



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO QUADRO DE ANOMALIAS DA BARRAGEM
GRAMAME-MAMUABA NOS ANOS DE 2016, 2022 E 2025**

EVELYN BARBOSA DA SILVA

JOÃO PESSOA - PB
MAIO - 2025

EVELYN BARBOSA DA SILVA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO QUADRO DE ANOMALIAS DA BARRAGEM
GRAMAME-MAMUABA NOS ANOS DE 2016, 2022 E 2025**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba, como um dos requisitos obrigatórios para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

JOÃO PESSOA - PB

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Evelyn Barbosa da.

Avaliação Comparativa do Quadro de Anomalias da Barragem Gramame-Mamuaba nos anos de 2016, 2022 e 2025 / Evelyn Barbosa da Silva. - João Pessoa, 2025.
105 f. : il.

Orientação: Tarciso Cabral da Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Segurança de barragens. 2. Anomalias estruturais.
3. Inspeção de barragens. 4. Manutenção preventiva. I. Silva, Tarciso Cabral da. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

EVELYN BARBOSA DA SILVA

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO QUADRO DE ANOMALIAS DA BARRAGEM GRAMAME-MAMUABA NOS ANOS DE 2016, 2022 E 2025

Trabalho de Conclusão de Curso em 06/05/2025 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB





Prof. Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB





Prof. Dr. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



Em memória ao meu tio Patrick César, Doutorando e Mestre em Sociologia, o maior incentivador dos meus estudos e a figura paterna da minha vida. Essa vitória também é sua.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, que foi meu sustento e guia nos momentos de dúvida. Ele me mostrou o caminho a ser seguido e segurou minha mão durante todo esse tempo. A Ele, toda honra e glória.

Agradeço infinitamente à minha mãe, pois, sem ela, eu nunca teria chegado até aqui. Sempre fez de tudo para que eu não precisasse me preocupar com o sustento da casa nem abandonar meus estudos. Nunca permitiu que eu conhecesse a falta de nada e me incentivou a buscar minha independência, mesmo quando muitas vezes abriu mão da sua.

Além dela, minha avó Vânia, minha segunda mãe, que, com toda a sua sabedoria e vivência, sempre me fez sorrir em momentos difíceis. A senhora é, e sempre será, minha companheira em todos os momentos da vida.

Deixo aqui a minha gratidão a família materna, tias, tios e primos, que sempre cuidaram de mim e sempre me apoiaram nos estudos, devo a vocês a minha eterna gratidão.

Sou grata ao meu querido professor orientador, Dr. Tarciso Cabral da Silva, que embarcou na aventura deste trabalho comigo, me apoiou e me guiou quando eu estava perdida e, acima de tudo, compartilhou comigo seu vasto conhecimento sobre o assunto.

Agradeço também ao meu namorado, Glauco, que desde o início presenciou todas as minhas dúvidas e não me deixou desistir, mesmo tão perto do fim. Meu amor, muito obrigada pelos momentos em que me ouviu e me acalmou. Sem você, este trabalho não teria sido concluído a tempo.

Aos meus queridos colegas de trabalho, Ana Maria e Thiago Almir, que, sem dúvida, foram a base deste trabalho, deixo aqui os meus mais sinceros agradecimentos. Vocês me ajudaram a sair da estaca zero, iluminaram meu caminho, me acompanharam nas vitórias e me orientaram na escrita deste trabalho.

Nesse mesmo contexto, agradeço também aos meus colegas da Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba (SUDEMA) (Rayanna, Ana Lúcia, Mateus, Hellen, George, Iascara, Luís, Flávia, Tainá, Rayssa, Goldie, Emerson, Clayriston e Mauro), que me apoiaram desde o estágio e até hoje vibram com o meu sucesso.

As minhas grandes amigas, Maria Helena e Mariana Helena, por quem eu tenho um grande apreço e mantenho em minha vida desde o ensino médio. Com vocês eu compartilho as minhas vitórias, divido as minhas tristezas e acompanho o crescimento de cada uma. Minha felicidade é ver a felicidade de vocês ganhando forma, e sei que o sentimento é recíproco. Obrigada por tudo.

Aos amigos que ganhei durante esses seis anos e meio de graduação (Marina, Ayrton, Amanda, Caio, Ana Beatriz, Michael) e, principalmente, àqueles que estão concluindo comigo: Giuseppe, Mikaelly, Adriano, Vinícius, Ana Helena, Gabriela e Daniela, meu muito obrigada. Sem vocês, essa trajetória teria sido solitária. Agradeço pelos abraços, sorrisos e lágrimas que compartilhamos durante esse tempo. Carregarei a essência de vocês comigo por onde passar.

Finalizo agradecendo também aos professores que me guiaram durante toda a graduação, principalmente as professoras Ana Cláudia, Andrea Brasiliano, Ana Cristina e Isabelle Yruska que me mostraram a importância e o poder da mulher na Engenharia Civil. Agradeço também aos professores Primo Fernandes, Clóvis Dias, Igor Fernandes, Gilson Barbosa, Claudino Lins, Hamilcar Filgueira e Leonardo Vieira, pois os ensinamentos de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

Dentre as diversas obras da Engenharia Civil, as barragens se destacam por sua grande escala e impacto direto na sociedade, especialmente em um país como o Brasil, que depende fortemente da geração de energia hidroelétrica, abastecimento e da produção agrícola. Diante de episódios recentes de falhas estruturais, como os desastres ocorridos em Camará, Mariana e Brumadinho, a avaliação periódica da segurança dessas estruturas torna-se ainda mais necessária. Este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação comparativa da evolução das anomalias estruturais na barragem Gramame-Mamuaba, localizada no estado da Paraíba, nos anos de 2016, 2022 e 2025. Para isto foram realizadas, pesquisas bibliográficas, vistorias *in loco* para registro fotográfico e aplicação do sistema de classificação de segurança de barragens da SABESP, associado a uma matriz comparativa de anomalias para análise da evolução dos pontos abordados. Os resultados apontaram melhorias expressivas nas estruturas após as obras de restauração realizadas em 2022. No entanto, a vistoria de 2025 revelou o reaparecimento de diversas anomalias, como a presença de vegetação na proteção dos taludes de montante e focos de erosão nos taludes de jusante das duas barragens, indicando deterioração progressiva e retorno ao estado de atenção. Tais achados evidenciaram que a efetividade das intervenções depende diretamente da continuidade das ações de manutenção e monitoramento. O estudo reforça, assim, a importância da fiscalização rotineira e da implementação de políticas públicas voltadas à segurança de barragens como medida essencial para garantir a integridade estrutural e a segurança hídrica regional.

Palavras-chave: segurança de barragens; anomalias estruturais; inspeção de barragens; manutenção preventiva.

ABSTRACT

Among the various structures in Civil Engineering, dams stand out due to their large scale and significant impact on society, especially in a country like Brazil, which relies heavily on hydroelectric power generation, water supply and agricultural production. In light of recent structural failures, such as the disasters in Camará, Mariana and Brumadinho, the periodic evaluation of dam safety has become even more essential. This study aimed to conduct a comparative assessment of the evolution of structural anomalies in the Gramame-Mamuaba dam, located in the state of Paraíba, in the years 2016, 2022, and 2025. To achieve this, bibliographic research was carried out, along with on-site inspections for photographic documentation, and the application of SABESP's dam safety classification system, combined with a comparative anomaly matrix to analyze the progression of the identified issues. The results indicated significant improvements in the structures following the restoration works completed in 2022. However, the 2025 inspection revealed the reappearance of several anomalies, such as the presence of vegetation on the upstream slope protection and signs of erosion on the downstream slopes of both dams, indicating progressive deterioration and a return to a state of attention. These findings highlight that the effectiveness of interventions depends directly on the continuity of maintenance and monitoring actions. Thus, this study reinforces the importance of regular inspections and the implementation of public policies aimed at dam safety as essential measures to ensure structural integrity and regional water security.

Keywords: dam safety; structural anomalies; dam inspection; preventive maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES (FIGURAS)

Figura 1: Fluxograma - Tipos de barragens	20
Figura 2: Exemplo de seção transversal de barragem de terra: homogênea e zoneada, respectivamente	21
Figura 3: Exemplo de seção transversal de barragem de enrocamento: núcleo impermeável e face impermeável, respectivamente.....	22
Figura 4: Exemplos de seções transversais de barragens de concreto.....	23
Figura 5: Esquema da Usina Hidrelétrica de Itaipu.....	24
Figura 6: Barragem vertedora do Açude Argemiro de Figueiredo - Itatuba, Paraíba	25
Figura 7: Barragem não vertedora Gramame - Conde, Paraíba	25
Figura 8: Principais elementos de uma barragem de terra - Barragem homogênea	28
Figura 9: Principais anomalias que podem ser observadas na crista/coroamento.....	34
Figura 10: Principais anomalias que podem ser observadas no talude de montante.....	36
Figura 11: Principais anomalias que podem ser observadas no talude de jusante	38
Figura 12: Principais anomalias que podem ser observadas no sopé de jusante.....	39
Figura 13: Principais anomalias que podem ser observadas no vertedor	40
Figura 14: Seção transversal da barragem de Sadd-el-Kafara.....	41
Figura 15: Entidades nacionais e estaduais fiscalizadoras de barragens no Brasil	46
Figura 16: Vertedor da barragem Gramame-Mamuaba	55
Figura 17: Torre de tomada de água do reservatório Mamuaba.....	56
Figura 18: Descarregador de fundo do reservatório de Mamuaba com válvula dispersora em operação.....	56
Figura 19: Vista aérea da barragem Gramame-Mamuaba.....	57
Figura 20: Vista aérea da barragem Gramame	58
Figura 21: Vista aérea da barragem Mamuaba.....	58
Figura 22: Desenho esquemático da estrutura da pesquisa	60
Figura 23: Informações da barragem Gramame-Mamuaba cadastrada no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).....	61
Figura 24: Informações da barragem Gramame-Mamuaba do dia da vistoria in loco, em 14 de abril de 2025.	62
Figura 25: Checklist para classificação de barragens SABESP	65
Figura 26: Vertedor da barragem Gramame (2016)	68
Figura 27: Vertedor da barragem Gramame (2022).....	68

Figura 28: Vertedor da barragem Gramame (2025).....	68
Figura 29: Talude de jusante com árvores (2016).....	69
Figura 30: Talude de jusante pós obra de restauração (2022).....	69
Figura 31: Talude de jusante 3 anos após obra de restauração (2025).....	69
Figura 32: Erosão no talude de jusante da barragem Gramame (2022).....	70
Figura 33: Erosão no talude de jusante da barragem Gramame (2025).....	70
Figura 34: Presença de árvores no rip-rap (2016).....	71
Figura 35: Presença de árvores no rip-rap (2025).....	71
Figura 36: Alagamentos no coroamento da barragem Gramame (2016).....	72
Figura 37: Coroamento sem alagamentos (2022).....	72
Figura 38: Coroamento sem alagamentos (2025).....	72
Figura 39: Dreno de pé sem vegetação (2022).....	73
Figura 40: Dreno de pé com vegetação (2025).....	74
Figura 41: Resultados da classificação da barragem Gramame por meio da classificação SABESP, para os anos 2016, 2022 e 2025.....	77
Figura 42: Presença de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba (2016).....	79
Figura 43: Presença de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba (2022).....	79
Figura 44: Presença de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba (2025).....	79
Figura 45: Presença de arbustos no talude de montante (2016).....	80
Figura 46: Rip-rap sem arbustos (2022).....	80
Figura 47: Presença de arbustos no talude de montante (2025).....	80
Figura 48: Alagamentos no coroamento (2016).....	81
Figura 49: Coroamento sem alagamentos (2022).....	81
Figura 50: Coroamento sem alagamento (2025).....	81
Figura 51: Canaletas obstruídas no talude de jusante (2016).....	82
Figura 52: Canaletas desobstruídas (2022).....	82
Figura 53: Canaletas obstruídas pela vegetação (2025).....	82
Figura 54: Sem presença de vegetação no dreno de pé (2022).....	83
Figura 55: Presença de vegetação no dreno de pé (2025).....	84
Figura 56: Área desmatada próxima a barragem (2025).....	84
Figura 57: Resultados da classificação da barragem Mamuaba por meio da classificação SABESP, para os anos 2016, 2022 e 2025.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção hidrelétrica mundial.....	43
Tabela 2: Dimensões da barragem segundo sua altura e volume.....	50
Tabela 3: Nota da barragem segundo seu grau de periculosidade.....	51
Tabela 4: Nota da barragem segundo seu Estado Real.....	52
Tabela 5: Determinação do Índice de Comportamento (IC)	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Termos e definições de elementos de uma barragem (início).....	28
Quadro 2: Fiscalizador por cada tipo de barragem.....	46
Quadro 3: Classificação quanto à Periculosidade Potencial (PP).....	49
Quadro 4: Classificação quanto ao Estado Real da barragem (ER)	51
Quadro 5: Exemplo de matriz comparativa das anomalias das barragens	63
Quadro 6: Exemplo de registro de anomalias em partes da barragem	64
Quadro 7: Registro de anomalias nas estruturas na barragem Gramame, nos anos de 2016, 2022 e 2025	75
Quadro 8: Matriz comparativa da evolução das anomalias da barragem Gramame	75
Quadro 9: Classificação do Índice de Comportamento para a barragem Gramame	78
Quadro 10: Registro de anomalias nas estruturas na barragem Mamuaba, nos anos de 2016, 2022 e 2025	85
Quadro 11: Matriz comparativa da evolução das anomalias da barragem Mamuaba.....	85
Quadro 12: Classificação do Índice de Comportamento para a barragem Mamuaba	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- ARP – Aeronave Remotamente Pilotada
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ANM – Agência Nacional de Mineração
- CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
- CBDB – Comissão Brasileira de Barragens
- CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens
- CMB – Comissão Mundial De Barragens
- CRI – Categoria de Risco
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
- DPA – Dano Potencial Associado
- ENOS – *El Niño-Oscilação Sul*
- ER – Estado Real da Barragem
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IC – Índice de Comportamento
- ICOLD – *International Commission of Large Dams*
- IEA – *International Energy Agency*
- ISE – Inspeção de Segurança Especial
- ISR – Inspeção de Segurança Regular
- NPGB – Nível de Perigo Global da Barragem
- PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens

PP – Periculosidade Potencial

RPSB – Revisão Periódica de Segurança de Barragens

RSB – Relatório de Segurança de Barragens

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEIRH – Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos

SERHMACT – Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

STP – Sistemas para Transposição de Peixes

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente

TCE – Tribunal de Contas do Estado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. OBJETIVOS	18
1.1.1. Objetivo geral	18
1.1.2. Objetivos específicos	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. BARRAGENS	19
2.1.1. Classificação de barragens	19
2.1.2. Elementos constituintes de uma barragem	27
2.2. ANOMALIAS.....	30
2.2.1. Anomalias associadas a barragens	30
2.3. CONTEXTO HISTÓRICO.....	40
2.3.1. Segurança de Barragens no Brasil	44
2.3.2. Análise de Risco e Inspeções em barragens	46
2.3.3. Sistema de Classificação de Barragens da SABESP	48
3. ÁREA DE ESTUDO	54
4. METODOLOGIA	59
4.1. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA.....	60
4.2. VISTORIA <i>IN LOCO</i>	61
4.3. MATRIZ COMPARATIVA.....	63
4.4. CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS	64
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5.1. BARRAGEM GRAMAME	68
5.1.1. Identificação das anomalias	68
5.1.2. Matriz comparativa - Gramame	75
5.2. BARRAGEM MAMUABA.....	79
5.2.1. Identificação das anomalias	79

5.2.2. Análise comparativa - Mamuaba	85
6. CONCLUSÃO.....	89
7. REFERÊNCIAS.....	91

1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de aumentar a disponibilidade hídrica e gerenciar a água em rios, lagos, aquíferos e oceanos, a área de Engenharia de Recursos Hídricos dedica-se à gestão e planejamento desses recursos, com foco em abastecimento de água e saneamento, drenagem urbana e controle de inundações, irrigação e uso agrícola da água, além da geração de energia hidrelétrica.

Nesse contexto, as barragens destacam-se como infraestrutura essencial da Engenharia de Recursos Hídricos, sendo necessárias para o desenvolvimento sustentável e a segurança hídrica de determinadas regiões, como a região Nordeste do Brasil, tendo em vista o seu papel de acumular e viabilizar vazões regulares para diversos usos, como os acima citados. Ademais, tornam-se instrumentos importantes em períodos de estiagem ou seca, permitindo o controle da demanda hídrica, bem como a regulação das vazões em eventos de cheias.

O Brasil, por ser um país de base econômica primária, fortemente dependente da exploração de recursos naturais, necessita de um fornecimento contínuo de água. Dessa forma, as barragens passaram a ser utilizadas de forma que possibilitem o aumento da produtividade, seja nos setores agrícola, pecuário ou industrial.

A construção de uma barragem não impacta apenas o meio econômico; dependendo de sua escala, pode causar danos expressivos ao meio social e ambiental (ZUFFO, 2005, p. 5). Como qualquer obra civil, embora traga benefícios e promova o desenvolvimento, também envolve riscos nas fases de construção e de operação. No entanto, quando construídas de forma eficiente e submetidas à devida manutenção ao longo de sua vida útil, esses riscos podem ser enormemente reduzidos.

Em vista disso, Aguiar et al. (2015, p. 363) apontam a idade da barragem como um fator determinante para sua segurança, uma vez que há uma relação direta entre o estado de conservação da estrutura e seu tempo de vida útil. Esses fatores ressaltam a necessidade de intensificar os cuidados com a segurança das estruturas constituintes dos barramentos, especialmente diante do crescimento na construção de novas barragens. Assim, tornam-se indispensáveis as avaliações periódicas nas estruturas existentes para assegurar sua estabilidade e funcionalidade.

O estudo sobre a segurança de barragens é relativamente recente no Brasil, considerando que a Lei nº 12.334, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), foi sancionada apenas em 2010. Levando-se em conta que a primeira barragem construída no país

remonta ao período pós-Grande Seca (1877–1879), a promulgação dessa legislação preenche uma lacuna de mais de 130 anos na regulamentação da segurança de barragens brasileiras, conforme Comissão Brasileira de Barragens - CBDB (2011). A análise de risco em barragens é um processo fundamental para garantir a segurança dessas estruturas e prevenir desastres. A PNSB apresenta dois métodos para avaliar a segurança de uma barragem. O primeiro analisa a Categoria de Risco (CRI), enquanto o segundo analisa o Dano Potencial Associado (DPA), que mensuram, respectivamente, o risco intrínseco da barragem e os impactos que seu eventual rompimento poderia causar (Brasil, 2010).

Para a avaliação da segurança das estruturas, foi adotado o Sistema de Classificação de Segurança de Barragens da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), desenvolvido por Kuperman et al. (2001). Esse sistema propõe uma metodologia baseada na análise da Periculosidade Potencial (PP), que considera os impactos de uma possível ruptura; do Estado Real da Barragem (ER), que avalia as condições físicas observadas; e do Índice de Comportamento (IC), que reflete a estabilidade estrutural ao longo do tempo.

A região Nordeste do Brasil, por concentrar grande parte de seu território no chamado Polígono das Secas, abriga um elevado número de barragens de contenção de água. Um dos principais agentes responsáveis por essas construções é o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), responsável pela implantação de 328 grandes barragens de contenção de água no semiárido brasileiro, com capacidade total de reservação superior a 36 bilhões de metros cúbicos (BRASIL, 2024).

No estado da Paraíba, existem milhares desses tipos de barragens de porte variados, sendo 732 cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), onde 629 são fiscalizadas pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) até 2024 (AESAs, 2024). Dentre elas, destaca-se a barragem Gramame-Mamuaba, localizada na bacia hidrográfica do rio Gramame, na zona litorânea sul da Paraíba. A barragem Gramame-Mamuaba é responsável pelo abastecimento de água total e/ou parcial dos municípios de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e Santa Rita, todos no estado da Paraíba, e em 2022 passou pela primeira obra de recuperação desde a sua finalização em 1990 (Paraíba, 2022).

