



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

SAMUEL MARTINS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DE ANOMALIAS EM BARRAGEM DE TERRA: ESTUDO DE CASO
DA BARRAGEM ANGICOS DA CIDADE DE JOSÉ DA PENHA – RN**

PAU DOS FERROS - RN

2024

SAMUEL MARTINS BARBOSA

**AVALIAÇÃO DE ANOMALIAS EM BARRAGEM DE TERRA: ESTUDO DE CASO
DA BARRAGEM ANGICOS DA CIDADE DE JOSÉ DA PENHA – RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís de Oliveira Pinto
Filho

PAU DOS FERROS - RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B238a Barbosa, Samuel Martins.
 AVALIAÇÃO DE ANOMALIAS EM BARRAGEM DE TERRA:
 ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM ANGICOS DA CIDADE DE
 JOSÉ DA PENHA ? RN / Samuel Martins Barbosa. -
 2024.
 53 f. : il.

 Orientador: Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2024.

 1. Barragem Angicos. 2. Projeto de Integração
 do Rio São Francisco. 3. Anomalia. I. Pinto
 Filho, Jorge Luís de Oliveira , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SAMUEL MARTINS BARBOSA

**AValiação de Anomalias em Barragem de Terra: Estudo de Caso
da Barragem Angicos da Cidade de José da Penha – RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Ferreiros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

DATA DA APROVAÇÃO: 19/04/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JORGE LUIS DE OLIVEIRA PINTO FILHO**
Data: 26/04/2024 08:29:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutor Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **JOSE DANIEL JALES SILVA**
Data: 26/04/2024 09:39:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutor José Daniel Jales Silva (UFERSA)
Examinador

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA**
Data: 26/04/2024 09:23:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutor Leonardo Henrique Borges de Oliveira (UFERSA)
Examinador

Manoel Barbosa dos Santos (*In Memoriam*).

Júlia Santana Leite (*In Memoriam*).

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu bom e santo Deus por sempre me abençoar e guiar meus passos nessa jornada que é a faculdade.

Agradeço aos meus pais, Paulo Santana Barbosa e Lígia Martins Leite Santana Barbosa pela educação, esforço e tudo que puderam me passar para que eu pudesse chegar aqui.

Agradeço ao meu irmão Emanuel Martins Barbosa e por toda a família que me ajudou de forma direta e indiretamente para que eu pudesse realizar essa conquista.

Agradeço a minha namorada, Maria Mirelle Benedito de Lucena por todo apoio e incentivo.

Agradeço aos meus amigos e em especial a Lucas Leite.

Agradeço ao meu orientador Dr. Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho por toda ajuda para a realização do meu trabalho de conclusão.

Agradeço a banca examinadora pela disponibilidade em avaliar e propor melhoras para meu trabalho.

RESUMO

O presente trabalho propõe uma análise da Barragem Angicos, localizada em José da Penha - RN, com foco no monitoramento e análise patológica. A metodologia empregada combina elementos qualitativos e observacionais, incluindo levantamento fotográfico, análise visual, diagnóstico preliminar e análise comparativa. Além disso, são abordados aspectos históricos e construtivos da Barragem Angicos, proporcionando uma visão contextual sobre sua origem. Um levantamento das condições gerais da barragem é realizado, fornecendo uma compreensão abrangente de sua situação atual e destacando áreas de preocupação que requerem atenção. Propõe-se aprimorar a gestão de riscos e implementar medidas preventivas e corretivas adequadas. Em conclusão, destaca-se a importância do engajamento contínuo de especialistas, autoridades e comunidades locais na busca por soluções eficazes que assegurem a segurança da Barragem de Angicos, preservando os recursos hídricos e promovendo o bem-estar das populações envolvidas.

Palavras-chave: Barragem Angicos. Projeto de Integração do Rio São Francisco. Anomalia.

ABSTRACT

The present work proposes an analysis of the Angicos Dam, located in José da Penha - RN, focusing on monitoring and pathological analysis. The methodology used combines qualitative and observational elements, including photographic survey, visual analysis, preliminary diagnosis and comparative analysis. Furthermore, historical and constructive aspects of the Angicos Dam are covered, providing a contextual view of its origin. A survey of the general condition of the dam is carried out, providing a comprehensive understanding of its current status and highlighting areas of concern that require attention. It is proposed to improve risk management and implement appropriate preventive and corrective measures. In conclusion, the importance of the continuous engagement of experts, authorities and local communities in the search for effective solutions that ensure the safety of the Angicos Dam, preserving water resources and promoting the well-being of the populations involved, is highlighted.

Keywords: Angicos Dam. São Francisco River Integration Project. Anomaly.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1: Elementos básicos de uma barragem</u>	20
<u>Figura 2: Exemplo de barragem de regularização</u>	22
<u>Figura 3: Aparição da vegetação</u>	23
<u>Figura 4: Pilares da segurança das barragens</u>	27
<u>Figura 5: Mapa de localização do PISF e eixos associados.</u>	28
<u>Figura 6: Execução do canal</u>	29
<u>Figura 7: Volume entregue aos Estados, Eixo Norte (2017– 2023).</u>	29
<u>Figura 8: Mapa do Município da Área de Estudo.</u>	33
<u>Figura 9: Barragem Angicos</u>	36
<u>Figura 10: Barragem Angicos</u>	38
<u>Figura 11: Entorno da Barragem Angicos</u>	39
<u>Figura 12: Entorno da Barragem Angicos</u>	40
<u>Figura 13: Crista da Barragem Angicos</u>	41
<u>Figura 14: Vertedouro da barragem Angicos</u>	42
<u>Figura 15: Medição do nível d'água</u>	43
<u>Figura 16: Anomalia aparente na Barragem Angicos</u>	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Legenda de situações	37
Quadro 2: Legenda de magnitude e nível de perigo	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação de k	20
Tabela 2: Volume entregue aos Estados, Eixo Norte (2017– 2023).....	31
Tabela 3: Ficha técnica.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
ACT	Acordo de Cooperação Técnica
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
CCV	Estrutura de concreto convencional
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ICOLD	Comissão Internacional de Grandes Barragens
IFOCS	Instituto Federal de Obras Contra as Secas
IOCS	Instituto Obras Contra as Secas
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
PAE	Plano de Atendimento Emergencial
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança da Barragem
SINIMA	Sistema Nacional de Informações Ambientais
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVOS GERAIS	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. JUSTIFICATIVA.....	18
4. REVISÃO TEÓRICA.....	19
4.1 BARRAGENS.....	19
4.2 ANOMALIAS EM BARRAGENS DE TERRAS.....	22
4.3 ASPECTOS LEGAIS DE UMA BARRAGEM	24
4.4 ANÁLISE DE RISCOS DE BARRAGENS.....	26
4.7 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO.....	27
5. METODOLOGIA	31
5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	31
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	33
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
6.1 ASPECTOS HISTÓRICOS CONSTRUTIVOS DA BARRAGEM.....	35
6.2 LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES GERAIS DA BARRAGEM.....	36
6.3 ANOMALIAS DA BARRAGEM.....	40
6.4 ANÁLISE DE RISCOS DA BARRAGEM.....	43
7. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Souza (2017), as barragens são identificadas como estruturas fundamentais para garantir a oferta de insumos básicos necessários à população. Assim, a construção de uma barragem pode viabilizar a satisfação das necessidades agrícolas, como a irrigação para o cultivo de alimentos, o controle de enchentes, a exploração hidrelétrica em uma determinada bacia hidrográfica, a facilitação da navegação fluvial, a criação de áreas de lazer e outros serviços em resposta ao crescimento populacional.

As barragens são importantes para a sociedade, porque proporcionam usos múltiplos da água (geração de energia, abastecimento de água, controle de cheias, irrigação, lazer, etc.) e o desenvolvimento econômico e social de municípios, regiões e países (Monte et al., 2017).

No Brasil, por exemplo, ocorrem em média oito desastres com barragens por ano, devido ao rompimento parcial ou total da estrutura e, principalmente, a eventos de chuvas intensas. No período entre 2011 a 2020 foram registrados 83 acidentes (Ana, 2021). No país, os dois maiores acidentes relacionados ao rompimento de barragens ocorreram nos municípios de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambos no estado de Minas Gerais. O rompimento da barragem de Mariana causou a morte de 19 pessoas e danos à comunidade a jusante, deixando milhares de pessoas sem água e sem trabalho. Já o rompimento da barragem de Brumadinho, chamada Mina Córrego do Feijão, causou vários danos materiais à população a jusante, deixando vários desabrigados e ocasionando a morte de mais de 300 pessoas (Rezende e Silva, 2019).

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).

Os responsáveis pelas barragens brasileiras têm-se mostrados preocupados com a saúde de suas barragens. Segundo o Instituto de Engenharia - IE, anualmente, muitas barragens rompem no país, e destaca que em reunião técnica realizada na Agência Nacional de Águas - ANA, horas antes da tragédia da barragem de Algodões no Piauí em 2009, falou-se em 800 acidentes ou incidentes com barragens brasileiras nos últimos oito anos. Ou seja, em média, a cada três ou quatro dias, uma barragem apresenta graves problemas no Brasil (Sayão, 2015).

Segundo o Comissão Internacional de Grandes Barragens - ICOLD (2014), há aproximadamente 39.188 barragens registradas globalmente, das quais 1.431 estão situadas no Brasil, especialmente na região semiárida do Nordeste. As barragens nessa área foram construídas por entidades como o Instituto Obras Contra as Secas - IOCS, Instituto Federal de

Obras Contra as Secas - IFOCS e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, com o objetivo de enfrentar a escassez de água na região. Essas estruturas, datando em grande parte do século XX, operam há um período considerável sem acompanhamento e manutenção adequados, o que ocasionalmente resulta em anomalias.

