mais precisamente desde o Brasil Império. Discutia-se a possibilidade do levantamento de informações acerca das localidades do nordeste que mais sofria as consequências da seca na época. Dessa forma, uma comissão de profissionais a mando do governo central foi ao nordeste para tratar, desse caso em questão (CAMPOS, 2014).

Ainda para o autor supracitado, ao regressar, a comissão elaborou estudos e encaminhou ao governo informando a necessidade da adoção de mecanismos de combate à seca, sendo o programa de açudagem a maior delas, a qual viabilizava a construção de infraestruturas hídricas no Nordeste para provimento de água para a população.

As obras foram iniciadas, todavia, no ano de 1879 a comissão foi dissolvida, retornando apenas em 1889 com a instituição da República Velha, a partir disso a agenda da construção de açudes retoma a ordem do dia (SILVA, 2012).

Cabe destacar que no período da República Velha, os governantes não simpatizavam muito com a ideia de uma comissão de pesquisadores realizar os levantamentos técnicos, isso em função da centralização das informações na mão de poucos. Nesse sentido, foi articulado a criação de órgão que pudesse de fato estudar permanentemente as questões do nordeste voltadas a seca e a busca por soluções. A partir disso, surge a Inspeção de Obras Conta as Secas (IOCS), tal instituição é o marco legal e institucional na política permanente de enfrentamento as secas (CAMPOS, 2014).

Fonte: BRASIL (2011).

Dentro do contexto da política de açudagem, o Estado do Rio Grande do Norte, recebeu as obras e inaugurou o açude Gargalheiras em Acari e o Itans em Caicó como os principais reservatórios na época de 1950. Esses reservatórios estão na bacia hidrográfica do Rio Seridó e contaram com modernas técnicas de engenharia civil em suas construções (SILVA, 2012).

Com o grande volume de água advindos do vertimento do Gargalheiras e do açude de Cruzeta/RN, a descarga de água na calha do rio Seridó era grande, assim causando problemas de inundações. Além disso, ao passar os períodos de cheia, os municípios de São José do Seridó e Jardim do Seridó ficavam com o fornecimento de água comprometidos em algumas comunidades, além da ausência de água para agricultura.

Dessa forma, surge a necessidade de construir uma barragem para reter as águas do rio Seridó e controlar por meio de perenização à jusante as descargas de água no rio. Assim, no ano de 1994 as obras da barragem Passagem das Traíras foram iniciadas e cem dias após o início das obras, de propriedade da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, a estrutura foi inaugurada pelo então governador do Estado Vivaldo Costa.

Construída pelo Departamento Estadual de Estradas e Rodagem do RN em consórcio com a COTEC – Engenharia, a barragem é do tipo concreto compactado a rolo com vertedouro de soleira livre, com a capacidade de armazenamento de 49 milhões/m³ a qual teve seu primeiro vertimento no ano de 2004 (SEMARH, 2019).

Após mais de 20 anos de operação, a barragem nunca passou por reformas, até que técnicos da Agência Nacional de Águas encontraram anomalias estruturais nos anos de 2005 e 2015. Logo mais, em 2018 e 2019, surgiram novos relatórios que motivaram o presente estudo de risco dessa estrutura.

4.6 Diretrizes legais de gestão de risco em barragens

Para que o risco em barragem seja gerenciado, é preciso considerar alguns fatores de maneira integrada, tais como o planejamento; a emergência; a decisão; a comunicação; e a revisão que são elementos integrantes do gerenciamento do risco. Nesse sentido, para que esses objetivos de

O levantamento obteve baixa representatividade, visto que somente 60% dos 82 países membros da Comissão Internacional de Grandes Barragens - CIGB participaram do levantamento.

A seguir, o quadro 2 denota as informações coletadas no levantamento realizado pelo CIGB, acerca das técnicas abordadas pelos países no seguimento de segurança de barragens.

Quadro 2 - Informações feitas a partir do levantamento do CIGB

Número de países membros da CIGB (à data da realização do inquérito)	82
Número de países membros do Comité de Segurança de Barragens	28
Número de países aos quais foi enviado o inquérito relativo à prática das atividades de análise e apreciação de riscos no âmbito da segurança de barragens	82
Número de países que responderam ao inquérito	24
Número de países, dentre os que responderam ao inquérito, que não usa apenas abordagens tradicionais.	12

Fonte: Adaptado de CIGB (2005).

De acordo com Pimenta (2009), a falta do emprego de técnicas na área de gestão de risco em barragens, acontece pela ausência de uma literatura mais técnica nesse campo do conhecimento, gerando limitações das normas legais. Assim as práticas de mensuração dos riscos não se tornam periódicos, deste modo, reverbera o comportamento do emprego da segurança de pronto-resposta e não de prevenção.

O Estado brasileiro conta com vários instrumentos legais que norteiam os procedimentos de gestão de barragens, a legislação existe no sentido de evitar novos tipos de rupturas de barragens. Comparado a outros países, o Brasil se destaca por ter uma legislação moderna e nos padrões do Comité Internacional. Há de ser considerado que poucos países aderem aos protocolos legais de segurança, devido a uma série de fatores como a falta da cultura de risco, a carência de um corpo técnico e também de tecnologia para viabilizar a implementação dessas normas.

O Brasil tem o histórico de diversos casos de rompimento de barragens, em face disso foi gerada a preocupação em cima da possibilidade de futuros casos. Nesse sentido, o Estado brasileiro criou uma série de normas para gerir as barragens no país. Entretanto, a criação dessa legislação foi fruto de mobilizações de instituições profissionais que atuam na área, somente no ano de 2003 foi protocolado projeto de lei que foi sancionado em 2010.

A Lei nº 12.334 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) (BRASIL, 2010).

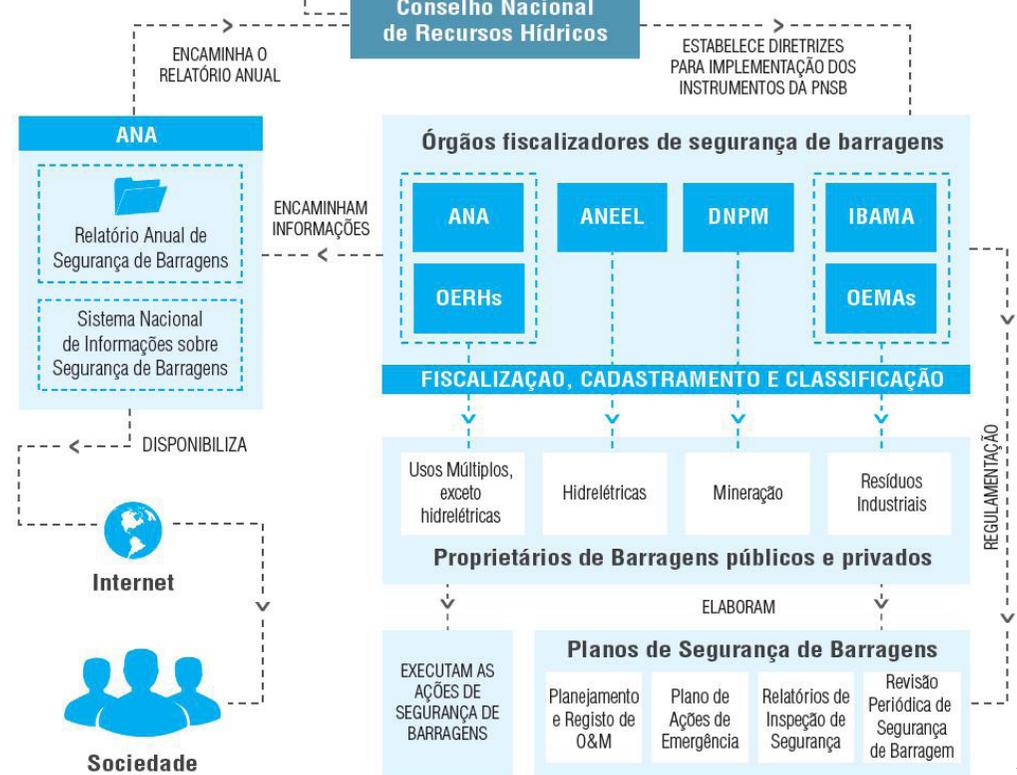
A PNSB objetiva cumprir os padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento

igual a 15m (quinze metros);

- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

A Lei nº 12.334 regulamenta os agentes que irão fiscalizar e outorgar os direitos dos recursos hídricos para acumulação de água, geração hidrelétrica, disposição de rejeitos ou disposição de resíduos industriais (BRASIL, 2010).

Os órgãos responsáveis por determinado tipo de barragem têm a responsabilidade de regulamentar as diretrizes que complementam a Lei. As barragens hidrelétricas são de competência da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as barragens de segurança hídrica são geridas pela Agência Nacional de Águas (ANA), as barragens de rejeitos minerais são de jurisdição do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e os reservatórios de efluentes industriais são de responsabilidade dos Órgãos Estaduais de Recursos Hídricos (OERH). As instituições que fazem parte da Política Nacional de Segurança de Barragem estão dispostas no organograma representado pela figura 9.



Figura

9 - Organograma esquemático da Política Nacional de Segurança de Barragens

Fonte: ANA (2013).

O sistema é complexo e robusto, todavia existem dificuldades para operacionalizar a Política Nacional de Segurança de Barragens, devido à dimensão territorial do país ser extensa e apresentar um elevado número de barragens catalogadas e não catalogadas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013).

De acordo com Ana (2013), no território brasileiro hoje existem 13.529 barragens cadastradas no Brasil, sendo divididas em 11.748 barragens de usos múltiplos, 1.261 para geração de energia hidrelétrica, 264 de rejeitos de mineração e 256 de resíduos industriais. Nessa perspectiva, há uma dificuldade em acompanhar de perto todos esses reservatórios, isso é atribuído à insuficiência no contingente de técnicos para vistoriar os barramentos, assim a PNSB muitas vezes não é posta em prática. Desse modo, a falta de acompanhamento dessas estruturas resulta em seu colapso por falta de vistorias.

De acordo com a PNSB, é de responsabilidade do empreendedor e do proprietário da barragem, mantê-la em condições adequadas de segurança. A Política ainda estabelece algumas obrigações aos

- Realização das inspeções de Segurança Regular e Especial nas barragens;
- Realização da Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Um dos instrumentos da Lei é a classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, assim constituindo a base de aporte para as análises, estabelecendo níveis de prioridade de monitoramento, inspeção e planos de segurança.

A PNSB hoje caracteriza-se como um divisor de águas no segmento de gestão de barragens no Brasil, assim, alavancando a cultura de prevenção de riscos de novas rupturas no país. A legislação brasileira encontra-se metodologicamente baseada nas diretrizes internacionais do Comitê Internacional, destacando a importância das instituições de gestão nas vistorias dos barramentos. Menescal (2009) contribui com sua metodologia para com a Lei nº 12.334/2010, do ponto de vista dos meios de sustentabilidade, descentralização, transparência e participação pública.

A lei é clara ao que se refere a necessidade da adoção de ações criteriosas, no ponto de vista de evitar colapso de estruturas, buscando uma transparência dos dados e informações sobre o estado real dos barramentos, proporcionando a população o conhecimento para reivindicar, sendo o controle social uma ferramenta da cultura de risco (MELO, 2014).

Além da legislação nacional, o Estado do Rio Grande do Norte possui uma série de instrumentos normativos legais que balizam a gestão de riscos em barragens. A Lei nº 6.908, de 1996, institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. Um dos instrumentos dessa Lei é a criação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNERH), cujo objetivo é aplicação de recursos no custeio de:

- Realização de planos, programas, projetos e pesquisas com vistas ao desenvolvimento e controle dos recursos hídricos;
- Execução de obras e serviços com objetivo de desenvolver e controlar os recursos hídricos;
- Programas de estudos com objetivo à capacitação de recursos humanos, pesquisas e desenvolvimento de inovação tecnológica de interesse a gestão dos recursos hídricos.

O FUNERH é constituído por recursos do tesouro estadual, cobrança pelo uso da água, transferência da União destinado a projetos, compensação financeira com relação ao aproveitamento de energia eólica, impostos das atividades mineradora e petroleira, doações e de recebimento de pagamento de multas (RIO GRANDE DO NORTE, 1996).

O Fundo Estadual de Recursos Hídricos é uma das alternativas para a busca de recursos

de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem; das Inspeções de Segurança Regular e Especial; da Revisão Periódica de Segurança de Barragem; do Plano de Ação de Emergência; a qualificação dos responsáveis técnicos e a periodicidade de execução destas atividades, conforme artigos 8º, ao e 12º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (RIO GRANDE DO NORTE, 2017).

Devido às pressões da sociedade civil organizada, sobretudo na microrregião Seridó Potiguar, acerca do agravamento do estado de conservação e de risco da barragem Passagem das Traíras, no ano de 2019 o Estado do Rio Grande do Norte estabeleceu o decreto nº 28.820 que instituiu o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte (CPAMB/RN) e dá outras providências conforme observar as diretrizes estabelecidas na Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Compete ao Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte (CPAMB/RN):

- Acompanhar e monitorar a segurança da infraestrutura de barragens com risco de ocorrência de incidentes;
- Elaborar mapeamento sobre as condições de segurança das barragens do Rio Grande do Norte;
- Promover a articulação, entre entidades públicas e privadas, voltada à consecução de gerenciamento de crises e medidas de proteção e minimização de danos;
- Advertir, aos proprietários de barragens privadas, os riscos de segurança em torno da construção e recomendar medidas a serem adotadas;
- Propor intervenção em barragens privadas com vistas à minimização de riscos e de potenciais danos associados à segurança da barragem, nos termos do art. 18, § 2º, da Lei Federal nº 12.334, de 2010;
- Monitorar a ação fiscalizatória das entidades envolvidas;
- Propor aos órgãos competentes estudos ou medidas para alcançar nível de segurança às barragens;
- Recomendar ações para a efetivação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei Federal nº 12.334, de 2010; e

Além da Política Nacional de Segurança de Barragens, e da legislação norte-rio-grandense vigente, destaca-se também a importância da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, a qual é muito importante para as ações de risco em barragens no Brasil, visto sua atuação nos Planos de Ações Emergenciais e de Contingência durante os desastres.

No território nacional, os direcionamentos das ações de proteção e Defesa Civil voltam-se para o atendimento à população, em face aos eventos calamitosos naturais ou humanos. Cabe, portanto, ressaltar o papel da Lei nº 12.608, de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). A referida Lei estabelece a criação do Sistema de Informações e Monitoramento de Desastre, esse sistema auxilia na aquisição de dados para uma melhor gerência da tomada de decisão. A Lei também dispõe do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012).

Entre os objetivos da PNPDEC ressalta-se que a operacionalização das ações é voltada ao atendimento de muitos tipos de desastres, entre eles a gestão de recursos hídricos e inundações. As principais diretrizes norteadoras são:

- A atuação deve ser feita em conjunto entre a União, os estados e os municípios na redução de desastres em áreas atingidas;
- Mitigação, preparação, resposta e recuperação de áreas atingidas;
- Adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres em corpos d'água;
- Participação da sociedade civil e organizada;
- Identificar e avaliar riscos;
- Estimular a cultura de prevenção aos riscos.

Cabe relatar que ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC estão subordinados os organismos estaduais e municipais, sendo Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil e Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil, respectivamente.

É de competência da União:

- Instituir declarações de reconhecimento de situação de emergência;
- Identificar áreas de riscos nos estados e nos municípios;
- Coordenar o SINPDEC;

- Coordenar a articulação com a União e os Municípios;
- Instituir o Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil;
- Identificar e mapear as áreas de risco;
- Realizar monitoramento meteorológico e geológico;
- Identificar as bacias hidrográficas com riscos de desastres.

É de competência dos Municípios:

- Executar a PNPDEC a nível local;
- Incorporar ações de proteção de defesa civil no planejamento territorial do município;
- Vistoriar edificações em áreas de risco, bem como intervir se necessário com a desocupação;
- Organizar e administrar abrigos provisórios para assistência da população em um desastre, com condições de segurança e higiene;
- Realizar exercícios simulados;
- Promover a coleta, a distribuição e o controle de suprimentos;
- Prover moradias temporárias às famílias desabrigadas por desastres.