As obras recentes, executadas pelo Governo do Estado da Paraíba, com foco na restauração do maciço e outros componentes da barragem, motivaram a elaboração deste trabalho. Assim sendo, são avaliadas as condições da estrutura da barragem Gramame-Mamuaba, como uma contribuição para garantir sua segurança e evitar riscos, como rupturas parciais ou totais,

analisando possíveis deficiências que possam comprometer sua estabilidade a curto ou longo prazo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar as condições estruturais da barragem Gramame-Mamuaba, em 2016, em 2022, após as obras de restauração realizadas e em 2025.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar os principais métodos fundamentais de gestão de barragens;
- Identificar as principais ocorrências de anomalias estruturais observadas na barragem Gramame-Mamuaba nos anos de 2016, 2022 e 2025 através de relatório fotográfico e inspeção de campo;
- Caracterizar a barragem Gramame-Mamuaba por meio da aplicação da Classificação de Barragens da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP);
- Avaliar a evolução do estado da barragem no período compreendido pelo estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. BARRAGENS

Segundo a Lei Federativa do Brasil 12.334/2010, que 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 e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), o Artº 2, parágrafo I, define barragem como:

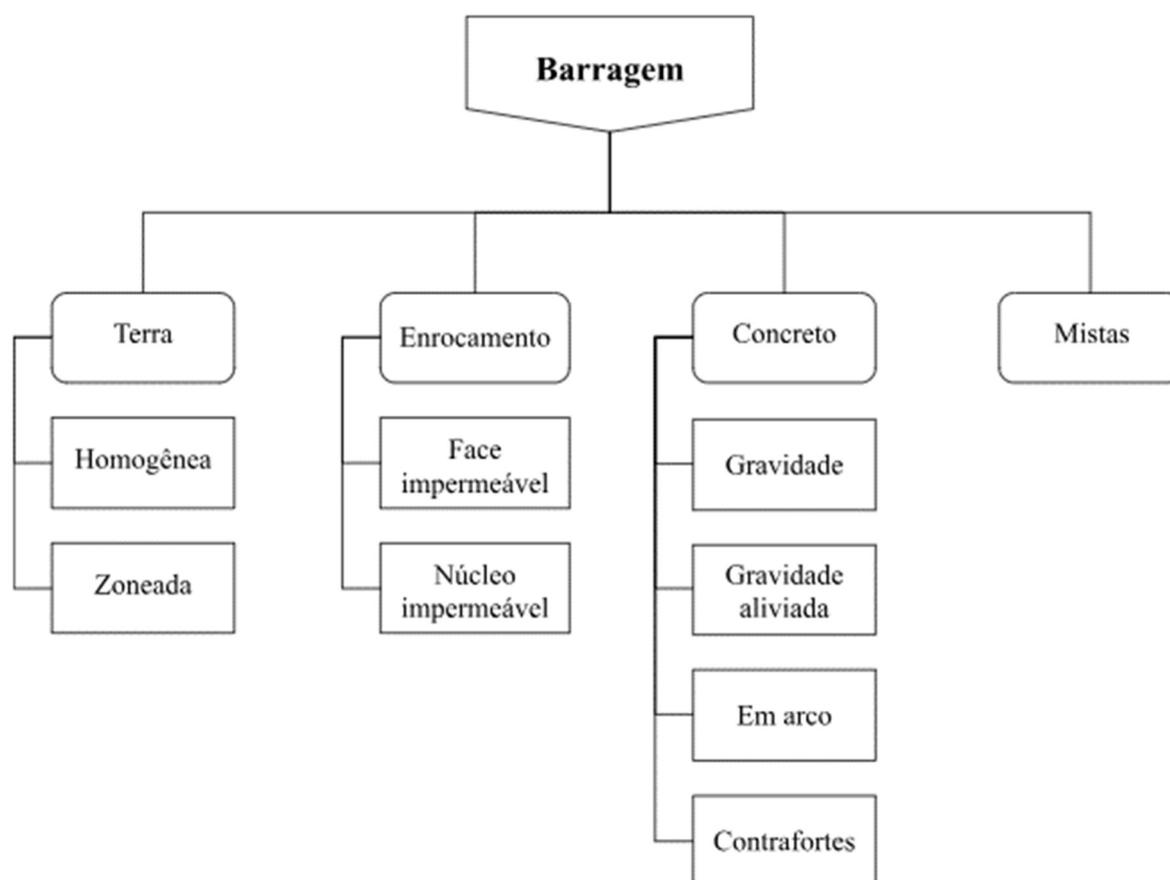
Qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2010).

As barragens podem ser classificadas de acordo com seu tipo, posição relativa ao nível vertente e a destinação final (BUREAU, 1987, p. 59). Também podem ser caracterizadas de acordo com suas aplicações, porte e dominialidade.

2.1.1. Classificação de barragens

Quanto ao tipo e as suas formas construtivas, as barragens podem ser classificadas em: de terra, de enrocamento, de concreto ou mistas (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma - Tipos de barragens



Fonte: adaptado da apostila da disciplina de barragens, 20xx

a) Barragens de terra

Segundo Meirelles (2011), as barragens de terra (ou de aterro) são aquelas constituídas por materiais naturais, como o solo, ou materiais processados, como rochas e britas. As barragens de terra são subdivididas em dois tipos:

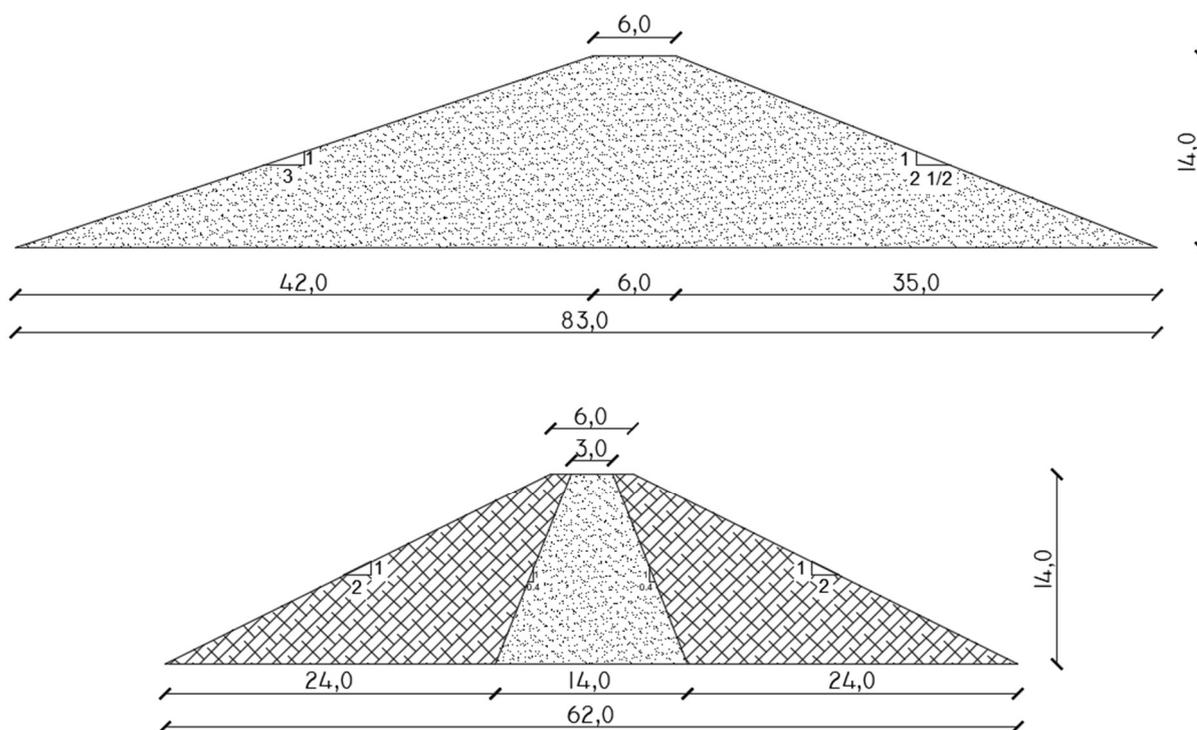
a.1) Homogênea: essas barragens possuem sua estrutura composta de apenas um tipo de material, onde, para garantir a segurança e estabilidade, quando compactado, deve apresentar baixo coeficiente de permeabilidade (CARVALHO, 2011);

a.2) Zoneada: as barragens são consideradas zoneadas, quando não apresentam predominância de um material específico na sua composição. O núcleo é formado por solo com percentual alto de argila para garantir a impermeabilidade, e seus taludes formados por material mais permeável, como areia, cascalho, rochas ou britas, por exemplo (MARANGON, 2004, p. 5). A barragem do tipo zoneada é usada em casos de que por

falta de material argiloso suficiente, a ser retirado da área de empréstimo delimitada, prioriza-se o uso deste material no seu núcleo.

No Brasil, as barragens de terra são o tipo mais usado por conta das condições topográficas no nosso território: vales muito abertos e disponibilidade de material durante a escavação do vale do rio (MASSAD, 2003, p. 177). Além de que fazem uso de fundações menos exigentes, já que sua base larga ajuda na distribuição das cargas, e são mais adequadas para áreas onde os movimentos do solo são comuns (Figura 2). Contudo, a barragem de terra é mais suscetível a danos, que decorrem tanto pelos impactos da água, quanto pelo possível crescimento de plantas, surgimento de tocas de animais ou pelo potencial de erosão, de sedimentações e infiltrações (STEPHENS, 2011).

Figura 2: Exemplo de seção transversal de barragem de terra: homogênea e zoneada, respectivamente



Fonte: Autora (2025)

b) Barragem de enrocamento

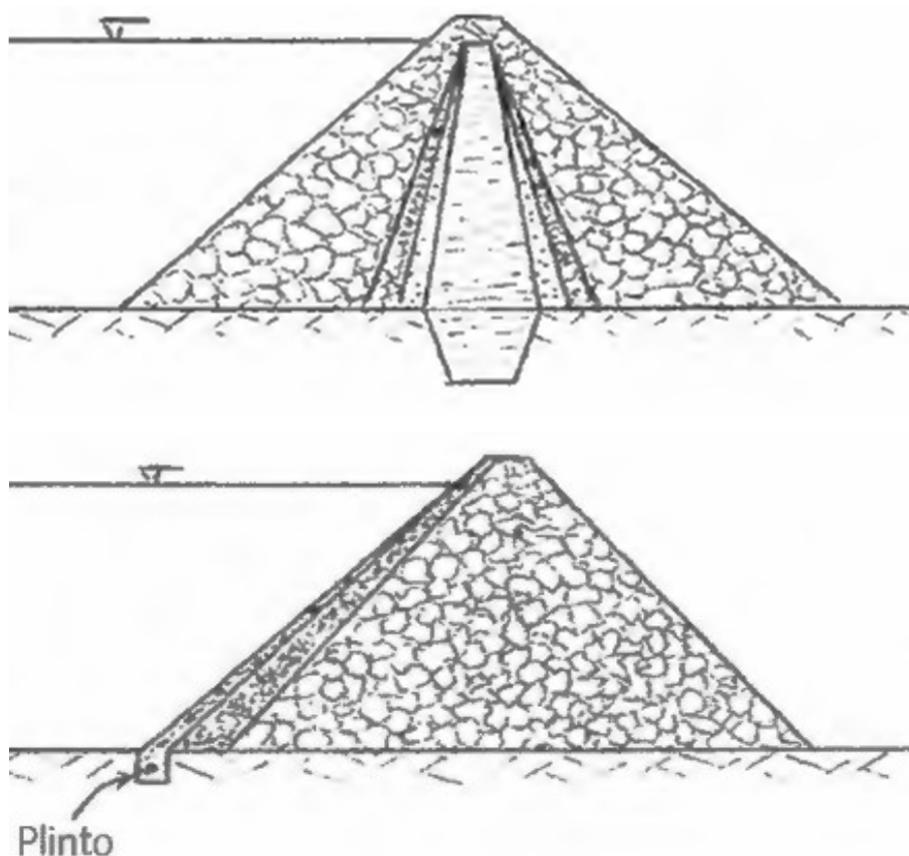
De acordo com Carvalho (2011) as barragens de enrocamento são aquelas constituídas por material mais rochoso de diversas granulometrias, compactados em camadas, o que se faz necessário impermeabilizar o maciço, pela face do talude a montante

ou pelo seu núcleo (Figura 3). Logo, as barragens de enrocamento são subdivididas em dois tipos:

b.1) Com núcleo impermeável: também conhecidas como barragens de terra-enrocamento, essas barragens apresentam diferentes tipos de materiais em sua composição. Em seu núcleo, há a presença de material argiloso, para garantir a impermeabilidade, e em seus taludes, o material do enrocamento, o qual apresenta elevado ângulo de atrito e garante a estabilidade da estrutura. (MASSAD, 2003, p. 179);

b.2) Com face impermeável: em sua maioria, de placas de concreto sobre o talude de montante do enrocamento, com a presença de junta elástica em suas ligações (MASSAD, 2003 p. 180). Essas juntas são essenciais devido ao fato de que, por estarem assentadas sobre um material de característica deformável (o enrocamento em si), podem sofrer ações de recalque.

Figura 3: Exemplo de seção transversal de barragem de enrocamento: núcleo impermeável e face impermeável, respectivamente



c) Barragem de concreto

Diferentemente das barragens de terra e de enrocamento, as barragens de concreto não apresentam seção transversal no formato trapezoidal. Constituídas totalmente em concreto simples, convencional ou compactado, ou em concreto armado. São divididas em (Figura 4):

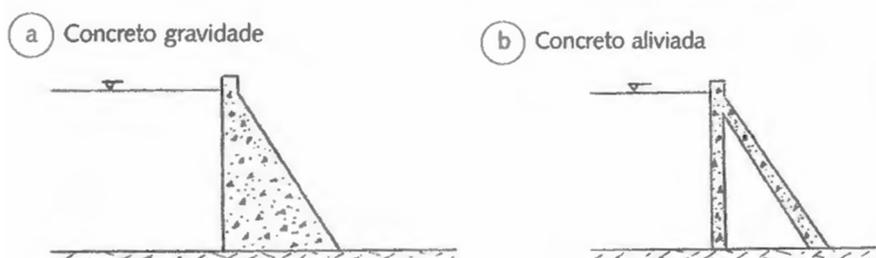
c.1) Gravidade: esse tipo de barragem apresenta estabilidade garantida pelo peso próprio da estrutura, trabalhando apenas à compressão. Pode ser construída em concreto simples maciço ou em blocos, com juntas de vedação verticais, a fim de evitar a formação de fissuras. (ANA, 2016);

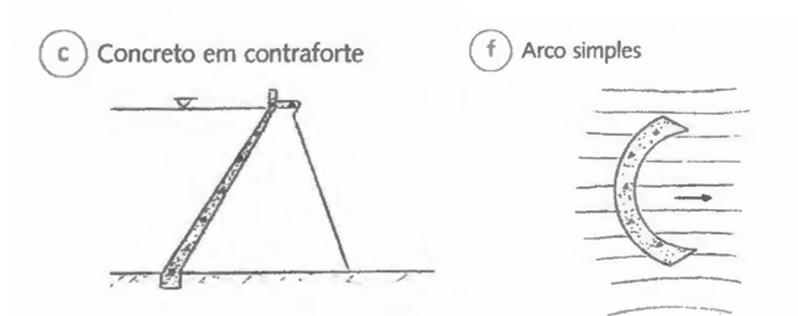
c.2) Gravidade aliviada: possui o eixo longitudinal vazado, com o objetivo de economizar concreto ou diminuir as pressões nas fundações (COSTA, 2012), e o paramento de montante é inclinado a fim de equilibrar a pressão hidrostática;

c.3) Em contrafortes: semelhante à barragem de gravidade aliviada, mas ainda mais leve, pois seu processo construtivo se assemelha ao das lajes de concreto. São implantadas de forma inclinada para transmitir a pressão hidrostática a uma série de contrafortes perpendiculares ao eixo da barragem. Esse *design* concentra os esforços hidrostáticos em pequenas áreas das fundações, exigindo uma maior armação devido às maiores tensões de contato resultantes de sua arquitetura esbelta (COSTA, 2012; ANA, 2016);

c.4) Em arco: são mais raras entre as estruturas de concreto e são mais utilizadas em vales estreitos, com material rochoso adequado e de grande resistência, uma vez que a relação entre o comprimento e a altura deve ser inferior a 2,5 (MARANGON, 2004, p. 4; MASSAD, 2003, p. 177).

Figura 4: Exemplos de seções transversais de barragens de concreto



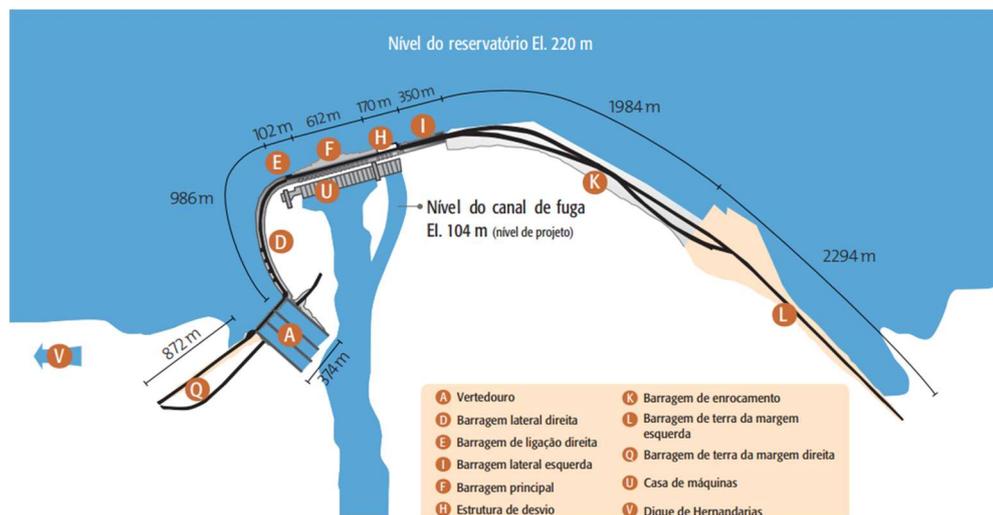


Fonte: Costa (2012, p. 26).

d) Barragem mista

A barragem pode ser considerada mista em relação a sua seção ou ao seu traçado, constituída de diferentes materiais ao longo de uma seção transversal. Os tipos mais conhecidos são: terra/concreto e enrocamento/concreto (COSTA, 2012). No Brasil, um dos exemplos mais conhecido de barragem mista é da Usina Hidrelétrica de Itaipu, que combina trechos de barragem de gravidade com barragens de enrocamento e terra (ITAIPU, 2022), conforme a Figura 5 a seguir.

Figura 5: Esquema da Usina Hidrelétrica de Itaipu



Fonte: Itaipu Binacional (2022).

Quanto à posição relativa do nível vertente, as barragens podem ser divididas em vertedoras (submersíveis) e não vertedoras (insubmersível) (BUREAU, 1987, p. 59). A primeira é projetada para descarregar as águas excedentes, por sobre o corpo da estrutura, logo, deve ser de materiais resistentes à erosão, como o concreto, por exemplo (Figura 6).

A segunda é projetada com uma elevação adicional em relação ao nível máximo de água represada, a fim de evitar o transbordamento por sobre o corpo da estrutura (Figura 7). Esta última pode ser tanto de concreto como de terra e enrocamento, porém deve existir em sua estrutura um elemento para extravasamento da água quando atingir o nível máximo, para que a mesma não passe sobre o maciço a jusante.

Figura 6: Barragem vertedora do Açude São Vicente – Santana do Acaraú, Ceará



Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2021.

Figura 7: Barragem não vertedora Gramame - Conde, Paraíba



Fonte: Paraíba (2022).