Os acidentes em barragens provocaram sempre, reações da sociedade em todo o mundo, levando a tentativas diversas de regulamentação legal, que obrigue os proprietários de barragens a tomarem providências efetivas de redução de riscos. Nos países mais desenvolvidos, como USA, Canadá, diversos países da Europa, Austrália, África do sul estas ações resultaram em regulamentações sobre a segurança de barragens e estes países contam com legislação sobre o assunto (Ávila, 2017).

A Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, também conhecida como Lei de Segurança de Barragens, foi responsável por estabelecer a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Ao levar em consideração diversos aspectos, a lei definiu atribuições e estratégias de controle para garantir as condições de segurança das barragens. Isso incluiu a categorização dessas estruturas de acordo com os diferentes níveis de riscos e os possíveis danos associados. Essa legislação desempenha um papel crucial na gestão da segurança das barragens, sendo essencial para o contexto abordado neste trabalho.

Segundo Divino (2010), o estágio mais delicado no processo de construção de uma barragem é durante o enchimento do reservatório. Nesse contexto, ele descreve esse período como crucial para validar os cálculos estruturais realizados pelo projetista, e é também a melhor oportunidade para avaliar o comportamento da estrutura. É durante esse período que ocorre a saturação das camadas e o surgimento de possíveis anomalias.

A legislação federal de número 12.334, estabelece as diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens, com todas as suas disposições já devidamente regulamentadas. Segundo o texto legal, a responsabilidade pela gestão e regulamentação das barragens recai sobre as entidades oficiais incumbidas das outorgas ou dos direitos pertinentes a essas estruturas. Por exemplo, a Agência Nacional de Mineração - ANM supervisiona as barragens de rejeitos, enquanto a gestão das barragens de usos múltiplos é atribuição da Agência Nacional de Águas - ANA. Por sua vez, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL é responsável pela regulação das barragens hidrelétricas. As demais barragens são supervisionadas pelas entidades responsáveis pela concessão das licenças ambientais necessárias para sua instalação e operação.

Com base nessas categorizações, os encarregados legais da barragem, bem como os empreendedores e seus respectivos responsáveis técnicos, são incumbidos de elaborar e implementar o Plano de Segurança da Barragem. Esse processo ocorre conforme metodologias e procedimentos apropriados, visando assegurar condições de segurança adequadas tanto durante a construção quanto na operação e manutenção. A execução dessas medidas é supervisionada pelos órgãos públicos competentes (Ana, 2015).

2. OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos que se pretende atingir com a realização da pesquisa aqui sugerida, de modo geral e também de modo específico:

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é investigar algumas anomalias da Barragem Angicos, localizada na cidade de José da Penha, RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os aspectos históricos construtivos da Barragem de Angicos em José da Penha-RN;
- Descrever as Condições Gerais da Barragem de Angicos em José da Penha-RN;
- Identificar as Anomalias da Barragem de Angicos em José da Penha-RN;

3. JUSTIFICATIVA

A escolha da Barragem Angicos, localizada na cidade de José da Penha, RN, como objeto de estudo para este trabalho de conclusão de curso se fundamenta na relevância crítica do tema, dada a complexidade e importância das barragens na gestão hídrica e no desenvolvimento regional. Além disso, a análise patológica busca identificar e caracterizar as anomalias presentes na barragem, visando não apenas a correção de falhas, mas também a prevenção de potenciais ameaças que possam comprometer sua estabilidade.

A discussão do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) é relevante para o TCC devido à sua importância nacional na segurança hídrica e desenvolvimento regional. Analisar o PISF aborda desafios socioeconômicos, ambientais e políticos significativos, além de contribuir para entender a gestão de recursos hídricos, impactos ambientais e políticas públicas no Brasil.

A justificativa para esta pesquisa também se embasa na importância de apresentar riscos ambientais associados à operação da barragem, considerando o contexto regional e os impactos que um eventual colapso poderia acarretar para a comunidade local e o meio ambiente circundante.

4. REVISÃO TEÓRICA

4.1 BARRAGENS

Do ponto de vista prático, pode-se argumentar que a água exibe uma notável falta de compressibilidade e oferece pouca resistência ao cisalhamento. Essas propriedades possibilitam que, quando submetida a pressões consideráveis, ela consiga penetrar microfissuras e poros, exercendo pressões significativas que podem eventualmente levar à falha de grandes estruturas rochosas.

O solo é um meio contínuo composto por materiais presentes em três estados distintos: sólido (partículas do solo em si), líquido (água) e gasoso. Os espaços vazios dentro do solo estão intimamente ligados à sua porosidade, caracterizando-o como saturado quando preenchidos por água ou seco quando ocupados por ar. A presença da água nesses espaços cria redes de fluxo, permitindo sua circulação, fenômeno conhecido como percolação. Enquanto a água flui através do solo, exerce forças que afetam seu estado de tensão. Mudanças no padrão de fluxo influenciam os valores de pressão neutra e, por conseguinte, de pressão efetiva dentro do solo.

A medida da permeabilidade é representada numericamente pelo coeficiente de permeabilidade do solo, denotado como k , indicando a capacidade do solo de permitir o fluxo de água através dele (ver Tabela 1). Esse parâmetro apresenta uma ampla variedade de valores, abrangendo de oito a nove ordens de grandeza, dependendo do tipo de solo.

Tabela 1: Variação de k .

Tipo de Material	Permeabilidade (cm/s)
Areia grossas	10^{-2} a 5×10^{-2}
Areia média	10^{-2}
Areia fina	10^{-3}
Concreto	10^{-9}
Pedregulhos	10^{-1}
Rochas maciças	10^{-9} a 10^{-10}
Solos porosos	10^{-2} a 10^{-4}

Fonte: Autor (2024)

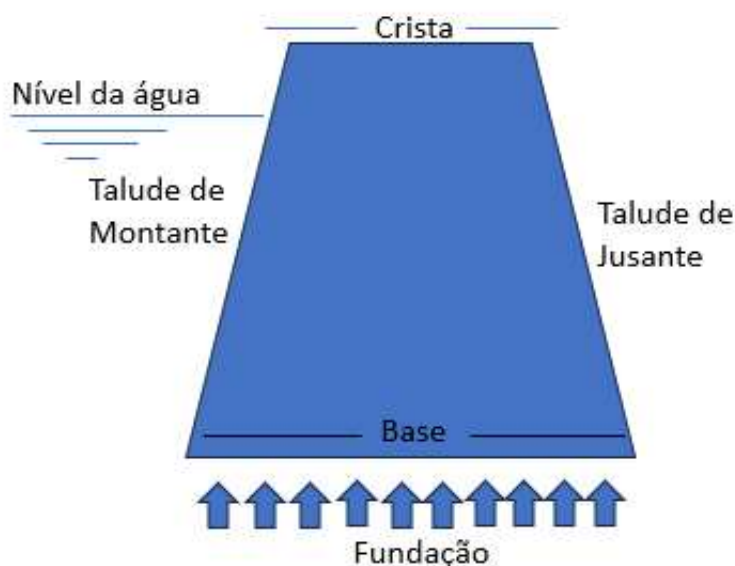
O coeficiente de permeabilidade k pode ser obtido em ensaios feitos em laboratório e ensaios in situ, sendo esses últimos realizados com maior frequência por apresentarem resultados satisfatórios e menor custo (Ferraz et al., 2015).

Embora sejam muito utilizadas, as barragens são estruturas geralmente associadas a um grande risco em potencial devido à possibilidade de ocorrência de acidentes, como, por

exemplo, a ruptura da estrutura, envolvendo consequências catastróficas para população próxima ao empreendimento, com a possibilidade de causar danos ambientais, econômicos e materiais, além do risco de perda de vidas humanas (Zuffo, 2015).

As principais vantagens na construção de barragens de terra são a utilização de materiais naturais locais, a simplicidade dos procedimentos de projeto construtivo, a menor exigência de requisitos para as fundações, o baixo custo e a facilidade de construção. Contudo, esse tipo de estrutura também apresenta algumas desvantagens, tais como a facilidade de danificação pela ação da água corrente, a necessidade de acompanhamento e fiscalização quanto à compactação adequada para que a estrutura não apresente infiltração e recalque, e a necessidade de manutenção contínua para evitar erosão, crescimento de árvores, sedimentação, e danos provocados por animais (Abreu, 2015).

Figura 1: Elementos básicos de uma barragem.



Fonte: Adaptado por FRITZEN (2008)

A administração dos recursos hídricos em uma determinada área de bacia hidrográfica visa primordialmente assegurar a utilização e o direcionamento adequados da água, tanto em termos de quantidade, quanto de qualidade. Para alcançar esse propósito de maneira eficaz, é fundamental possuir informações detalhadas sobre os padrões de fluxo e movimento, incluindo, por exemplo, a precisão na estimativa da vazão

Dessa forma, métodos mais simples, rápidos e menos onerosos que forneçam dados aplicáveis e confiáveis são uma excelente alternativa para estudos de hidrometria aplicados em uma bacia hidrográfica (Costa et al., 2007).

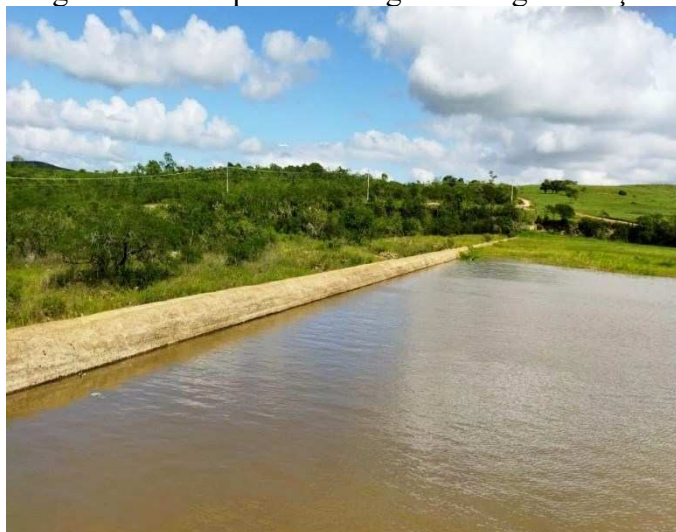
A função dos vertedouros é passar as enchentes com segurança pela seção da barragem, evitando seu transbordamento. É um órgão de descarga cuja frequência de operação depende muito das dimensões relativas do reservatório – volume útil em termos do deflúvio médio anual (Pinto, 1987).