A Lei ainda determina a destinação de recursos por meio de um fundo emergencial, tanto para os estados como para os municípios, mesmo sem licitações públicas, visto ser um recurso de pronta resposta as áreas atingidas por desastres (BRASIL, 2012).

Diante disso a PNPDEC é de suma importância para a gestão integrada dos riscos, no tocante a segurança de barragens, a Defesa Civil auxilia os órgãos gestores e empreendedores de barragens nos planos de ações emergenciais e nos planos de contingência, assim atuando no pré-desastre, durante o desastre e no pós-desastre.

Além da Defesa Civil, existem outras instituições que trabalham no auxílio de gestão de riscos, no Rio Grande do Norte possui o Corpo de Bombeiros Militar - CBM, este trabalha na salvaguarda de populações em risco durante os eventos de rompimento de barragens. A instituição também lança seus esforços em atividade de defesa civil e de meio ambiente.

• Realizar atividades auxiliares de socorros de urgência e atendimento de emergência pré-hospitalar;

- Notificar, isolar e interditar, no âmbito de sua competência, as obras, habitações, serviços, locais de uso público e privado que não ofereçam condições de segurança;
- Desenvolver pesquisa científica em seu campo de atuação funcional.

Dentro da estrutura organizacional do CBM existe uma divisão de órgãos. São eles: Serviço de Operações, no qual se encontra a Comissão de Defesa Civil (CODEC) e o Grupamento de Busca e Salvamento (GBS). No setor de Serviço Operacional de Saúde, existe Pronto Atendimento de Saúde e Serviço de Atendimento Pré-Hospitalar de Urgência, atual SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (RIO GRANDE DO NORTE, 2002, p. 5).

Dentre o arcabouço normativo que existe no Brasil, tem-se subsídios legais para atuar tanto na prevenção, no desastre e no pós-desastre. Com estudos de monitoramentos, reparos estruturais e auxílio às vítimas do desastre. Entretanto, ainda existem fragilidades no sistema e carência de um corpo técnico para monitorar uma grande quantidade de barragens, além da falta de recursos, a falta de serviços de Defesa Civil, do Corpo de Bombeiros Militar e do SAMU agravam ainda mais a exposição da população aos desastres associados a segurança de barragens e, nesse sentido, atribuímos o risco tecnológico associado a rupturas em barragens como um produto da negligência do Estado.

4.7 A trama institucional na gestão da Barragem Passagem das Traíras

Para que possa ser entendido todo o debate feito à luz do risco de ruptura da barragem Passagem das Traíras devido a sua falta de manutenção e suas falhas no projeto executivo, nesta sessão apresenta-se todos os acontecimentos dado por meio de documentos oficiais conforme apresenta o quadro 3.

Quadro 3- Lista de documentos normativos oficiais da barragem Passagem das Traíras.

Natureza do documento	Entidade responsável	Data de emissão do documento
Relatório PSB- RN - 01/2005- “Visita Técnica de Inspeção às Barragens no Estado do Rio Grande do Norte”	Unidade de Gerenciamento do PRÓ-ÁGUAS/ Semiárido-UGPO	Setembro de 2005
	Banco Internacional	

Relatório da 5ª inspeção regulada barragem	Maio Ambiente e Recursos Hídricos	2016
Elaboração dos projetos executivos para recuperação/ampliação/manutenção da Barragem Passagem das Traíras e Bananeiras	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Junho de 2016
Relatório da 6ª inspeção regulada barragem	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	08 de setembro de 2016
Ofício nº 352/2016/AA-ANA - Informa acerca das restrições operacionais e Plano de Contingência - Barragem Passagem das Traíras/RN	Agência Nacional de Águas	22 de dezembro de 2016
Nota Técnica nº 2/2017/COMAR/SER - Volume de água acumulado mínimo no reservatório Passagem das Traíras para garantir o abastecimento público de Jardim do Seridó e o consumo humano e a dessedentação animal no entorno no próximo período de estiagem (julho/2017 - janeiro/2018)	Agência Nacional de Águas	10 de fevereiro de 2017
Ofício no 102/2017/SFI-ANA - Reservatório Passagem das Traíras Acumulação mínima de água para garantir os usos prioritários respectivos no próximo período de estiagem	Agência Nacional de Águas	6 de março de 2017
Classificação de barragem por Categoria de Risco, por Dano Potencial Associado e pelo volume	Agência Nacional de Águas	27 de março de 2017
Elaboração dos projetos executivos para recuperação/manutenção da Barragem Passagem das Traíras	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Novembro de 2017
Nota Técnica no 7/2018/COMAR/SER - Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Passagem das Traíras, no Estado do Rio Grande do Norte	Agência Nacional de Águas	27 de fevereiro de 2018
Ofício nº 184/2018/SFI-ANA - Estabelece restrições operacionais e faz outras solicitações - Barragem Passagem das Traíras/RN	Agência Nacional de Águas	17 de abril de 2018
Plano de contingencia municipal de desastres naturais de proteção e defesa civil	Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caicó - RN	Maio de 2018
Relatório de avaliação técnico econômica de alternativas para garantir a segurança da barragem passagem das traíras	Engecorps Engenharia S.A.	Novembro de 2018

Estudo e elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da barragem passagem das traíras	Acquatool Consultoria	Março de 2019
---	-----------------------	---------------

Fonte: Elaborado pelo autor com base no acervo documental da SEMARH/RN (2018).

Após dez anos de operação da barragem Passagem das Traíras, a Unidade de Gerenciamento do Pró-Águas Semiárido realizou a primeira inspeção técnica na barragem para verificar a atual situação da estrutura. A vistoria foi realizada a pedido da Secretaria de Infraestrutura Hídrica no período de 26 a 29 de setembro de 2005 (MIN, 2005).

A barragem foi construída no modelo de Concreto Compactado a Rolo – CCR e, no ano de 2005, já apresentava algumas anomalias estruturais, constatadas pela equipe de campo.

O aspecto geral do barramento é precário, como se confirma pelas fissuras que se seguem, evidenciando pouco cuidado do Construtor no uso da metodologia adotada, bem como a atuação pouco eficiente da Fiscalização – Supervisão, e a aceitação pela Entidade Contratante. Nada há para se justificar a aceitação de deficiências ou falhas que se evidenciam, em uma obra construída há cerca de 10 anos (MIN, 2005, p. 42).

A comissão constatou que a barragem apresentava alguns sinais de avaria, tais como: fragilidade nos moldes; precária e inadequada prática de lançamento e adensamento do concreto de face; pontos potenciais de percolação e vazamentos; pontos evidentes de pouca resistência do CCR empregado caracterizando-se pela soltura de agregados; acabamento da crista são observados diversos panoramas de fissuras (MIN, 2005).

Em face disso, constata-se que no ano de 2005, a barragem já apresentava anomalias estruturais e que os procedimentos adotados pela construtora são inadequados de acordo com a equipe fiscalizadora, descrito a seguir:

O Comitê de Segurança de Barragem se mostra bastante surpreso com esses dados, que demonstram um baixo nível das resistências associadas a uma elevadíssima dispersão (caracterizada pelos elevados Coeficientes de Variação) em todas as idades de ensaios. De outro modo, além disso corrobora com o péssimo aspecto visual da obra executada, denotando a baixa qualidade, não fez requere nenhum comentário no Relatório de Controle (MIN, 2005, p. 48).

- Vários requisitos das especificações não foram atendidos, principalmente quanto às tolerâncias de alinhamento e prumo;
- Não se notou atenção nos controles e respectivos resultados (resistências do CCR), inclusive a ausência de análise e providências decorrentes;
- Não se tem notícias da extração de testemunhos como requerido pelas Especificações Técnicas, e como resultado decorrente dessas injunções;
- Teve-se (e tem-se) uma obra com péssimo aspecto, com Durabilidade e Qualidade suspeitas.

Diante do exposto, percebe-se que desde 2005 as anomalias estruturais da Barragem Passagem das Traíras eram de conhecimento dos órgãos responsáveis, todavia, nada foi feito para corrigir as avarias. O que surpreende é que em 2009 e em 2011 a barragem verteu, e que por “sorte” não rompeu, o que causaria danos desastrosos a Caicó/RN à jusante.

Passada a vistoria de 2005, a segunda vistoria foi realizada dez anos depois em 2015. A ANA solicitou ao Banco Mundial uma nova vistoria na barragem em 2014, porém, somente em 2015 a visita técnica foi realizada com a orientação da ANA e da SEMARH (ANA, 2015).

Ao realizar a incursão de campo na barragem, a equipe técnica constatou as avarias, assim como no último relatório de 2005. As informações da barragem dada pelos documentos indagaram a equipe nos seguintes pontos, quanto a segurança da barragem:

- Há a necessidade de se restabelecer as condições de inspeções e manutenção da galeria, inclusive de iluminação;
- Há a necessidade de se implantar um sistema de monitoramento que acompanhe a vida da barragem, mormente devido à precariedade observada;
- Há a necessidade de se monitorar a qualidade da água do reservatório;
- Deve ser estabelecido um Plano de Reparo para recuperar as condições originais do projeto.

A equipe constatou que mesmo após a publicação do relatório de segurança da barragem em 2005, nenhuma intervenção significativa para melhoria das condições de segurança da estrutura do

I - Identificação do empreendedor;

II - Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, nos casos de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

IV - Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

V - Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

VI - Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;

VII - Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;

VIII - Relatórios das inspeções de segurança;

IX - Revisões periódicas de segurança.

De acordo com a legislação vigente e com base no que foi relatado nos relatórios, a barragem Passagem das Traíras encontra-se em consonância com os incisos IV, V, VI, VII, VIII e IX da PNSB.

Após a verificação *in loco*, os técnicos atribuíram uma série de recomendações a serem realizadas, no sentido de garantir o bom estado de operação da barragem e diminuição dos riscos de rompimento (ANA, 2015).

- Verificar a influência do material orgânico decorrente das carapaças existentes;
- Verificar a condição de ocupação às margens do Reservatório;
- Redirecionar os drenos para zonas fora da bacia de dissipação;
- Obter testemunhos (sondagens com recuperação de 100%);
- Na região da face de montante buscando caracterizar o concreto da face, o massivo (CCR-Compactado com Rolo) e o contato com a fundação junto a margem esquerda;
- Na região da face de montante buscando caracterizar o concreto da face, o massivo (CCR-Compactado com Rolo) e o contato com a fundação, bem como a condição das

- Com base nessas informações deve-se avançar as condições de estabilidade e tensões do barramento, considerando o contato com as fundações.

Diante do exposto a equipe técnica recomendou a ANA elevar o nível de risco da barragem para “Atenção”, o que se torna indispensável ações de intervenção e melhorias na barragem (ANA, 2015).

No dia 23 de março de 2015, por meio de ofício, a ANA encaminhou ao gabinete do governador do RN, a documentação referente ao atual estado da barragem em questão. Ainda, no documento, a ANA informou ao governador que o estado de risco da barragem permanecia em “Atenção”, até que os reparos fossem efetuados, conforme o inciso I do artigo 17º da lei 12.334/2010, que diz que é de obrigação do empreendedor da barragem prover recursos necessários para a garantia da manutenção da barragem ANA (2015).

Diante disso, é notório que o governo do estado do RN sempre teve o conhecimento da gravidade do caso da barragem Passagem das Traíras. Devido à gravidade da situação, a SEMARH passou a fazer vistorias periódicas, para verificar se as patologias estruturais estavam avançando. Assim, em 23 de fevereiro de 2016 e em 08 de setembro de 2016 foram realizadas as inserções na barragem, constatando que as anomalias apresentadas nos relatórios anteriores persistiam e novas apareceram, assim mostradas a seguir:

- Fissuras no concreto no paramento de montante, na sua ombreira esquerda;
- Fissuras no concreto de revestimento da crista e juntas em decomposição;
- Em alguns pontos do paramento de jusante ocorreram deterioração do concreto, em estado bem avançado;
- Trinca no final do muro lateral direito da bacia de dissipação;
- Falta de manutenção do sistema de tomada d’água;
- Falta de manutenção do sistema de descarga de fundo;
- Não foram construídos os acessos as válvulas destes dois sistemas de tomada d’água conforme solicitado anteriormente;
- Falta de abrigo aos equipamentos da tomada d’água;
- O abrigo das válvulas do descarregador de fundo não permite a entrada do operador;

Destaca-se aqui que nos relatórios da COTEC, empresa responsável pela obra, há a ausência das injeções de colagem da barragem com a rocha de fundação da ombreira, o estudo é bastante relevante para verificar isso de forma mais minuciosa (SEMARH, 2016). Tendo como base as novas análises das anomalias *in loco* e as resoluções da ANA, a equipe técnica elevou o grau de risco da barragem: “Após a realização da presente inspeção e a análise das anomalias encontradas e registradas na ficha de inspeção, registro que o nível de perigo da barragem Passagem das Traíras passa a ser classificado como ALERTA” (SEMARH, 2016, p. 23).

De acordo com SEMARH (2017), em agosto de 2016 e em novembro de 2017, foram publicados os TDR – Termos de Referência do Projeto Executivo para a Recuperação e Manutenção da barragem Passagem das Traíras de Instrumento legal balizador, para que as empresas licitantes do contrato pudessem saber o que precisava ser feito na barragem. Assim a SEMARH solicitou as seguintes ações:

- Levantamento da situação;
- Estudos hidrológicos;
- Estudos de campo;
- Estudos topográficos;
- Levantamento de áreas danificadas;
- Levantamento de áreas de jazidas;
- Diagnostico ambiental da barragem;
- Projeto de intervenções;
- Reparo nos paramentos, muros e coroamento;
- Reconstituição das estruturas de drenagem;
- Construção e recuperação de guarda corpo e concreto de revestimento da crista;
- Reforma e recuperação da tomada d’água;
- Retirada com deslocamento de vegetação a montante e jusante do corpo da barragem;
- Elaboração do manual de operação e manutenção da barragem;
- Plano de Ações Emergenciais;

a licitação para os estudos. Nesse contexto, a ANA (2016) recomendou a SEMARH que no período chuvoso de 2016, a Secretaria rebaixar o nível de água da barragem, por meio da abertura dos dispersores de fundo, essa ação foi determinada no sentido de minimizar os riscos até que os estudos e as obras fossem realizadas. Além disso, a Ana determinou que a SEMARH confeccionasse e apresentasse o Plano de Contingência em consórcio com a Defesa Civil de Caicó, considerando o caso de uma possível ruptura, no prazo de 90 dias. Após a finalização do plano a SEMARH deveria encaminhar cópia aos órgãos de segurança pública (ANA, 2016).

A Agência Nacional de Águas, emitiu uma Nota Técnica nº 2/2017/COMAR/SER, sobre o volume de água acumulado mínimo no reservatório Passagem das Traíras para garantir o abastecimento público de Jardim do Seridó e o consumo humano e a dessedentação animal no entorno no próximo período de estiagem (julho/2017 - janeiro/2018).

A ANA simulou projeções de elevação do nível da barragem para o ano de 2017, e considerando esse prognóstico, por medida de segurança foi determinado que a SEMARH abrisse os descarregadores da barragem caso o nível elevasse até a cota 185mm, equivalente a 3 milhões de metros cúbicos, isso para que a barragem não elevasse seu nível e o maciço não rompesse. Em ação complementar a nota técnica, a ANA no dia 6 de março de 2017, encaminhou a SEMARH um Ofício com essas recomendações, sobre a acumulação mínima de água para garantir os usos prioritários respectivos no próximo período de estiagem, conforme o quadro 4 (ANA, 2017).

Mês	Nível d'água no início do mês	Situação dos dispositivos de controle (descarga de fundo e tomada de água)
Fevereiro a maio/2017	cota ≤ 184,00	Fechados totalmente
	184,00 < cota ≤ 185,00	Abertos totalmente ou parcialmente em função do volume de água afluente, com o objetivo de manter o nível no patamar entre as cotas 184,00 e 185,00
	cota ≥ 185,00	Abertos totalmente, com o objetivo de baixar o nível da água para o patamar abaixo da cota 185,00
A partir de junho/2017	cota ≤ 185,00	Fechados totalmente
	cota > 185,00	Abertos totalmente ou parcialmente, com o objetivo de baixar o nível da água para o patamar abaixo da cota 185,00

Quadro

4 - Recomendação de operação dos dispersores da barragem.