Quanto à destinação final, as barragens podem ser classificadas em de retenção, derivação ou contenção. Para Costa (2012) a primeira tem o papel de regularizar o regime hidrológico de um rio, armazenando a água em períodos em que a oferta é maior que a demanda, a fim de evitar o transbordamento da calha fluvial a jusante. A segunda é construída para proporcionar a necessária elevação da lâmina d'água, objetivando: desviar o curso d'água, atender os canais de irrigação e fornecer cota hidráulica adequada a determinados problemas. A última tem o papel de reter água em períodos de cheia para utilizá-la em períodos de estiagem, como também pode ter a finalidade de reter ou acumular sedimentos de forma temporária, sejam eles industriais ou minerais (BUREAU, 1987, p. 59).

Quanto aos usos, as barragens servem a diversos fins, dos quais destacam-se o uso para consumo humano e de animais, irrigação, controle de vazão, geração de energia elétrica, navegação, recreação e paisagismo, entre outros (CARVALHO, 2011). Conforme o Relatório de Segurança de Barragens (RSB)(ANA, 2024, p. 32), das 25.943 barragens cadastradas no SNISB, o uso principal é dividido da seguinte forma: 37% são destinadas a irrigação, 21% a dessedentação animal, 11% para regularização de vazão, 8% para o abastecimento humano e 5% para geração hidrelétrica. Os demais usos (aquicultura, disposição de rejeitos de mineração, uso industrial, recreação e paisagismo) contemplam os 18% restantes.

Quanto ao porte, as barragens para acumulação de água podem ser classificadas quanto ao volume de seu reservatório:

- I - pequena: reservatório com volume inferior a 5 milhões de metros cúbicos;
- II - média: reservatório com volume igual ou superior a 5 milhões de metros cúbicos e igual ou inferior a 75 milhões de metros cúbicos;
- III - grande: reservatório com volume superior a 75 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 200 milhões de metros cúbicos;
- IV - muito grande: reservatório com volume superior a 200 milhões de metros cúbicos (BRASIL, 2012).

Quanto à dominialidade, as barragens podem ser classificadas de acordo com a dominialidade do curso d'água onde a estrutura está inserida. Conforme a Constituição

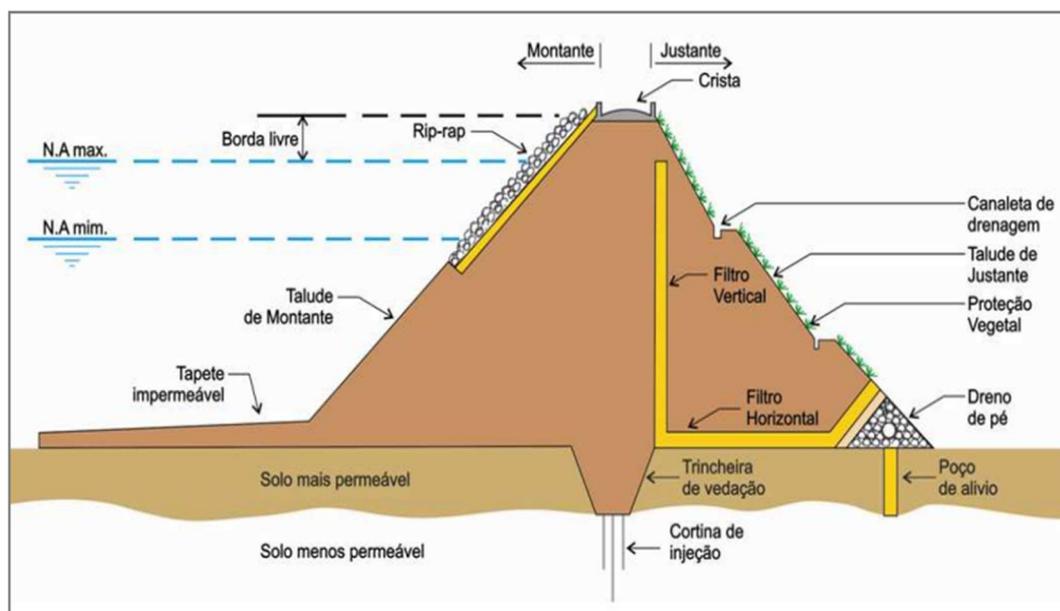
Federal de 1988, nos Art. 20 e 26, todos os rios são públicos e pertencem à União ou aos Estados (VALENTE, 2000). Caso um rio tenha início e fim dentro do mesmo estado, ele será caracterizado como estadual e os barramentos que existirem em seu curso serão de responsabilidade da administração regional (Estado). Contudo, caso o percurso do rio passe por mais de um estado ou sirva de limite com outros países, ele será caracterizado como federal e toda e qualquer estrutura instalada em seu curso será de responsabilidade da administração central (União). Contudo, vale ressaltar que barragens construídas com recursos federais em rios estaduais, a água represada pelo barramento passa a ser de domínio federal, e após o barramento ela retorna a ser estadual.

A *International Commission of Large Dams* (ICOLD) ou na tradução livre do inglês, Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB), mantém um registro mundial de barragens. Para uma barragem ser classificada grande e ser incluída nesse registro, ela deve ter a altura de 15 metros ou 10 a 15 metros e armazenar mais de 3 milhões de metros cúbicos de água em seu reservatório.

2.1.2. Elementos constituintes de uma barragem

Uma barragem é composta por diversos elementos estruturais que garantem sua estabilidade, funcionalidade e segurança. Cada componente desempenha um papel específico na retenção e controle da água, permitindo o uso sustentável do reservatório, como pode ser observado na Figura 8 e Quadro 1 a seguir.

Figura 8: Principais elementos de uma barragem de terra - Barragem homogênea



Fonte: Carvalho (2011).

Quadro 1: Termos e definições de elementos de uma barragem (início)

Termo	Definição
Maciço	Corpo da barragem erguido sobre o curso d'água, pode ser feito de terra ou concreto (SNISB, 2022).
Reservatório	Acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos (SNISB, 2022).
Crista/Coroamento	Superfície plana no topo da barragem, normalmente utilizada como uma estrada para o tráfego de veículos, ou para facilitar a operação, inspeção e manutenção da barragem (SNISB, 2022).
Borda livre	Distância vertical entre a crista com o limite máximo do reservatório, delimitado na maioria das vezes pela cota da soleira do vertedouro (Carvalho, 2011, p. 98).
Talude de montante	Superfície inclinada do maciço em contato com o reservatório. Em barragens de terra, deve ser protegida contra o poder erosivo das ondas (SNISB, 2022).
Proteção do talude de montante (<i>rip-rap</i>)	Proteção do maciço a montante usada em barragens de terra. Pode ser de dois tipos: lançado ou com pedras arrumadas (Carvalho, 2011, p. 109).
Talude de jusante	Superfície inclinada do maciço oposta ao reservatório. Em barragens de terra deve ser protegida contra o poder erosivo do escoamento superficial das águas pluviais (SNISB, 2022)

Quadro 1 - Termos e definições de elementos de uma barragem (fim)

Termo	Definição
Proteção do talude de jusante	Geralmente utiliza-se grama para proteção do talude a jusante para impedir que o escoamento superficial alcance grandes velocidades (Carvalho, 2011, p. 125).
Ombreira	Laterais do vale onde a barragem se apoia, são divididas em ombreira direita e ombreira esquerda (SNISB, 2022).
Trincheira de vedação (cut-off)	Também conhecida como “Vala corta-água”, tem a função de diminuir o fluxo de água subterrâneo, a fim de impedir a ruptura devido a subpressões e à erosão interna da barragem (Carvalho, 2011, p. 142).
Filtro horizontal	Sistema de drenagem dentro de barragens de terra homogênea. Utilizado para minimizar o carreamento de partículas do solo que podem provocar uma erosão interna (Carvalho, 2011, p. 201). Não deve ultrapassar o espaçamento entre a crista e talude de jusante.
Filtro vertical (filtro chaminé)	Sistema de drenagem dentro de barragem de terra homogênea. Utilizado para minimizar o carreamento de partículas do solo que podem provocar uma erosão interna (Carvalho, 2011, p. 187). Não deve ultrapassar o espaçamento entre a crista e talude de jusante, e a altura máxima do nível operacional do reservatório.
Transições	Seção de material com granulometria intermediária, para mudança de material fino para material de granulometria maior (Carvalho, 2011, p. 215)
Tapete impermeável	É utilizado com o objetivo de reduzir o gradiente hidráulico através da fundação no talude de montante, aumentando o caminho que água tem que percorrer sob a barragem (Carvalho, 2011, p. 146).
Sistema de drenagem das águas pluviais	Canaletas de drenagem localizadas no talude de jusante, localizadas desde a crista do maciço ao sopé a jusante, auxiliando a drenagem do escoamento superficial (Carvalho, 2011, p. 86).

Fonte: utilização de dados secundários, quadro criado pela autora, 2025.

Além desses elementos, para o perfeito funcionamento da barragem, também fazem parte da estrutura:

Vertedouro: é a principal estrutura para descarga de cheias que chegam ao reservatório (SNISB, 2022). Utilizadas tanto em barragens vertentes quanto em barragens não-vertentes. Contudo, são obrigatórias em barragens de terra e enrocamento.

Comportas: dispositivo mecânico ou eletromecânico que se destina a controlar o fluxo de água passando através de uma determinada estrutura da barragem (SNISB, 2022).

Geralmente as comportas são seguidas pelo vertedouro.

Tomadas d'água: estrutura pela qual acontece a liberação da água do reservatório (SNISB, 2022). Podem ser ligadas diretamente a captação de água, a qual é destinada à Estação de Tratamento de Água.

Descarregador de fundo: conjunto de tubulações que permitem a saída de água de forma segura por baixo da barragem, permitindo esvaziar o reservatório para eliminação de sedimentos, manutenção de vazão ecológica, dentre outros fins (SNISB, 2022). O descarregador de fundo é o responsável por manter o fluxo de água a jusante da barragem.

Eclusas: estruturas construídas geralmente em canais controlados por comportas, onde o nível d'água pode ser elevado ou rebaixado para permitir a transposição de embarcações pela barragem ou demais locais com desníveis (DNIT, 2018).

Sistemas para Transposição de Peixes (STP): dispositivo que permite a migração segura de espécies de peixes prejudicadas pela construção de barragens, ocorrendo no sentido de jusante a montante do curso do rio. Podem ser do tipo escada, elevador, eclusa, híbridos ou outros métodos alternativos (MARTINS, 2000, p. 92).

2.2. ANOMALIAS

2.2.1. Anomalias associadas a barragens

Anomalias podem ser caracterizadas como uma anormalidade ou falhas que afetem a usabilidade do maciço. Considerando que muitos acidentes ocorrem devido a anomalias no corpo da barragem por falta de monitoramento, as inspeções e recuperações se tornam fundamentais para executar ações que garantam o funcionamento da barragem de forma segura.

Castro (1999) define acidente como um desastre de pequena intensidade, evento ou sequência de eventos fortuitos não planejados. Entretanto, entende-se “acidente” como um evento de grande porte, ou uma anomalia grave, e quando relacionado a temática “barragem” pode representar à ruptura parcial ou total da obra e/ou a sua completa disfuncionalidade, com consequências sociais, ambientais e econômicas (LIMA, 1992, VIEIRA, 2000 apud MENESCAL et al., 2005, p. 41).

De acordo com o manual *Inspection of Small Dams* da *Alberta Environmental Protection* - AEP (1998, p. 4), dentre os fatores que contribuem ou que são a causa do

rompimento ou mesmo o colapso das barragens podem-se citar, a deficiência do projeto ou localização inadequada, o processo de construção e de operação negligenciados e a capacidade inadequada do vertedouro; os quais podem levar ao comprometimento da estabilidade física da estrutura a curto ou longo prazo. O Boletim nº 99 (ICOLD, 1995, apud ANA, 2014, p. 27) informa que a maioria dos rompimentos se dá em barragens recém-construídas, onde 70% ocorrem nos primeiros 10 anos.

Segundo o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens - MSIB (2002, p. 29), as barragens de terra necessitam de manutenção direcionadas à erosão e controle de percolação de água pelo maciço e/ou fundação. Para evitar tais falhas, é necessário realizar manutenções regulares em pontos propícios de surgimento.

Dentre as causas mais comuns de rompimento em barragens de terra e enrocamento por erosão, o Boletim nº 99 (ICOLD, 1995, apud ANA, 2014, p. 27) aponta o galgamento como causa primária em 31% e causa secundária em 18% dos casos registrados. O galgamento em uma barragem de terra pode ser provocado por eventos de chuvas intensas e mau funcionamento dos equipamentos de descarga (vertedouro ou descarregador de fundo)(ANA, 2021, p. 13). Esse fenômeno acontece após o reservatório transbordar e a onda de cheia passar por cima do coroamento, ocasionando erosão e, conseqüentemente, abertura de brechas no maciço do talude a jusante (SALIBA, 2009, p. 12).

Já a erosão interna, ocasionada pela falta de controle de percolação da água no interior do maciço e/ou fundação, é classificada como a segunda causa mais comum de rompimento de barragens (INAG, 2001, p. 280). Foster, Fell & Spannagle (2000, apud Malveiras e Soares, 2020), relatam que após os anos 1950, as falhas em barragens ocasionadas por problemas relacionados ao *piping*, obtiveram um aumento de 43% para 54%. AEP (1998, p. 4) aponta que “uma concentração de fluxos de infiltração, se não controlados, podem resultar em uma progressão na erosão interna progressiva da barragem, podendo evoluir para um problema de *piping*”. A erosão interna pode ser causada por falta de proteção dos filtros (filtros e drenos com grandes vazios), má compactação do aterro, gradientes hidráulicos elevados ou quando há erosão externa por conta da presença de tocas de animais, raízes apodrecidas, falhas ou fissuras em rochas de fundação (FERNANDES, 2020).

As falhas podem ser classificadas em três categorias principais: erosão, erosão tubular (*piping*) e deslizamento de taludes (AEP, 1998, p. 4), onde podem ocorrer em

diversas partes da barragem, como na crista, talude de montante e de jusante, sopé a jusante, vertedor, reservatório, maciço e ombreiras.

A seguir são descritas as anomalias por áreas de ocorrência, que podem ser observadas durante o processo de inspeção de segurança de barragens (AEP, 1998, p. 13, MSIB, 2002, p. 107):

Crista/Coroamento

- a) Rachadura longitudinal
 - i) Possíveis causas: assentamento irregular do aterro do maciço ou fundação, instabilidade do(s) talude(s);
 - ii) Problemas: podem reduzir a largura da crista e proporcionar um espaço para entrada de água acumulada na superfície;
 - iii) Recomendações: a área atingida por essa anomalia deve ser escavada e preenchida novamente com material compactado.

- b) Orifício
 - i) Possíveis causas: erosão interna causada por infiltração (*piping*);
 - ii) Problemas: pode provocar descamação ou abertura de buracos, provocando a instabilidade do tabule ou rebaixamento da área, e, dependendo do tamanho do buraco e sua extensão, pode levar à falha da barragem;
 - iii) Recomendações: a causa da anomalia deve ser determinada por um engenheiro qualificado e posteriormente tratada.

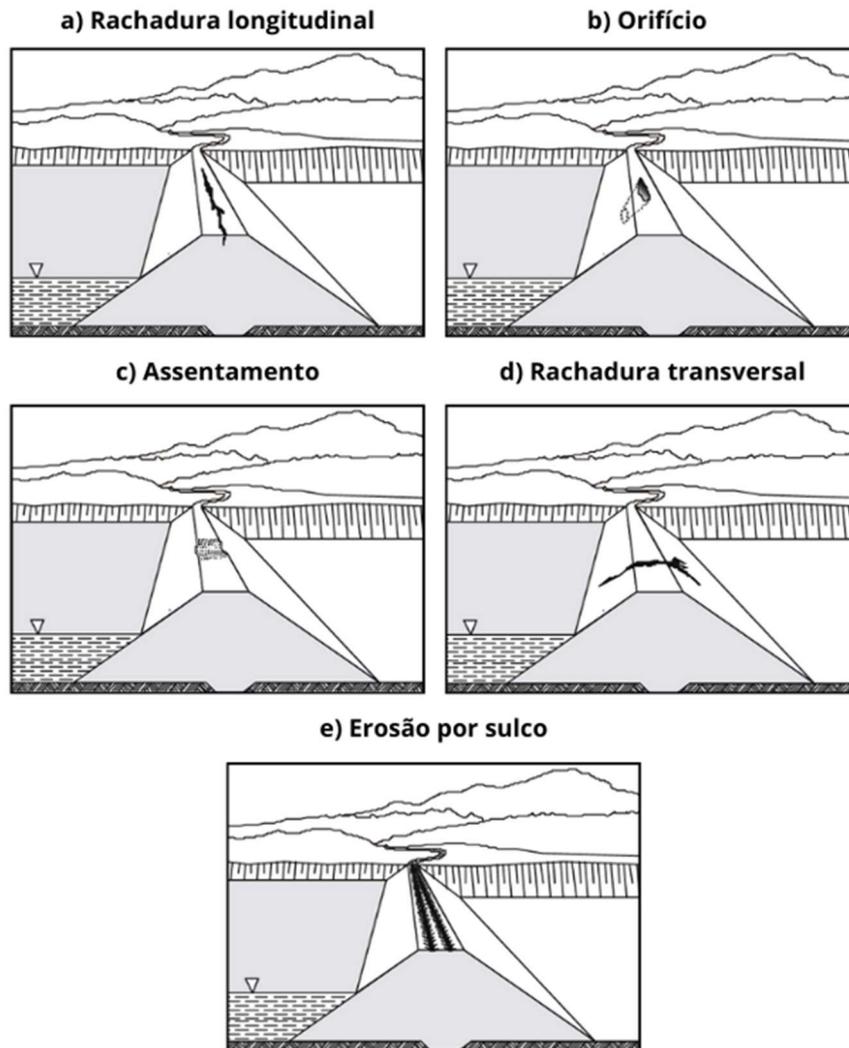
- c) Assentamento
 - i) Possíveis causas: erosão provocada pelo vento ou água, práticas construtivas precárias;
 - ii) Problemas: reduz a altura da borda livre em casos de enchentes e concentra o fluxo de água em um trecho, caso a barragem sofra galgamento;
 - iii) Recomendações: a altura da barragem deverá ser refeita como especificado no projeto.

- d) Rachadura transversal

- i) Possíveis causas: instabilidade do aterro ou fundação;
 - ii) Problemas: cria um espaço de entrada de água acumulada na superfície, o que pode provocar um caminho de infiltração até o reservatório, ocasionando em *piping*;
 - iii) Recomendações: a área atingida por essa anomalia deve ser escavada e preenchida novamente com material compactado.
- e) Erosão por sulco
- i) Possíveis causas: tráfego de veículos na extensão do coroamento quando a superfície se encontra molhada, mal funcionamento do sistema de drenagem devido a vegetação excessiva;
 - ii) Problemas: permite a permanência de água na crista, provocando a saturação do solo da superfície;
 - iii) Recomendações: escarificar e compactar o solo até atingir a elevação inicial de projeto.

Essas principais anomalias estão apresentadas na Figura 9:

Figura 9: Principais anomalias que podem ser observadas na crista/coroamento



Fonte: AEP (1998), adaptado pela autora.

Talude de montante

- a) Erosão
- i) Possíveis causas: proteção inadequada contra erosão, ação dos ventos ou ondas do reservatório;
 - ii) Problemas: pode causar aumento da infiltração no maciço e erosão, e, caso contínua, pode reduzir a largura ou diminuir a altura de segurança até o coroamento, o que pode provocar um galgamento;
 - iii) Recomendações: nivelar o talude a montante para o nível original do projeto e fornecer proteção adequada ao talude ou nivelá-lo adicionando material.

b) *Riprap* deslocado ou desgastado

- i) Possíveis causas: baixa qualidade do *riprap*, deslocamento das rochas, ação de ondas;
- ii) Problemas: permitem o aumento da erosão no maciço, o que pode reduzir a largura e comprimento do maciço;
- iii) Recomendações: reparar os danos causados pela erosão e restabelecer a proteção do maciço.

c) Rachaduras

- i) Possíveis causas: instabilidade do talude, diferentes assentamentos;
- ii) Problemas: essa anomalia quase sempre precede uma falha de encosta ou um recalque em grande escala;
- iii) Recomendações: o nível do reservatório deve ser abaixado e o engenheiro responsável deve determinar a causa e recomendar as ações corretivas a serem tomadas.

d) Deslizamento

- i) Possíveis causas: falha na fundação, talude muito íngreme, rápido rebaixamento do nível do reservatório;
- ii) Problemas: pode ocasionar em uma falha da barragem e os detritos do corpo do maciço podem causar o entupimento das descargas de fundo da barragem;
- iii) Recomendações: o reservatório deve ser esvaziado, os usuários a jusante devem ser avisados do interrompimento do fornecimento de água e o engenheiro responsável deve determinar a causa e recomendar as ações corretivas a serem tomadas.