Na construção de vertedouros, é comum empregar cristas executadas em concreto liso e moldadas conforme técnicas estabelecidas, com o intuito de garantir pressões adequadas e garantir o desempenho estrutural livre de complicações. A canalização que se estende a partir da estrutura da crista geralmente é preparada com uma superfície lisa para mitigar os riscos associados à cavitação, especialmente quando exposta a escoamentos de alta velocidade.

Barragens são caracterizadas como barreiras ou estruturas que atravessam rios ou canais com o objetivo de restringir e controlar o fluxo da água ao longo de um desnível. A diversidade nos formatos das barragens, incluindo comprimento, altura, espessura e os materiais utilizados na sua composição, é justificada pelas diferentes finalidades das barragens e pela localização geográfica específica (Cbdb, 2011).

As barragens podem ser categorizadas em dois amplos grupos: barragens de regularização ou de contenção. No grupo de regularização estão inseridas aquelas que visam regularizar o regime hidrológico de um rio, armazenando água durante períodos de maior afluência do que a demanda, para utilização durante períodos de déficit de afluência em relação à demanda. Essas barragens podem ter finalidades diversas, como abastecimento de água, navegação, turismo, piscicultura, controle de enchentes e geração de energia elétrica, sendo denominadas hidrelétricas. Por outro lado, as barragens de contenção são estruturas projetadas para reter água temporariamente ou acumular sedimentos, resíduos industriais ou rejeitos de mineração (Costa, 2012 E Souza, 2009).

Figura 2 : Exemplo de barragem de regularização.



Fonte: Sergipe – Governo do Estado (2024)

A Ana (2015) e o Icold (2020b) retratam, que com o desenvolvimento tecnológico e das civilizações, o número de barragens construídas aumentou, apresentando dimensões cada vez maiores, para projetos de usos múltiplos, sendo de suma importância para países em desenvolvimento pela possibilidade do retorno social e econômico a partir de um único investimento.

Com o propósito de classificar as barragens, a categoria de risco crítico leva em conta os atributos da estrutura, a condição de manutenção do empreendimento e a conformidade com o plano de segurança. Seguindo essa abordagem, as barragens podem ser classificadas como apresentando risco elevado, moderado ou baixo.

4.2 ANOMALIAS EM BARRAGENS DE TERRAS

Conforme indicado no Guia Prático para Empreendedores acerca da Proteção de Estruturas de Contenção de Água (2016), uma irregularidade em barragens de terra é caracterizada por qualquer falha, divergência, exceção ou alteração que possa comprometer a integridade, tanto a curto quanto a longo prazo. Para avaliar essas irregularidades, é crucial reconhecer suas categorias, compreender suas consequências para a segurança da estrutura e aplicar medidas corretivas apropriadas.

Barragens de terra são aquelas que possuem o solo como parte de sua constituição. E são divididas em dois tipos: zonadas, nas quais são feitos zoneamentos de materiais terrosos em função das características de permeabilidade e homogênea ou seja tipos diferentes de solos na sua composição ou quando há predominância de um único material (embora possam ocorrer

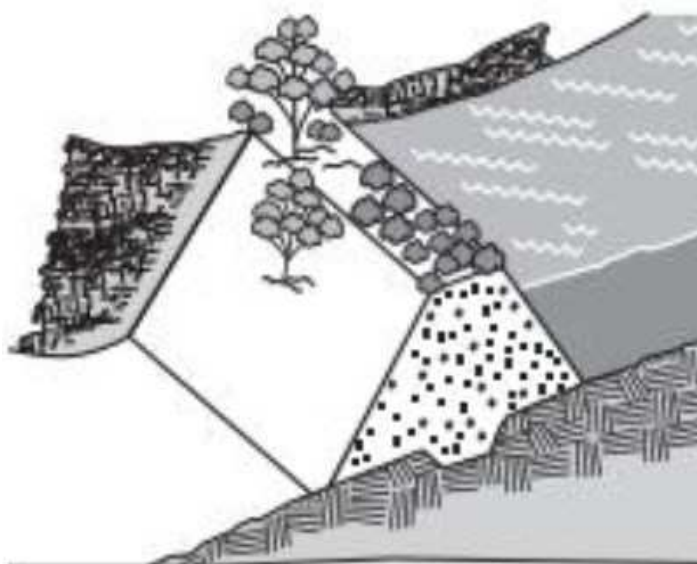
elementos como filtros, Rip rap, etc.) (Civil, 2019).

Percolação é o fenômeno da passagem de água pelo maciço da fundação. Esta pode se tornar um problema quando o solo é levado pelo fluxo da água, ou quando a pressão na barragem ou na fundação aumentam. Quando ela não possui um controle por drenagem interna incorporada na própria barragem e fundação é denominada percolação não controlada. (Brasil, 2002).

As trincas no maciço se enquadram nas três categorias: trincas de ressecamento (devido ao ressecamento e contração do solo), trincas transversais e trincas longitudinais. A primeira delas ocorrem na crista ou no talude de jusante; as trincas transversais são perigosas, pois prosseguem até o nível abaixo da cota de reservação, podendo criar um caminho de percolação concentrado (indicam a presença de recalques diferenciais dentro do aterro ou da fundação); o último tipo ocorre na direção paralela ao comprimento da barragem, que podem permitir a penetração de água no maciço (Brasil, 2002).

Devido à falta de manutenção é natural o surgimento de árvores e arbustos ao longo do corpo do reservatório (Figura 3). Em barragens que não existem tráfegos de veículos é mais comum a existência desse tipo de anomalia, fazendo necessário conhecer a sua natureza, densidade e tamanho (Manual do empreendedor sobre segurança de barragens, 2016).

Figura 3: Aparição da vegetação.



Fonte: Manual de Segurança e Inspeções de Barragens (2002).

Sua formação começa a partir do desgaste do talude, acontece normalmente de forma localizada e seu surgimento geralmente é formado pelo escoamento das águas da chuva, das ondas formadas a partir do vento e de trilhas de animais (Manual do empreendedor sobre segurança de barragens, 2016).

Quando o material utilizado no maciço da barragem tem uma perda de resistência ou acontece à falta dele, pode ocorrer o deslizamento. Essa perda de resistência pode ocorrer devido a infiltrações no interior do corpo da barragem ou pela falta de suporte da fundação. Isso pode causar deslizamentos do maciço, onde pode resultar em um colapso estrutural ou até um transbordamento. É necessário medir a extensão e o deslocamento do escorregamento (Manual de segurança e inspeções de barragens, 2002).

4.3 ASPECTOS LEGAIS DE UMA BARRAGEM

Com a finalidade de assegurar as condições de segurança, é necessário realizar revisões periódicas nas barragens, levando em conta possíveis alterações decorrentes do envelhecimento e da deterioração das estruturas, bem como outros fatores, como o aumento da ocupação nas áreas a jusante dos vales (Silveira, 2003).

Foi instituído o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH através da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), assumindo a coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Com o Decreto Federal nº 2.612/98 se deu a regulamentação do CNRH. Foi revogado pelo Decreto Federal nº 4.613/2003, e novamente revogado pelo atual Decreto nº 10.000/2019 (BRASIL, 2019). Foram implementados diversos mecanismos, como o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB); o sistema de categorização de barragens de acordo com o nível de risco e o potencial de danos associados; o Plano de Segurança de Barragens; o Sistema Nacional de Informações Ambientais (Sinima); o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Proteção Ambiental; o Cadastro Técnico Federal de Atividades com Potencial Impacto Ambiental ou de Utilização de Recursos Naturais; e o Relatório de Segurança de Barragens.

Devido aos registros de eventos adversos que causaram impactos sobre o meio ambiente e suas relações, entende-se que a sociedade ficará cada vez mais exigente em metas públicas de fiscalização, em obras de barramento (Fontenele, 2007).

Aos fiscalizadores foi atribuída a responsabilidade pela classificação das barragens a partir dos critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, a fiscalização e manutenção do cadastro das estruturas sob a jurisdição e a definição pela obrigatoriedade de elaboração do Plano de Ação de Emergência - PAE (Brasil, 2010).

A ruptura de uma barragem, embora seja um acidente raro em termos relativos, pode estar associada a danos potenciais muito significativos. Embora quando bem projetada, construída e operada, a probabilidade de ocorrência é grande, principalmente para grandes barragens com vales a jusante densamente ocupados. O prejuízo material não se resume à destruição da obra em si, visto que recursos são perdidos com a inundação do vale. No que diz respeito à possibilidade de perdas de vidas humanas, o dano se mostra ainda mais alto (Viseu, 2013).

O Plano de Ação de Emergência - PAE é o instrumento que estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificar os agentes a serem notificados dessa ocorrência, estando este sempre disponível no empreendimento, nas prefeituras envolvidas, encaminhado às autoridades competentes e aos órgãos de defesa civil, devendo neste instrumento contemplar (Aneel, 2015).

Com base nessas categorias, os responsáveis legais pela barragem, assim como os empreendedores e os responsáveis técnicos designados por eles, apresentam o desenvolvimento e a implementação do Plano de Segurança da Barragem. Este processo segue metodologias e procedimentos apropriados, visando assegurar as condições de segurança necessárias durante a construção, operação e manutenção, sendo sujeito à fiscalização por parte dos órgãos públicos competentes (Ana, 2015).