De acordo com o referido relatório, o objetivo é apresentar as alternativas de implementação de ferramentas técnicas, no sentido de impedir uma possível ruptura da barragem, assim impedindo que o grau de risco chegue ao limiar aceitável. Diante disso, a equipe técnica elencou alguns fatores importantes a serem considerados, tais como:

- Alternativa de Rebaixamento do Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 1.000 anos admitindo-se Carregamento Normal;
- Alternativa de Rebaixamento do Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Excepcional;
- Alternativa de Rebaixamento do Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Normal;
- Alternativa de Readequação Completa da Barragem e Vertedouro – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Excepcional, sem considerar a necessidade de rebaixamento da soleira do Vertedouro;
- Alternativa de Escavação de Brecha na Ombreira Esquerda – Considerando cheia de recorrência de 10.000 anos admitindo-se Carregamento Excepcional;

Além do diagnóstico geral, a equipe também formulou soluções de cunho emergencial, para que o empreendedor da barragem pudesse efetivar. Tais como:

- Implantação de um túnel para atuar como “descarregador de fundo” cruzando o corpo do barramento;
- Implantação de um túnel na ombreira direita para atuar como “descarregador de fundo”;
- Abertura de uma brecha na ombreira esquerda;
- Implantação de um sifão sobre a soleira do Vertedouro.

Conforme recomendação da ANA, a SEMARH já deveria ter elaborado tanto o Plano de Ações Emergências, como o Plano de Contingência em caso de ruptura. Como até o presente momento não foi confeccionado os planos, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caicó – RN, adiantou-se diante do agravo da situação e com ajuda das instituições do Corpo de Bombeiros e do 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro, formularam o Plano de Contingenciamento do

envolvido na equipe de emergência.

Ainda, conforme o Plano de contingência apresentado pela Defesa Civil de Caicó/RN, foi realizado o censo nos bairros que poderiam ser atingidos pela onda de cheia da barragem, para saber a quantidade de famílias expostas ao risco. Esse trabalho foi feito com o auxílio da Secretaria de Assistência Social de Caicó/RN. Esse censo servirá como uma ferramenta de planejamento para o direcionamento de ações no momento do desastre.

De forma sistemática e periódica, a Defesa Civil se comprometeu a elaborar novos relatórios de risco e encaminha-los às instituições de salvaguarda para o conhecimento de todos, visando a elaboração de estratégias para rotas de fuga e abrigos. Porém esse mapeamento ainda não foi feito pela Coordenadoria, devido às chuvas terem danificado a pavimentação das ruas de Caicó/RN.

Com relação a insumos de consumo no momento do desastre, a Defesa Civil de Caicó/RN encaminhou orçamento ao Executivo Municipal para conhecimento. A coordenadoria aguarda os materiais para continuar o monitoramento das áreas de risco do município.

Em meio a toda problemática do risco da barragem Passagem das Traíras romper e atingir Caicó/RN, a Defesa Civil municipal com muito boa vontade, mas sem preparo técnico, chama uma “lista de desejos” de um Plano de Contingência, e isso além de ser preocupante pela fragilidade da COMPEDC no sentido técnico e logístico, mostra-se um cenário assustador em uma cidade como Caicó, onde não existe um Plano de Ações Emergenciais, nem o Plano de Contingência, que ainda não foi confeccionado pelo empreendedor da barragem, conforme recomendação da ANA, baseada na legislação vigente. Corroborando para a manutenção do estado de vulnerabilidade da população de Caicó/RN exposta ao risco de um desastre associado ao rompimento da barragem Passagem das Traíras.

Prontamente, por meio de reivindicação social, devido ao alto risco de ruptura da barragem, o Governo do Rio Grande do Norte por meio de decreto, instituiu o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte, para dar uma maior celeridade às questões ligadas a barragem Passagem das Traíras.

legislação sobre a água. Em seu texto a lei conceitua a Bacia Hidrográfica como uma área de confluências da drenagem, possuindo um rio principal e seus tributários, de modo que essa área é definida e gerida como uma unidade territorial de planejamento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Desde os tempos clássicos da geografia francesa e alemã, a geografia enquanto ciência abarcou a bacia hidrográfica em seus estudos, todavia, essa sempre teve um caráter voltado para o natural-ecológico. Atualmente a bacia hidrográfica ganhou outro sentido com a força da legislação vigente e passou a ser tratada de fato como um território geográfico dotado de normas, com questões culturais e sociais associadas, assim esse conceito passa da dimensão do caráter físico para o político (CUNHA; COELHO, 2003).

A partir da referida lei foram determinadas divisões hidrográficas, no sentido de colaborar e/ou influenciar nas gestões urbanas a nível local e regional, devido aos limites territoriais de uma bacia hidrográfica perpassar divisões municipais e estaduais. É preciso lembrar que nessa unidade existem cidades, áreas de agricultura, indústrias e áreas de preservação/conservação. Destaca-se assim, a importância da regulação do Estado para gerir todos os conflitos e demandas ao longo do alto, médio e baixo curso, representando um desafio na operacionalização do sistema (PERES; SILVA, 2010).

Para que a legislação pudesse ser aplicada, criou-se uma série de instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Enquadramento dos corpos de água;
- Outorga dos direitos de uso;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Compensação aos municípios;
- Sistema de Informações.

Dessa forma, os Planos de Bacias Hidrográficas são utilizados pelo Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos. Esses planos são uma espécie de plano diretor da bacia hidrográfica, que visa colocar em prática as diretrizes da política de águas do país.

Dentro da perspectiva do planejamento, o plano de bacia hidrográfica funciona como uma ferramenta que auxilia no planejamento das decisões que serão traçadas na bacia, através da participação de vários entes da sociedade civil organizada e dos técnicos especialistas (PORTO; PORTO, 2008).

Em suma, Leal (2003) relata que os planos para bacias hidrográficas são instrumentos que devem ser atrelados à gestão urbana, sendo este uma referência para a confecção de novos instrumentos de planejamento. Dessa forma, são entendidas quais as principais funções que cada bacia pode

No que tange a relação municipal com a política federal de água, destaca-se que são por meios dos planos e dos comitês gestores que os municípios e as diferentes representações da sociedade podem opinar na gestão da bacia hidrográfica. Identifica-se que os meios legais de gerenciamento de águas não são relacionados à gestão do uso do solo, reforçando o debate que o município deve se adequar territorialmente para receber esse corpo hídrico (PERES; SILVA, 2010).

A relação entre o município e as leis de gestão do território e de gestão dos recursos hídricos deve ser algo indissociável, devido a fragilidade das legislações municipais relacionadas a conservação ambiental do solo e da água. Dessa forma, as leis federais passam a ter o papel de orientar quais os meios para prevenção e conservação dos leitos dos corpos dos rios. As leis federais são mecanismos que obrigam os municípios a seguirem essas diretrizes de proteção dos recursos hídricos (PERES; SILVA, 2010).

Ressalta-se que o Estatuto da Cidade não aborda o papel do município acerca da responsabilidade em lidar com o tema recursos hídricos, apresentando somente uma abordagem sobre a proteção do meio ambiente. Diante desses fatos, os municípios devem apresentar uma maior atenção no gerenciamento dos recursos hídricos e na gestão do uso e ocupação do solo, de modo que ocorra uma gestão integrada do território em conformidade com os planos de bacias hidrográficas e os planos diretores municipais (PERES; SILVA, 2010).

5.2 O ordenamento territorial como ferramenta de redução de riscos

Toda cidade tem seu papel social definido legalmente, e para que isso ocorra é fundamental planejar o território. O Estatuto da Cidade relata que o planejamento territorial é classificado como um instrumento base para o desenvolvimento das cidades, de modo a ocorrer uma orientação nas tomadas de decisões de ações do Estado, para prover o desenvolvimento da cidade em um espaço e em um dado momento.

O conceito de planejamento urbano remete a ação do Estado no território que ele tiver poder legal. De acordo com Villaça (2002), o planejamento territorial pode ser encarado como um processo, assim, questões urbanas como saneamento básico, transporte, moradia e qualidade de vida, estão incorporados dentro do debate legal do planejamento urbano.

O planejamento territorial e o ordenamento do território estão em consonância, visto que todo tipo de ordenamento territorial é fruto de um planejamento anterior, assim não podendo estar dissociados. Planejar o território é uma ferramenta sistemática que norteia a tomada de decisões, na sequência, o ordenamento é posto no campo operacional, é possível colocar em prática o que se pretende, ou seja, o planejamento é o pensar e o ordenamento é o realizar na prática (SANTOS, 2009).

A situação fundiária nas cidades brasileiras é marcada por irregularidade nos processos de assentamento de comunidades, o Brasil possui inúmeros instrumentos de gestão do território, atuando como regulamentador do modo de ocupação do solo dos municípios. Todavia, em praticamente todos os municípios se destaca o descumprimento das normas de ocupação. E qual o resultado disso? Ocupações em áreas de risco, normalmente as pessoas ao instalarem suas residências nesses locais desconhecem que estão expostas ao perigo de algum evento que coloque sua vida em risco.

A forma que município planeja como seu território deve ser ocupado relaciona-se diretamente à gestão de riscos. A partir do momento que em um município não tem construções em áreas de risco, uma série de desastres podem ser evitados. Todavia, é notório a falta de planejamento urbano nas cidades, e conforme as pessoas constroem suas casas nessas localidades, pode-se pensar no debate da construção social dos riscos, esses que por sua vez são tidos como um construto natural, em decorrência da falta de lugares adequados para a construção de casas, assim naturaliza-se os eventos desastrosos oriundos da falta do planejamento do território colocando em risco a vida de inúmeras pessoas em todo país.

Segundo Villaça (2002) o planejamento do território com ênfase em áreas de risco, não deve somente pairar no campo teórico, o planejamento deve estar atrelado na prática de políticas públicas contidas nos planos. Assim, os planos diretores municipais devem considerar na prática as possíveis áreas de risco da cidade, determinados com o auxílio de mapeamentos espaciais de áreas com risco de possíveis ocorrências desastrosas. Somente assim é possível mensurar os diferentes níveis de perigo que as pessoas dessas localidades estão acometidas (ZANIRATO et al., 2008).

De acordo com o autor supracitado, o Estado deve encarar os territórios em risco como uma prioridade dentro dos planos diretores, visto que a partir da identificação desses territórios, é possível mensurar os riscos, os graus de riscos e a vulnerabilidades das pessoas que vivem nessas áreas, com o objetivo de ordenar o território preventivamente, no intuito de evitar desastres. Diante disso, a abordagem do risco junto ao planejamento é uma escolha dos gestores e de sua equipe técnica, que podem mitigar as ameaças existentes em uma localidade.

A problemática que envolve os riscos nas cidades ocorre em todo país em decorrência da ausência de planejamento das prefeituras, é preciso que se crie a cultura de redução de riscos de desastre no Brasil, para que a gestão do risco passe a ser tratada de forma integrada, obtendo rigor no planejamento e eficácia ao mitigar os riscos existentes no território municipal, para evitar que vidas sejam ceifadas (COSTA; FERREIRA, 2010).

produzidos socialmente e garantir uma melhor qualidade de vida para a população.

A partir da Constituição Federal de 1988, o debate do planejamento do território torna a ser discutido com maior ênfase no Brasil, a Constituição de 1988 passa uma maior responsabilidade e autonomia para os entes municipais, assim o plano diretor torna-se um instrumento de planejamento municipal, devendo ser elaborado por uma equipe técnica e aprovada pelo legislativo municipal, de modo que municípios a partir de 20 mil habitantes passam a serem obrigados a produzir esse plano como um instrumento legal, de ordenamento do uso e ocupação do solo do município. Destaca-se que o prazo para a confecção dos planos para municípios com mais de 20 mil pessoas se expirou em 2006, e muitos municípios ainda não dispõem desses dispositivos de planejamento.

Além do plano diretor, existem outras ferramentas que auxiliam no planejamento, uma delas é o Estatuto das Cidades, criado em 2001 através da Lei 10.257/2001 (BRASIL, 2001). Nele é enfatizado a importância da regularização dos imóveis urbanos e de sua função social para a comunidade. O Estatuto detém algumas diretrizes balizadoras para as gestões municipais, tais como:

- Garantia do direito a cidades sustentáveis;
- Gestão Democrática;
- Cooperação;
- Planejamento do desenvolvimento das cidades;
- Oferta de equipamentos urbanos;
- Controle e ordenamento do uso da terra urbana, a fim de se evitar especulações imobiliárias e buscar a justiça ambiental;
- Justa distribuição dos benefícios e do ônus decorrente do processo de urbanização;
- Proteção e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural e paisagístico;
- Audiências do poder público municipal e da população por ocasião de implantação de empreendimentos que possam rebater sobre o território; dentre outros pontos.

Como prevê o Estatuto da Cidade, o plano diretor deve ter a participação popular da comunidade nas etapas de produção e revisão do texto, principalmente quando o debate envolve o tema “risco nas cidades”, a população deve participar ativamente para cobrar ações concretas que visem uma maior capacidade de lidar e de convivência com os riscos nas comunidades.

- Disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo;
- Zoneamento ambiental;
- Plano plurianual;
- Diretrizes orçamentárias;
- Gestão orçamentária participativa;
- Planos, programas e projetos setoriais;
- Planos de desenvolvimento econômico e social.

Sabe-se que existem uma série de instrumentos legais para o planejamento do território, mas por qual motivo as cidades ainda sofrem com desastres em áreas de risco? De acordo com Maricato (2003), esses eventos acontecem em decorrência do crescimento desordenado se perpetuar pela falta de operacionalização do planejamento antes feito, bem como em virtude de governos municipais não priorizarem áreas de risco, mas sim áreas de maior valor econômico.

Dessa forma, ocorre na cidade de Caicó/RN, como afirma Salvador e Brito (2018, p. 165), através do relato de um parlamentar do município:

Temos um Plano Diretor que foi copiado de outro município que não condiz com a nossa realidade. Este plano entrou em vigor em 2006 e não foi colocado em prática. Com a nova dimensão urbanística de Caicó ele está desatualizado. Temos que elaborar um novo projeto que deverá ser construído a partir de audiência pública.

Por determinação do Estatuto da Cidade, como o município de Caicó/RN possui mais de 60 mil habitantes, é obrigatório ter um plano diretor. Salvador e Brito (2018) explanam que o plano diretor de Caicó/RN foi elaborado no ano de 2006, e regulamentado pela Lei nº 4.204, de 17 de outubro de 2006, que institui o Plano Diretor Municipal.

Para Salvador e Brito (2018), o plano diretor de Caicó/RN é um documento que foi feito equivocadamente. Na análise dos autores, o plano foi elaborado por um escritório de advocacia, apenas por advogados e que segue o modelo feito a partir do plano diretor de uma cidade da região sul do país.

Ainda, conforme os autores, o plano diretor de Caicó/RN não contou com uma equipe multidisciplinar na sua elaboração, fragilizando o plano por não atender as especificidades da cidade. O plano diretor de Caicó/RN foi elaborado às pressas para cumprir ritos legais, não tendo a participação popular da comunidade. Durante a construção do plano não houve nenhuma audiência pública para debater os anseios da população, assim esse plano não cumpriu as diretrizes estabelecidas no Estatuto

todos os espaços, em prol do fundamental bem-estar da comunidade. Embora o texto tenha um rigor em sua escrita, ele não contempla a realidade do município, de modo que no texto apresenta-se inúmeras contradições e fragilidades, as quais não estão em conformidade com a atual Caicó/RN (SALVADOR; BRITO, 2018).

Do ponto de vista legal, a cidade de Caicó/RN atualmente dispõe de várias legislações oficiais, tais como a Lei Orgânica Municipal; o Plano Diretor Municipal; o Código de Obras; a Municipalização do Trânsito; e o Código de Postura Ética Cidadã. Entretanto, ao observar a cidade, o cidadão vê que a realidade está em discrepância com as propostas desses regimentos.