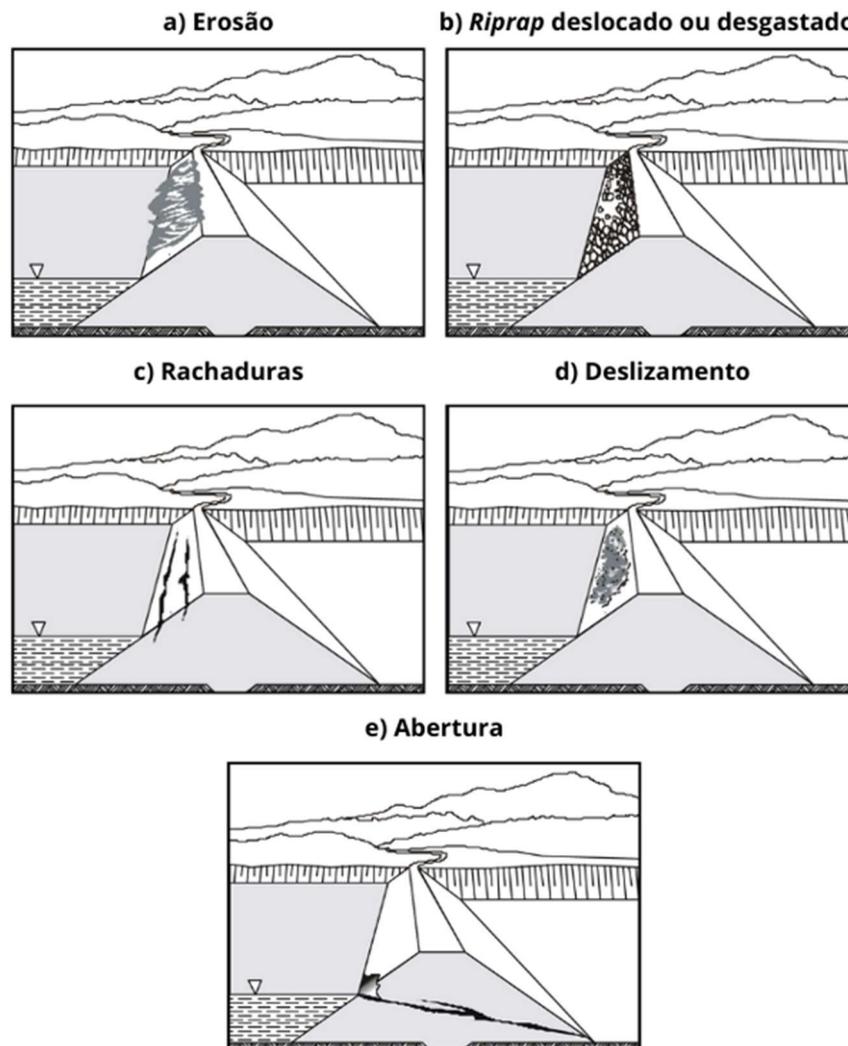
e) Abertura/buraco

- i) Possíveis causas: erosão causada por infiltrações acumuladas, ocorrência de “*piping*”;
- ii) Problemas: normalmente provoca uma falha causada por *piping*;

- iii) Recomendações: o reservatório deve ser esvaziado, a fim de procurar por outras aberturas que possam existir no maciço. O fluxo de saída das descargas de fundo deve ser examinado para o surgimento de água com detritos.

Essas principais anomalias estão apresentadas na Figura 10:

Figura 10: Principais anomalias que podem ser observadas no talude de montante



Fonte: AEP (1998), adaptado pela autora.

Talude de jusante:

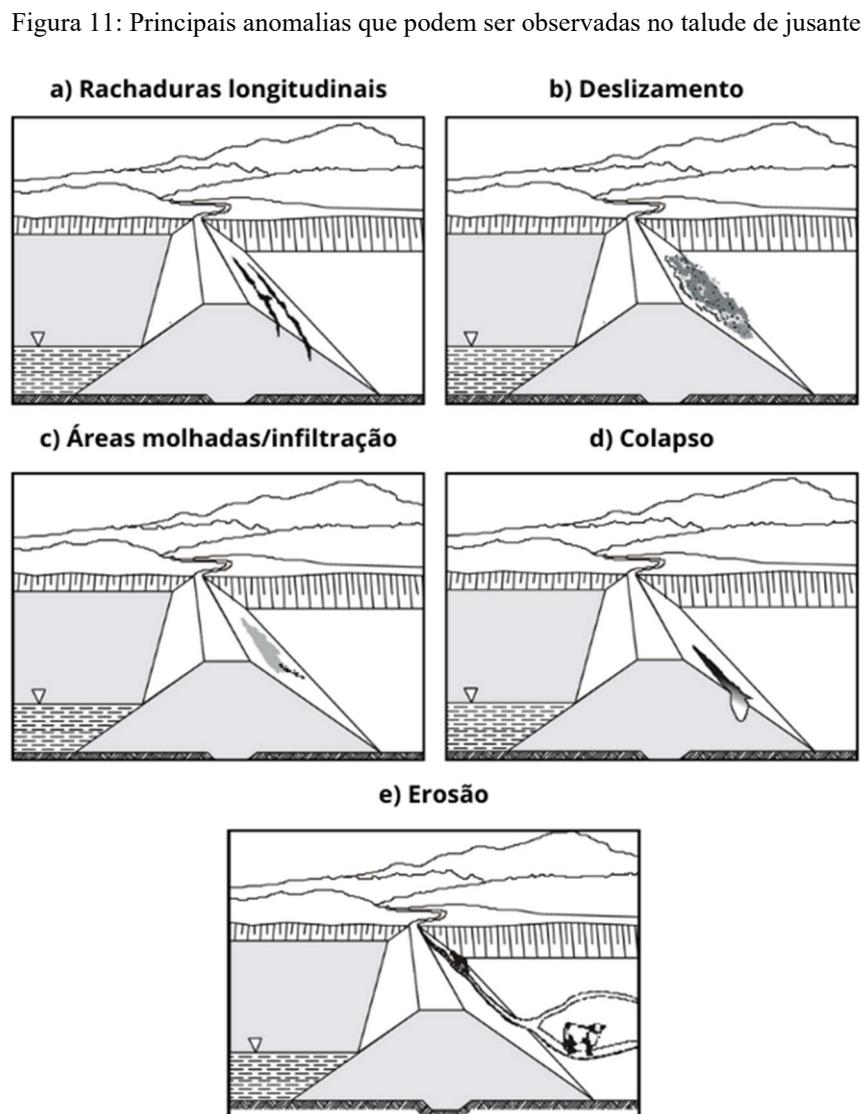
- a) Rachaduras longitudinais

- i) Possíveis causas: instabilidade do talude, material de recobrimento do talude ressecado, assentamento do material do talude ou fundação;
 - ii) Problemas: possibilita a entrada de água acumulada na superfície do talude e pode ser um aviso para um possível deslizamento futuro do talude;
 - iii) Recomendações: rachaduras que se encontrarem secas devem ser seladas e o engenheiro responsável deve determinar a causa e recomendar as ações corretivas a serem tomadas.
- b) Deslizamento
- i) Possíveis causas: talude muito íngreme, perda de material devido ao excesso de infiltrações;
 - ii) Problemas: podem ocasionar outros deslizamentos e a falha do maciço;
 - iii) Recomendações: o reservatório deve ser esvaziado e tomadas as devidas ações corretivas para solução do problema.
- c) Áreas molhadas/infiltração
- i) Possíveis causas: infiltração aparente no maciço do talude ou fundação, surgimento de água por meio de rachaduras ou buracos de animais;
 - ii) Problemas: podem ocasionar instabilidade do talude, o que leva a falha do maciço. Também indica a possibilidade da ocorrência de *piping*;
 - iii) Recomendações: caso a água que esteja surgindo apresente características de “água suja” (água misturada com o material do maciço) há a indicação da ocorrência de *piping*. A área no talude de jusante e o fluxo devem ser monitorados, juntamente com o nível do reservatório. Se o fluxo de “água suja” aumentar, o engenheiro responsável deverá ser contatado para avaliar a situação.
- d) Colapso
- i) Possíveis causas: má compactação, erosão interna, escavação animal;
 - ii) Problemas: pode aumentar a infiltração e indicar uma falha em potencial;
 - iii) Recomendações: a área afetada deve ser monitorada enquanto determinam a possível causa e traçam um plano de ações corretivas para o problema.

e) Erosão

- i) Possíveis causas: tráfego de animais ou veículos, escoamento superficial;
- ii) Problemas: aumentam a possibilidade de erosão;
- iii) Recomendações: nivelar o talude e proteger a superfície com vegetação rasteira, além de proibir o tráfego de animais e veículos na estrutura.

Essas principais anomalias estão apresentadas na Figura 11:



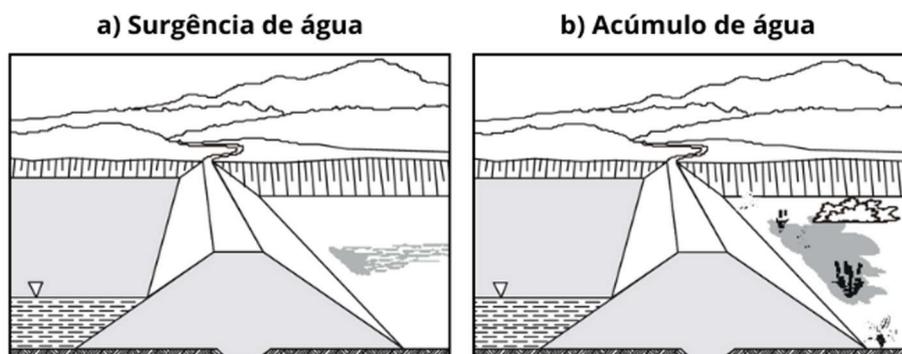
Fonte: AEP (1998), adaptado pela autora.

Sopé de jusante

- a) Surgência de água
- i) Possíveis causas: infiltração concentrada emergindo da fundação;
 - ii) Problemas: pode ocorrer devido uma falha na tubulação de fundação (tubulação de fundo) ou no aterro (filtros);
 - iii) Recomendações: caso a água que esteja surgindo apresente características de “água suja” (água misturada com o material do maciço) há a indicação da ocorrência de *piping*. A área e fluxo devem ser monitorados, juntamente com o nível do reservatório. Se o fluxo de “água suja” aumentar, o engenheiro responsável deverá ser contatado para avaliar a situação.
- b) Acúmulo de água
- i) Possíveis causas: fluxo de água provinda do reservatório, carreamento dos materiais da fundação, má drenagem;
 - ii) Problemas: dificulta a estimativa do fluxo de água, aumenta a saturação e desestabiliza o talude de jusante;
 - iii) Recomendações: providenciar uma drenagem adequada que previne o acúmulo de água, identificar o caminho formado da infiltração e consultar imediatamente o engenheiro responsável caso o fluxo de água aumente.

Essas principais anomalias estão apresentadas na Figura 12:

Figura 12: Principais anomalias que podem ser observadas no sopé de jusante



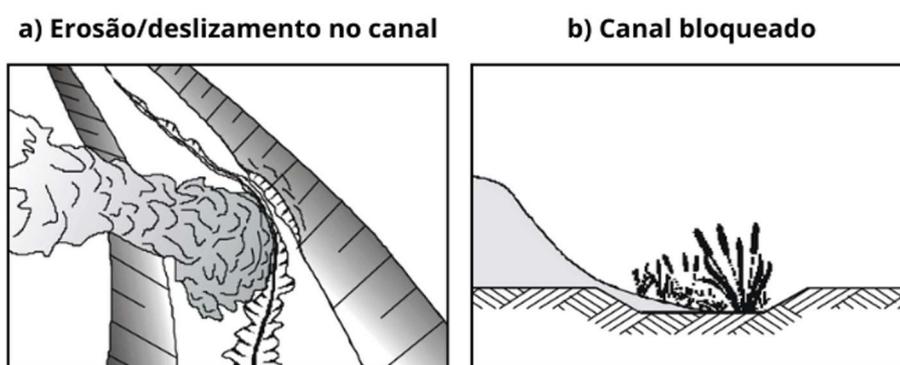
Fonte: AEP (1998), adaptado pela autora.

Vertedor:

- a) Erosão/deslizamento no canal
- i) Possíveis causas: proteção inadequada contra erosão do talude a jusante e talude muito íngreme;
 - ii) Problemas: o canal pode sofrer erosão e material do talude pode ser carregado rio abaixo, bloqueando o canal. Também pode ocorrer do reservatório ser drenado devido a erosão do talude;
 - iii) Recomendações: a área afetada deve ser reparada com aterro compactado, protegida adequadamente e o canal deve ser nivelado se necessário.
- b) Canal bloqueado
- i) Possíveis causas: detritos, atividade de animais, atividade humana;
 - ii) Problemas: pode restringir a vazão do vertedouro, provocando o galgamento pelo maciço;
 - iii) Recomendações: remover e prevenir futuros bloqueios.

Essas principais anomalias estão apresentadas na Figura 13:

Figura 13: Principais anomalias que podem ser observadas no vertedor



Fonte: AEP (1998), adaptado pela autora.

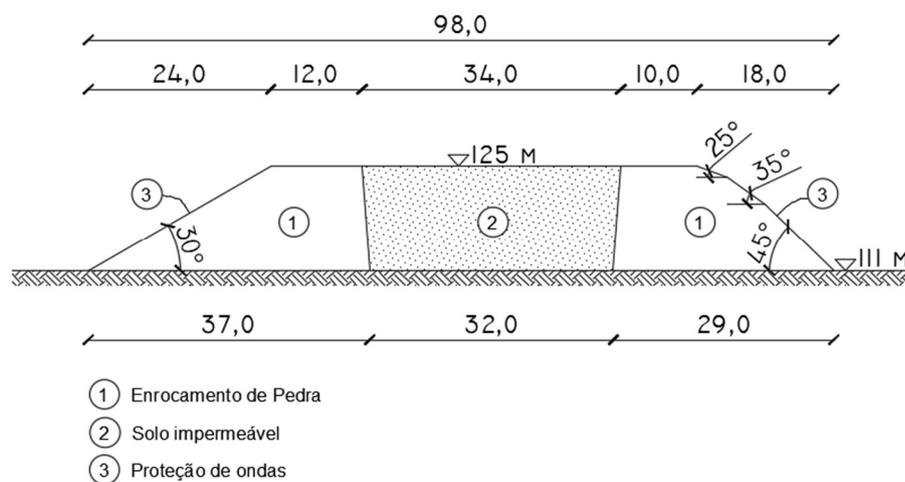
2.3. CONTEXTO HISTÓRICO

A construção de barragens é uma das atividades técnicas mais antigas executadas em prol de um bem comum: aumentar a disponibilidade hídrica. A humanidade começou a construir barragens há milhares de anos como uma forma de gerenciar os recursos

hídricos e garantir a sua sobrevivência. A competição pelo uso da água pode ser dividida em três principais grupos: agropecuária, indústria e uso doméstico. Pode-se observar que essa competição aumentou com o passar dos anos, conforme informado pela Comissão Mundial de Barragens - CMB em 2000 e por Itaborahy et al. (2004). O consumo pela agricultura passou de 67% para 70%, seguido da atividade industrial de 19% para 23%, e como consequência, ocorreu a diminuição da porcentagem restante para o uso doméstico, de 9% para 7% (CMB, 2000; ITABORAHY et al., 2004).

Fahlbusch (2009) relata que um dos registros mais antigos de que se tem informações acerca da construção de barragens é datado de 3000 a.C, com a barragem Jawa, na Jordânia e a barragem de Sadd-el-Kafara por volta de 2.600 a.C., próximo ao Cairo, no Egito. Essa última é considerada uma das primeiras barragens de grande porte, com 14 metros de altura e do tipo barragem de enrocamento com núcleo de terra. Porém, após uma forte cheia, assume-se que a seção central preenchida com terra não havia sido eficientemente protegida da ação da erosão da água, motivo este que ocasionou o seu colapso antes mesmo da obra ser concluída (KUTZNER, 1997; JANSEN, 1988). Após o acontecido, os egípcios se tornaram céticos em realizar novas tentativas. Apesar de possuírem o potencial técnico limitado de seu tempo, é interessante observar semelhança com as barragens modernas de enrocamento com núcleo central de argila, como é mostrado na Figura 14.

Figura 14: Seção transversal da barragem de Sadd-el-Kafara



Fonte: Kutzner (1997, p. 5), adaptado pela autora

Outra barragem antiga de que há notícia, e ainda em uso, é a barragem de Qattinah na moderna Síria, construída por volta de 1300 a.C (ICOLD, 2008) e que, posteriormente, teve seu primeiro alteamento (aumento da altura da estrutura existente) durante o período de ocupação romana, e outro mais recentemente entre 1934-1938 (FERNANDES, 2020). Essa barragem abastece a cidade de Homs, pelo lago de mesmo nome, por meio do Rio Orontes.

A partir da “Revolução Industrial” novas técnicas, estudos sobre o solo e materiais mais resistentes passaram a ser implementados nas construções das barragens, visto que até então baseavam-se na intuição em vez de métodos científicos (KUTZNER, 1997). De acordo com a ICOLD (2008), as barragens são construídas para armazenar e controlar a água para fins de fornecimento doméstico, irrigação, navegação, recreação, controle de sedimentação, controle de enchentes ou para obtenção de energia hidrelétrica.

A barragem mais antiga conhecida em território brasileiro é a de Apipucos, localizada na área urbana de Recife (PE). Construída por volta do final do século XVI, esta barragem já era mencionada em mapas holandeses datados de 1577 (CBDB, 2011). Situada na região Nordeste, área diretamente afetada pelo fenômeno ENOS (*El Niño-Oscilação Sul*), essa barragem encontra-se dentro do que hoje é conhecido como o Polígono das Secas.

Um marco importante na história do Brasil ocorreu em 1877, quando o país enfrentou uma das mais severas estiagens já registradas, com duração superior a três anos. Diante da gravidade da situação, o então imperador Dom Pedro II instituiu uma comissão com o objetivo de propor soluções para o problema. Entre as principais recomendações estavam a construção de estradas que permitissem o acesso da população ao litoral e a implantação de barragens voltadas para irrigação e abastecimento humano. A partir destas medidas, teve início o planejamento e a construção de grandes barragens no Brasil (CBDB, 2011).

O século XX ficou marcado pela chamada Era das Grandes Barragens, impulsionando a busca por estruturas de múltiplos usos. Com o aumento da demanda por geração de energia elétrica, barragens antes destinadas apenas à irrigação ou ao abastecimento humano passaram a ser projetadas também para esta finalidade. Entre as décadas de 1930 e 1970, construir barragens passou a ser sinônimo de desenvolvimento e progresso econômico no mundo como um todo (CMB, 2000).

Devido à sua vasta extensão territorial e diversidade natural, o Brasil possui uma grande quantidade de rios e lagos, além de um relevo favorável à construção de barragens. Esses fatores contribuíram para que o país rapidamente se tornasse uma potência em geração de energia pela matriz hidrelétrica (Oliveira, 2018). Por conta disto, o Brasil está ranqueado em segundo lugar entre os países que mais constrói barragens e o que mais gera energia com hidrelétricas no mundo (atrás apenas da China). Proporcionando uma oferta interna de energia elétrica pela matriz hidráulica correspondente a 58,9% da totalidade gerada no país, segundo informações da *International Energy Agency* - IEA (2021) e da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2024). A Tabela 1 mostra os países ranqueados entre os dez maiores produtores de energia hidrelétrica, em três categorias-chave.