Em 2016, a ANA lançou sua Resolução nº 132, de 22 de fevereiro de 2016, imbuída de sua atribuição enquanto órgão fiscalizador, estabeleceu os critérios de classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado - DPA, complementando os critérios já estabelecidos pela Resolução CNRH nº 143/2012 (Ana, 2016).

A Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB estabelece também a obrigatoriedade de aviso imediato dos organismos fiscalizadores à ANA e ao Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC sobre a não conformidade que possa desencadear em um risco imediato a segurança da estrutura sob sua fiscalização (Sedec, 2020).

O Acordo de Cooperação Técnica - ACT criou o Grupo de Informações de Emergências em Barragens, com a finalidade do intercâmbio de informações técnicas de forma rápida e segura durante emergências em barragens, cujos gestores têm acesso a situações emergenciais, decidem ações em conjunto e informam a alta cúpula do governo federal (Sedec, 2020).

4.4 ANÁLISE DE RISCOS DE BARRAGENS

A análise de estabilidade de taludes tem como objetivo avaliar a possibilidade de ocorrência de deslizamentos de massas de solo nos taludes naturais ou construídos (Gerscovich, 2012).

De acordo com Gerscovich (2012), a ruptura de um talude é descrita como um processo no qual ocorre a formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa de solo. Durante esse fenômeno, uma camada de solo ao redor da superfície de cisalhamento perde suas características originais, resultando na formação da zona cisalhada.

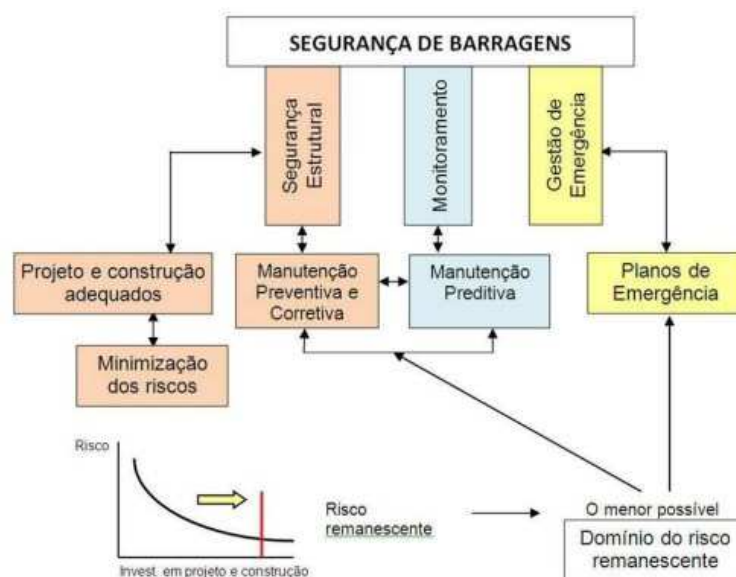
Em uma análise de riscos, devem ser considerados os danos à imagem da organização responsável pela obra, as perdas econômicas, os impactos ambientais e, principalmente, a probabilidade de perda de vidas humanas. Existindo a possibilidade de perda de vidas, os limites de aceitabilidade são distintos em função do tipo de risco em análise: risco individual ou risco coletivo. Desta forma, existe entre os proprietários e engenheiros responsáveis pela análise de riscos, dificuldades no entendimento do conceito e na aceitabilidade dos riscos, sendo esta uma das maiores dificuldades da avaliação de riscos.

Regularmente, uma barragem é dita segura quando atende aos critérios de segurança estrutural, ou seja, possui conformidade entre projeto, execução e manutenção, de maneira que possa garantir o funcionamento correto. Entretanto, também deve ser considerado o potencial de danos que uma possível ruptura no barramento pode provocar. Isso retrata diretamente a sensação de segurança que é passada pela estrutura. O potencial de dano é, então, calculado levando em conta as áreas de influência a montante e a jusante da barragem (Aguar et al., 2015).

As causas mais comuns de falhas em barragens são o galgamento, que é o transbordamento do reservatório, estimado em aproximadamente 40% de ocorrência, e problemas na fundação da estrutura, como percolação e erosão interna (piping), estimado em aproximadamente 30% de ocorrência. Ademais, é possível afirmar que por volta de dois terços das grandes barragens construídas na América Latina estão localizadas no Brasil (Wcd, 2001)

Segurança de barragem é a condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente (Brasil, 2020).

Figura 4: Pilares da segurança das barragens.



Fonte: ANA (2013)

O procedimento de administração de riscos, conforme definido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, compreende fases que abrangem a identificação, análise, avaliação, monitoramento, comunicação, tratamento e prevenção de riscos e acidentes (Ibama, 2016).

Segundo Ana (2017), Dano Potencial Associado é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais. De acordo com a ANA (2017), somente 1,5 % das barragens cadastradas possuem ou apresentaram o PAE.

4.5 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO – PISF

Conforme pesquisado por Ferreira (2019), a proposta de desviar as águas do rio São Francisco surgiu durante o Império, durante o governo de Dom João VI, por volta de 1818, como uma medida para enfrentar a seca no Nordeste.

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR, o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF, doravante denominado de Projeto de Integração do Rio São Francisco ou simplesmente PISF, surge como uma ferramenta para mitigar o grave problema de escassez hídrica de mais de 12 milhões de pessoas do Semiárido nordestino, sendo seu objetivo aumentar a segurança hídrica

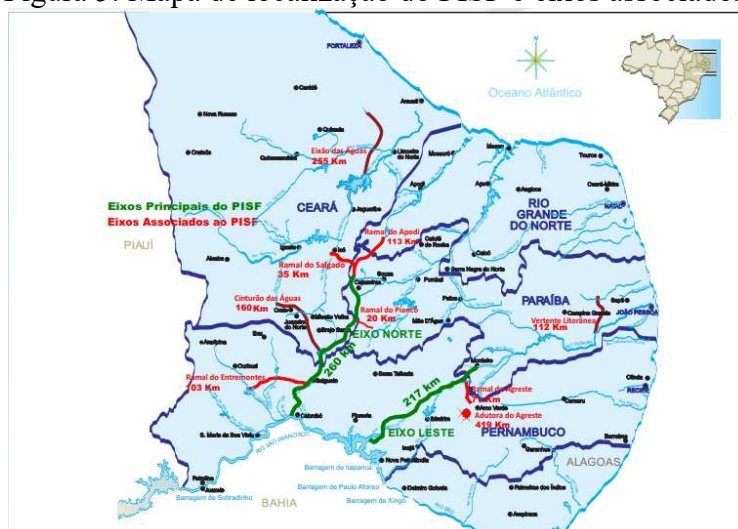
em 390 municípios dos estados do Pernambuco (PE), Ceará (CE), Paraíba (PB) e Rio Grande do Norte (RN) por meio da transferência de volumes de água da bacia do rio São Francisco, cuja oferta é mais estável, para as bacias receptoras, menos estáveis (Mdr, 2019). Figura 5.

Conforme o Ministério do Desenvolvimento Regional, o Trecho IV, conhecido como Ramal do Apodi foi recentemente licitado e tem previsão de conclusão de implantação para o ano de 2025. Este trecho desenvolve-se próximo à divisa dos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, partindo do reservatório Caiçara, componente do Trecho II do Eixo Norte, localizado no município de São José de Piranhas/PB, seguindo em direção ao Estado do Rio Grande do Norte, com extensão de 115,5 km até o ponto de entrega no Açude Público Angicos, já na bacia do rio Apodi (Mdr, 2019).

Sua função principal será o atendimento para disponibilidade hídrica da bacia do Rio Apodi, nas suas regiões do Alto, Médio e Baixo Apodi, e microrregiões da Serra de São Miguel, Pau dos Ferros, Umarizal, Médio Oeste, Chapada do Apodi e Mossoró. Também para atendimento das demandas difusas distribuídas ao longo do seu traçado entre o Ceará, a Paraíba e o Rio Grande do Norte (Mdr, 2019).

A concessão do direito de uso da água no Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) representa um desafio operacional devido à demanda hídrica dos estados receptores e à quantidade de água autorizada para ser canalizada para o sistema. Além disso, a capacidade atualmente instalada no PISF é inferior à capacidade concedida por outorga. Figura 7.

Figura 5: Mapa de localização do PISF e eixos associados.



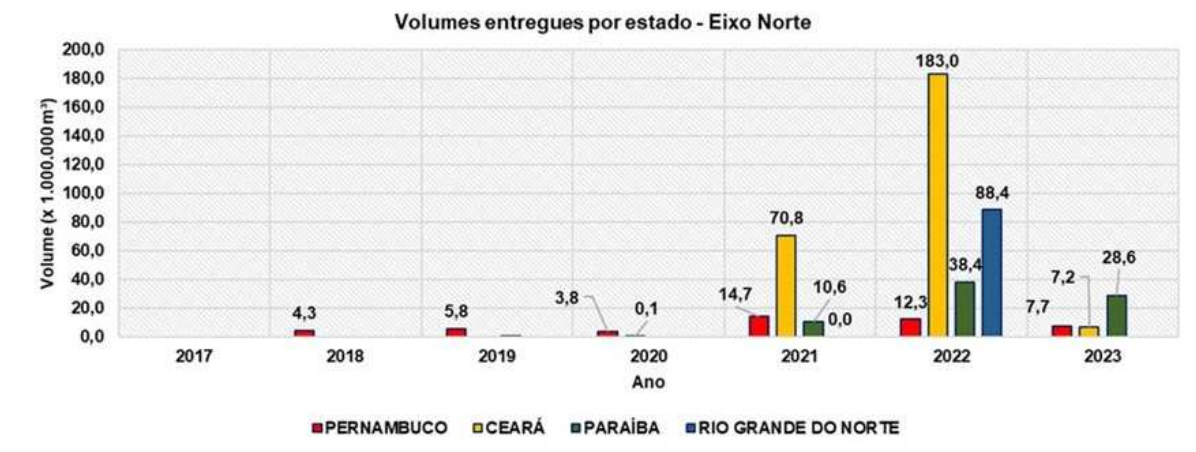
Fonte: GOV (s.n., s.d.)