A constituição municipal, ou seja, a Lei Orgânica do Município de Caicó/RN foi criada por força de lei em 04 de abril de 1990, tendo quase 30 anos sem revisão. O papel dessa lei é balizar as ações do Estado, com suas atribuições. Assim, no Capítulo II, em seu Artigo 10 - Compete ao município:

IX - Promover, no que couber adequado ordenamento territorial mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;

XI - Elaborar e executar a política de desenvolvimento urbano com o objetivo de ordenar as funções das áreas habitadas do Município e garantir o bem-estar de seus habitantes;

XII - Elaborar e executar o plano diretor como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana;

XIII - Exigir do proprietário do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, que promova sua adequação, na forma do plano diretor, sob pena, sucessivamente, de parcelamento ou edificação compulsórios, imposto sobre a propriedade urbana progressivo no tempo e desapropriação com pagamentos mediante títulos da dívida pública municipal, com prazo de resgate até dez anos, em parcelas anuais e sucessivas, assegurados o valor real da indenização e os juros legais;

XV - Planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas;

XVII - Estabelecer normas de edificações, de loteamento, de arruamento e zoneamento urbano e rural;

XVIII - Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990, p. 6).

Em seu Capítulo VI, referente a Política Urbana e Rural, na Seção I, em seu Artigo 110:

§ 2º - A propriedade urbana cumprirá sua função social, quando atender às exigências fundamentais de ordenação da cidade, expressa no plano diretor (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990, p. 34).

Sobre o debate do meio ambiente, o Capítulo VII, em seu Artigo 115 relata que:

X - XI - considerar áreas de proteção permanente as seguintes:

Matas ciliares (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 1990 p. 36).

Percebe-se que a Lei Orgânica Municipal tem todo um rigor a respeito das questões voltadas ao planejamento territorial, no que tange questões de ocupações em áreas de proteção permanente.

O Código de Obras Municipal foi criado através da Lei nº 4.722/2014, de 26 de setembro de 2014, sendo um regimento de cunho operacional. Em seu Artigo 4 são apresentados os seus objetivos, destacando-se que é preciso:

Regular toda e qualquer construção, reforma, ampliação e demolição de imóveis, efetuada por particulares ou entidade pública, a qualquer título, observadas as normas federais e estaduais relativas à matéria (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2014, p. 1).

O código prevê instrumentos de ordenamento territorial, especialmente no que se refere a construções de equipamentos urbanos. Sendo utilizado para novos prédios ou reformas, além da sua utilização para construções em áreas de proteção permanente às margens de rios. Todo tipo de alteração nas edificações de Caicó/RN, segundo o código, deve se enquadrar nas diretrizes do plano diretor municipal. Pode-se destacar os artigos seguintes:

Art. 30. Cabe ao Município a aprovação do projeto de arquitetura, observando as disposições deste Código e do Plano Diretor do Município, além de padrões urbanísticos definidos em legislação própria;

Art. 55. É proibida a construção nas faixas de domínio de rios, junto a córregos ou fundos de vale, ou ainda, junto a faixas de escoamento de águas pluviais;

Art. 105. O parcelamento do solo na cidade de Caicó deverá ser previamente aprovado pela prefeitura e atender a legislação pertinente, especialmente o Plano Diretor do Município (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2014, p. 8; 12; 22).

O Plano Diretor Municipal é o instrumento que o município dispõe para regular o ordenamento do território. No início do texto, mais precisamente no Artigo 2, dispõe que:

Todos os agentes públicos e privados de forma abrangente, contemplando todas as dimensões do desenvolvimento político, social, econômico, espacial administrativo e financeiro, garantindo o bem-estar dos munícipes, propiciando a ocupação ecologicamente equilibrada e sustentável do território municipal e o acesso à terra urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 01).

No Título II, Capítulo I, Artigo 11 dispõe sobre as normas do ordenamento territorial de Caicó/RN.

§ 1. Integrar, viva, eficaz e permanentemente as atividades públicas e privadas, atendendo às aspirações e necessidades da comunidade, promovendo uma maior participação da população na elaboração das ações do governo municipal com vistas a expansão urbana;

§ 6. Estruturar o tecido urbano, de forma a oferecer o suporte físico adequado ao desenvolvimento dos sistemas de relações sociais econômicas (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 02).

O Artigo 62 da Seção IV, relata sobre a formulação de projetos que a prefeitura pode desenvolver conforme demandas específicas, tais como “§ 4. Reservas de mata, de recursos hídricos ou de relevo expressivo, no interior do perímetro urbano ou periférico” (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 03).

Ainda nessa seção, o Artigo 63 remete ao plano diretor, definindo como objeto de projetos urbanísticos especiais, os seguintes sítios urbanos:

§ 1. Área ao longo do rio Seridó no trecho compreendido entre as ruínas do Forte do Cuó e o rio Barra Nova, incluindo as áreas ribeirinhas, a ilha de Santana e o complexo turístico Santa Costa, comunidade Salgadinho até os limites com o município de São Fernando/RN (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 03).

Na Seção III, o plano dispõe sobre o ordenamento territorial e o meio ambiente: “Art. 73. A promoção do desenvolvimento urbano e rural deve ser compatível com a proteção ambiental e cultural.”; “Art. 74. Visando a proteção e melhoria ambiental, constituem exigências fundamentais: § 2. O estabelecimento da ocupação racional e apropriada para cada manancial e bacia hídrica, respeitando suas características físicas específicas”; § “o estabelecimento de mecanismos para assegurar o controle de situações emergenciais em obras de risco”; § 8. “Desenvolver projeto de vegetação e recuperação dos rios e mananciais, com a recomposição de mata ribeirinha e arborização urbana” (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ, 2006, p. 04).

Ao destacar as principais disposições dos instrumentos legais de ordenamento do território de Caicó/RN, percebe-se que não há menção ao debate sobre áreas de risco de desastres. Essa falta de visão dos riscos nos planos ocorre de maneira geral, não somente em Caicó, e acontece por questões políticas e também pela falta de técnicos qualificados que possam ter percepção sobre o tema em questão.

Dessa forma, as legislações municipais de planejamento e ordenamento territorial não estão em conformidade com a realidade atual do município, bem como com as diretrizes colocadas no Estatuto da Cidade. O que está claro é que há uma preocupação com o planejamento do município em prol

florestal atual, sob forma da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, dispõe que no entorno de corpos hídricos devem ser preservados uma faixa de 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura nas margens de rios em zonas rurais ou urbanas (BRASIL, 2012). Entretanto, apesar da lei citada anteriormente, é possível observar a existência de bairros inteiros construídos nas margens do rio Seridó.

Atualmente existem 16 bairros em Caicó/RN, criados por lei municipais, porém Brito (2016) relata que no plano diretor há a existência de pelo menos 31 bairros catalogados. O que para Santos (2018), esses bairros sem registros são atribuídos ao capital imobiliário que constroem loteamentos de forma desordenada na área urbana da cidade, que passam a ser bairros posteriormente. Dificultando a implementação do ordenamento territorial na cidade, visto que esses bairros foram criados sem atender as normas do plano diretor. No quadro 5 é apresentado a lista com os bairros de Caicó/RN.



Figura 10 - Vista aérea das margens do rio Seridó totalmente ocupadas

Fonte: Elaboração própria (2019).

Zonas Urbanas	Bairros
Norte	Boa Passagem, Vila do Príncipe, Recreio, Darcy Fonseca, Alto da Boa Vista, Samanaú, Salviano Santos, Nova Caicó e Loteamento Serrote Branco.
Sul	Paraíba, Centro, Soledade e Adjuto Dias.
Leste	Penedo, Nova Descoberta, Conjunto Castelo Branco, Vila Altiva, Vila Carlindo Dantas, Itans, Canutos e Filhos, Maynard, Loteamento Diniz, Santa Costa e Conjunto IPE.
Oeste	Barra Nova, João XXIII, Paulo VI, João Paulo II, Walfredo Gurgel, Frei Damião e Luiz Januário (Novo Horizonte).

Fonte: Dados extraídos e adaptados de Brito (2016, p. 17).

A problemática que estudamos não é inédita. Contribuições anteriores, acerca da

Quadro 5 - Bairros de Caicó/RN

Fonte: Santos (2018).

Portanto, no ponto de vista legal, o município de Caicó/RN está amparado pelos planos, resoluções, leis e decretos. Todavia, observa-se o descaso com o planejamento urbano por parte da administração, a questão é piorada quando adiciona-se a falta de conhecimento das áreas de risco da cidade, propiciando um aumento na vulnerabilidade dos caicoenses para lidar com desastres que podem acontecer.

6 PATOLOGIAS ESTRUTURAIS DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÁRAS E A MODELIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO

6.1 Anomalias no maciço

Embora a Barragem Passagem das Traíras tenha pouco mais de 20 anos de operação, algumas anomalias foram constatadas em sua estrutura, assim apontam os relatórios técnicos ANA (2015) e SEMARH (2016; 2019), no qual o último categoriza o risco de rompimento. Desse modo serão descritas as patologias presentes em todo o maciço que corroboram para a situação de vulnerabilidade estrutural.

6.1.1 Aspectos geotécnicos, fundações e ombreiras

Projetada pela Coordenadoria de Hidrogeologia – COHIDRO, a Barragem Passagem das Traíras foi pensada para ser uma barragem do modelo Terra, com vertedouro lateral, porém a coordenadoria estadual optou pelo modelo de Concreto Compactado a Rolo, em decorrência de ser 50% menos onerosa do que a do tipo Terra (ANA, 2015).

intemperismo nos afloramentos, com a evidência de preenchimento com material fino (figura 12).



Figura 11 - Rochas das fundações da ombreira direita com faturamento

Fonte: Elaboração própria (2019).



Figura 12 - Afloramentos que ancoram o maciço

Fonte: Elaboração própria (2019).

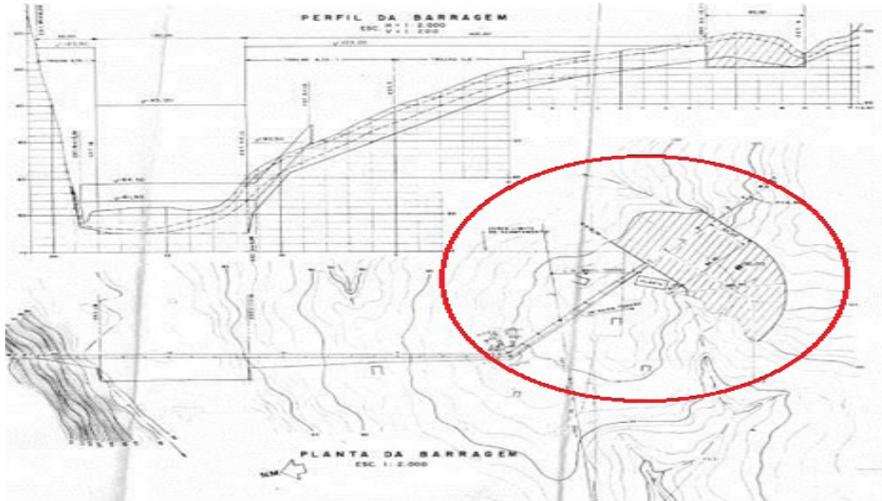
6.1.2 Ombreiras

De acordo com o relatório de inspeção de barragem realizado pela ANA (2015), os técnicos relataram que existe a ausência do abraço de fechamento (final de um lado da ombreira) esquerdo da barragem. Como apresenta a figura 13.



qual comparada com a figura 13, percebe-se que no projeto estava previsto a construção dos abraços de fechamento das ombreiras com um vertedouro auxiliar de emergência.

Figura 14 - Planta do projeto executivo da barragem Passagem das Traíras



Fonte: Modificado de ANA (2015).

Na figura 15, em complemento a informação anterior, é possível verificar que no extremo esquerdo da barragem, apresenta uma intensa degradação do concreto de fase de jusante, além da criação de solo devido a friabilidade, assim ocorrendo vegetação.



Figura 15 - Ombreira esquerda com processo de desagregação de concreto

Fonte: Elaboração própria (2019).

A figura 16 apresenta a friabilidade elevada do concreto compactado a rolo da face de jusante. Destaca-se que durante a primeira vistoria realizada na barragem no ano de 2005, foi constatado a ocorrência da friabilidade. Além disso, é possível perceber a saturação de agregados de seixos rolados, denotando fragilidade na compactação a rolo.



Figura 16 - Friabilidade no concreto compactado a rolo da ombreira esquerda

Fonte: Elaboração própria (2019).



Figura 17 - Vista do paramento de jusante esquerdo

Fonte: Elaboração própria (2019).

6.1.3 Crista do maciço

De acordo com a ANA (2015), o quadro patológico da crista do maciço permanece o mesmo, existem fissuras de diferentes tamanhos e falhas. Assim como mostra as figuras 18 e 19.

Figura 18 - Fissuras na crista do maciço



Fonte: Elaboração própria (2019).



Figura 19 - Avarias na crista do maciço

Fonte: Elaboração própria (2019).

O panorama geral apresentado pela ANA (2015) e SEMARH (2016) relatam que há a existência de múltiplas fissuras no concreto da crista do maciço. As juntas de “Madeirite” expostas encontram-se em decomposição, além do guarda corpo com avarias.

ocorrem nos encontros das juntas de dilatação do concreto, a qual encontra-se de forma descontinuada, fora do padrão técnico aceitável, assim ocasionado uma série de fuga de água advindas dessas fissuras.

Cabe destacar que para os referidos laudos apresentados pelos órgãos aqui citados, o concreto usado na obra não atende as especificações técnicas, em virtude de uma barragem de concreto compactado a rolo com idade de 25 anos apresentar tantas avarias estruturais. Assim, fica claro nos relatórios que há a existência de uma grave trinca no concreto do paramento na parte final do muro lateral direito da bacia de dissipação.

O que pode ser observado é que há uma grave desagregação do concreto do paramento de jusante e do órgão vertedor, além da oxidação, percebe-se que devido a friabilidade nesse concreto há a criação de solo no vertedouro, com a umidade proveniente da percolação vinda da galeria para a face do vertedouro, constata-se a existência de vegetação nos degraus (figura 20).

Os relatórios remetem que existem sobreposição de camadas de concreto, deste modo, evidencia-se uma péssima prática de uso de formas e moldes confeccionados de forma inadequada (seta vermelha) utilizando o método de lançamento e adensamento do concreto de face. Corroborando assim, para uma perda da geometria original por deterioração do concreto e acúmulo de sedimentos nos degraus ANA (2015).

Pode ser percebido buracos de tatus nas fundações de montante para dentro da galeria, o que pode comprometer ainda mais a estrutura (seta amarela).

Desaprumamento no paramento (seta verde) de montante e adensamento irregular das camadas compactadas (seta laranja) e fissura vertical em todo paramento a montante (seta roxa).

Todas essas anomalias na estrutura dos paramentos e do vertedouro estão apresentadas nas figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 - Anomalias estruturais no paramento de montante 1

Fonte: Elabor



ação própria (2019).



Figura 21 - Anomalias estruturais no paramento de montante 2

Fonte: Elaboração própria (2019).



Figura 22 - Patologias estruturais no paramento de jusante

Fonte: Elaboração própria (2019).

Na figura 22, é possível constatar a desagregação do concreto, onde observa-se que foi feito com seixos rolados e não com brita; assim como, um desnível nas faces do concreto no paramento de montante, o que mostra que existe anomalias graves. Nessas figuras, visualiza-se a principal fissura com uma fenda que atravessa toda a sessão da ombreira, assim possibilitando fugas de água. Devido à grande quantidade de desagregação do concreto, passam a existir a ocorrência de vegetação nos paramentos.

A partir dos dados patológicos vistos anteriormente, acrescentam-se ainda questões de ordem estrutural e de cunho instrumental, visto que, a barragem não detém instrumentos, como piezômetros, drenos, e régua graduadas.

É possível visualizar que a galeria apresenta falta de iluminação, infiltrações generalizadas, carbonatação e fugas de água devido à ausência de drenos, quanto a fuga de água, esta encontra-se percolando por baixo do maciço chegando à bacia de dissipação.