Tabela 1: Produção hidrelétrica mundial

Colocação	Produtores (2019)	TWh	%	Capacidade instalada (2019)	GW	Energia gerada (2019)	%
1°	China	1304	30,1	China	356	Noruega	93,4
2°	Brasil	398	9,2	Brasil	110	Brasil	63,5
3°	Canadá	380	8,8	Estados Unidos	103	Canadá	58,8
4°	Estados Unidos	311	7,2	Canadá	81	Turquia	29,2
5°	Rússia	197	4,6	Rússia	54	Vietnã	27,8
6°	Índia	172	4,0	Japão	50	Rússia	17,5
7°	Noruega	126	2,9	Índia	49	China	17,4
8°	Turquia	89	2,1	Noruega	33	Índia	10,6
9°	Japão	87	2,0	Turquia	29	Japão	8,4
10°	Vietnã	66	1,5	França	26	Estados Unidos	7,1
Resto do mundo		1199	27,7		417		14,2
Total		4329	100,0		1308		16,0

Fonte: IEA (2024, p. 22), adaptado pela autora.

Segundo o último RSB emitido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento - ANA (2024), referente ao período de cadastramento das barragens no SNISB até 31 de janeiro de 2023, há 25.943 barragens no país. Porém, até a última data de consulta, em 18 de abril de 2025, ao *site* do SNISB para elaboração deste trabalho, constava a quantidade de 29.502 barragens cadastradas no sistema. Ressalta-se que a diferença entre os valores do período de janeiro/2023 a abril/2025 (3.559) não indica em sua totalidade a construção de novas barragens, mas, também, o cadastramento de barragens já existentes. Contudo, não é possível afirmar que esse valor representa o total de barragens construídas em solo brasileiro, o qual poderia ultrapassar em muito o informado pelo último relatório.

2.3.1. Segurança de Barragens no Brasil

Como mencionado anteriormente, o Brasil têm milhares de barragens espalhadas em seu território, de diferentes tipos e portes, construídas com técnicas distintas e para diversos fins. Com o passar do tempo, o crescimento do número dessas estruturas e alguns acidentes graves, como o de Camará, na Paraíba em 2004 e de Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019, ambas em Minas Gerais, sendo essas duas últimas barragens de contensão de minérios; evidenciaram a necessidade de regulamentar e fiscalizar melhor a segurança das barragens em solo brasileiro.

Antes da promulgação da Lei nº 12.334/2010, o Brasil não dispunha de um marco legal unificado e abrangente sobre a segurança de barragens. A fiscalização era realizada de forma descentralizada por diferentes órgãos setoriais, como ANA, DNOCS, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e órgãos estaduais, cada um com critérios e metodologias distintas. Essa fragmentação dificulta a adoção de padrões mínimos de segurança, especialmente em barragens de pequeno porte ou localizadas em regiões de menor visibilidade técnica e institucional.

Com a criação da PNSB, instituída pela Lei nº 12.334/2010, foram estabelecidas diretrizes nacionais para garantir a segurança de barragens, com foco na preservação da vida humana, do meio ambiente e do patrimônio público e privado. A lei define, em seu Art. 2º, parágrafo III, que para uma barragem ser considerada segura é necessário garantir sua integridade estrutural e operacional, além de envolver aspectos ambientais, sociais e hidrológicos.

A lei em questão aplica-se a barragens que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- Altura do maciço ≥ 15 metros;
- Capacidade total do reservatório $\geq 3.000.000\text{m}^3$ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos;
- Categoria de DPA médio ou alto ou categoria CRI alta.

Conforme Lei 12.334/2010, do Artº. 3º ao 13º fornece as diretrizes para a PNSB, como os objetivos, fundamentos, instrumentos necessários e requisitos mínimos que devam estar contidos nela.

O SNISB, como instrumento do PNSB, tem a função de registrar as condições de segurança das barragens em todo o território nacional, abrangendo estruturas em diferentes fases de vida útil — em construção, em operação ou desativadas —, destinadas a variados usos e sem qualquer restrição quanto à altura ou à capacidade total do reservatório. Isso significa que o sistema deve contemplar todas as barragens, independentemente de estarem ou não enquadradas na Lei (AESAs, 2024). Dessa forma, o SNISB se configura como um cadastro unificado, reunindo as informações dos diversos registros mantidos pelas entidades fiscalizadoras de barragens no Brasil.

Para que se acompanhe a fiscalização, por determinação da ANA, cada estado deve prover o órgão fiscalizador responsável pelas barragens inseridas em seu território. Até a presente data deste trabalho existem 33 entidades que fiscalizam barragens no Brasil (Figura 15). Na Paraíba, a AESA é o órgão responsável pela fiscalização e pelo cadastramento da maior parte das barragens, totalizando 629 (AESAs, 2024). As Gerências Regionais da AESA, presentes em todas as bacias hidrográficas da Paraíba, desempenham um papel fundamental na identificação de barragens, coleta de dados em campo e no envio de notificações aos demais empreendedores sobre a importância do atendimento à legislação de segurança de barragens. Os empreendedores com o maior número de barragens no estado da Paraíba são a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos (SEIRH) com 97 barragens e o DNOCS com 18 barragens. O Quadro 2 e a Figura 15 a seguir esclarecem qual órgão é responsável pela fiscalização conforme a finalidade da barragem:

Quadro 2: Fiscalizador por cada tipo de barragem

Tipo de barragem	Fiscalizador
Geração de energia hidrelétrica	Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
Disposição de rejeitos de mineração	Agência Nacional de Mineração - ANM
Produção de energia nuclear	Agência Nacional de Mineração - ANM
Disposição de resíduos industriais	Entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação.
Localizada em rio federal	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA
Nenhum dos casos citados	Órgão estadual gestor de recursos hídricos.

Fonte: ANA (2020), adaptado pela autora.

Figura 15: Entidades nacionais e estaduais fiscalizadoras de barragens no Brasil

ANA	RR-FEMARH	MT-SEMA	PB-AESA PB - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba – AESA BARRAGENS CADASTRADAS 629 Telefone: (83) 3225-5626 E-mail: andreaartaxo@aesa.pb.gov.br Site: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/ Endereço: Avenida Duarte da Silveira, s/n, Bairro Centro - CEP 58013-280, JOÃO PESSOA/PB.
BA-INEMA	PE - APAC	MS -IMASUL	
DF-ADASA	MG-FEAM	RJ-INEA	
ES-AGERH	GO-SEMAD	CE-SRH	
SP-AGUAS	RN-IGARN	RS-SEMA	
ANM	AL-SEMARH	PA-SEMAS	
AM-IPAAM	RO-SEDAM	PB-AESA	
SP-CETESB	MA-SEMA	ANEEL	
AC-IMAC	TO-NATURAT	PI-SEMAR	
SC-SDE	MG-IGAM	AP-SEMA	
PR-IAT	RS-FEPAM	SE-SEMAC	

Fonte: SNISB (2025).

2.3.2. Análise de Risco e Inspeções em barragens

De acordo com Prata (1987), a finalidade da análise de risco de uma barragem é definir que esta apresente condições, estruturais e operacionais, seguras por toda a vida útil da estrutura. Na análise devem ser apontados os problemas encontrados e indicar os tipos de reparos a serem executados na estrutura e os estudos para definir a solução do problema. A etapa de análise da segurança de uma barragem constitui-se em analisar as informações

constituintes do projeto, a fase de execução, os materiais utilizados e seu histórico de execução, por meio de documentos gerados durante a vida útil da obra.

Por meio desses documentos pode ser verificado se a estrutura ou os reparos indicados, que são executados quando necessários, foram realizados conforme as especificações do projeto. Também é necessário fazer a perícia do comportamento e situação da estrutura real (PRATA, 1987).

A Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017, estabelece diretrizes para a segurança de barragens sob a fiscalização da ANA, conforme a PNSB. Essa resolução define a periodicidade, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento de diversos instrumentos, incluindo as “Inspeções de Segurança Regular e Especial”, a “Revisão Periódica de Segurança de Barragem” e o “Plano de Ação de Emergência”.

As inspeções de segurança das barragens são classificadas em dois tipos principais: Inspeção de Segurança Regular (ISR) e Inspeção de Segurança Especial (ISE).

A ISR é realizada periodicamente para avaliar o estado de conservação e funcionamento da barragem, identificando possíveis anomalias que possam comprometer sua segurança. A periodicidade e o conteúdo mínimo dessas inspeções são definidos pela ANA, conforme as características específicas de cada barragem.

Já a ISE é realizada em situações específicas, como após eventos extraordinários (enchentes, terremotos, falhas operacionais) ou quando identificadas anomalias significativas durante as inspeções regulares. Essa inspeção visa uma análise mais aprofundada das condições da barragem para garantir sua integridade estrutural e operacional.

Além dessas, a Resolução também trata da Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB), que é uma avaliação abrangente realizada em intervalos definidos para reavaliar o projeto, a operação e a manutenção da barragem, assegurando que todas as práticas estejam atualizadas e eficazes.

A Resolução ANA nº 236/2017 detalha os requisitos para cada tipo de inspeção, incluindo a qualificação dos profissionais responsáveis, os procedimentos a serem seguidos e a documentação necessária. Essas diretrizes visam garantir a segurança das barragens e a proteção das populações e do meio ambiente a jusante.

2.3.3. Sistema de Classificação de Barragens da SABESP

Kuperman et al. (2001) desenvolveram, para a SABESP, uma metodologia de análise de risco aplicada às barragens sob responsabilidade da concessionária. Trata-se de um método elaborado com o objetivo de subsidiar o processo decisório da instituição, possibilitando o monitoramento da segurança das barragens e a avaliação pontual da necessidade de intervenções nas áreas afetadas, seja por meio da realização de estudos e investigações aprofundadas, seja pela execução de manutenções locais.

A metodologia é composta por dezesseis critérios distintos, todos relacionados ao barramento. Para cada critério, foram atribuídos valores que determinam sua magnitude. A análise é realizada com base em dois parâmetros: a Periculosidade Potencial (PP) e o Estado Real da Barragem (ER).

O primeiro parâmetro refere-se à análise das características de projeto e de sua importância global, buscando retratar o grau de risco associado à ocorrência de acidentes. O segundo parâmetro baseia-se em inspeções *in loco*, considerando as condições reais das estruturas, a regularidade das fiscalizações e as informações disponíveis acerca do projeto.

Referente a PP, sua determinação é feita conforme os seguintes critérios e notas apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Classificação quanto à Periculosidade Potencial (PP)

Importância para a SABESP	Dimensão da Barragem	Volume de água armazenada	Impacto à Jusante			Tipo de Barragem	Órgão Vertente	Vazão de Projeto			
			Social	Ambiental	Econômico						
Pequena (10)*	Pequena (10)	Baixo (5)	Baixo (10)	Baixo (10)	Baixo (5)	Concreto (15)	De superfície sem controle (15)	VMP ou $1000 < Tr < 10000$ (20)			
Média (8)		Pequeno (4)	Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (4)						
Significativa (6)	Média (6)	Médio (3)	Médio (6)	Médio (3)	Médio (3)	Enrocamento (12)	De superfície com controle (10)	$100 < Tr < 1000$ (12)			
Grande (4)		Grande (2)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)				Terra (8)	De fundo (5)	Tr < 100 ou desconhecido há mais de 20 anos (2)
Elevada (2)		Grande (2)									

* - Nota referente as características da barragem.

Fonte: Kuperman et al. (2001), adaptado pela autora.

A classificação numérica de cada critério se dá por meio das características particulares de cada um e do seu comportamento. No anexo A constam as particularidades dos nove critérios pertencentes a PP.

Quanto ao critério importância para a SABESP, este é definido de acordo com sua relevância de funcionamento para o abastecimento de água nos municípios dependentes. O critério dimensão da barragem se baseia na altura e no volume do barramento, valores estes adaptados aos estabelecidos pelo CBDB.

Na Tabela 2 estão apresentadas as características necessárias para determinação do critério dimensão da barragem.

Tabela 2: Dimensões da barragem segundo sua altura e volume

CARACTERÍSTICAS			
CRITÉRIO	CLASSIFICAÇÃO	H - ALTURA (m)	V - VOLUME DO RESERVATÓRIO (x10⁶ m³)
Dimensões da Barragem	Pequena	$H < 15$	$0,05 < V < 1$
	Média	$15 < H < 30$	$1 < V < 50$
	Grande	$H > 30$	$V > 50$

Fonte: Kuperman et al. (2001), adaptado pela autora.

No critério de volume de água armazenada, a classificação é realizada com base na quantidade de água bruta presente no reservatório no período analisado.

O critério de impacto a jusante refere-se ao tipo de ocupação existente na área avaliada. Segundo Kuperman et al. (2001), a análise social deste impacto deve considerar diversos aspectos, como os serviços públicos afetados, a densidade demográfica da região, a necessidade de realocação de pessoas, os impactos sobre empregos e a capacidade produtiva, seja fabril ou agrícola, além de danos ao patrimônio cultural, a saúde pública e danos físicos e emocionais à população. A avaliação contempla tanto os danos decorrentes do rompimento quanto os causados pelo desabastecimento.

Em relação aos impactos ambientais a jusante, devem ser considerados a perda da vegetação, a degradação do habitat de espécies, a remoção da camada fértil do solo e o tempo necessário para sua recuperação, bem como a deposição de sedimentos no leito do rio. A avaliação é feita com base na área de influência direta do rompimento da barragem (KUPERMAN et al., 2001).

Quanto aos impactos econômicos, Kuperman et al. (2001) ressaltam que, além dos danos à estrutura física da barragem e aos custos de reparo, devem ser contabilizadas as perdas de faturamento devido à interrupção da distribuição de água, bem como os prejuízos causados a residências, comércios e infraestrutura da região afetada.

No que se refere ao tipo de órgão vertente, os autores classificam-nos em três categorias: vertedouros de superfície sem controle, vertedouros de superfície com controle e vertedouros de fundo.

O cálculo da PP é realizado por meio do somatório das pontuações atribuídas a cada critério, com o auxílio do Quadro 3. Com o resultado obtido, a barragem pode ser classificada quanto ao grau de periculosidade, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Nota da barragem segundo seu grau de periculosidade

GRAU DE PERICULOSIDADE POTENCIAL (PP)	NOTA
Periculosidade elevada	$PP \leq 60$
Periculosidade significativa	$60 < PP < 80$
Periculosidade baixa	$PP \geq 80$

Fonte: Kuperman et al. (2001), adaptado pela autora.

Conforme o parâmetro ER, seus respectivos critérios e notas são exibidos no Quadro 4.

Quadro 4: Classificação quanto ao Estado Real da barragem (ER)

Informações de projeto	Frequência na avaliação do comportamento	Percolação	Deformações	Nível de deterioração de paramentos ou taludes	Erosões a jusante	Condições dos equipamentos dos descarregadores
Completas (5)	Adequada (10)	Conforme prevista em projeto ou inexistente (20)	Conforme prevista em projeto ou inexistente (20)	Mínimo ou inexistente (15)	Mínimo ou inexistente (15)	Boa (15)
Parciais (4)	Razoável (6)	Fora do previsto, mas não crítica (15)	Fora do previsto, mas não crítica (15)	Baixo (12)	Pouca (12)	Razoável (8)
				Moderado (6)	Moderada (6)	
Incompletas (2)	Inadequada (2)	Crítica (5)	Crítica (5)	Alto (4)	Elevada (4)	Ruim (6)
Inexistentes (0)	Nenhuma (0)	Desconhecida (0)	Desconhecida (0)	Excessivo (3)	Significativa (3)	Inoperante ou sem registro (3)

Fonte: Kuperman et al. (2001), adaptado pela autora.

As características específicas de cada critério que compõem o parâmetro ER estão apresentadas no Anexo A.

A avaliação da frequência de inspeções considera os tipos de vistorias realizadas e sua periodicidade, conforme descrito por Kuperman et al. (2001). As inspeções podem ser classificadas como: rotineiras, realizadas semanalmente por técnicos de operação durante suas atividades habituais; periódicas, conduzidas por engenheiros civis em intervalos estabelecidos pelo órgão responsável pela barragem; ou formais, efetuadas por equipes multidisciplinares a cada três anos ou a cada cinco anos, caso a estrutura apresente um comportamento considerado normal.

Segundo Kuperman et al. (2001), os critérios de “Percolação” e “Deformações” seguem a mesma lógica de avaliação e, portanto, possuem classificações idênticas.

Em relação ao critério “Nível de Deterioração dos Paramentos ou Taludes”, os autores esclarecem que essa classificação é aplicável apenas a barragens de concreto e de enrocamento (ou aquelas com taludes protegidos por enrocamento). Pode-se também aplicá-la a taludes em solo, desde que possuam proteção, como revestimento em grama, por exemplo (KUPERMAN et al., 2001, p. 544-545).

O cálculo do grau de ER é realizado de maneira semelhante ao da PP. A partir da soma das notas atribuídas a cada critério, conforme indicado no Quadro 4, é possível classificar a barragem de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Nota da barragem segundo seu Estado Real

ESTADO REAL DA BARRAGEM (ER)	NOTA
Comportamento insatisfatório	$ER \leq 60$
Comportamento regular	$60 < ER < 80$
Comportamento satisfatório	$ER \geq 80$

Fonte: Kuperman et al. (2001), adaptado pela autora.

O Índice de Comportamento (IC) é uma métrica quantitativa usada para avaliar o estado atual de uma barragem com base no seu desempenho estrutural, funcional e de monitoramento. Ele resulta da análise de dados obtidos por meio de inspeções e

instrumentos de auscultação da barragem (como piezômetros, medidores de recalque, vertedouros, etc.).

O cálculo do resultado final, de acordo com as notas obtidas para os dois parâmetros, resulta na determinação do IC, de acordo com os intervalos estipulados na Tabela 5, a partir da aplicação da Equação 1:

$$IC = (0,4 * PP) + (0,6 * ER) \quad (1)$$

Onde,

IC = Índice de Comportamento;

PP = Periculosidade Potencial;

ER = Estado Real da Barragem.

Tabela 5: Determinação do Índice de Comportamento (IC)

ÍNDICE DE COMPORTAMENTO (IC)	NOTA
Normalidade	IC > 70
Atenção	70 ≥ IC > 60
Alerta	60 ≥ IC > 50
Emergência	IC ≤ 50

Fonte: Kuperman et al. (2001), adaptado pela autora.

As notas obtidas no IC classificam as ações e intervenções que o empreendedor deve assumir perante a mesma. São elas:

- a) 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;
- b) 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;

- c) 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;
- d) 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 (Kuperman et al., 2001).

3. ÁREA DE ESTUDO

A barragem Gramame-Mamuaba está localizada entre os cursos médio e baixo do rio Gramame, cuja bacia hidrográfica possui uma área de drenagem de 589,1 km². O rio Gramame, principal curso d'água da bacia hidrográfica, onde está implantada a barragem de Gramame apresenta 54,3 km de extensão, com nascente no município de Pedras de Fogo e foz na praia de Barra de Gramame. O rio Mamuaba, onde está implantada a barragem de Mamuaba, é um dos principais afluentes do rio Gramame (Silva, L.; Silva, T. e Filgueira, 2016).