Figura 6: Execução do canal.



Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos (2023)

Figura 7: Volume entregue aos Estados, Eixo Norte (2017 – 2023). At. 11/08/2023.



Fonte: GOV (2023)

Desde o início das obras o PISF já investiu mais de R\$ 14 bilhões, distribuídos entre os Eixos estruturantes Norte e Leste e os Ramais associados. Os valores investidos ao longo do tempo são mostrados na Tabela 02:

Tabela 2: Volume entregue aos Estados, Eixo Norte (2017 – 2023). At. 11/08/2023.

Período	Valores pagos por estrutura do PISF. (Valores x R\$ 1.000.000)					Total
	Eixo Norte	Eixo Leste	Ramal do Agreste	Ramal do Apodi	Ramal do Salgado	
2008-2010	624,72	1447,66	0,00	0,00	0,00	2072,38
2011-2016	4588,06	2151,03	7,25	0,00	0,00	6743,34
2017-2018	839,07	561,50	145,83	0,00	0,00	1546,40
2019-2022	1329,23	327,30	1576,21	181,79	0,00	3414,53
2023(LOA)	74,82	37,33	23,70	235,73	0,02	375,60
Total	7459,90	4524,81	1752,99	417,52	0,02	14155,25

Fonte: Adaptado por GOV (2023)

A execução física do Ramal do Apodi se encontra com 27,31%, dados consolidados em 08/2023. Ramal do Apodi: Capacidade projetada de 40 m³/s desde a barragem de caiçara até o Km 30, onde ocorre a derivação de 20 m³/s para o Ramal do Salgado, em seguida 20 m³/s. O PISF encontra-se atualmente em pré-operação, que é exercida no Eixo Leste pela Codevasf, e no eixo Norte pelo próprio MIDR. A Codevasf foi nomeada como operadora federal do PISF em 14 de março de 2014, por meio do Decreto nº 8.207/2014, possui a missão de exercer as funções necessárias à operacionalização e à manutenção dos eixos principais do sistema.

Os moradores das localidades próximas às estruturas do Projeto São Francisco poderão ter acesso a essa água. Para isso, precisam seguir quatro etapas previstas pela Resolução ANA nº 2.333/2017. É necessário cumprir todas as etapas porque cada estado precisa planejar o uso da água. O Planejamento é feito todo ano por meio dos Planos Operativos Anuais das Operadoras Estaduais, que informam a quantidade, os locais e quando os estados vão precisar da água. O uso prioritário das águas do PISF é para abastecimento humano. As etapas são descritas a seguir: I - Solicitar autorização para o uso da água: O interessado deverá solicitar à Operadora Estadual a autorização para uso da água do PISF; II - Solicitar a autorização para instalação da estrutura de captação: Após receber a autorização da Operadora Estadual o interessado deverá solicitar a autorização de instalação de estrutura de captação de água à Operadora Federal; III - Assinar contrato de fornecimento de água com a Operadora Estadual: De posse da autorização emitida pela Operadora Federal, o interessado deverá assinar um contrato de fornecimento de água com a Operadora Estadual; IV - Agendar a instalação da estrutura de captação: Após celebrado o contrato de fornecimento de água, o interessado deverá agendar a instalação da estrutura de captação junto à Operadora Federal.

5. METODOLOGIA

5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como um estudo qualitativo, com abordagem de estudo de caso, onde foi feito um exame e coletados os dados. Desse modo, pode-se esclarecer os determinantes para uma situação específica e levantar possibilidades de estudo (Gil, 2019).

Frequentemente, as pesquisas são designadas com a atribuição dos termos pesquisa (ou metodologia) qualitativa ou quantitativa. Sampieri, Callado e Lucio (2013) destacam ainda a ocorrência de estudos concebidos como métodos mistos (ou popularmente conhecidos como quanti-quali), por congregarem ambas as perspectivas teórico-metodológicas.

Segundo Severino (2018), a pesquisa bibliográfica consiste na análise de registros disponíveis provenientes de estudos anteriores, presentes em documentos impressos como artigos científicos, livros, dissertações, teses, entre outros. Nesse tipo de pesquisa, são utilizados dados de categorias teóricas já exploradas por outros pesquisadores e devidamente documentadas.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de José da Penha está localizado na mesorregião Oeste Potiguar, fazendo fronteira com os municípios de Riacho de Santana, Paraná, Major Sales, Marcelino Vieira e Luis Gomes, abrangendo uma área de 96 km². Essa região está incluída na folha Pau dos Ferros (SB.24-Z-A-II), em uma escala de 1:100.000, conforme editado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. A sede do município está a uma altitude média de 264 metros, com coordenadas de 06°19'01,2" de latitude sul e 38°16'51,6" de longitude oeste. Encontra-se a aproximadamente 416 km da capital, com acesso a partir de Natal através das rodovias pavimentadas BR-304 e BR-405.

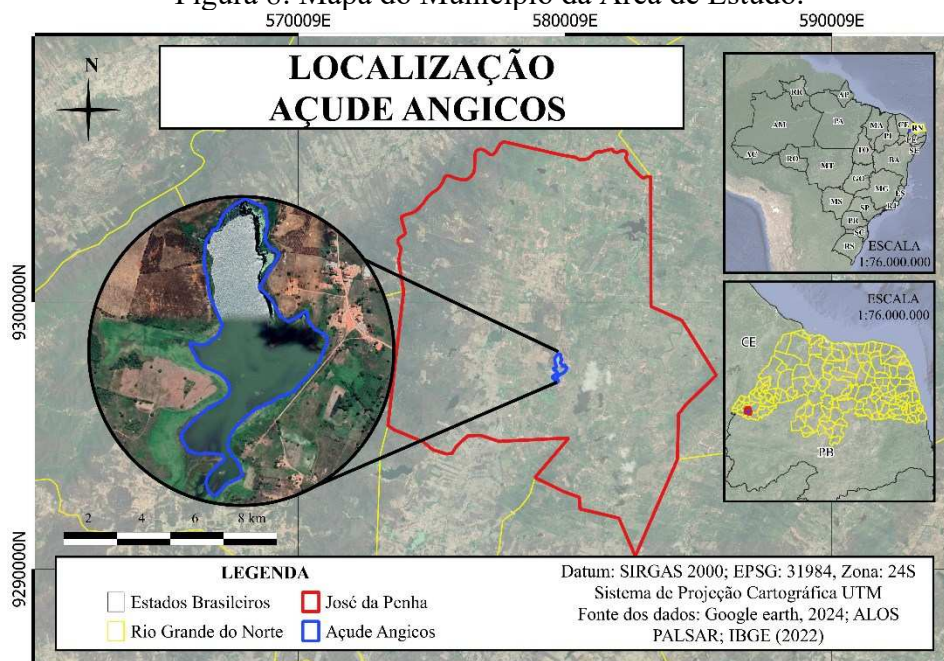
Conforme o Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Rio Grande do Norte: relatório diagnóstico do município de José da Penha. O município de José da Penha foi criado pela Lei nº 2.351, de 31/12/1958, desmembrado de Luís Gomes. O município possui 1.488 domicílios permanentes, sendo 877 na área urbana e 611 na área rural. Destes, 902 estão conectados à rede geral de água, 223 são abastecidos através de poço ou nascente e 363 por outras fontes. Existem apenas 83 domicílios ligados à rede geral de esgotos e 718 têm coleta regular de lixo.

- Clima: clima muito quente e semi-árido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono; Precipitação Pluviométrica Anual: normal: 861,0 mm; Período Chuvoso: fevereiro a maio; Umidade Relativa Média Anual: 66%.

A Formação Vegetal é Caatinga Hiperxerófila - vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhadas. Entre outras espécies destacam-se a jurema-preta, mufumbo, faveleiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro. Floresta Caducifólia - vegetação que apresenta espécies e folhas pequenas e caducas que caem no período seco (Beltrão et al, 2005).

- Os Solos predominantes do município investigado e suas características principais são Bruno não Cálcico - fertilidade média a alta, textura arenosa / argilosa e média / argilosa, fase pedregosa, bem drenados, relevo suave ondulado. Acreseta que os usos relacionam-se com a pecuária extensiva, algumas culturas de palma forrageira, culturas que resistam a um longo período de estiagem e culturas de ciclo bem curto que possam produzir colheitas no período de chuvas. O controle da erosão deve ser intensivo; Aptidão Agrícola: regular e restrita para pastagem natural. Apta para culturas de ciclo longo como algodão arbóreo, sisal, caju e coco e regular para lavouras; Sistema de Manejo: médio e baixo nível tecnológico as práticas agrícolas dependem do trabalho braçal e tração animal com implementos agrícolas simples(Beltrão et al, 2005).
- Águas Superficiais: O município de José da Penha encontra-se totalmente inserido na Bacia Hidrográfica Apodi Mossoró, sendo banhado apenas por cursos d' água secundários e intermitentes, dos quais os mais importantes são: Rio das Flechas e os riachos Pé de Jatobá, do Catolezinho, da Baixa do Fogo. O município possui alguns açudes de médio porte, destacando-se: **Açude de Angicos (3.500.000m³ /público)**, Barragem da Ema (1.500.000m³ /público), Baixa do Fogo (2.060.880m³ /público), Catolezinho (243.000m³ /público) e Flechas (8.950.000m³ /público) (Beltrão et al, 2005). O padrão de drenagem é o dendrítico. Portanto, o objeto de estudo é o Açude Angicos, localizado na zona rural do município de José da Penha-RN (Figura 08).