A Hidromecânica encontra-se inoperante, apresentando corrosão do aço das válvulas dispersoras (seta vermelha no item C), ferrugem, descarga de fundo sem proteção e com pedras obstruindo (seta azul no item A) e sem a presença das borboletas de controle de vazão, além da precariedade da tomada d'água (seta verde no item B). Com ênfase aos drenos internos na galeria que estão inoperantes (seta amarela no item E), na figura 23 pode-se observar a fuga de água e infiltrações contínuas, tanto na galeria como por baixo e no corpo do paramento de jusante (seta preta itens D e F).

Figura 23 - Patologias na galeria e hidromecânica



Fonte: Elaboração própria (2019).

Diante disso, foram feitas uma série de recomendações, no sentido das anomalias estruturais da barragem serem consertadas e que a estrutura possa não apresentar risco de rompimento. Os técnicos relatam:

Considerando o atual estado de deterioração do concreto do paramento de jusante, recomenda-se a realização, em curto prazo, de projeto específico para a recuperação do mesmo e a sua imediata execução, bem como a obturação da trinca no concreto existente no final do muro lateral direito da bacia de dissipação (SEMARH, 2016, p.23).

É necessária à construção de um novo abrigo para o sistema descarregador de fundo, uma vez que o atual foi construído de forma totalmente incorreta, descarregando frente a um paredão de rocha resultante da escavação para construção da barragem, que permite a acumulação de água próximo ao muro lateral da bacia de dissipação e escoamento com poder erosivo junto ao muro de ala esquerdo do sistema dissipador (SEMARH, 2016, p.24).

Executadas. Sendo assim, é de suma importância que seja realizada uma investigação detalhada sobre esta situação (SEMARH, 2016, p.24).

Os técnicos relatam que há a existência de “uma obra com péssimo aspecto, com durabilidade e qualidade suspeitas” (ANA, 2015, p. 7). Além, disso, destaca que “vários requisitos das especificações não foram atendidos, principalmente quanto às tolerâncias de alinhamento e prumo” ANA (2015, p. 56).

Ao comparar a barragem Passagem das Traíras com outras barragens construídas pelo mesmo método (Concreto Compactado a Rolo – CCR), e tendo a mesma idade de operação (Saco de Nova Olinda, Caraíbas, Gameleira, Várzea Grande), percebe-se que a Passagem das Traíras, do ponto de vista do material empregado na obra, deixa a desejar, assim como com o cuidado técnico-estrutural na realização da obra, e o preço disso é a atual classificação de risco em Alerta, devido a presença de uma série de anomalias presentes na barragem.

6.2 Índice de Perigo Potencial

A barragem Passagem das Traíras atende ao sistema de abastecimento público de Jardim do Seridó (incluindo a comunidade Barra da Espingarda), ao futuro sistema para São José do Seridó e a usos diversos no entorno e a jusante no rio Seridó, sobretudo para irrigação, o cultivo de vazante e criação de animais. A Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN, operadora dos sistemas de abastecimento público que captam nesse reservatório, informa demanda potencial igual a 54 l/s para Jardim do Seridó/RN.

Adotar-se a disponibilidade de 100 L/s para os usos a montante e 50 L/s a jusante. No sentido de perenizar o curso do rio, a jusante da barragem, regulariza-se que equivaleria a 100 L/s para todo o trecho do Seridó até o rio Chafariz, próximo à sede de Caicó, a 22,5 km da barragem, assim como mostrado no quadro 14 (ANA, 2018).

Demais usos no entorno do reservatório	100
Usos a jusante	50
Perenização a jusante	100
TOTAL	304

Fonte: ANA (2018).

Diante disso, referente à importância da barragem para o órgão gestor de águas, a Barragem Passagem das Traíras enquadra-se como “Elevada” atribuindo o peso (2), visto que o seu reservatório é de extrema importância para a operação do sistema da agência reguladora, assim sua desativação ou ruptura ocasiona na interrupção do sistema de abastecimento de água.

A capacidade do reservatório, segundo informações da SEMARH (2019), é igual a 49,7 milhões, os valores a serem adotados para as simulações hidrológicas, conforme curva cota – área – volume, para as cotas mínimas e máxima, estão descritas na tabela 15. Ainda, Conforme SEMARH (2019) a altura da crista do maciço da barragem mede aproximadamente 25,5 metros.

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (M/m ³)	Volumes notáveis
183	0,68	0,9	Mínimo
193,3	10,4	49,7	Máximo

Tabela 15 – relação

cota – área – volume da barragem

o nível de água presente no reservatório.

Nomeação: Passagem das Traíras*

Origem: São José do Seridó / RN

Localidade: Piranhas/Assu

Barraço: Rio Seridó

Localização: A 22,0 km da cidade de Caicó Batimetria 2009 - AMPLA Engenharia

Área: 1.042,90 km²

Capacidade: 49.702.393,65 m³

Volume Morto: 117.624,00 m³

Volume Total: 181,00 m

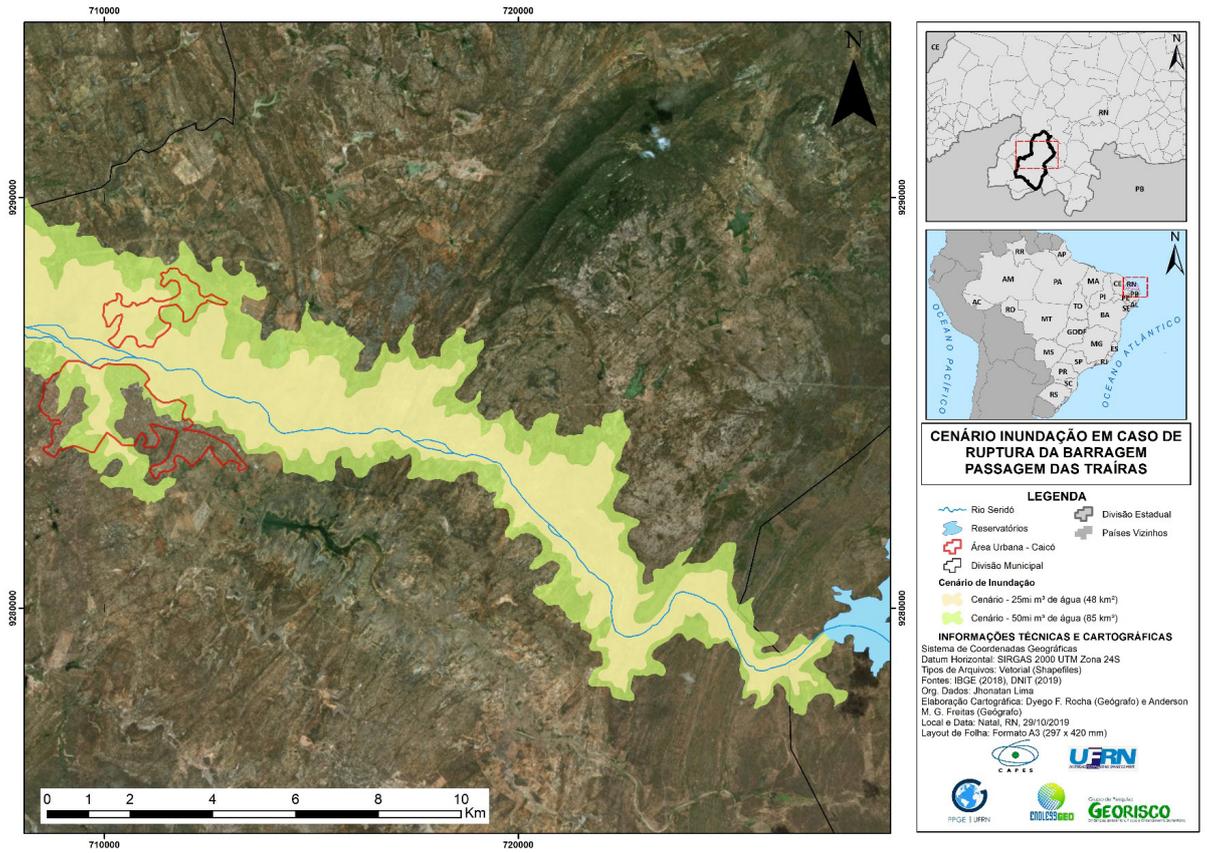
Data	Volume (m³)	Percentual (%)
9/2019	429.922,95	0,86
8/2019	580.731,79	1,17
7/2019	720.653,82	1,45
6/2019	870.759,79	1,75
5/2019	954.256,13	1,92
4/2019	424.949,81	0,85
3/2019	365.900,69	0,74
2/2019	392.483,03	0,79
1/2019	478.590,45	0,96
12/2018	643.323,22	1,29
11/2018	835.173,11	1,68
10/2018	1.097.843,52	2,21

Gráfico de Evolução Volumétrica

Volume do reservatório nos últimos 12 meses

Tabela 16 -

Mapa 2 - Mapa principal de inundação



6.2.1 Dos Impactos a Jusante

Social

O município de Caicó/RN teve seu crescimento nos arredores da Igreja de Santana, expandindo-se nas adjacências do rio Seridó, esse crescimento da cidade em direção ao rio não levou em consideração os fatores ambientais. As territorialidades empregadas pelo homem, aqui, não estão em consonância com a manutenção da sua própria segurança no presente e no futuro.

Segundo dados do IBGE (2019) aproximadamente 6.971 pessoas residem nos setores censitários que estão na planície do Rio Seridó, ou seja, na área de preservação ambiental do rio. Em face desse dado, percebe-se que o número mínimo de pessoas expostas ao risco de inundação, em caso de ruptura da barragem Passagem das Traíras, passa de 5.000. Dessa forma, o impacto a jusante, a nível Social, enquadra-se como Grande, com o peso (0).

Ambiental

Conforme apresentado no mapa a seguir (mapa 2), é possível observar a extensão total de dois cenários de inundação, nas duas cotas (50% e 100% do volume de água da barragem), na cota de 50% ficou estimado 48 Km² de área inundada, enquanto no cenário de 100% do volume ficou estimando a inundação de 85 Km². Desse modo conforme o índice, essa variável tem o peso (0), devido a área de inundação ser maior que 10 Km², assim recebendo o *status* “Grande”.

entende-se que o impacto da onda de cheia poderia afetar mais de 50 casas e os custos com reparos ambientais, sociais e estruturais passariam da ordem de 50 milhões, caracterizando-se o *status* “Grande” de impactos econômicos, atribuindo o peso (0).



Figura

24 - Imagem de drone das áreas as margens do Rio Seridó

Diante disso, atribui-se o *status* de “Concreto” com o peso (12).



Figura 25 - Foto panorâmica do vertedouro e bacia de dissipação

Fonte: Elaboração própria (2019).

A respeito da variável “Órgão vertente”, conforme apresentado no projeto, o vertedouro é do tipo soleira livre, com escoamento pelos degraus e pela bacia de dissipação (figura 24). Assim, atribui-se o *status* de “superfície sem controle”, com o peso (15).

De acordo com SEMARH (2019) no volume III – Estudos Hidrológicos, foram recentemente verificadas as vazões para o vertedouro da barragem para um período de recorrência entre 1 000 a

(A) Reservatório	Bacia Montante (km ²)	Cota Soleira (m)	Cota Coroamento (m)	Tr - 100 Anos						
				QafI (m ³ /s)	QefI (m ³ /s)	QafI/A (m ³ /s/km ²)	Aten. (%)	NA (m)	Lâmina (m)	Folga (m)
Boqueirão de Parelhas	1.445,12	287,40	294,40	1.598,19	450,44	1,11	71,82%	289,06	1,66	5,34
Caldeirão de Parelhas	188,52	284,10	286,50	191,48	120,59	1,02	37,02%	284,68	0,58	1,82
Cruzeta	1.003,90	123,50	125,50	414,93	255,87	0,41	38,33%	124,54	1,04	0,96
Dourado	478,72	92,50	96,00	537,94	447,16	1,12	16,88%	94,02	1,52	1,98
Marechal Dutra	2.119,27	299,77	304,00	1.039,02	667,58	0,49	35,75%	301,59	1,82	2,41
Passagem das Traíras	6.100,26	193,32	200,80	1.574,36	1.423,43	0,26	9,59%	195,72	2,40	5,08
Várzea Grande	489,61	541,00	545,00	552,49	323,96	1,13	41,36%	542,75	1,75	2,25
Zangarelhas	151,50	95,00	98,00	168,85	100,29	1,11	40,61%	96,07	1,07	1,93

(B) Reservatório	Bacia Montante (km ²)	Cota Soleira (m)	Cota Coroamento (m)	Tr - 1.000 Anos						
				QafI (m ³ /s)	QefI (m ³ /s)	QafI/A (m ³ /s/km ²)	Aten. (%)	NA (m)	Lâmina (m)	Folga (m)
Boqueirão de Parelhas	1.445,12	287,40	294,40	2.526,28	804,58	1,75	68,15%	289,85	2,45	4,55
Caldeirão de Parelhas	188,52	284,10	286,50	290,61	197,54	1,54	32,02%	284,91	0,81	1,59
Cruzeta	1.003,90	123,50	125,50	641,52	410,51	0,64	36,01%	124,93	1,43	0,57
Dourado	478,72	92,50	96,00	842,22	711,62	1,76	15,51%	94,58	2,08	1,42
Marechal Dutra	2.119,27	299,77	304,00	1.743,21	1.123,27	0,82	35,56%	302,34	2,57	1,66
Passagem das Traíras	6.100,26	193,32	200,80	2.646,86	2.381,03	0,43	10,04%	196,71	3,39	4,09
Várzea Grande	489,61	541,00	545,00	874,97	556,19	1,79	36,43%	543,51	2,51	1,49
Zangarelhas	151,50	95,00	98,00	250,73	160,34	1,66	36,05%	96,46	1,46	1,54

(C) Reservatório	Bacia Montante (km ²)	Cota Soleira (m)	Cota Coroamento (m)	Tr - 10.000 Anos						
				QafI (m ³ /s)	QefI (m ³ /s)	QafI/A (m ³ /s/km ²)	Aten. (%)	NA (m)	Lâmina (m)	Folga (m)
Boqueirão de Parelhas	1.445,12	287,40	294,40	3.455,79	1.207,42	2,39	65,06%	290,61	3,21	3,79
Caldeirão de Parelhas	188,52	284,10	286,50	390,43	289,48	2,07	25,86%	285,15	1,05	1,35
Cruzeta	1.003,90	123,50	125,50	875,85	580,66	0,87	33,70%	125,30	1,80	0,20
Dourado	478,72	92,50	96,00	1.151,07	986,64	2,40	14,29%	95,08	2,58	0,92
Marechal Dutra	2.119,27	299,77	304,00	2.488,88	1.620,79	1,17	34,88%	303,05	3,28	0,95
Passagem das Traíras	6.100,26	193,32	200,80	3.804,60	3.394,95	0,62	10,77%	197,62	4,30	3,18
Várzea Grande	489,61	541,00	545,00	1.197,54	801,99	2,45	33,03%	544,20	3,20	0,80
Zangarelhas	151,50	95,00	98,00	332,28	223,93	2,19	32,61%	96,82	1,82	1,18

Tabela 17 - Tempo de Ocorrência de vazões na barragem Passagem das Traíras

Fonte: Adaptado de SEMARH (2019).

Tabela 18 - Discriminação das variáveis com os pesos atribuídos

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001), a partir dos dados fornecidos por ANA (2015); SEMARH (2019).

Dessa forma, o somatório das variáveis atribuídas para o Índice de Perigo Potencial, resultou em 60, recebendo o *status* de “Elevado”.

A partir da relação entre as informações dos órgãos de regulação da barragem, atrelados a metodologia aplicada nessa pesquisa, chegou-se ao resultado que a barragem detém um Elevado Perigo Potencial associado, apresentando-se como fator de risco para o município de Caicó/RN, devido sua localização geográfica a jusante do barramento.

6.3 Índice Estado Real da Barragem

Quanto ao Índice do Estado Real da Barragem, com base nas informações cedidas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e pela Agência Nacional de Águas, foram ponderados os pesos das variáveis do índice com base nos critérios apresentados no ERB.

A variável “Informações de Projeto”, classifica-se como “Completas” apresentando peso (5), devido a quantidade de informações apresentadas no dossiê da barragem Passagem das Traíras.