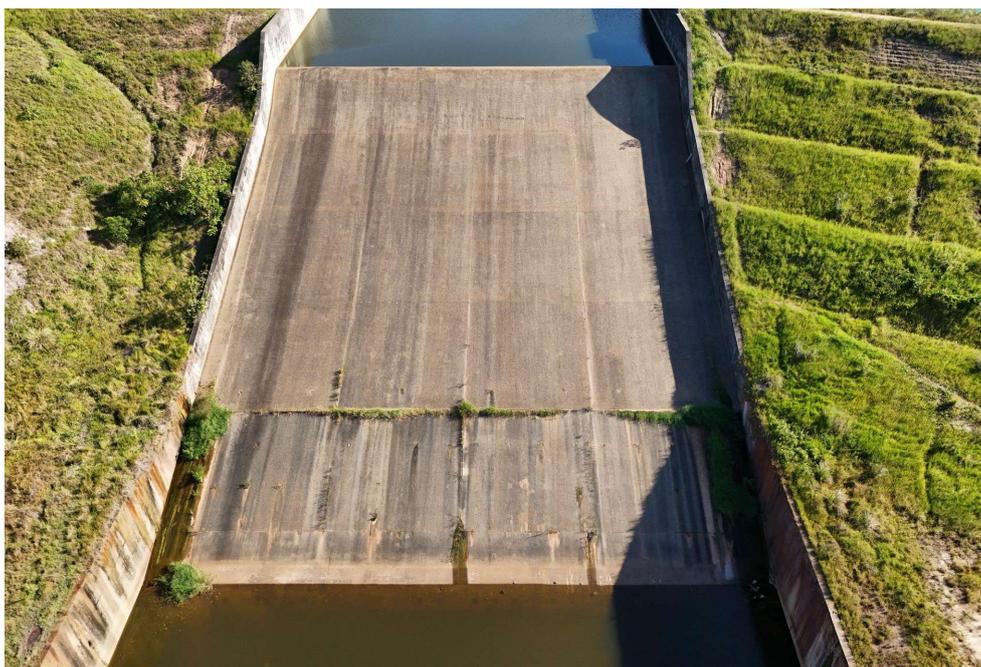
A bacia hidrográfica tem importância estratégica para o abastecimento da Região Metropolitana de João Pessoa. Nela estão situadas as duas barragens que compõem o sistema Gramame-Mamuaba, formado essas e um canal de ligação de 750 metros, unificando o reservatório nos dois rios. O volume total armazenado pelas duas barragens é de 56.937.000 m³.

Cerca de 70% da água consumida em João Pessoa é proveniente desse sistema, que também supre 100% da demanda de Cabedelo. Parte da água armazenada é ainda transposta para o reservatório Marés, responsável pelo abastecimento dos demais 30% da capital paraibana, reforçando a importância estratégica do sistema para a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) (SEMARH, 2000).

O empreendimento é de responsabilidade da Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SERHMACT), estando sob fiscalização da AESA (ARAÚJO, 2014). As principais estruturas dos barramentos são constituídas inteiramente por maciço de solo compactado, com drenos horizontais e dreno de pé, vertedor no rio Gramame, no lado direito, e duas tomadas d'água de torre no reservatório no lado do rio Gramame e do rio Mamuaba.

O sistema Gramame-Mamuaba possui apenas um vertedor de superfície, do tipo soleira livre, sem controle por comportas para a descarga de cheias. De acordo com Fonseca (2008), o vertedor de 50 metros de largura, foi construído em concreto armado com perfil tipo Creager e dissipador de energia (Figura 16).

Figura 16: Vertedor da barragem Gramame-Mamuaba



Fonte: Autora (2025)

A existência de um único órgão de descarga é suficiente, considerando que os dois barramentos são interligados, permitindo que a cheia proveniente de Mamuaba seja direcionada ao vertedor de Gramame. Para a obra de descarga, foi projetado um período de retorno de 500 anos.

Durante vistoria realizada na data 14 de abril de 2025, constatou-se que apenas a tomada de água de Mamuaba estava em operação (Figuras 17 e 18).

Figura 17: Torre de tomada de água do reservatório Mamuaba



Fonte: Autora (2025)

Figura 18: Descarregador de fundo do reservatório de Mamuaba com válvula dispersora em operação



Fonte: Autora (2025)

Segundo Silva (2016), os únicos documentos existentes das barragens são memoriais de cálculo de algumas de suas estruturas e relatórios de medição; não foram localizadas as plantas de projeto das barragens.

A avaliação do comportamento das estruturas é realizada pelos órgãos estaduais AESA e da SERHMACT, por meio de inspeções rotineiras, periódicas ou formais. Essas avaliações podem resultar na emissão de relatórios, baseados nas inspeções ou na leitura de instrumentos instalados no local. O Tribunal de Contas do Estado (TCE, 2011) reforça que esses órgãos devem acompanhar o estado físico das barragens e realizar intervenções de recuperação sempre que necessário.

De acordo com Araújo (2014), a empresa Geotechnique, terceirizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), é a responsável pela classificação do risco e do dano potencial associado às barragens do estado da Paraíba. Ainda segundo Araújo (2014), as ações de monitoramento realizadas pela AESA e pela SERHMACT permaneciam insuficientes frente às necessidades de segurança das estruturas.

As Figuras 19, 20 e 21 apresentam imagens aéreas do sistema que compõe a barragem Gramame-Mamuaba.

Figura 19: Vista aérea da barragem Gramame-Mamuaba



Fonte: Autora (2025)

Figura 20: Vista aérea da barragem Gramame



Fonte: Autora (2025)

Figura 21: Vista aérea da barragem Mamuaba



Fonte: Autora (2025)

4. METODOLOGIA

Esta seção apresenta os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, os quais incluem revisão bibliográfica, visita *in loco*, análises das anomalias e evolução. A metodologia foi estruturada de forma a garantir o rigor técnico-científico, a fundamentação teórica e a coleta de dados confiáveis (GIL, 2017).

A revisão bibliográfica consistiu na revisão sistemática de fontes secundárias, como: livros, artigos, trabalhos em eventos científicos, dissertações, teses e relatórios, para embasar teoricamente a pesquisa. Conforme aponta Severino (2018, p. 45), essa etapa é fundamental para contextualizar o tema e identificar lacunas no conhecimento. Para tanto, foram consultadas bases de dados como Scielo e Google Acadêmico, utilizando-se palavras-chave relacionadas à temática para a coleta e organização dos principais conceitos. A análise crítica das fontes selecionadas considerou critérios de relevância, atualidade e credibilidade das obras (LAKATOS e MARCONI, 2017).

A visita *in loco* possibilitou a análise direta do objeto de estudo, por meio do registro fotográfico, da avaliação da infraestrutura e das condições ambientais, bem como de conversas informais com agentes locais. Como destaca Minayo (2014, p. 78), "a observação direta fornece *insights* que dados secundários não capturam".

A análise comparativa feita com a situação relatada por Silva (2016), onde foi abordado a temática de análise de risco em barragens, através das seguintes metodologias: Índice de Segurança de Barragens, Sistema de Classificação de Barragens da SABESP e Potencial de Risco. Contudo, para este trabalho foi utilizado apenas os resultados da metodologia de Classificação SABESP, e que por sua vez, permitiu verificar o contraste entre diferentes cenários, a fim de identificar possíveis divergências e tendências. Para esta etapa, definiram-se critérios para o estabelecimento de parâmetros comparativos, considerando metodologias e resultados.

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa e descritiva, com abordagem comparativa, voltada para a análise da situação estrutural da barragem Gramame-Mamuaba, localizada entre os municípios do Conde e Alhandra, no estado da Paraíba, nos anos de 2016 (antes das obras de restauração), em 2022 (após a conclusão da restauração) e em 2025. No ano de 2022, foram realizadas inspeções pela SEIRH, que geraram um acervo fotográfico também utilizado neste trabalho.

A área de análise compreende a situação da estrutura das barragens Gramame-Mamuaba. O estudo fundamenta-se na aplicação de duas metodologias que avaliam, além da segurança, o grau de risco associado às barragens. Trata-se de formas de avaliação que seguem princípios investigativos semelhantes, cujos prognósticos são obtidos por meio de *checklists* e aplicações de expressões matemáticas.

A pesquisa foi estruturada em cinco etapas sequenciais (Figura 22). Os resultados foram apresentados considerando a estrutura interligada do sistema de barramento, uma vez que as barragens Gramame-Mamuaba, formadora do reservatório fluvial de mesmo nome, compartilham diversas características, por constituírem um único projeto. Dessa forma, optou-se por dividir a apresentação dos resultados em duas partes: inicialmente, são descritas as características gerais das duas barragens, e em seguida, são indicadas as anomalias específicas de cada uma delas, separadamente.

Figura 22: Desenho esquemático da estrutura da pesquisa



Fonte: Autora (2025)

4.1. BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

Nesta etapa, buscou-se reunir informações técnicas e dados de projeto das barragens, utilizando diversos métodos de pesquisa bibliográfica, incluindo a análise de documentos disponibilizados nos *sites* da AESA e da ANA, Leis e Resoluções, bem como trabalhos acadêmicos relacionados à temática.

Os relatórios permitiram entender a evolução da situação das barragens ao longo dos anos, e a importância do cadastro e atualização das mesmas no SNISB (Figura 23).

Figura 23: Informações da barragem Gramame-Mamuaba cadastrada no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

Selecione o idioma:

INÍCIO CONSULTAR BARRAGENS DOCUMENTOS E CAPACITAÇÕES QUEM FISCALIZA FALE CONOSCO MAPA INTERATIVO ENTRAR

← Nome: Gramame - Mamuaba - Código SNISB 7875

Informações Básicas

Entenda os Índices

NÍVEL DE PERIGO -	COMPLETUDE BOA	CATEGORIA DE RISCO MÉDIO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO ALTO
----------------------	-------------------	-----------------------------	----------------------------------

EMPREENDEDOR Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento da Paraíba	MUNICÍPIO/UF ALHANDRA - PB	
FISCALIZADOR PB-AESA CONTATO	REGIÃO HIDROGRÁFICA Região Hidrográfica ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL	
REGULADA Sim	BACIA HIDROGRÁFICA -	
NÚMERO DA AUTORIZAÇÃO 02046	UNIDADE DE GESTÃO CBH do Litoral Sul	
DATA DA ÚLTIMA FISCALIZAÇÃO: - AUTUADA: Não	CURSO D'ÁGUA BARRADO NOME: SEM NOME	DOMÍNIO: Estadual
DATA DA INSPEÇÃO -		

Resumo Técnico

ALTURA DA BARRAGEM (m) 15	TIPO DE MATERIAL Terra	DATA DE CADASTRO 12/09/2019	ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL -
COMPRIMENTO DO CORDOAMENTO (m) 1.605	USO PRINCIPAL Abastecimento humano	Ações disponíveis para os resultados apresentados:	
CAPACIDADE (hm³) 56,937	FASE DE VIDA Operação	EXPORTAR DADOS	BAIXAR DOCUMENTOS
LATITUDE -7,2925555555*	LONGITUDE -34,9598611111*	COMPARTILHAR	ACOMPANHAR

Galeria

Não há imagens cadastradas.

Fonte: SNISB (2025).

4.2. VISTORIA *IN LOCO*

A segunda etapa consistiu na realização de vistorias *in loco* nas barragens, acompanhadas da realização de registros fotográficos. Para a identificação de possíveis anomalias, foram adotados critérios de inspeção descritos no manual *Inspection of Small Dams*, publicado pela AEP (1998), essenciais para a avaliação do comportamento das barragens e de suas estruturas físicas.

O intuito deste tópico foi de relatar como foi realizada a vistoria *in loco* da área estudada e quais pontos foram analisados, a fim de registrar a situação atual da barragem Gramame-Mamuaba.

Foram realizadas duas tentativas para visitar a estrutura da barragem. A primeira, sem sucesso, pois o percurso que anteriormente permitia o acesso à barragem encontrava-se fechado. Na segunda tentativa, em 14 de abril de 2025, o acesso foi realizado pela Rodovia PB 016, conforme informação dada pelo Gerente da AESA, por meio do trecho do Arco Metropolitano, ainda em construção.

As imagens foram registradas por dois dispositivos: o primeiro, para o registro aéreo, foi utilizado uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), de marca DJI e modelo Mini 4 PRO; o segundo, para registro das imagens em terra, foi utilizado um *smartphone*, de marca Xiaomi e modelo Redmi 11 PRO.

A vistoria *in loco* foi realizada em meio a um processo de vistoria técnica da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), a qual permitiu a realização do registro fotográfico do objeto de estudo.

Os pontos fotografados foram escolhidos nos mesmos locais do registro anterior, visando permitir, a evolução das anomalias apresentadas por Silva (2016).

Em consulta ao banco de dados fornecido pela AESA, no dia da vistoria *in loco* o volume registrado para o reservatório foi equivalente a 98,81% do volume normal de armazenamento (Figura 24).

Figura 24: Informações da barragem Gramame-Mamuaba do dia da vistoria *in loco*, em 14 de abril de 2025.

Açude	Bacia	Município
Gramame / Mamuaba	Gramame	Conde

Capac. Máxima (m ³)	Volume Atual (m ³)	Volume total (%)	Data do registro	Gráfico
56.937.000	56.261.400	98,81	14/04/2025	

Fonte: AESA, 2025.

4.3. MATRIZ COMPARATIVA

Nesta etapa, os dados coletados foram organizados em tabelas e quadros comparativos, permitindo a análise da evolução do estado das barragens e dos efeitos das intervenções realizadas. A metodologia possibilitou uma avaliação crítica quanto à eficácia das ações de restauração e ao nível de segurança atual das estruturas.

A matriz comparativa foi elaborada de acordo com as anomalias apresentadas por Silva (2016), após a obra de restauração realizada em 2022 e a atual situação da barragem, no ano de 2025. As anomalias foram elencadas em itens e separadas em dois tópicos, um para a estrutura de Gramame e outro para a estrutura de Mamuaba.

As imagens foram comparadas e classificadas por meio do Quadro 5 a seguir, de acordo com a metodologia de inspeção de barragens de terra (MENESCAL et al., 2005).

Quadro 5: Exemplo de matriz comparativa das anomalias das barragens

DATA	ITEM INSPECIONADO						
	1	2	n
2016	PV	PV					
2022	DS	DS					
2025	PC	DI					

Fonte: Autora (2025)

Como exemplo da aplicação da metodologia de Menescal et. al. (2005), os itens 1 e 2 relativos à situação do vertedor e do talude de jusante, relativamente às anomalias, em que se registram presença de vegetação e de árvores, sendo adotada a legenda abaixo:

AU - Anomalia **A**umentou

DI - Anomalia **D**iminuiu

DS - Anomalia **D**esapareceu

NA - Este item **N**ão é **A**plicável

NE - Anomalia **N**ão **E**xistente

NI - Este item **N**ão foi **I**nspiccionado

PC - Anomalia **P**ermaneceu **C**onstante

PV - Anomalia constatada pela **P**rimera **V**ez

Como exemplo, as anomalias identificadas em campo, juntamente com as suas respectivas localizações, foram reunidas através do Quadro 6.

Quadro 6: Exemplo de registro de anomalias em partes da barragem

Item	Localização	Anomalia
1	Vertedor	Presença de vegetação
2	Talude de jusante	Presença de árvores

Fonte: Autora (2025)

4.4. CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS

As informações reunidas foram utilizadas para preencher o *checklist* correspondente às inspeções realizadas, para a avaliação do risco e da segurança das barragens. A partir dos dados obtidos, foi possível calcular a classificação de risco de cada barragem. A classificação foi feita com base nos sistemas de classificação abordado anteriormente e com a análise comparativa do registro fotográfico das anomalias.

Com o auxílio das tabelas e quadros apontados no tópico 2.3.2, foi elaborado o *checklist* técnico para o cálculo dos índices de comportamento das barragens, apresentado na Figura 25 a seguir.

Figura 25: Checklist para classificação de barragens SABESP

CHECKLIST - CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SABESP (KUPERMAN ET AL., 2001)						
NOME DA BARRAGEM						
LOCALIZAÇÃO						
BACIA HIDROGRÁFICA						
DATA DA VISTORIA						
CLASSIFICAÇÃO QUANTO A PERICULOSIDADE POTENCIAL						
IMPORTÂNCIA	ANOS	Pequena - 10	Média - 8	Significativa - 6	Grande - 4	Elevada - 2
	2016					
	2022					
	2025					
DIMENSÃO DA BARRAGEM	ANOS	Pequena - 10		Média - 6	Grande - 2	
	2016					
	2022					
	2025					
VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADO	ANOS	Baixo - 5	Pequeno - 4	Médio - 3	Grande - 2	Elevado - 1
	2016					
	2022					
	2025					
IMPACTO AMBIENTAL		Baixo	Pequeno		Médio	Grande
SOCIAL	ANOS	10	8		6	0
	2016					
	2022					
	2025					
AMBIENTAL	ANOS	10	8		3	0
	2016					
	2022					
	2025					
ECONÔMICO	ANOS	5	4		3	0
	2016					
	2022					
	2025					
TIPO DE BARRAGEM	ANOS	Concreto - 15		Enrocamento - 12		Terra - 8
	2016					
	2022					
	2025					
ÓRGÃO VERTENTE	ANOS	Superfície s/ controle - 15		Superfície c/ controle - 10		De fundo - 5
	2016					
	2022					
	2025					
VAZÃO DE PROJETO	ANOS	VMP ou $1000 < Tr < 10000$ - 20	$100 < Tr < 1000$ - 12		Tr < 100 ou desconhecido ou calculado a mais de 20 anos - 2	
	2016					
	2022					
	2025					

CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ESTADO REAL DA BARRAGEM						
INFORMAÇÕES DE PROJETO	ANOS	Completas - 5	Parciais - 4	Incompletas - 2	Inexistentes - 0	
	2016					
	2022					
	2025					
FREQUÊNCIA NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO	ANOS	Adequada - 10	Razoável - 6	Inadequada - 2	Nenhuma - 0	
	2016					
	2022					
	2025					
PERCOLAÇÃO	ANOS	Conforme prevista em projeto ou inexistente - 20		Fora do previsto, mas não crítica - 15	Crítica - 5	Desconhecida - 0
	2016					
	2022					
	2025					
DEFORMAÇÃO	ANOS	Conforme prevista em projeto ou inexistente - 20		Fora do previsto, mas não crítica - 15	Crítica - 5	Desconhecida - 0
	2016					
	2022					
	2025					
NÍVEL DE DETERIORIZAÇÃO DE PARAMENTOS OU TALUDES	ANOS	Mínima ou inexistente - 15	Baixo - 12	Moderado - 6	Alto - 4	Excessivo - 3
	2016					
	2022					
	2025					
EROSÕES A JUSANTE	ANOS	Mínimas ou inexistente - 15	Poucas - 12	Moderadas - 6	Elevadas - 4	Significativas - 3
	2016					
	2022					
	2025					
CONDIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DOS DESCARREGADORES	ANOS	Boa - 15	Razoável - 8	Ruim - 6	Inoperante ou sem registro - 3	
	2016					
	2022					
	2025					

Fonte: Kuperman et al. (2001, apud Silva 2016), adaptado pela autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão os resultados da identificação das anomalias existentes nos três anos estudados, nas diversas estruturas componentes das barragens. Após esta etapa, as anomalias foram dispostas em quadros representativos da situação da estrutura, conforme os subitens seguintes.

5.1. BARRAGEM GRAMAME

5.1.1. Identificação das anomalias

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no vertedor (Figuras 26, 27 e 28).

Item 1: Vertedor - Anomalia: presença de vegetação.

Figura 26: Vertedor da barragem Gramame (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 27: Vertedor da barragem Gramame (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 28: Vertedor da barragem Gramame (2025)



Fonte: Autora (2025)

Na Figura 26, pode-se observar a presença de vegetação próxima as paredes do vertedouro. Nessa mesma localização, em 2022, após a obra de restauração, nota-se que a anomalia não foi constatada. Contudo, em 2025 (Figura 28), a vegetação ressurgiu no mesmo local.

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no talude de jusante (Figuras 29, 30, 31, 32 e 33).

Item 2: Talude de jusante - Anomalia: presença de árvores.

Figura 29: Talude de jusante com árvores (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 30: Talude de jusante pós obra de restauração (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 31: Talude de jusante 3 anos após obra de restauração (2025)



Fonte: Autora (2025)

Na Figura 29, pode-se observar a grande quantidade de árvores no talude de jusante. Nessa mesma localização, em 2022, após a obra de restauração, nota-se que a anomalia não foi constatada (Figura 30). Contudo, em 2025 (Figura 31), pode-se observar pontualmente a presença de árvores ao longo do talude.