Figura 8: Mapa do Município da Área de Estudo.



Fonte: Autor (2024)

5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos deste estudo se deram através dos seguintes passos: i) definição da temática de estudo; ii) definição dos instrumentos de estudo; iii) obtenção, organização e tratamento dos dados e iv) análise dos dados.

i) definição da temática de estudo

Este estudo é importante devido à iminente interconexão da barragem com as águas do PISF. A investigação busca compreender a situação ambiental e de segurança da barragem, considerando sua capacidade de manejo e os possíveis impactos decorrentes da integração hídrica.

ii) definição dos instrumentos de estudo

A pesquisa será conduzida por meio de uma abordagem metodológica que inclui métodos bibliográficos. Essa metodologia permitirá uma análise abrangente das condições gerais da Barragem Angicos, na cidade de José da Penha - RN, através da revisão de teses, revistas, artigos e outras fontes de literatura relevante sobre barragens, segurança hídrica e gestão de recursos hídricos.

iii) obtenção, organização e tratamento dos dados

Após a coleta de dados em campo, iniciou-se o processo de obtenção, organização e tratamento das informações obtidas. As imagens capturadas pelo Drone da DJI no dia 12 de Abril de 2023, as imagens capturadas pelo Autor no dia 25 de Outubro de 2023, foram processadas e analisadas

para fornecer uma representação precisa da Barragem Angicos e sua área adjacente. Isso incluiu a identificação de possíveis anomalias. Posteriormente, os dados foram analisados e feitas interpretações qualitativas para identificar padrões, tendências e potenciais áreas de preocupação em relação às anomalias vistas.

iv) análise dos dados

Essa análise envolveu a interpretação dos resultados das imagens aéreas capturadas pelo Drone da DJI, bem como dos dados obtidos durante as visitas presenciais à barragem. Foram identificados tendências e possíveis áreas de preocupação relacionadas às condições gerais da barragem, considerando sua integração iminente com as águas do Ramal do Apodi, do Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco. A análise dos dados permitiu uma compreensão das condições da Barragem Angicos e subsidiou a elaboração de recomendações e medidas para mitigar os riscos identificados e garantir a segurança hídrica da região.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 - Aspectos Históricos Construtivos da Barragem

A Barragem Angicos teve sua construção concluída no ano de 1920. Ela representa um marco importante no desenvolvimento regional e na gestão dos recursos hídricos na região de José da Penha - RN. O principal propósito da construção da barragem foi o controle de enchentes, fornecimento de água para irrigação e abastecimento humano.

Tabela 3 : Ficha técnica.

Reservatório	Açude Arapuã
Código	260
Nome	Arapuã
Bacia Hidrográfica Estadual	BACIA DO APODI/MOSSORÓ
Finalidade	Abastecimento humano, irrigação
Estado	RN
Município	José da Penha
Ano início construção	Sem dados oficiais
Ano conclusão construção	1920
Capacidade (x 1.000 m ³)	4.295
Volume morto (1.000m ³)	218
Vazão liberada (l/s)	0,00
Cota soleira sangradouro/vertedouro (m)	120,00
Cota do coroamento (m)	119,70
Bacia hidráulica (m ²)	2.328.000,00

Fonte: Adaptado por DNOCS (s.n., s.d.)

A construção da barragem teve impactos significativos na região, incluindo a criação de empregos, o desenvolvimento de atividades agrícolas e a melhoria do acesso à água potável. Apesar de ter sido construída há várias décadas, além de sua função primária de controle de enchentes e fornecimento de água para irrigação e abastecimento humano, a barragem foi concebida como uma âncora para o desenvolvimento socioeconômico da região. Suas águas não só irrigariam as terras áridas do sertão. Diante desse cenário positivo que a barragem causou, na Figura 9 mostra a população construindo suas casas ao redor da barragem.

Figura 9: Barragem Angicos.



Fonte: Raoni Lopes de Araújo Nogueira de Souza (2023)

6.2 - Levantamento das Condições Gerais da Barragem

Foi adotada uma ficha de inspeção que apresenta algumas legendas, indicadas no Quadro 01:

Quadro 01: Legenda de situações.

SITUAÇÃO:
NA – Este item Não é Aplicável
PC – Anomalia Permaneceu Constante
AU – Anomalia Aumentou
NI – Este item Não foi Inspecionado

Fonte: Adaptado por ANA (2010)

No Quadro 02, a definição da magnitude da anomalia visa tornar menos subjetiva a avaliação da escala do problema ou falha analisada, já para quantificar o nível de perigo causado pela anomalia, é indicado pela rapidez com que esta anomalia deve ser corrigida.

Quadro 02: Legenda de magnitude e nível de perigo.

MAGNITUDE:	NÍVEL DE PERIGO DA ANOMALIA (NPA)
I - Insignificante	0 - Nenhum
P - Pequena	1- Atenção
M - Média	2- Alerta
G- Grande	3- Emergência

Fonte: Adaptado por ANA (2010)

De acordo com a Ana (2016), as patologias mais frequentes em pequenas barragens de terra, como o galgamento, a obstrução dos vertedouros e a erosão interna, podem ser identificadas a partir da detecção de anomalias no maciço da estrutura.

A falta de margem de segurança pode aumentar o risco de galgamento. A detecção de vazamentos de água no talude a jusante, nas áreas próximas a ele, nos ombreiros ou em contato com estruturas rígidas, pode indicar uma percolação descontrolada através do corpo ou da base da barragem. Além disso, a presença de água turva nos filtros e drenos sugere o transporte de partículas sólidas. A existência de fissuras transversais ou longitudinais no corpo da barragem indica movimentos na estrutura ou assentamentos diferenciais.

Além disso, a existência de vegetação de raízes profundas e de grandes dimensões pode gerar cavidades no interior do corpo da barragem, proporcionando caminhos preferenciais de percolação de água, capazes de produzir erosão interna e provocar a ocorrência de piping. As galerias e perfurações produzidas por animais de pequeno porte e insetos também podem ser perigosas, devido ao enfraquecimento que provocam no aterro e à facilidade de percolação da água nos seus vazios, produzindo fenômenos de erosão interna (Ana, 2016). Conforme o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (2016), o surgimento de vegetação no talude de montante é resultado da falta de manutenção. Portanto, é crucial investigar a predominância, natureza, densidade e tamanho dessa vegetação. Essa ocorrência pode dificultar as inspeções visuais, tornando desafiador identificar buracos de animais e outras anomalias que possam comprometer a segurança da barragem. Figura 10.

O defeito na drenagem pode trazer consequências para o escoamento da água, fazendo com que a água não escoe pelas canaletas de drenagem e surgindo como consequências poças d'água ou mesmo o escoamento diretamente pelos taludes, isso pode ser causado devido a obstrução das canaletas devido a falta de manutenção (Manual do empreendedor sobre segurança de barragens, 2016).

O aparecimento de poças está localizado ao lado direto do talude da barragem, como mostra a Figura 10.

Figura 10: Barragem Angicos.



Fonte: Raoni Lopes de Araújo Nogueira de Souza (2023)

A ocorrência da erosão interna pode ser dividida em quatro categorias, de acordo com os mecanismos responsáveis por desencadear esse processo (Robbins e Griffiths, 2018):

Escoamento concentrado: Processo no qual a água flui livremente ao longo de aberturas no maciço, como fraturas ou escavações feitas por animais, erodindo o solo ao longo das bordas dessas aberturas;

Erosão regressiva: Processo no qual canais de erosão, que são criados quando as forças de percolação são suficientemente altas, progridem em direção à montante provocando o carreamento das partículas sólidas. Geralmente associado à fundação do maciço, quando esta é composta por material arenoso;

Instabilidade interna: Ocorre quando o processo de percolação de água é capaz de carrear as partículas mais finas presentes em uma matriz de solo mais grosseira. Pode ser subdividida em sufusão (quando não ocorre variação de volume) e sufosão (quando ocorre variação de volume);

Erosão de contato: Ocorre quando o processo de percolação ao longo de um material grosseiro

provoca a erosão de um material adjacente, em contato com o primeiro, composto por partículas mais finas.

O fenômeno observado na barragem em análise possivelmente pode estar associado à erosão de contato. A evidência de água aflorando do talude da barragem sugere que a água está erodindo o material adjacente ao talude, indicando a ocorrência desse tipo específico de erosão. Trata-se de uma questão crítica que requer atenção imediata para garantir a estabilidade e segurança da estrutura da barragem. É visto esse fenômeno nas Figuras 11 e 12.

Figura 11: Entorno da Barragem Angicos.



Fonte: Fonte: Raoni Lopes de Araújo Nogueira de Souza (2023)

Conforme pesquisado por Fema (2015), As rupturas por piping são originadas pelo carregamento de partículas de solo devido à percolação da água através da barragem. Conforme Fell e Fry (2007), o fenômeno do piping em barragens de terra consiste em uma forma de erosão interna que resulta na formação de um canal, através do qual a água percola de forma contínua, entre a porção de montante e jusante do maciço da barragem ou sua fundação (Fell e Fry, 2007).

Conforme Icold (2011) pesquisas recentes sobre falhas em barragens no Brasil mostraram que 65% delas são devido ao transbordamento, 12% estão relacionadas a erosão regressiva tubular (piping) e 12% são devido a deslizamento e instabilidade. A erosão regressiva pode ser evitada pela construção de filtros adequados na barragem de forma a interceptar a linha de saturação de água rebaixando-a. Isso ocorre devido a maior permeabilidade do material de que é constituído o filtro (Icold, 2011).

Figura 12: Entorno da Barragem Angicos.