A barragem Passagem das Traíras encontra-se em operação desde 1994, entretanto, até o ano de 2005 não existia monitoramento periódico, somente após a criação da ANA, começaram as vistorias na barragem. De acordo com o quadro 6 quanto a variável “Frequência na avaliação do comportamento”, atribui-se o *status* “Razoável” com peso (6). A classificação desse *status* ocorre em detrimento das inspeções não seguirem um cronograma periódico, as inspeções somente são realizadas quando há a determinação das Coordenações de Infraestrutura da ANA ou da SEMARH. Os dados dos relatórios não constam em um banco de dados institucionalizado pela Secretaria, para que as pessoas acessem via internet. Caso o cidadão deseje o acesso, deverá solicitar formalmente junto à Secretaria.

NORTE”		
RELATÓRIO DE VISITA TÉCNICA DE INSPEÇÃO BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS – SÃO JOSÉ DO SERIDÓ – RN	2015	Agência Nacional de Águas
RELATÓRIO DA 5ª INSPEÇÃO REGULAR DA BARRAGEM	2016	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
RELATORIO DA 6ª INSPEÇÃO REGULAR DA BARRAGEM	2016	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS PARA GARANTIR A SEGURANÇA DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS	2018	Agência Nacional de Águas
PROJETO CONCEITUAL DA ALTERNATIVA SELECIONADA NO ESTUDO VISANDO GARANTIR A SEGURANÇA DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS	2019	Agência Nacional de Águas
ESTUDO E ELABORAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO PARA RECUPERAÇÃO/MANUTENÇÃO DA BARRAGEM PASSAGEM DAS TRAIÍRAS	2019	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Quadro 6 - Documentos oficiais

das vistorias realizadas na barragem

Quanto a variável “Percolação”, sobre o comportamento do fluxo de água pelo corpo da barragem e pelas ombreiras e fundações, atribuiu-se o *status* “Crítica” com peso (5), considerando que há a existência de anormalidades de acordo com o nível de percolação implicando diretamente na segurança da barragem ANA (2015). É possível constatar a existência de infiltrações internas na bacia de dissipação com a presença de carbonização, bem como a existência de carbonatação na face do paramento de montante. A percolação entre as juntas de dilatação ocorre em virtude das infiltrações na galeria em consequência dos drenos estarem inoperantes, ainda na galeria foram encontradas carbonatação no teto, devido ao contato da água com o calcário do cimento, formando estalactites (Figura 26).



Figura 26 - Percolação e fuga de água na galeria e bacia de dissipação

Fonte: Elaboração própria do autor (2019).

Quanto aos níveis de “Deformação” atribui-se a categoria “Crítica” com peso (5), visto que os órgãos gestores de águas a nível nacional (ANA), regional (IGARN) e proprietário da barragem (SEMARH) têm ciência da existência de patologias na estrutura da barragem Passagem das Traíras, segundo o 6º Relatório de Inspeção Regular da Barragem Passagem das Traíras, realizado no dia 08 de setembro de 2016 (SEMARH, 2016).

Quanto a variável “nível de deterioração do paramento” atribui-se a classificação “Excessiva”

Quanto a variável “Erosão a jusante”, levando em consideração que a barragem Passagem das Traíras é de concreto, sem a presença de taludes a jusante do rio e sem erosões visíveis, atribui-se a classificação “Mínimo ou Inexistente” com peso (15).

Acerca da variável “condição dos equipamentos dos descarregadores”, de acordo com os relatórios da ANA (2015) e SEMARH (2019), a hidromecânica da barragem Passagem das Traíras encontra-se inoperante. Atribuindo-se a classificação “Inoperante”, com o peso (3). É possível ser comprovado visualizando a figura 21, que apresenta o principal descarregador da barragem, com avarias e sem a borboleta girar, além do dispersor dentro do abrigo com avarias, e a descarga de fundo sem manutenção com muita corrosão, tampada com pedras.

Diante dos fatos justificados, apresenta-se a tabela 19 do Índice Estado Real da Barragem, com as variáveis apresentadas e seus respectivos pesos.

Informações de projeto	Frequência na avaliação do comportamento	Percolação	Deformações	Nível de deterioração dos paramentos	Erosão a jusante	Condições dos equipamentos hidromecânicos
Completas (5)	Razoável (6)	Crítica (5)	Crítica (5)	Excessiva (3)	Mínimo ou Inexistente (15)	Inoperante (3)

Tabela 19 - Índice de Estado Real da Barragem

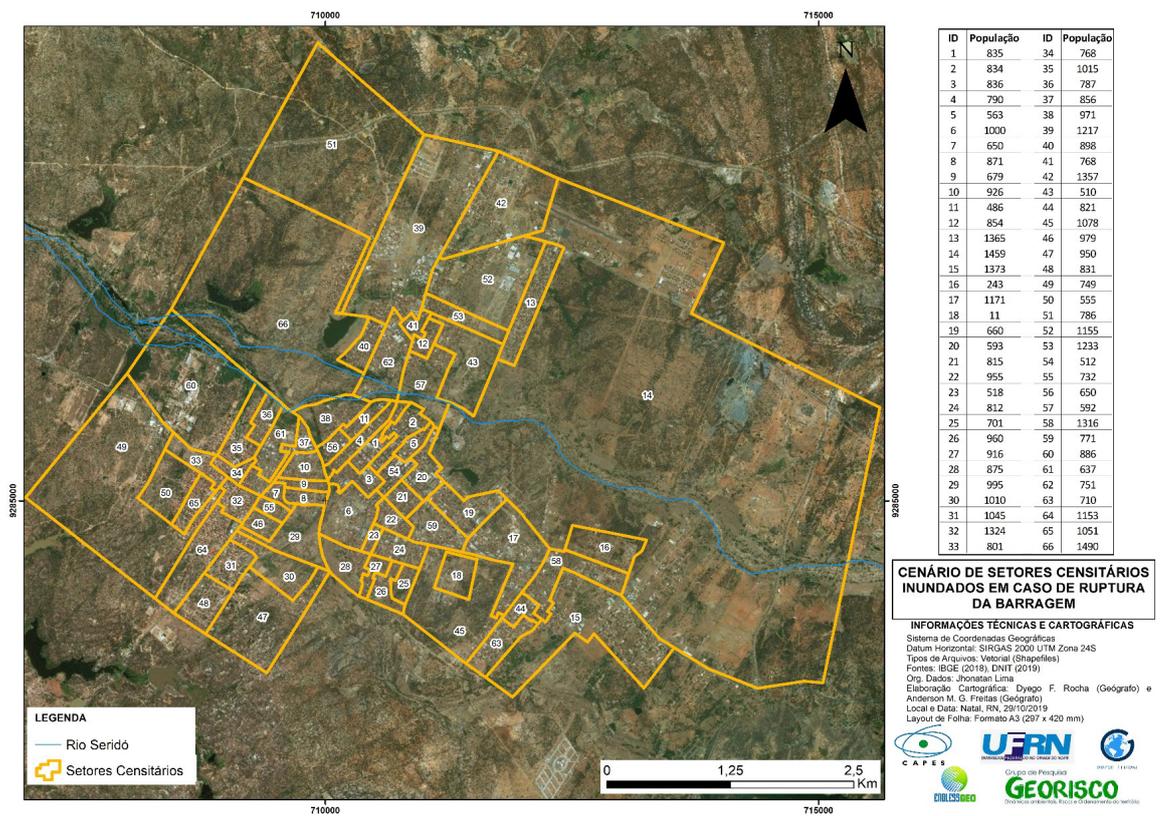
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Kuperman et al. (2001), a partir dos dados fornecidos por ANA (2015); SEMARH (2019).

O somatório das variáveis do Índice Estado Real da Barragem, resultou em 42, atribui-se a classificação da barragem como “Insatisfatório”.

De acordo com a metodologia aplicada, para realizar o cálculo do Índice de Comportamento da barragem, é necessário a aplicação da fórmula (vide equação 1), a com a aplicação dos valores do PP + ERB e os pesos, o Índice de Comportamento da Barragem Passagem das Traíras, enquadra-se no grau de risco Emergência apresentando resultado do intervalo de 49,2.

Através da incursão *in loco* na barragem, juntamente com as avaliações anteriores dos órgãos de regulação, foi possível constatar várias anomalias na estrutura do maciço. Patologias essas que colocam a estrutura em situação de fragilidade. Conforme a aplicação dos índices, tanto para o Perigo Potencial como para o Estado Real da Barragem, as cotações dos valores foram significativas, devido à ausência de manutenção na barragem há 24 anos. Além disso, a existência de uma cidade com aproximadamente 60 mil habitantes, poucos quilômetros a jusante, com os dispositivos de contingenciamento frágeis, coloca a barragem e o município de Caicó/RN em um cenário de desastre.

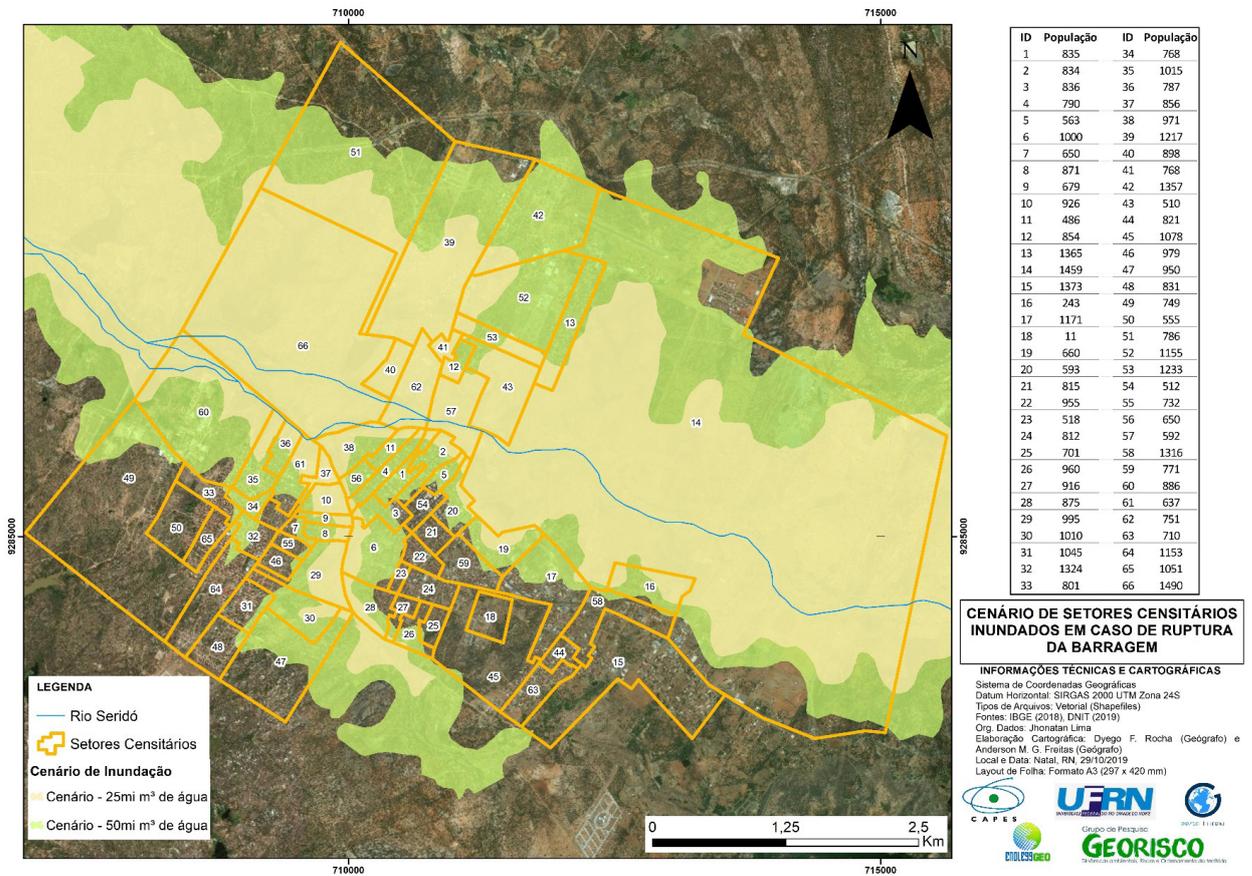
Mapa 3 - Mapa demográfico dos setores censitários de Caicó/RN



Fonte: Elaboração Própria (2019) com base em IBGE (2017).



Mapa 4 - Mapa dos cenários de inundação da onda de cheia em Caicó/RN



Fonte: Elaboração Própria (2020) com base em dados do IBGE (2017).

ver a espacialização dos cenários sobre os setores censitários em Caico/RN podendo estimar o número de pessoas expostas a esse risco conforme a tabela 20 a seguir.

Tabela 20 - Balanço geral dos cenários de inundação da onda de cheia

#	Volume da onda de cheia	População exposta
Canário Cota de 50%	25 Mi m ³	17.701
Cenário cota de 100 %	49,7 Mi m ³	37.604

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).



todo o vale a jusante da barragem desde o maciço, fica a merce de um desastre dessa proporção.

No cenário de desastre, após passar por Caicó/RN a onda de cheia seguirá pelo curso do rio Seridó, desembocando na calha do rio Piranhas, sendo amortecida somente pela barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves em Itajá/RN, sendo esta, a única que pode receber todo esse volume de água, devido a sua capacidade de 2,4 bilhões de m³. Todavia, considerando-se um cenário em que a barragem Passagem das Traíras apresente 100% de sua capacidade, a barragem Armando Ribeiro Gonçalves também estará cheia, e ao receber esse volume da onda de cheia, possivelmente haverá um vertimento anormal, que por sua vez, causará danos a região do vale do Açu, no baixo curso do rio Açu a jusante da barragem Armando Ribeiro.

Portanto, a barragem Passagem das Traíras representa uma “bomba relógio” não só para Caicó/RN, como para as demais áreas do Estado potiguar, visto a gravidade do grau de risco que essa estrutura se encontra.

De acordo com a Secretaria Municipal de Tributação e Finanças, existem bairros com o valor do m² diferente, essa variação existe em decorrência do nível de planejamento e infraestrutura que o bairro apresenta. No capítulo anterior sobre os cenários de inundação, tem-se a investigação em cima da mensuração dos possíveis prejuízos imobiliários caso a barragem aqui estudada rompa e inunde a área urbana. O quadro 31 apresenta o valor do metro quadrado por bairro em Caicó/RN.

Com base nos valores do m², foi possível estimar as perdas/prejuízos imobiliários com base nos cenários de inundação nas diferentes cotas (mapa 5 e 6). Com base nos dois cenários de inundação, nas tabelas 21 e 22 expõem os valores das perdas imobiliárias por bairros, de acordo com o valor do m² é possível verificar que os prejuízos são estimados em milhões de reais.