Item 3: Talude de jusante - Anomalia: erosão

Figura 32: Erosão no talude de jusante da barragem Gramame (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 33: Erosão no talude de jusante da barragem Gramame (2025)



Fonte: Autora (2025)

Para o item 3, não foi possível coletar dados do ano 2016. Na Figura 32, pode-se observar, que, mesmo passando pela obra de restauração em 2022, o talude de jusante já apresentava focos de erosão próximo a parede do vertedor e da crista da barragem. Em

2025 (Figura 33), é possível observar o aumento considerável da erosão nos pontos citados anteriormente.

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no talude de montante (Figuras 34 e 35).

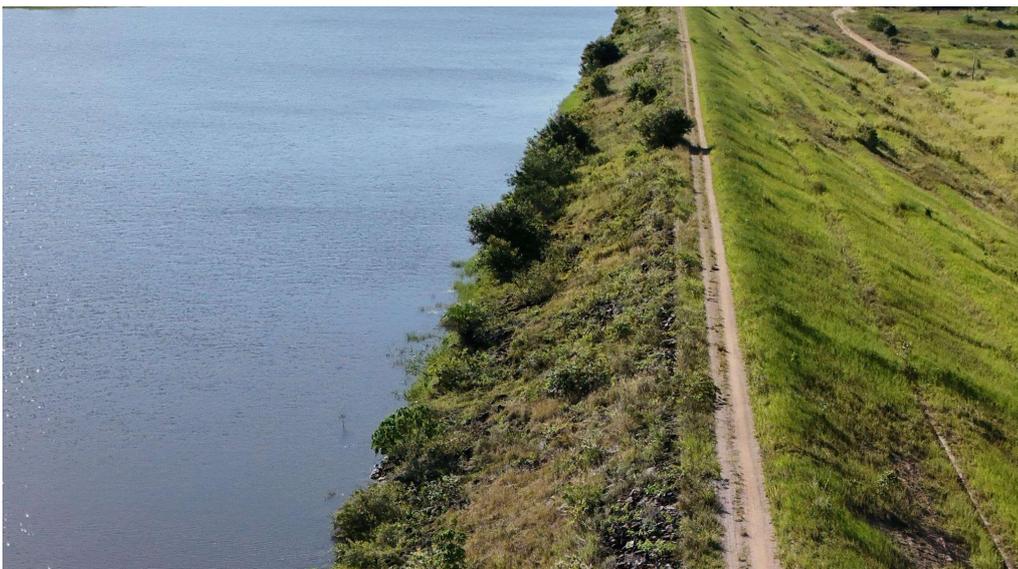
Item 4: Talude de montante - Anomalia: presença de árvores no *rip-rap*.

Figura 34: Presença de árvores no *rip-rap* (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 35: Presença de árvores no *rip-rap* (2025)



Fonte: Autora (2025)

Para o item 4, no ano de 2016 (Figura 34), o talude de montante apresentava grande quantidade de árvores, localizadas no *rip-rap* da estrutura. Em 2022 não foi possível coletar dados referentes a este item na barragem Gramame. Porém, em 2025 (Figura 35), durante a vistoria *in loco*, pode-se constatar que a vegetação permanece presente sobre o *rip-rap*.

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no coroamento (Figuras 36, 37 e 38).

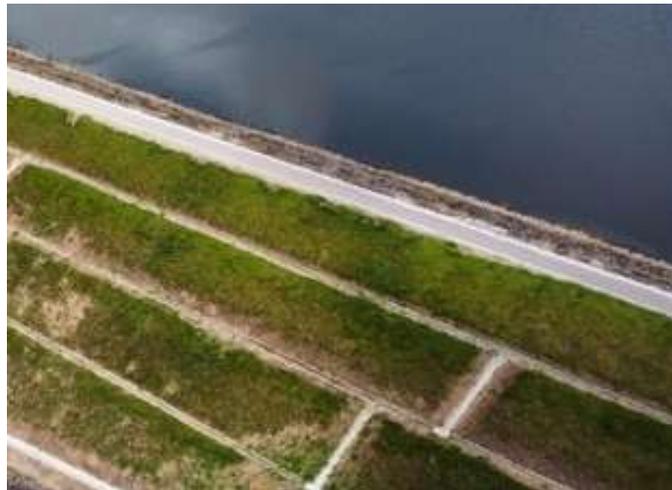
Item 5: Coroamento - Anomalia: retenção de água

Figura 36: Alagamentos no coroamento da barragem Gramame (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 37: Coroamento sem alagamentos (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 38: Coroamento sem alagamentos (2025)



Fonte: Autora (2025)

No item 5, para o ano de 2016 (Figura 36), foi constatado por Silva (2016) a existência de sulcos causados pela erosão no coroamento da estrutura, ocasionando a presença de alagamentos. Em 2022 (Figura 37), após a obra de restauração, a anomalia apresentada anteriormente foi resolvida. Contudo, em 2025 (Figura 38), apesar do coroamento não apresentar acumulação de águas pluviais, não podemos constatar que a anomalia de fato foi resolvida

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no talude de jusante (Figuras 39 e 40).

Item 6: Talude de jusante - Anomalia: vegetação no dreno de pé.

Figura 39: Dreno de pé sem vegetação (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 40: Dreno de pé com vegetação (2025)



Fonte: Autora (2025)

Para o item 6, não foi possível coletar dados do ano 2016. Na Figura 39, pode-se observar, que o dreno de pé do talude de jusante da barragem Gramame apresenta plena funcionalidade. Em 2025 (Figura 40), é possível observar o aparecimento da vegetação na localização do dreno de pé.

5.1.2. Matriz comparativa - Gramame

A seguir, nos Quadros 7 e 8, estão dispostos os itens de forma resumida e a análise comparativa em relação às anomalias encontradas na estrutura da barragem Gramame.

Quadro 7: Registro de anomalias nas estruturas na barragem Gramame, nos anos de 2016, 2022 e 2025

Item	Localização	Anomalia
1	Vertedor	Presença de vegetação
2	Talude de jusante	Presença de árvores
3	Talude de jusante	Erosão
4	Talude de montante	Presença de árvores no <i>rip-rap</i>
5	Coroamento	Retenção de água
6	Talude de jusante	Vegetação no dreno de pé

Fonte: Autora (2025)

Quadro 8: Matriz comparativa da evolução das anomalias da barragem Gramame

DATA	ITEM INSPECIONADO					
	1	2	3	4	5	6
2016	PV	PV	NI	PV	PV	NI
2022	DS	DS	PV	NI	DS	NE
2025	AU	AU	AU	PC	NE	PV

AU = Anomalia aumentou; DS = Anomalia desapareceu; NE = Anomalia não existente; NI = Anomalia não inspecionada; PC = Anomalia permaneceu constante; PV = Anomalia constatada pela primeira vez.

Fonte: Autora (2025)

O Quadro 8 apontou a evolução das anomalias apresentadas no Quadro 7 nos anos de 2016, 2022 e 2025. Em relação aos anos de 2016 e 2022, três das anomalias desapareceram (DS), uma anomalia consta como não existente (NE) e uma foi identificada pela primeira vez (PV), tendo em vista que esta última não havia sido inspecionada.

Já em relação a comparação dos anos de 2022 e 2025, duas das anomalias que haviam desaparecido anteriormente, retornaram e uma que havia sido constatada pela primeira vez, aumentou (AU). A anomalia do item 4, a qual não foi inspecionada no ano de 2022, mas foi constatada em 2025, permaneceu constante (PC) em relação ao ano de 2016. As outras duas anomalias não existiam, sendo uma delas constatada pela primeira vez (item 6).

Como a vistoria foi realizada em um momento em que não havia chovido anteriormente na região, não é possível constatar que a anomalia do item 5 tenha de fato desaparecido. Desta forma, torna-se imprescindível a realização de inspeções rotineiras na estrutura da barragem.

Levando em consideração que os pontos vistoriados foram escolhidos por meio da análise anterior feita por Silva (2016) para fins de análise comparativa, alguns pontos observados na vistoria de abril de 2025 na barragem Gramame, como os itens 3 e 6 não foram abordados pela mesma.

Contudo, em relatório disponibilizado de forma digital pelo Governo do Estado da Paraíba, em 2022, após as obras de restauração, é possível constatar que as anomalias não existiam. Ou seja, no período de aproximadamente 3 anos após a restauração, as anomalias apareceram ou aumentaram.

Os resultados obtidos para a barragem Gramame através da utilização dos *checklists* apresentados anteriormente no tópico 4.4, estão dispostos na Figura 41, a seguir.

Figura 41: Resultados da classificação da barragem Gramame por meio da classificação SABESP, para os anos 2016, 2022 e 2025

CHECKLIST - CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SABESP (KUPERMAN ET AL., 2001)	
NOME DA BARRAGEM	Barragem Gramame
LOCALIZAÇÃO	Divisa entre Conde e Alhandra - PB
BACIA HIDROGRÁFICA	Bacia do Rio Gramame
DATA DA VISTORIA	14/04/2025

CLASSIFICAÇÃO QUANTO A PERICULOSIDADE POTENCIAL						
IMPORTÂNCIA	ANOS	Pequena - 10	Média - 8	Significativa - 6	Grande - 4	Elevada - 2
	2016					X
	2022					X
	2025					X
DIMENSÃO DA BARRAGEM	ANOS	Pequena - 10		Média - 6	Grande - 2	
	2016			X		
	2022			X		
	2025			X		
VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADO	ANOS	Baixo - 5	Pequeno - 4	Médio - 3	Grande - 2	Elevado - 1
	2016			X		
	2022			X		
	2025			X		
IMPACTO AMBIENTAL		Baixo	Pequeno	Médio	Grande	
SOCIAL	ANOS	10	8	6	0	
	2016				X	
	2022				X	
	2025				X	
AMBIENTAL	ANOS	10	8	3	0	
	2016				X	
	2022				X	
	2025				X	
ECONÔMICO	ANOS	5	4	3	0	
	2016				X	
	2022				X	
	2025				X	
TIPO DE BARRAGEM	ANOS	Concreto - 15		Enrocamento - 12		Terra - 8
	2016					X
	2022					X
	2025					X
ÓRGÃO VERTENTE	ANOS	Superfície s/ controle - 15		Superfície c/ controle - 10	De fundo - 5	
	2016	X				
	2022	X				
	2025	X				
VAZÃO DE PROJETO	ANOS	VMP ou $1000 < Tr < 10000$ - 20		$100 < Tr < 1000$ - 12	$Tr < 100$ ou desconhecido ou calculado a mais de 20 anos - 2	
	2016			X		
	2022			X		
	2025			X		

CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ESTADO REAL DA BARRAGEM						
INFORMAÇÕES DE PROJETO	ANOS	Completas - 5	Parciais - 4	Incompletas - 2	Inexistentes - 0	
	2016		X			
	2022		X			
	2025		X			
FREQUÊNCIA NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO	ANOS	Adequada - 10	Razoável - 6	Inadequada - 2	Nenhuma - 0	
	2016				X	
	2022	X				
	2025		X			
PERCOLAÇÃO	ANOS	Conforme prevista em projeto ou inexistente - 20		Fora do previsto, mas não crítica - 15		Crítica - 5 Desconhecida - 0
	2016	X				
	2022	X				
	2025	X				
DEFORMAÇÃO	ANOS	Conforme prevista em projeto ou inexistente - 20		Fora do previsto, mas não crítica - 15		Crítica - 5 Desconhecida - 0
	2016	X				
	2022	X				
	2025	X				
NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DE PARAMENTOS OU TALUDES	ANOS	Minima ou inexistente - 15	Baixo - 12	Moderado - 6	Alto - 4	Excessivo - 3
	2016		X			
	2022	X				
	2025		X			
EROSÕES A JUSANTE	ANOS	Minimas ou inexistente - 15	Poucas - 12	Moderadas - 6	Elevadas - 4	Significativas - 3
	2016	X				
	2022	X				
	2025			X		
CONDIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DOS DESCARREGADORES	ANOS	Boa - 15	Razoável - 8	Ruim - 6	Inoperante ou sem registro - 3	
	2016	X				
	2022	X				
	2025	X				

Fonte: Autora (2025)

Dos resultados obtidos por meio do *checklist* acima (Figura 41), a barragem Gramame é classificada da seguinte forma, disposta no Quadro 9, em relação aos limites estabelecidos pelas tabelas 3, 4 e 5.

Quadro 9: Classificação do Índice de Comportamento para a barragem Gramame

	ANOS	PP	ER	IC
BARRAGEM GRAMAME	2016	46 - Elevada	86 - Satisfatório	70 - Atenção
	2022	46 - Elevada	99 - Satisfatório	77,8 - Normalidade
	2025	46 - Elevada	83 - Satisfatório	68,2 - Atenção
PP = Periculosidade Potencial; ER = Estado Real da Barragem; IC = Índice de Comportamento.				

Fonte: Autora (2025)

Pode-se observar que na primeira inspeção realizada em 2016, o índice de comportamento já apontava um estado de atenção para a situação estrutural da barragem. Com as obras de restauração realizadas no ano de 2022, este índice passou a normalidade. Contudo, após análise das informações do ano de 2025, três anos da restauração estrutural da barragem Gramame, o índice retorna para o estado de atenção.

Este resultado aponta a diminuição da qualidade do estado real da barragem, tendo em vista que a periculosidade potencial não mudou para os três anos de estudo.

5.2. BARRAGEM MAMUABA

5.2.1. Identificação das anomalias

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no talude de jusante (Figuras 42, 43 e 44).

Item 1: Talude de jusante - Anomalia: erosão

Figura 42: Presença de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 43: Presença de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 44: Presença de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba (2025)



Fonte: Autora (2025)

Na Figura 42, observou-se a ocorrência de vários focos de erosão no talude de jusante da barragem Mamuaba. Em 2022 (Figura 43), não é possível afirmar se a localização da erosão é a mesma da apresentada em 2016. Contudo, mesmo com a obra de restauração, nota-se

que a erosão estava presente. No ano de 2025, a localização da erosão apresentada na Figura 43, é a mesma que a Figura 44. Podemos constatar que no período de três anos pós-obra de restauração, a erosão aumentou consideravelmente.

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no talude de montante (Figuras 45, 46 e 47).

Item 2: Talude de montante - Anomalia: presença de arbustos no *rip-rap*

Figura 45: Presença de arbustos no talude de montante (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 46: *Rip-rap* sem arbustos (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 47: Presença de arbustos no talude de montante (2025)



Fonte: Autora (2025)

No ano de 2016 (Figura 45), foi constatada a anomalia “presença de arbustos no *rip-rap*”. Em 2022 (Figura 46), observou-se que a área de ocorrência da anomalia não apresentou vegetação no talude. Porém, em 2025 (Figura 47), é possível observar um grande de volume de vegetação de pequeno a médio porte onde deveria existir apenas a proteção do talude de montante.

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no coroamento (Figuras 48, 49 e 50).

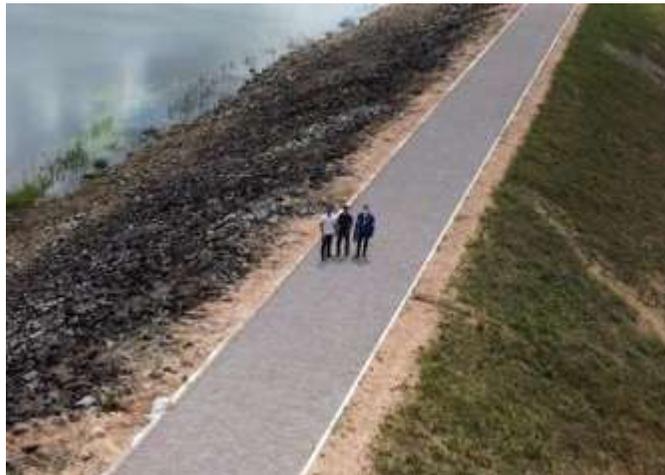
Figura 48: Alagamentos no coroamento (2016)



Fonte: Silva (2016)

Item 3: Coroamento - Anomalia: retenção de água

Figura 49: Coroamento sem alagamentos (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 50: Coroamento sem alagamento (2025)



Fonte: Autora (2025)

No item 3, assim como para o item 5 da barragem Gramame, no ano de 2016 (Figura 48), foi constatado por Silva (2016) a existência de sulcos causados pela erosão no coroamento da estrutura, ocasionando a presença de alagamentos. Em 2022 (Figura 49), após a obra de restauração, a anomalia apresentada anteriormente foi resolvida. Contudo, em 2025 (Figura 38), apesar do coroamento não apresentar acumulação de águas pluviais, não podemos constatar que a anomalia de fato foi resolvida.

Seguem abaixo as imagens da anomalia observada no talude de jusante (Figuras 51, 52, 53, 54, 55 e 56).

Item 4: Talude de jusante - Anomalia: canaletas de drenagem obstruídas

Figura 51: Canaletas obstruídas no talude de jusante (2016)



Fonte: Silva (2016)

Figura 52: Canaletas desobstruídas (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 53: Canaletas obstruídas pela vegetação (2025)



Fonte: Autora (2025)

Na Figura 51, apresentada por Silva (2016), foi observada a presença de material obstruindo a canaleta de drenagem do talude de jusante. Em 2022 (Figura 52), após a obra de restauração, a anomalia apresentada anteriormente foi resolvida. Contudo, em 2025 (Figura 53), assim como no item 2 da barragem Mamuaba, é possível observar a presença de vegetação obstruindo as canaletas, prejudicando assim, a sua funcionalidade.

Item 5: Talude de jusante - Anomalia: vegetação no dreno de pé.

Figura 54: Sem presença de vegetação no dreno de pé (2022)



Fonte: Paraíba (2022)

Figura 55: Presença de vegetação no dreno de pé (2025)



Fonte: Autora (2025)

Para o item 5, não foi possível coletar dados do ano 2016. Na Figura 54, pode-se observar, que o dreno de pé do talude de jusante da barragem Mamuaba apresenta plena funcionalidade. Em 2025 (Figura 55), é possível observar o aparecimento da vegetação na localização do dreno de pé.

Item 6: Área a jusante - Anomalia: área desmatada a jusante.

Figura 56: Área desmatada próxima a barragem (2025)



Fonte: Autora (2025)

Já para a anomalia abordada no item 6, da barragem Mamuaba, não foi possível coletar dados referentes aos anos de 2016 e 2022. Apesar de não possuir imagens para comparação, a anomalia “área desmatada a jusante”, identificada no ano de 2025 (Figura 56), possui relevância por estar dentro da área de preservação dos reservatórios.

5.2.2. Análise comparativa - Mamuaba

A seguir, nos Quadros 10 e 11, estão dispostos os itens de forma resumida e a análise comparativa em relação às anomalias encontradas na estrutura da barragem de Mamuaba.

Quadro 10: Registro de anomalias nas estruturas na barragem Mamuaba, nos anos de 2016, 2022 e 2025

Item	Localização	Anomalia
1	Talude de jusante	Erosão
2	Talude de montante	Presença de arbustos no <i>rip-rap</i>
3	Coroamento	Retenção de água
4	Talude de jusante	Canaletas obstruídas
5	Talude de jusante	Vegetação no dreno de pé
6	Área a jusante	Área desmatada

Fonte: Autora (2025)

Quadro 11: Matriz comparativa da evolução das anomalias da barragem Mamuaba

DATA	ITEM INSPECIONADO					
	1	2	3	4	5	6
2016	PV	PV	PV	PV	NI	NI
2022	DI	DS	DS	DS	NE	NI
2025	AU	AU	NE	AU	PV	PV

AU = Anomalia aumentou; DI = Anomalia diminuiu; DS = Anomalia desapareceu; NE = Anomalia não existente; NI = Anomalia não inspecionada; PV = Anomalia constatada pela primeira vez.

Fonte: Autora (2025)

O Quadro 11 apontou a evolução das anomalias apresentadas no Quadro 10 nos anos de 2016, 2022 e 2025. Em relação aos anos de 2016 e 2022, três das anomalias desapareceram (DS), uma anomalia consta como não existente (NE) e uma diminuiu (DI). A anomalia do item 6 não foi inspecionada nos dois anos de comparação.

Já em relação a comparação dos anos de 2022 e 2025, duas das anomalias que haviam desaparecido anteriormente, retornaram e uma que havia diminuído, aumentou (AU). A anomalia do item 3 que havia desaparecido em 2022 não foi constatada no ano de 2025, logo, não existe (NE). As anomalias dos itens 5 e 6 foram identificadas pela primeira vez no ano de 2025.