Fonte: Fonte: Raoni Lopes de Araújo Nogueira de Souza (2023)

6.3 - Anomalias da Barragem

A Inspeção formal composta por uma lista de anomalias, no formato de um check-list, permite acompanhar a evolução das anomalias através da indicação da sua situação, sua magnitude e o seu nível de perigo. As inspeções formais devem ser feitas por técnicos devidamente treinados e capacitados. São realizadas obedecendo a uma lista previamente definida de itens que cubram todas as partes, estruturas, equipamentos e aspectos do funcionamento da barragem. Delas resultam relatórios contendo as observações de campo e as recomendações pertinentes. Engloba os seguintes campos de avaliação (Brasil, 2005).

Barbosa (2014) conduziu um estudo para identificar anomalias na Barragem Poleiros, localizada em Barra de Santa Rosa, Paraíba, utilizando a técnica de inspeção visual acompanhada por fotografias. Utilizou-se essa abordagem para detectar e registrar todas as anomalias presentes ou fatores que poderiam contribuir para futuras anomalias no corpo da barragem e em suas estruturas de apoio. As principais anomalias observadas incluíram erosões, danos no sistema de drenagem superficial e obstruções no sistema de drenagem interno e superficial.

Uma das anomalias citadas no presente trabalho foi o aparecimento de vegetação no talude, como é visto na Figura 13.

Figura 13: Crista da Barragem Angicos.



Fonte: Autor (2023)

Observa-se que a presença de anomalias como valas abertas pelo trânsito de animais, deficiência nas proteções dos taludes, aparecimento de formigueiros e escorregamentos contribuem para a percolação de água no maciço, dando origem a processos erosivos. O excessivo aumento das pressões de percolação, ocasionam o carreamento das partículas finas do solo em direção ao ponto onde a água irá emergir, originando vazios em forma de tubo e iniciando um processo erosivo denominado piping (Caputo; Caputo, 2015).

Para cada anomalia existe uma classificação quanto a situação, magnitude e ação. A situação corresponde a evolução da anomalia desde o seu surgimento. De acordo com as instruções para o preenchimento da ficha de inspeção (Ana, 2016).

De acordo com o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (2016), a anomalia do barramento é caracterizada por qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa comprometer a segurança a curto ou longo prazo.

Além destes elementos, devem-se citar os vertedouros, que funcionam como dispositivos que regulam a água, quando seu regime ameaça a estabilidade da barragem (Marangon, 2004). Servindo como medidores de vazão dos cursos d'água, assim como no controle dos escoamentos, os vertedouros desempenham um papel muito importante nas barragens (Azevedo Neto, 1998). A presença de vegetação pode indicar infiltração de água através de fissuras ou juntas no concreto, fornecendo um ambiente propício para o crescimento

da vegetação. Essa infiltração pode comprometer a integridade estrutural do vertedouro ao longo do tempo, uma vez que a água pode corroer o concreto e aumentar o risco de danos estruturais.

Já o desgaste do concreto pode ser causado por vários fatores, como a abrasão da água que passa pelo vertedouro, a presença de detritos arrastados pela correnteza ou até mesmo a ação de agentes atmosféricos como chuva, vento e radiação solar. Medidas preventivas, como reparos oportunos e revestimentos protetores, podem ser implementadas para mitigar os efeitos dessas anomalias e prolongar a vida útil da estrutura do vertedouro.

Na inspeção do vertedouro foi observado a presença de vegetação, também foi observado algumas irregularidades na estrutura do vertedouro, como é visto na Figura 14.

Figura 14: Vertedouro da barragem Angicos.



Fonte: Autor (2023)

O nível da água na Barragem Angicos encontra-se atualmente (Outubro 2023) abaixo da régua, refletindo os impactos da época de estiagem. A documentação visual por meio de fotografias durante a visita de campo destaca essa redução significativa no volume de água. Essa condição, típica do período de seca, evidencia desafios sazonais na gestão hídrica da barragem, ressaltando a importância de estratégias de preservação e uso sustentável dos recursos hídricos na região (Figura 15).

Figura 15: Medição do nível d'água.



Fonte: Autor (2023)

6.4 - Análise de Riscos da Barragem

De acordo com a Icold (2005), o risco refere-se à avaliação da probabilidade e gravidade de um efeito adverso sobre a vida, propriedade ou meio ambiente. Em termos gerais, o risco é calculado considerando o impacto combinado de todos os cenários possíveis, suas probabilidades de ocorrência e as consequências associadas.

Segundo Foster, Fell e Spannagle (2000), a etapa mais crucial em qualquer avaliação de riscos reside na identificação completa dos cenários que levam às falhas. Este paradigma de gestão de riscos compreende uma série de atividades interligadas, incluindo avaliação de riscos (análise e apreciação de riscos) e controle de riscos (mitigação, prevenção, detecção, elaboração de planos de ação de emergência - PAE, revisão e comunicação). Essa abordagem inovadora representa uma evolução em relação às práticas tradicionais, não se tratando de uma substituição (Melo, 2014).

Diante dos recentes eventos de ruptura de barragens no Brasil, observa-se um aumento significativo no interesse pela implementação dos conceitos de gestão de risco e pela aplicação de métodos de análise de risco em barragens. Esse interesse é especialmente impulsionado pela promulgação da Lei nº 12.334/2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (Melo, 2014).

Wall (2011) propõe uma questão adicional relevante, especialmente ao considerar os riscos em barragens: "Como você se sente em relação ao que pode acontecer e se isso

acontecer?". Essa indagação reflete a percepção do tomador de decisão em relação aos possíveis eventos, levando em consideração sua experiência e permitindo a identificação, além da análise quantitativa derivada das questões de Kaplan (1997), de uma visão qualitativa sobre quais riscos são mais desejáveis de serem evitados.

A sociedade demanda que os riscos sejam constantemente revisados e devidamente controlados, o que tem levado à aplicação da avaliação de risco em diversas atividades, tanto públicas quanto privadas, que possuem potencial para impactar o bem-estar e os interesses da comunidade (Icold, 2005).

Abordagem com Base em Normas (Standards Based Approach) é a abordagem padrão na engenharia de barragens, em que os riscos são controlados pelo cumprimento de regras estabelecidas para as situações de projeto, resistência estrutural, coeficientes de segurança e pela adoção de medidas de projeto defensivas (Cnpgb, 2005).

A gestão de risco consiste no desenvolvimento integrado das atividades de análise de risco, apreciação de riscos e de controle de risco. No controle de risco as medidas cabíveis 19 podem ser listadas como: mitigação, prevenção, detecção, planejamento de emergência, revisão e comunicação do risco (Pimenta, 2009).

A análise de risco é uma metodologia que avalia e estima a probabilidade de ocorrência de um evento, muitas vezes indesejável, atribuindo-lhe uma quantificação e qualificação. Esta abordagem, quando aplicada ao estudo da estabilidade de taludes, constitui uma ferramenta de grande importância para avaliar o grau de estabilidade do talude. No entanto, tem sido subutilizada devido à sua complexidade (Vieira, 2005).

A curto e médio prazo, o aumento do controle e/ou monitorização da barragem pode ser usado como intervenção. Para barragens antigas, onde pouco se sabe sobre a geometria interna e solos utilizados na construção, considerando que os riscos para a sociedade sejam médios a baixos, o controle e/ou monitorização pode ser a forma mais eficaz de gestão de risco (Icold, 2013).

A análise de riscos de barragem é crucial para identificar e mitigar potenciais ameaças à sua segurança. Isso envolve avaliar características da barragem, condições geológicas e hidrológicas, uso do solo e potenciais cenários de falha. Com base nessa análise, são identificadas medidas para reduzir a probabilidade de ocorrência de eventos adversos e minimizar suas consequências.

Com o acréscimo das águas do PISF, o talude existente pode não aguentar e chegar a romper, causando assim, uma catástrofe na região em que a barragem é localizada. Em face dessas ameaças, é essencial desenvolver e implementar um plano abrangente de gerenciamento

de riscos. Isso inclui a identificação de medidas de mitigação eficazes, o estabelecimento de protocolos de resposta a emergências e o envolvimento da comunidade no processo de tomada de decisão como já é visto na Figura 16, o aparecimento da água ao lado do talude.

Figura 16: Anomalia aparente na Barragem Angicos.



Fonte: Fonte: Raoni Lopes de Araújo Nogueira de Souza (2023).

7. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram avaliados com base nos aspectos discutidos, torna-se evidente a importância dos recursos hídricos e açudes, especialmente no contexto da Barragem de Angicos em José da Penha-RN. Ao revisitar os aspectos históricos da construção da barragem, é possível compreender sua relevância para a região ao longo do tempo.

Contudo, ao analisar as condições gerais e identificar as anomalias presentes na Barragem de Angicos, surge a necessidade premente de abordar os riscos associados a essa estrutura. Diante dos desafios enfrentados, é importante considerar formas de aprimorar suas condições, visando garantir a segurança e a funcionalidade.

Nesse sentido, propõe-se explorar meios de melhorar a gestão de riscos e implementar medidas preventivas e corretivas adequadas. Além disso, é fundamental a formulação de recomendações para trabalhos futuros, incluindo estudos mais aprofundados sobre a estabilidade da barragem, a identificação e mitigação de anomalias, e o desenvolvimento de planos de ação para potenciais cenários de risco.

Portanto, diante do cenário atual, é imperativo o engajamento contínuo de especialistas, autoridades e comunidades locais na busca por soluções sustentáveis e eficazes para garantir a segurança e a integridade da Barragem de Angicos, bem como a preservação dos recursos hídricos e o bem-estar das populações envolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cruz, P. T. 100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. 648 p.

Cbdb - COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens / [coordenador, supervisor, Flavio Míguez de Mello ; editor, Corrado Piasentin]. - Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.: il. ; 29 cm

Silveira, João Francisco Alves – Instrumentação e comportamento de fundação de barragens de concreto / João Francisco Alves Silveira. – São Paulo : Oficina de Textos. 2003

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.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). Register of Dams: General Synthesis. 2014. Disponível em: .