Darci Fonseca	R\$ 103,91	122485,6	R\$ 12.727.478,70
Boa Passagem	R\$ 103,91	1069578	R\$ 111.139.849,98
Samanaú	R\$ 103,91	452866,6	R\$ 47.057.368,41
Alto da Boa Vista	R\$ 83,13	323888,9	R\$ 26.924.884,26
Salviano	R\$ 34,05	75622,43	R\$ 2.574.943,74
Barra Nova	R\$ 103,00	3062,433	R\$ 315.430,60
Centro	R\$ 437,00	21272,84	R\$ 9.296.231,08
Vila ativa	R\$ 103,91	139282,3	R\$ 14.472.823,79
Penedo	R\$ 124,69	293880,2	R\$ 36.643.922,14
Serrote Branco I	S/ID	148775,8	S/ID
Serrote Branco II	S/ID	61939,09	S/ID
Serrote Branco III	S/ID	167290,6	S/ID
Aeroporto	S/ID	14722,08	S/ID
Nova Caicó	S/ID	42194,41	S/ID
Acampamento	S/ID	19564,86	S/ID
Ilha de Santana	S/ID	93118,11	S/ID
TOTAL			R\$ 293.239.366,28

Tabela 21 – Perdas imobiliárias nos bairros de Caicó no cenário de 50% do volume da barragem na onda de cheia

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

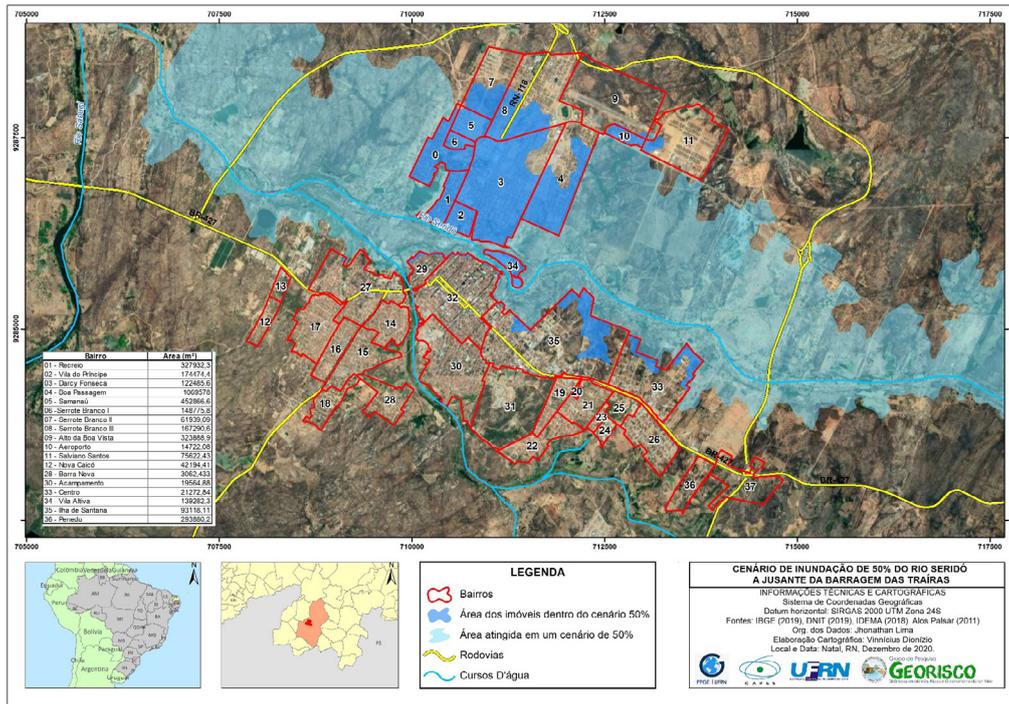
Darci Fonseca	R\$ 103,91	122485,6	R\$ 12.727.478,70
Boa Passagem	R\$ 103,91	1205612	R\$ 125.275.142,92
Samanaú	R\$ 103,91	711068,6	R\$ 73.887.138,23
Alto da Boa Vista	R\$ 83,13	824067,9	R\$ 68.504.764,53
Salviano	R\$ 34,05	78765,55	R\$ 2.681.966,98
Barra Nova	R\$ 103,00	515366,2	R\$ 53.082.718,60
Centro	R\$ 437,00	590153,6	R\$ 257.897.123,20
Vila ativa	R\$ 103,91	497839,6	R\$ 51.730.512,84
Paraíba	R\$ 149,62	274527,3	R\$ 41.074.774,63
Adjunto Dias	R\$ 21,79	20574,12	R\$ 448.310,07
João Paulo II	R\$ 21,79	52238,32	R\$ 1.138.272,99
Walfredo G	R\$ 27,24	72794,4	R\$ 1.982.919,46
Penedo	R\$ 124,69	1075950	R\$ 134.160.205,50
Serrote Branco I	S/ID	150743,6	S/ID
Serrote Branco II	S/ID	61939,09	S/ID
Serrote Branco III	S/ID	354865,7	S/ID
Aeroporto	S/ID	755110,2	S/ID
Nova Caicó	S/ID	589847,2	S/ID
Acampamento	S/ID	138819,4	S/ID
Soledade	S/ID	223950,9	S/ID
1 BEC	S/ID	59458,67	S/ID
João XXIII	S/ID	212254,8	S/ID
Ilha de Santana	S/ID	93188,11	S/ID
TOTAL			RS 856.799.522,13

Tabela 22 – Perdas imobiliárias nos bairros de Caicó no cenário de 100% do volume da barragem na onda de cheia

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como pode ser visto, os danos são desastrosos para a economia imobiliária de Caicó/RN. No primeiro cenário, as perdas chegam a aproximadamente 293 milhões de reais, enquanto no segundo cenário são da ordem de 856 milhões de reais. Destaca-se que os bairros que estão com as identificações “S/ID” (sem identificação), são bairros que a Secretaria Municipal de Tributação e Finanças de Caicó/RN não disponibilizou dados. Portanto, os valores das perdas são bem maiores do que os cálculos previstos, uma vez que não há como saber os valores do m² dos bairros em questão.

Mapa 5 – Mapa das áreas em m² dos bairros de Caicó inundados na cota de 50%





série de processos apresentados anteriormente pela estrutura. A estrutura antes do colapso emite sinais, e esses sinais se captados, decodificados e apresentados a comunidade podem ser decisivos para salvar vidas em risco. Essa fase denomina-se de pré-impacto, que é quando a infraestrutura passa a apresentar aspectos anormais (SOUZA, 2018).

É durante essa fase que todos os estudos de emergência e contingência devem ser realizados pelos órgãos responsáveis, no intuito de reparar as anomalias e caso colapso, estes tenham um plano de como proceder durante e após o evento. Caso nada seja feito, é deflagrada a fase do impacto, que é quando há a iminência de uma ruptura, é neste momento que devem ser feitas as remoções de emergência da população, montagem de abrigos, hospitais e realizada a gestão de desastres com fornecimento de água, comida e higiene as pessoas (SOUZA, 2018).

Após a fase do impacto, instala-se a fase da atenuação que consiste-se na realização de buscas e salvamento de pessoas e animais, avaliação de perdas, e a busca pelo estabelecimento emergencial de água, limpeza e energia elétrica (SOUZA, 2018).

A seguir na figura 27 é apresentado o modelo mais indicado para a gestão de risco em barragem. Como pode ser visto, existe a sala de monitoramento, a qual os técnicos têm informações em tempo real da barragem, caso ocorra o colapso da estrutura a mensagem é repassada e são acionadas sirenes de emergência para evacuação total em direção a um ponto de encontro, em seguida as pessoas são destinadas a um abrigo.

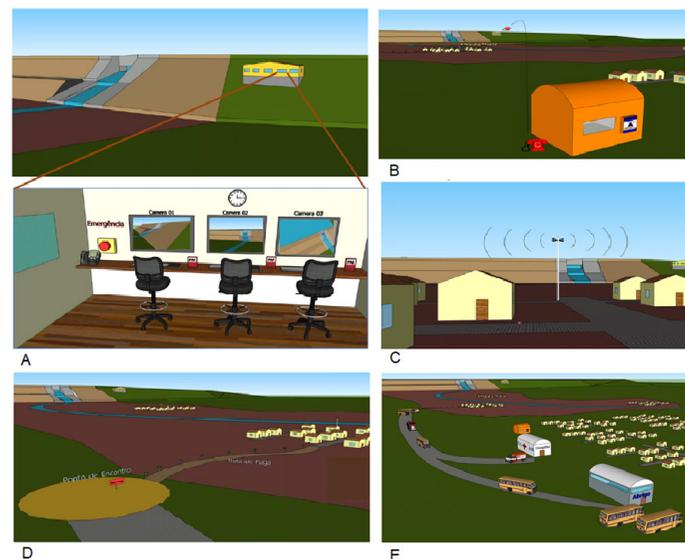


Figura 27 - Esquema de gerenciamento de riscos de desastres em barragens

Fonte: Adaptado de Brasil (2016).

Em um cenário de desastre, principalmente no pós-desastre de rompimento de barragem, são necessários recursos humanos e materiais para lidar com as questões de contingenciamento. Nesse sentido, apresenta-se algumas informações que servem como auxílio para as tomadas de decisões no município de Caicó/RN.

Durante o evento desastroso, é importante que cada ator social, principalmente das forças de segurança saibam qual sua função. Através do Comando do Policiamento Militar do Interior – CPI, foi informado de maneira informal até por questões de segurança, que o efetivo policial de Caicó/RN conta com 200 agentes de segurança, lotados no 6º BPM - Batalhão de Polícia Militar, não foi relatado o número de viaturas da unidade. O município conta com uma base do Corpo de Bombeiros Militar, o 3º Grupamento do Corpo de Bombeiros que possui aproximadamente 65 agentes, equipados com 2 veículos auto-bomba, 1 caminhonete operacional, 1 ambulância e 2 veículos menores, além de um bote para buscas e salvamento. A base do SAMU- Serviço de Atendimento Móvel de Urgência dispõe de 2 ambulâncias, sendo uma de suporte avançado e outra de suporte básico, além de uma equipe de 30 profissionais.

O município de Caicó/RN tem também em seu território, o 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro, com um contingente de pelo menos 120 agentes. Sabe-se que no pátio do Batalhão possui inúmeras máquinas pesadas, como retroscavadeiras, caçambas, caminhões pipa, dentre veículos menores como jipes e ambulâncias. O município conta também com uma base do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência, além do efetivo de 4 agentes da Defesa Civil Municipal.

Na sociedade civil organizada, o município conta com 2 grupos de escoteiros, os bombeiros mirins e os policiais mirins, que de alguma forma podem colaborar com ações de contingência, por terem treinamentos em situações de crise.

Os únicos hospitais que não deverão ser inundados devido sua cota topográfica estar fora dos cenários de inundação, é o Hospital Regional Telecila Freitas Fontes. Que conta com

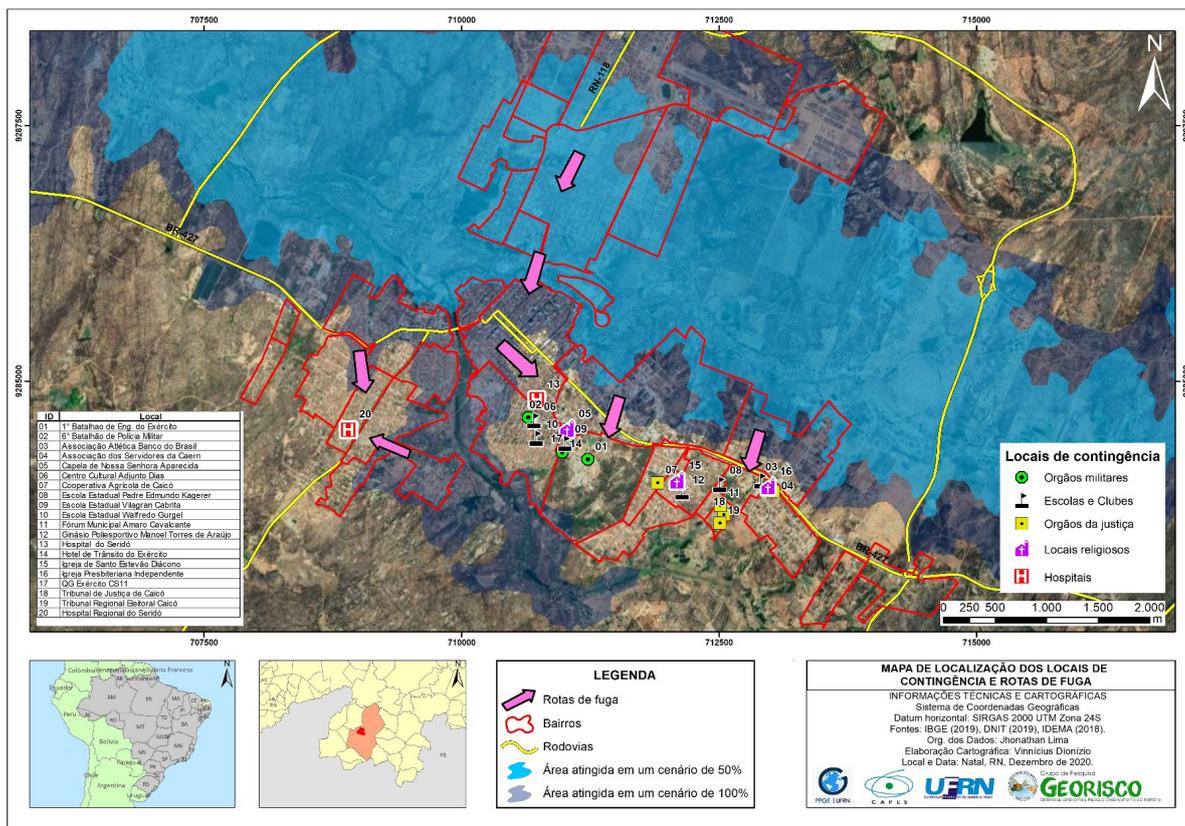
- 6º Batalhão de Polícia Militar;
- Associação Atlética Banco do Brasil;
- Associação dos Servidores da Caern;
- Capela Nossa Senhora Aparecida;
- Centro Cultural Adjunto Dias;
- Cooperativa Agrícola de Caicó;
- Escola Estadual Padre Edmundo Kagerer;
- Escola Estadual Vilagran Cabrita;
- Escola Estadual Walfredo Gurgel;
- Fórum Municipal Amaro Cavalcante;
- Ginásio Poliesportivo Manoel Torres de Araújo;
- Hotel de Trânsito Exército;
- Igreja Presbiteriana Independente;
- Igreja de Santo Estevão Diácono;
- QG Exército CS11;
- Sede do Ibama;
- Tribunal de Justiça de Caicó;
- Tribunal Regional Eleitoral.;
- Hospital Regional Telecila Freitas Fontes.

Nesse contexto, o principal local para abrigo seria o Quartel do Exército, visto que apresenta uma estrutura segura, com banheiros, alojamentos, barracas de campanha, além de toda organização militar e espaço considerável.

No mapa 7, apresenta-se as possíveis rotas de fugas mais viáveis em caso a cidade seja atingida pela onda de cheia, são caminhos que podem servir para a população tentar sair do perímetro que abrange as cotas da inundação nos cenários. Podem ser destacadas como

do hospital que pode receber as pessoas e dos locais de abrigo, servem como base para a criação de um plano de contingência robusto para Caicó/RN, visto que o atual plano de contingência criado pela Defesa Civil de Caicó não contempla as ações de redução de risco de desastres, em um pré, durante e pós-desastre. O documento existente apresenta-se como uma enciclopédia de conceitos teóricos e nada operacional, dessa forma, destaca-se a importância da criação de um plano de contingência por um corpo técnico capacitado, para que caso ocorra algum sinistro todos os atores saibam como atuar.

Mapa 7 - Mapa das possíveis rotas de fuga



Fonte: Elaboração própria (2020) com base em dados do IBGE (2019).

executar a obra, para que a barragem Passagem das Traíras não chegasse a romper, de maneira emergencial foi criada uma fenda na ombreira direita da barragem entre os meses de janeiro a março de 2020, ao custo de R\$ 549,6 mil (BRASIL, 2020).

No mês de dezembro de 2020, após a criação da fenda por meio da demolição da ombreira direita (figura 28), foi realizada a construção de uma enseada no espelho d'água da barragem para que se possa ser viabilizadas as obras, ao custo de R\$ 11 milhões (BRASIL, 2020).

Até o presente momento as obras definitivas não foram iniciadas no maciço em si, apenas medidas emergenciais foram realizadas. A depender do desenrolar da pandemia de Covid-19 as obras deverão seguir a passos lentos no melhor dos cenários, enquanto isso a população de Caicó/RN continua vulnerável ao risco da barragem romper. Está seca? Sim! Mas como dito nos capítulos anteriores, em função da rede hidrográfica, nas vazões de retorno milenar e deca milenar, a referida barragem pode encher em questões de horas.



Figura 28 - Imagem das intervenções na barragem Passagem das Traíras.

Fonte: Modificado pelo autor com base em Brasil (2020).

as patologias estruturais na barragem, deixando de lado as questões de Redução de Riscos de Desastres - RRD e segurança populacional, como dispõe a legislação de barragem, de proteção e defesa civil vigente.

É possível compreender a gravidade do estado no qual a barragem encontra-se, de acordo com os laudos técnicos de segurança da barragem, onde o grau de risco de rompimento passou do status de “Atenção” para “Alerta”. Quanto ao método de avaliação e validação dos cenários de riscos, pode-se observar que há relação quanto ao grau de risco, embora os caminhos metodológicos sejam distintos. Ao abordar elementos estruturais, ambientais, econômicos e sociais de maneira integrada, de acordo com os manuais de gestão de riscos de desastres em barragens de todo mundo, o trabalho oferece uma nova perspectiva na análise dos riscos oriundos de uma possível ruptura da barragem em decorrência da falta de manutenção prolongada.