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.

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.

Costa, Walter Duarte. Geologia de barragens. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Souza, Zulcy de. Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento / Zulcy de Souza, Afonso Henriques Moreira Santos, Edson da Costa Bortone. – 2ª ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 520p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 696, DE 15 DE DEZEMBRO DE 2015.

Fontenele, A. de S. Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos em Barragens do Nordeste

Brasileiro – Estudo de Caso: Barragens do Estado do Ceará. 2007. 210 f. Tese. Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2007.

ANA – Agência Nacional de Águas. Manual do Empreendedor – Volume V - Guia Para Elaboração de Projetos de Barragens / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2015

Aguiar, Daniel Prenda de Oliveira et al. Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens-ISB. 2014.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em Acesso em 05/02/18.

ANA- Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2016 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2016 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017. 225 p. : il. ISBN: 978-85-8210-035-6

MASSAD, F. Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia. 1.ed. São Paulo: Oficinas de Textos, 2003.

FERRAZ, F. M.; MIYASHIRO, M. J.; RIYIS, M. T.; CUNHA, R. C. A. Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sondagens e slug test em poços de monitoramento. InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade Vol. 10 no 1, 2015. p. 66 – 87.

GUSMÃO FILHO, J. Desempenho de Obras Geotécnicas. Recife: Editora Universitária, UFPE, 2006.

SILVEIRA, JOÃO F. A. Instrumentação e Comportamento de Fundações de Barragens de Concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVEIRA, J.F.A. (2006). Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento. São Paulo, Oficina de Textos.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, 2000. Brasília: DNPM, v.29, 2000. 401p

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria de Minas e Metalurgia; CPRM – Serviço Geológico do Brasil [CD ROM] Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil,

Sistema de Informa ções Geográficas ± SIG. Mapas na escala 1:2.500.000. Brasília: CPRM, 2001. Disponível em 04 CD's.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Geografia do Brasil. Região Nordeste. Rio de Janeiro: SERGRAF, 1977. Disponível em 1 CD.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapas Base dos municípios do Estado do Rio Grande do Norte

RODRIGUES E SILVA, Fernando Barreto; SANTOS, José Carlos Pereira dos; SILVA, Ademar Barros da et al [CD ROM] Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico. Recife: Embrapa Solos. Petrolina: Semi-Árido, 2000. Disponível em 1 CD

PINTO, N. L. d. S. Hidráulica Aplicada. Curitiba: CEHPAR, 1987.

BELTRÃO, Breno Augusto et al. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Rio Grande do Norte: relatório diagnóstico do município de José da Penha. CPRM, 2005.

ÁVILA, J. P. Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil. Palestra. 2017.

Segurança de Barragens: aspectos técnicos e legais. 2013. 769 p. Promoção: Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) – Núcleo regional da Bahia, Salvador.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. Relatório de segurança de barragens 2014. Brasília, DF: ANA, 2015. 160 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-debarragem/2014>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. Relatório de segurança de barragens 2012- 2013. Brasília, DF: ANA, 2015. 128 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-debarragem/2013>.

ICOLD,2020a.Disponívelem:https://www.icoldcigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp.

ICOLD,2020b.disponível:https://www.icoldcigb.org/GB/dams/role_of_dams.asp.

BRASIL. Decreto Nº 10.593, DE 24 DE DEZEMBRO DE 2020.

BRASIL. DECRETO Nº 10.593, DE 24 DE DEZEMBRO DE 2020.

BRASIL, 2020a. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

BRASIL, 2020b. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.

PEREIRA, L.F. Segurança de barragens no Brasil: um breve comparativo com a legislação internacional e análise da influência da cobertura do solo de APPs sobre manchas de inundação: estudo de caso da PCH Pedra Furada, Ribeirão – PE. 2019. 125 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Ilha Solteira, SP. 2019

MENESCAL, R. A. Gestão da segurança de barragens no Brasil: proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009.769 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará- UFC, Fortaleza, 2009.

ABREU, Ricardo Rossato. **Dimensionamento e acompanhamento executivo de uma barragem de terra para irrigação**: um estudo de caso. Orientador: M. Sc. Jaelson Budny. 2015. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2015. Disponível em: <encurtador.com.br/ekAE1>

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. Orientadora: Ana Inés Borri Genovez. 2005. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

CIVIL, Engenharia. **Conheça todos os tipos de barragem**. Disponível em: <<https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/conheca-todos-os-tipos-de-barragem/>>.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília, 2002.

ANA, Agência Nacional das Águas. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens**: Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem. Brasília: Ana, 2016. 218 p.

AGUIAR, Daniel Prenda de Oliveira et al. Contribuição ao estudo do índice de segurança de

barragens – ISB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 360-368, abr./jun. 2015. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/157/b157490568045e9865623db2927a7df8_1af5d1d5a1cb03e1cda36b1704bb0f0c.pdf>.

World Commission On Dams (WCD), Dams and Development. **A new framework for decision making, Report of the World Commission on Dams**, Earthcan, Londres, GB, 2001. Acesso em: 16 set. 2021.

CRESWELL, J. W. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Projeto de Integração do Rio São Francisco. MDR, 2019a.

FERREIRA, José Gomes. A transposição das águas do Rio São Francisco na resposta à seca do Nordeste brasileiro. Cronologia da transformação da ideia em obra. Campos Neutrais-Revista Latino-Americana de Relações Internacionais, Rio Grande, v. 1, n. 2, p. 53-72, 2019.

GIL, A. C. Métodos e Técnicas da Pesquisa Social: 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SEVERINO, A. J. Metodologia do Trabalho Científico: 23. ed. São Paulo: Cortez, 2008.

MONTE, B. E. O.; TSCHEDDEL, A. DA F.; GOLDENFUM, J. A. Índice de risco aplicado a potencial rompimento de barragem por simulações 1d e 2d. XXII **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2017.

REZENDE, E.; SILVA, V. V. C. De Mariana a Brumadinho: a efetividade da responsabilidade civil ambiental para a adoção das medidas de evacuação. **Revista do Direito**, v. 1, n. 57, p.160-181, 2019.

SAYÃO, A. A segurança das barragens brasileiras. São Paulo, 10 de junho de 2009. Disponível em:<http://ie.org.br/site/noticias/exibe/id_sessao/5/id_noticia/1643/ A-segurança-das-barragens-brasileiras>.

SOUZA, G. TIGRE. **Dosagem experimental de concreto massa com adição de sílica ativa aplicado em barragem**. Dissertação (Mestrado) . Programa de Pós Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA), Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2017.

DIVINO, PAULA LUCIANA. **Comportamento de enrocamentos em barragens [manuscrito]: estudo de caso da Barragem de Emborcação**. Dissertação (Mestrado) . Programa de Pós Graduação em Engenharia de Geotecnia de barragens, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

WISEU, M. T. O risco e as barragens. Riscos naturais, antrópicos e mistos: homenagem ao professor doutor Fernando Rebelo. Coimbra: Ed. Universidade de Coimbra, p. 425-440, 2013.

BRASIL, LEI nº. 12.340, DE 1º. DE DEZEMBRO DE 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. (Redação dada pela Lei nº. 12.983, de 2014). pp.

ANA, RESOLUÇÃO No 132, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2016. Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela Agência Nacional de Águas - ANA, quanto ao Dano Potencial Associado - DPA, com fundamento no art. 5º, S3º, da resolução CNRH nº 143, de 2012, e art. 7º da Lei nº 12.334, de 2010. 2016c.

SEDEC. Acordo de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens nº. 31/2018. 2020.

LUCIANA RODRIGUES LEITE *et al*, Abordagem mista em teses de um programa de pós-graduação em educação: análise à luz de Creswell, **Educação e Pesquisa**, v. 47, 2021.

SAMPIERI, R. H; CALLADO, C. F; LUCIO, M. P. Metodologia de pesquisa. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

AMANDA, Elizabeth; LAURA ; CRISTIANO, None, DO EDUCADOR AO INSPIRADOR: o docente como exemplo e formador de leitores fluentes, **Revista Científica Educ@ção Online**, v. 9, n. 14, 2024.

Projeto de Integração do Rio São Francisco — Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, www.gov.br, disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/seguranca-hidrica/projeto-de-integracao-do->

rio>. acesso em: 14 abr. 2024.

Hunter, R. P. (2012) Development of transparent soil testing using planar laser induced fluorescence in the study of internal erosion of filters in embankment dams. Masters Thesis - Master of Science in Engineering Geology, University of Canterbury.

BARBOSA, Rodrigo de Andrade. **DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS VISANDO À RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM POLEIROS, EM BARRA DE SANTA ROSA, PB.** 2014. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros. Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed. Rio de Janeiro: Sindicato Nacional dos Editores de Livros, 2015.

MEDEIROS, Carlos Henrique de A. C. Módulo I – barragens: aspectos legais, técnicos e sócioambientais: unidade 1: diretrizes, legislação e regulamentação. In: Agência Nacional de Águas - ANA. CURSO SEGURANÇA DE BARRAGENS. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas-Ana, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. Manual do empreendedor sobre segurança de barragens: guia de orientação e formulários para inspeção de segurança de barragem. Brasília, DF: ANA, 2016c. v. 2, 217 p. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portalsnisb/documentos-e-capacitacoes/relatorios>.

FELL, R. et al. Geotechnical Engineering of Dams. 2. ed. Londres: CRC Press, 2015. FEMA. Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion. Interagency Committee on Dam Safety (ICODS), Federal Emergency Management Agency (FEMA). [S.l.]. 2015.

GIL, A. C. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social, 6ª Edição, Editora Atlas. 2019.

MARANGON, Márcio. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.