Os resultados mais expressivos foram o do Perigo Potencial (Elevado), Estado Real da Barragem (Insatisfatório) e o Índice de Comportamento da Barragem (Emergência). Reforçando quão grave é a situação do objeto de estudo, que em diferentes cenários de onda de cheia o contingente populacional exposto varia entre 17 mil e 37 mil pessoas expostas ao risco de inundação. Quanto às perdas materiais imobiliárias, em ambos os cenários são da ordem de milhões de reais em prejuízos, variando entre 290 e 850 milhões de reais.

Este estudo é de grande valia tanto para os órgãos de proteção e defesa civil do município de Caicó/RN, como também para os órgãos estaduais. Salienta-se que o Governo do Estado do RN contratou uma empresa de consultoria para realizar um estudo de risco semelhante a este, com aspectos de planos de contingência para a barragem em questão com o orçamento em milhões de reais. Essa pesquisa estará disponível a custo zero para os órgãos reguladores estaduais e nacionais.

O “atual plano de contingência” do município de Caicó/RN apresenta algumas limitações, além de diversas dúvidas quanto às principais áreas de risco e possíveis danos. Esse estudo buscou sanar essas lacunas, de forma técnica, responsável e científica. Com o intuito de ser utilizado como arcabouço teórico-metodológico para o ordenamento e planejamento territorial de Caicó/RN, e na elaboração de um plano de ações emergenciais e contingência relacionadas a inundações provenientes de barragens, visto que dentro do município há reservatórios com alto perigo potencial associado.

Do ponto de vista da contribuição do estudo para a ciência, conseguiu-se pioneiramente integrar elementos da engenharia civil e da geografia, essa visão multidisciplinar é pertinente e urgente nos estudos de riscos associados a barragens, visto que há um objeto técnico representando um risco a uma sociedade. Dessa forma, de maneira holística, este estudo contempla essa problemática utilizando uma visão de totalidade.

Embora os objetivos propostos tenham sido elucidados, no decorrer do curso dessa pesquisa

se que devido à extensão da área ser grande, e as baterias do drone limitadas, o tempo de coleta das imagens seria prolongado, encarecendo o serviço. Além disso, o processo de tratamento e conversão das imagens para gerar o *Shapefile* duraria em média 3 meses, em função da ausência de computadores de alta performance no laboratório.

Uma outra tentativa para obter as cotas topográficas, seria por meio de aparelho de GPS RTK (*Real Time Kinematic*), para isso, realizou-se uma simulação do número de pontos de controle que seriam coletados, resultando em mais de 1 mil pontos, dessa forma, a coleta demoraria muitos dias. Entretanto, o nosso departamento na universidade não dispõe deste equipamento, necessitando assim, fazer uma cotação particular para o aluguel do mesmo. Porém, ao realizar o orçamento com a logística de muitos dias em campo com a equipe, o valor se tornou infinitamente inviável e em decorrência dos cortes orçamentários da Universidade, esta não tinha como arcar com tais custos.

Portanto, o procedimento cartográfico realizado neste estudo foi realizado por meio do Satélite *ALOS/Sensor Palsar*, com precisão de 12,5 metros, refinadas através do método de interpolação para 1 metro. Todavia, o modelo não é o mais preciso para indicar cenários de inundações de barragem, visto que áreas que não foram mapeadas podem estar em áreas de risco de inundação, assim como algumas áreas não inundáveis pela onda de cheia podem estar no perímetro delimitado.

Diante das limitações enfrentadas, esse estudo tem o caráter inovador, sendo o único até o presente momento realizado para obter informações de segurança em áreas de risco de medidas de contingenciamento. Essa pesquisa ficará disponível para prefeitura de Caicó/RN sem nenhum ônus ao erário municipal, apresentando-se como instrumento complementar e necessário à tomada de decisões.

O interessante é que ao realizar esta pesquisa, foi constatado que uma barragem do porte da Passagem das Traíras, com uma cidade localizada em um vale a jusante, foi construída em 100 (cem) dias e inaugurada em 1994, pelo então governador do Estado.

Os materiais empregados na construção do maciço da barragem dificilmente sofrem elevados graus de desagregação de concreto, como ocorre na Passagem das Traíras. Percebe-se que há seixos rolados de rios junto ao concreto altamente friável, o material utilizado deveria ser britas no concreto armado com vergalhões de metais. Além disso, é inadmissível que em uma barragem dessa proporção, sendo essa com mais de 25 anos de operação, não tenham sido realizadas inspeções regulares ao longo de seu funcionamento. O órgão responsável pela barragem deixou a barragem verter 2 (duas) vezes sabendo que o reservatório apresentava problemas desde o ano de 2005, onde foram encontradas algumas anomalias estruturais.

132 Há uma pressão da sociedade civil organizada junto ao órgão responsável pela reforma da barragem, aparentemente a Secretaria repassou a responsabilidade ao DNOCS, assim a passos lentos, a barragem sofre algumas intervenções, mas até o presente momento, sem obras no maciço, sob o risco

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais em rios urbanos**: bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº 2/2017/COMAR/SER**. Volume de água acumulado mínimo no reservatório Passagem das Traíras para garantir o abastecimento público de Jardim do Seridó e o consumo humano e a dessedentação animal no entorno no próximo período de estiagem Julho/2017-janeiro/2018). Brasília, DF, 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº 7/2018/COMAR/SER**. Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Passagem das Traíras, no Estado do Rio Grande do Norte. Brasília, DF: Sede da ANA, 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 101/2015/ AA – ANA**. Informa situação de barragens no Rio Grande do Norte. Brasília, DF: Sede da ANA, 2015.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 102/2017/SFI-ANA**. Reservatório Passagem das Traíras - Acumulação mínima de água para garantir os usos prioritários respectivos no próximo período de estiagem. Brasília, DF: Sede da ANA, 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 184/2018/SFI-ANA**. Estabelece restrições operacionais e faz outras solicitações - Barragem Passagem das Traíras/RN. Brasília, DF: Sede da ANA, 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Ofício nº 184/2018/SFI-ANA**. Estabelece restrições operacionais e faz outras solicitações - Barragem Passagem das Traíras. 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Projeto Conceitual da Alternativa Selecionada no Estudo Visando Garantir a Segurança da Barragem Passagem das Traíras**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2019.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Avaliação Técnico Econômica de Alternativas para Garantir a Segurança da Barragem Passagem das Traíras**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Segurança de Barragens 2012-2013**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2013.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Visita Técnica de Inspeção Barragem Passagem das Traíras – São José do Seridó – RN**. Brasília, DF: Sede da ANA, 2005.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório PSB- RGNorte- 01/2005**. Visita Técnica de Inspeção às Barragens no Estado do Rio Grande do Norte. Brasília, DF: Sede da ANA, 2015.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Resolução nº 579**. Aprovar o ato relacionado com classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado, à Categoria de Risco e ao volume. Brasília, DF: Sede da ANA, 2017.

BLAIKIE, P. M. et al. **At risk**: natural hazards, people's vulnerability, and disasters. London: Routledge, 1994.

BOGARDI, J. J. Hazards, risks and vulnerabilities in a changing environment: the unexpected onslaught on human security? **Global Environmental Change**, v. 4, n. 14, p. 361-365, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Governo Federal garante a conclusão de Obras Hídricas no Estado do Rio Grande do Norte**. 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-garante-a-conclusao-de-obras-hidricas-no-estado-do-rio-grande-do-norte> > Acesso em: 26 de dez de 2020.

BRASIL. **Lei n. 12.334 de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm >. Acesso em: 30 agosto 2019.

BRASIL. **Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm >. Acesso em: 30 agosto. 2019.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm >. Acesso em: 30 agosto. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1974. Disponível em: <<http://www>

BRITO, D. M. **Planejamento e ordenamento do espaço de Caicó (RN) na atualidade**. 2016. 58 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó/RN, 2016.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos avançados**, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.

CICONET, Rosani Mortari. **Tempo de resposta de um serviço de atendimento móvel de urgência**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2015.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (CIGB). Risk assessment in dam safety management: A reconnaissance of benefits, methods and current applications. **ICOLD Bulletin**, v. 130, 2005.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens - 50 anos do acidente de Vajont – Itália (1963-2013)**. 2013. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/site_antigo_2013/img/45geral2.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

COSTA, E B.; FERREIRA, T A. Planejamento urbano e gestão de riscos: vida e morte nas cidades brasileiras. **Revista Olam Ciência e Tecnologia (UNESP)**, Rio Claro, v. 10, n. 2, p. 171-196, 2011.

CUNHA, L. H.; COELHO, M. N. Política e Gestão Ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Org). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 43-79.

CUTTER, S. L. **Living with risk: The geography of technological hazards**. Londres: Arnold, 1993.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 3, p. 488-506, 2015.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Positivo, 2010.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1985.

HULSING, H. **Measurement of peak discharge at dams by indirect methods**: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations. 2 ed. Washington: U.S. Government Printing Office, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse Setores Censitários**. 2017. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>> Acesso em: 15 maio 2019.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Register of Dams: General Synthesis**. 2014. Disponível em: <http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp>. Acesso em: 28 set. 2017.

JANSEN, R. B. **Dams and public safety: a water resources technical publication**. Denver: U.S. Government Printing Office, 1982.

empregado pela Sabesp. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (SNGB), 2001, Fortaleza, CE. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens - Anais. Rio de Janeiro: CBDB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 2001. v. 02. p. 535-548.

LAURIANO, A. W. **Estudo de ruptura da Barragem de Funil**: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS. 2009. 193 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

LEAL, A. C. **Gestão urbana e regional em bacias hidrográficas**: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. (Org). Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal/DEPLAN/UNESP/IGCE, 2003. p. 65-85.

LIEBER, R. R.; LIEBER, N. S. R. Risco e precaução no desastre tecnológico. **Cadernos Saúde Coletiva**, n. 13, v. 1, p. 67-84, 2005.

MARICATO, E. MetrÓpole, legislação e desigualdade. **Estudos Avançado**, São Paulo, v. 17, n. 48, p. 151-166, 2003.

MASCARENHAS, F. C. B. **Modelação matemática de ondas provocadas por ruptura de barragens**. 1990. 291 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

MEDEIROS, W. D. A. **Sítios geológicos e geomorfológicos dos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas e Currais Novos, região SeridÓ do Rio Grande do Norte**. 2003. 154 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais, Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

MELO, J. A. B. Ordenamento territorial e sustentabilidade: um diálogo possível? **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 33, p. 220 - 229, 2010.

MENESCAL, R. A. **Gestão da segurança de barragens no Brasil** – Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009. 727 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Segurança de barragens. **Relatório PSB - RGNorte - 01/2005 – “Visita Técnica de Inspeção às Barragens no Estado do Rio Grande do Norte”**, 2005. Disponível em: < <http://documents1.worldbank.org/curated/en/607301468214224973/pdf/E1354010Vol1030Paper.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

MIRANDA, Antônio Nunes de. **Notas de aula: inspeção de barragens**. 2016. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/conhecerh/bitstream/ana/111/1/material_didatico_-_parte_i.pdf>. Acesso em 21 mar. 2019.

MUNASINGHE, M.; CLARKE, C. **Disaster prevention for sustainable development**: economic and policy issues. Washington: World Bank, 1995.

PELLING, M. **The vulnerability of cities**: natural disasters and social resilience. London: Earthscan, 2003.

PERES, R B.; SILVA, R. S. A relação entre planos de bacia hidrográfica e planos diretores municipais: análise de conflitos e interlocuções visando políticas públicas integradas. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5, 2010, Florianópolis/SC. **Anais [...]**. Florianópolis, 2010.

cias. Secretaria de infraestrutura e urbanismo, Caicó/RN, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ. **Lei nº 4.722 / 2014, de 26 de setembro de 2014**. Dispõe sobre o Código de Obras do Município de Caicó (RN) e dá outras providências. Secretária de infraestrutura e urbanismo, Caicó/ RN, 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAICÓ. **Lei Orgânica do Município de Caicó (RN), de 04 de abril de 1990**. Disponível em: <<http://www.caico.rn.gov.br/post.php?codigo=633>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

QUARANTELLI, E. L. **What is a disaster?** Perspectives on the question. Psychology Press, 1998.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto Nº 16.038, de 2 de maio de 2002**. Regulamento Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Norte. Natal/RN. 2002.

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 6.908, de 1º de julho de 1996**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências. Palácio de Despachos de Lagoa Nova, Natal/RN, 1996.

RIO GRANDE DO NORTE. **Portaria nº 10, de 16 de novembro de 2017**. Estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem, do Plano de Ação de Emergência e a qualificação dos responsáveis técnicos e a periodicidade de execução destas atividades, conforme artigos 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Natal, RN. 2017.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 28.820, de 30 de abril de 2019**. Institui o Comitê Permanente de Acompanhamento e Monitoramento de Barragens do Rio Grande do Norte (CPAMB/RN) e dá outras providências. Natal, RN. 2019.

SALVADOR, D.S.C.O.; BRITO, D. M. Planejamento e ordenamento do território urbano de Caicó (RN) na atualidade. **Geografia em Questão**, v. 11, n. 1, p. 157-173, 2018.

SANTOS, M. **Espaço e método**. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado**: Fundamentos Teóricos e Metodológicos da Geografia. 5 ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SANTOS, M. P. **Lei de delimitação de bairros**: Relevância para o planejar e o ordenar o espaço urbano de Caicó (RN). 2018. 37f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó/RN, 2018.

SCHNITTER, N. J. **A history of dams**: the useful pyramids. Rotterdam: Balkema, 1994.

SCHNITTER, N. J. **Roman dams**: Water Supply and Management. Londres: Pergamon Press, 1979.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Elaboração do projeto executivo para recuperação/manutenção da Barragem Passagem das Traíras**. Natal, RN. 2017.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Estudo e elaboração do projeto executivo para Recuperação/manutenção da barragem Passagem das Traíras – contrato no 009/2018-SEMARH**. Natal, RN. 2019.

da Barragem. Natal, RN, 2010.

SECRETARIA MUNICIPAL DE TRIBUTAÇÃO E FINANÇAS. **Valores do metro quadrado dos bairros de Caicó a partir do cadastro do IPTU.** Centro administrativo. Caicó, RN. 2019.

SILVA, A. W. **Engenharia nos sertões nordestinos: o Gargalheiras, a Barragem Marechal Dutra e a comunidade de Acari, 1909-1958.** 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SMITH, K. **Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster.** 3 ed. London: Routledge, 2001.

SOUZA, J. L. de. **A avaliação da percepção da população face ao risco de desastre tecnológico na Barragem Gargalheiras, Acari/RN – Brasil.** 2018. 204 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SUERTEGARAY, D. M. As representações no geográfico. In: MENDONÇA, F.; KOZEL, S. (Org.). **Elementos de epistemologia da Geografia contemporânea.** Curitiba, UFPR, 2002.

STRUCTURAE. 2008. **Sadd-el-Kafara Dam.** Disponível em: <<https://structurae.net/structures/sadd-el-kafara-dam>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

UNISDR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate.** Geneva, Switzerland: UNISDR, 2009.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy.** Paris: UNESCO, 2014.

VERÓL, A. P. **Simulação da propagação de onda decorrente de ruptura de barragem, considerando a planície de inundação associada a partir da utilização de um modelo pseudo-bidimensional.** 2010. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

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

VIANNA, L. F. V. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão.** 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2015.

VILLAÇA, F. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. (Orgs.). **O processo de urbanização no Brasil.** São Paulo: Edusp, 2002, p. 168-243.

WHITE, G. F.; KATES, R. W.; BURTON, I. Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. **Environmental Hazards**, v. 3, n. 3, p. 81-92, 2001.

WILLIINGHOEFER, M. **Avaliação do Risco de Rompimento da Barragem de uma Pequena Central Hidrelétrica na Bacia do Rio do Peixe/Bonumá.** 2015. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, SC, 2015.

ZANIRATO, S. H. et al. Sentidos do risco: interpretações teóricas. **Revista Bibliográfica de**