Como a vistoria foi realizada em um momento em que não havia chovido anteriormente na região, não é possível constatar que a anomalia do item 3 tenha de fato desaparecido. Desta forma, torna-se imprescindível a realização de inspeções rotineiras na estrutura da barragem.

Levando em consideração que os pontos vistoriados foram escolhidos por meio da análise anterior feita por Silva (2016), para fins de análise comparativa, alguns pontos observados atualmente na barragem, como os itens 5 e 6 não foram abordados pela mesma.

Contudo, em relatório disponibilizado de forma digital pelo Governo do Estado da Paraíba, em 2022, após as obras de restauração, é possível constatar que as anomalias não existiam. Ou seja, neste período de aproximadamente 3 anos após a restauração, as anomalias apareceram ou aumentaram.

Os resultados obtidos para a barragem Mamuaba a partir da utilização dos *checklists* apresentados anteriormente no tópico 4.4, estão dispostos na Figura 57 a seguir.

Figura 57: Resultados da classificação da barragem Mamuaba por meio da classificação SABESP, para os anos 2016, 2022 e 2025

CHECKLIST - CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SABESP (KUPERMAN ET AL., 2001)	
NOME DA BARRAGEM	Barragem Mamuaba
LOCALIZAÇÃO	Divisa entre Conde e Alhandra - PB
BACIA HIDROGRÁFICA	Bacia do Rio Gramame
DATA DA VISTORIA	14/04/2025

CLASSIFICAÇÃO QUANTO A PERICULOSIDADE POTENCIAL						
IMPORTÂNCIA	ANOS	Pequena - 10	Média - 8	Significativa - 6	Grande - 4	Elevada - 2
	2016					X
	2022					X
	2025					X
DIMENSÃO DA BARRAGEM	ANOS	Pequena - 10		Média - 6	Grande - 2	
	2016			X		
	2022			X		
	2025			X		
VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADO	ANOS	Baixo - 5	Pequeno - 4	Médio - 3	Grande - 2	Elevado - 1
	2016			X		
	2022			X		
	2025			X		
IMPACTO AMBIENTAL		Baixo	Pequeno	Médio	Grande	
	ANOS	10	8	6	0	
SOCIAL	2016					X
	2022					X
	2025					X
	2025					X
AMBIENTAL	ANOS	10	8	3	0	
	2016					X
	2022					X
	2025					X
ECONÔMICO	ANOS	5	4	3	0	
	2016					X
	2022					X
	2025					X
TIPO DE BARRAGEM	ANOS	Concreto - 15		Enrocamento - 12		Terra - 8
	2016					X
	2022					X
	2025					X
ÓRGÃO VERTENTE	ANOS	Superfície s/ controle - 15		Superfície c/ controle - 10		De fundo - 5
	2016	X				
	2022	X				
	2025	X				
VAZÃO DE PROJETO	ANOS	VMP ou $1000 < Tr < 10000 - 20$	$100 < Tr < 1000 - 12$	$Tr < 100$ ou desconhecido ou calculado a mais de 20 anos - 2		
	2016		X			
	2022		X			
	2025		X			

CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ESTADO REAL DA BARRAGEM							
INFORMAÇÕES DE PROJETO	ANOS	Completas - 5	Parciais - 4	Incompletas - 2	Inexistentes - 0		
	2016		X				
	2022		X				
	2025		X				
FREQUÊNCIA NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO	ANOS	Adequada - 10	Razoável - 6	Inadequada - 2	Nenhuma - 0		
	2016				X		
	2022	X					
	2025		X				
PERCOLAÇÃO	ANOS	Conforme prevista em projeto ou inexistente - 20		Fora do previsto, mas não crítica - 15		Crítica - 5	Desconhecida - 0
	2016	X					
	2022	X					
	2025			X			
DEFORMAÇÃO	ANOS	Conforme prevista em projeto ou inexistente - 20		Fora do previsto, mas não crítica - 15		Crítica - 5	Desconhecida - 0
	2016	X					
	2022	X					
	2025	X					
NÍVEL DE DETERIORAÇÃO DE PARAMENTOS OU TALUDES	ANOS	Minima ou inexistente - 15	Baixo - 12	Moderado - 6	Alto - 4	Excessivo - 3	
	2016			X			
	2022	X					
	2025			X			
EROSÕES A JUSANTE	ANOS	Minimas ou inexistente - 15	Poucas - 12	Moderadas - 6	Elevadas - 4	Significativas - 3	
	2016			X			
	2022	X					
	2025			X			
CONDIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DOS DESCARREGADORES	ANOS	Boa - 15	Razoável - 8	Ruim - 6	Inoperante ou sem registro - 3		
	2016	X					
	2022	X					
	2025	X					

Fonte: Autora (2025)

Dos resultados obtidos por meio do *checklist* acima (Figura 57), a barragem Mamuaba é classificada da seguinte forma, disposta no Quadro 12, em relação aos limites estabelecidos pelas tabelas 3, 4 e 5.

Quadro 12: Classificação do Índice de Comportamento para a barragem Mamuaba

	ANOS	PP	ER	IC
BARRAGEM MAMUABA	2016	46 - Elevada	71 - Regular	59,8 - Alerta
	2022	46 - Elevada	99 - Satisfatório	77,8 - Normalidade
	2025	46 - Elevada	72 - Regular	61,2 – Atenção
PP = Periculosidade Potencial; ER = Estado Real da Barragem; IC = Índice de Comportamento.				

Fonte: Autora (2025)

Pode-se observar que na primeira inspeção realizada em 2016, o índice de comportamento apontava um estado de alerta para a situação estrutural da barragem. Com as obras de restauração realizadas no ano de 2022, este índice passou a normalidade. Contudo, após análise das informações do ano de 2025, três anos da restauração estrutural da barragem Gramame, o índice agora aponta um estado de atenção.

Este resultado aponta a paridade entre a qualidade do estado real da barragem para nos anos de 2016 e 2025. Tendo em vista que a periculosidade potencial não mudou para os três anos de estudo, e os resultados para o estado real se mantiveram próximos, a situação atual (2025) de segurança da barragem Mamuaba está caracterizada melhor do que para o ano de 2016.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliado a segurança das barragens Gramame e Mamuaba, no ano de 2025, comparando com os resultados obtidos das análises de acervo fotográfico dos anos de 2016 e 2022, aplicando o sistema de classificação de barragens da SABESP por meio de *checklists* e de matriz comparativa da evolução das anomalias identificadas.

Para isso, foram coletadas informações por meio de relatórios da AESA e da ANA, além de disposições apresentadas na Lei 12.334/2010, Resolução CNRH nº 143/2012, Resoluções ANA nº 236/2017 e nº 121/2022. Também foi consultado o SNISB, a fim de acompanhar em tempo real as atualizações acerca das barragens brasileiras e, para este trabalho, a barragem Gramame-Mamuaba.

Apesar de possuir um vasto repertório de leis e resoluções sobre a temática de segurança de barragens, nota-se uma defasagem de trabalhos a cerca da identificação, inspeção e manutenção referente as anomalias em barragens.

Em posse do conhecimento apresentado pelas fontes citadas anteriormente, foi possível entender a importância do estudo sobre a segurança de barragens, e, da necessidade de inspeções rotineiras. Como apresentado, a identificação das anomalias na área de estudo nos anos de 2016 e 2022 permitiu a comparação com a atual situação da barragem Gramame-Mamuaba.

As obras de restauração da barragem finalizadas em 2022, resultaram em expressivas melhorias, compreendendo as estruturas das duas barragens, tais como: coroamento, vertedor, taludes de montante e de jusante e drenos de pé. Contudo, na vistoria feita em abril de 2025, houve retorno das ocorrências observadas em 2016 nas estruturas do vertedor, taludes de montante e jusante das duas barragens.

Os resultados demonstram que, apesar das melhorias visíveis imediatamente após as obras de 2022, as quais são evidenciadas pela diminuição ou desaparecimento de anomalias e pelo índice de comportamento em “normalidade”, as inspeções de 2025 revelam um retorno ao estado de atenção em ambas as barragens analisadas.

A barragem Gramame, teve seu índice de comportamento reduzido de 77,8 (normalidade, em 2022) para 68,2 (atenção, em 2025), refletindo o retorno ou agravamento de anomalias como erosões nos taludes de jusante, vegetação indesejada nos taludes de montante, vertedor e canaletas de drenagem.

Já a barragem Mamuaba, mesmo após a reforma em 2022, o seu índice de comportamento em 2025 teve resultado semelhante ao de 2016. Isso evidencia que, embora a intervenção de 2022 tenha sido eficaz a curto prazo, a ausência de manutenção contínua e monitoramento rigoroso comprometeu os resultados a médio prazo.

A realização de inspeções rotineiras permite a identificação de anomalias antes mesmo que essas provoquem uma falha ou ocasionem o rompimento do maciço da barragem. Com isso, destaca-se a importância da adoção de um cronograma de inspeções e manutenções periódicas como estratégia essencial para garantir a segurança dessas estruturas fundamentais para o abastecimento hídrico da região.

7. REFERÊNCIAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Relatório Estadual de Segurança de Barragens- RESB**. 2024. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2025/03/RELATORIO-ESTADUAL-DE-SEGURAN%C3%87A-DE-BARRAGENS-2024.pdf> . Acesso em: 12 mar. 2025.

AGÊNCIA IBGE. **PIB cresce 3,4% em 2024 e fecha o ano em R\$ 11,7 trilhões**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42774-pib-cresce-3-4-em-2024-e-fecha-o-ano-em-r-11-7-trilhoes>. Acesso em 15 mar. 2025.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017**. Brasília, 2017

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>. Acesso em: 18 abr. 2025.

ALBERTA ENVIRONMENTAL PROTECTION. *Inspection of Small Dams*. Canadá, 1998. Disponível em:< <https://open.alberta.ca/dataset/416e3214-d05f-42a4-9c26-ddb59db9eebd/resource/3a9ccdb7-dec5-4f87-bebd-f14f66226205/download/1998-inspectionsofsmalldams-oct1998.pdf>> . Acesso em: 08 mar 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Curso de segurança de barragens**. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://progestao.ana.gov.br/destaque-superior/boas-praticas/seguranca-de-barragens/curso-de-seguranca-de-barragens-dae-1/aula-3-segur-barragem-2016tipo.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de segurança de barragens 2019**.

Brasília: ANA, 2020. Disponível em: < <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/api/file/download/147/4/rsb19-v0.pdf>> . Acesso em: 24 mar. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de segurança de barragens 2020.**

Brasília: ANA, 2021. Disponível em: < <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/api/file/download/145/4/rsb-2020.pdf>> . Acesso em: 11 mar. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de segurança de barragens 2023.**

Brasília: ANA, 2024. Disponível em: < https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/api/file/download/714/4/rsb_2023_2024_06_27_11_01_28.pdf> . Acesso em: 11 mar. 2025.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS** - Produto 4 Classificação de Barragens: Avaliação dos Critérios Gerais Atuais, Metodologia Simplificada para Áreas Inundadas a Jusante e Diretrizes para a Classificação. ANA, 2014. 78 p.

ARAÚJO, C. C. **Análise de risco em barragens de abastecimento de água da grande João Pessoa – PB.** 2014. 81 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Obras Contra Seca - DNOCS. **Vem Conhecer o trabalho do DNOCS na Segurança de Barragem.** 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/dnocs/pt-br/assuntos/vem-conhecer/vem-conhecer-o-trabalho-do-dnocs-na-seguranca-de-barragem> . Acesso em: 10 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2010. Disponível em< https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm>. Acesso em: 15 fev 2025.

BRASIL. **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148 p. Disponível em <
http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=82054>. Acesso em: 20 fev 2025

BUREAU OF RECLAMATION. **Design of small dams**. 3. ed. Washington, DC: United States Department of the Interior, 1987.

CARVALHO, D.. **Barragens: Uma introdução para graduandos**. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/apostila-barragens-feagr2011/64087967#366> Acesso em: 15 mar 2025.

CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de defesa civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. 5. ed. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 1999. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/glossario.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

CMB – Comissão Mundial de Barragens. **Barragens e Desenvolvimento: Um novo modelo para tomada de decisões – Um sumário**. 2000. Disponível em: https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/cmb_sumario.pdf . Acesso em: 11 mar 2025.

MELLO, Flavio Miguez de; PIASENTIN, Corrado. **A história das barragens no Brasil, séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p., il., 28 cm. ISBN 978-85-62967-04-7. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/5707 . Acesso em: 15 mar 2025

Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em < https://www.snish.gov.br/Entenda_Mais/legislacao-aplicada/resolucao-cnrh-143-2012.pdf/view>. Acesso em: 21 mar 2025

COSTA. **Geologia de barragens**. 2. ed. 2012. Disponível em: <https://toaz.info/doc-view-3#google_vignette>. Acesso em: 16 mar. 2025.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Eclusas no Brasil**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/eclusas/eclusas_nova>. Acesso em: 15 abr. 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional: relatório final**. Rio de Janeiro, 2024.

FAHLBUSCH, H. **Early dams**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering History and Heritage, v. 162, n. 1, p. 13–18, 2009.

FERNANDES, M. M. **Análise de Risco de Ruptura de Barragens: Estudo de caso de seis barragens na Ilha de Santiago em Cabo Verde, África**. Fortaleza, 2020. 383 f. Tese Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, 2020.

FONSECA, F. **Efeito do Turismo na Demanda d'água da Bacia do Rio Gramame - Estudo de Caso**. 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ICOLD – International Commission On Large Dams. **As barragens & a água do mundo**. Paris: CIGB/ICOLD, 2008. 64 p.

IEA – International Energy Agency. **Key world energy statistics**. Paris: OECD, 2021.

INAG – Instituto da Água. **Curso de exploração e segurança de barragens**. Lisboa: INAG, 2001.

ITABORAHY, C. R. et al. Agricultura irrigada e o uso racional da água. Brasília: ANA, 2004.

ITAIPU BINACIONAL. Revista de Aspectos Técnicos. 2022. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/af_df/2202_023_revista_aspectos_tecnicos_bizuias_018.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

JANSEN, R. B. **Advanced dam engineering: for design, construction, and rehabilitation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988, 811 p.

KUPERMAN, S. C. et al. **Análise de Risco e Metodologia para Tomada de Decisão para Barragens**: Evolução do Sistema Empregado pela Sabesp, XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza. 2001.

KUTZNER, C. **Earth and rockfill dams: principles of design and construction**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997. 333 p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra: unidade 5 – Barragens de terra e enrocamento**. 2004. Disponível em: <<https://www.academia.edu/40094368>>. Acesso em: 16 mar. 2025.

MARTINS, S. L. **Sistemas para a transposição de peixes**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. p. 170.

MELO E NETO. **Plano de manutenção e segurança de barragens – RMSP**. São Paulo, 2018.

MENESCAL, F. C. **A segurança de barragens e a gestão de recursos hídricos no Brasil: terminologia para análise de risco e segurança de barragens.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em:
<<https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/202>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.** 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

OLIVEIRA, N. C. C. **A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil.** *Varia Historia*, 34(65), 315–346. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-87752018000200003>

PARAÍBA. **Governo conclui obra de recuperação das barragens Gramame e Mamuaba.** 2022. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/noticias/governo-conclui-obra-de-recuperacao-das-barragens-gramame-e-mamuaba> . Acesso em 10 mar. 2025.

PINHEIRO, M. C. **Segurança de barragens no Brasil.** 2018. Disponível em:
<<https://eventos.abrh.org.br/xivsrhne/apresentacoes/mario-ciareli.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2025.

PRATA, M. L. A.; PAVEL, C. O.; POLLIS, H. (Trad.). **Avaliação da segurança de barragens existentes.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, Memória da Eletricidade, 1987. 169 p.

SALIBA, A. P. M. **Uma nova abordagem para análise de ruptura por galgamento de barragens homogêneas de solo compactado.** 2012. 193 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SEMARH. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Plano Diretor da Bacia do Rio Gramame.** João Pessoa, 2000.

SILVA, L. M. D. **Análises de risco aplicadas às barragens de Gramame-Mamuaba na Paraíba**. João Pessoa, 2016. 110 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, 2016.

SILVA, L. M. D.; SILVA, T. C.; FILGUEIRA, H. J. A. **Análises de risco aplicadas às barragens de Gramame-Mamuaba na Paraíba**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. Anais [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2016. Disponível em: <https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=559>.

SNISB – Sistema Nacional de Informações de Barragens. **Definições Importantes Sobre Barragens**. SNISB, 2022. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/outros/definicoes-importantes-sobre-seguranca-de-barragem.pdf/view . Acesso em: 09 mar 2025.

SOARES, J. P. R.; MALVEIRA, V. T. C. **Segurança contra o risco de piping em barragens de terra através da distribuição Weibull**. *Essentia - Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA*, Sobral, v. 21, n. 2, p. 1–15, 2020. Disponível em: <https://essentia.uvanet.br/index.php/ESSENTIA/article/view/373>.

SRH – Secretaria dos Recursos Hídricos. **Açude São Vicente, na região norte cearense, é o 4º reservatório a sangrar em 2021**. SRH, 2021. Disponível em: <<https://www.srh.ce.gov.br/acude-sao-viceinte-na-regiao-norte-cearense-e-o-4o-reservatorio-a-sangrar-em-2021/>> Acesso em: 24 abr 2025.

STEPHENS, T. **Manual sobre pequenas barragens de terra: guia para localização, projeto e construção**. Roma: FAO, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ba0081o.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2025.

TCE - Tribunal de Contas do Estado da Paraíba. **Relatório de Auditoria Operacional da Situação Ambiental do Entorno dos Principais Reservatórios Artificiais do Estado da Paraíba**. João Pessoa. 2011.

VALENTE, M. A. L. **O domínio público dos terrenos fluviais na Constituição Federal de 1988**. 2000. Disponível em: < [Acesso em: 15 abr. 2025.](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/620/r147-18.PDF?sequence=10&isAllowed=y#:~:text=%E2%80%9CConforme%20a%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20Federal%20de,da%20Uni%C3%A3o%20ou%20dos%20Estados.> ></p></div><div data-bbox=)

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ANEXO A - Classificação quanto à Periculosidade Potencial e ao Estado Real da Barragem segundo o Sistema de Classificação de Barragens da SABESP.

IMPORTÂNCIA PARA A SABESP

- Pequena: quando a redução da oferta consequente à sua eventual desativação é suportável por um período razoável; é fácil suprir de maneira alternativa esta eventual redução;
- Média: quando sua desativação é possível, mas implica em custos razoáveis e certos remanejamentos para conseguir redução aceitável da oferta de água;
- Significativa: quando sua desativação deve ser evitada pois implica em custos significativos e obriga a remanejamentos importantes para conseguir redução da oferta de água;
- Grande: quando sua desativação deve ser evitada pois implica em custos elevados e obriga a remanejamentos importantes para conseguir redução, mesmo que temporária da oferta de água;
- Elevada: quando seu reservatório ou sua estrutura são de extrema importância no funcionamento do Sistema SABESP, sua desativação (ruptura ou interrupção da operação) implica em redução inaceitável na oferta de água

VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADA

- Baixo: quando o volume de água bruta armazenada pelo reservatório fosse inferior a $0,05 \times 10^6$ m³;
- Pequeno: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estivesse entre a $0,05 \times 10^6$ e 1×10^6 m³;
- Médio: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estivesse entre 1×10^6 e 50×10^6 m³;
- Grande: quando o volume de água armazenada pelo reservatório estivesse entre 50×10^6 e 100×10^6 m³;
- Elevado: quando o volume de água armazenada pelo reservatório fosse superior a 100×10^6 m³;

IMPACTO A JUSANTE

SOCIAL

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

e/ou ocorrência de perda inferior a 30% da capacidade produtiva;

- Grande: quando houver possibilidade de mais de 1000 pessoas serem afetadas e/ou ocorrência de perda superior a 30% da capacidade produtiva;

AMBIENTAL

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

ECONÔMICO

- Baixo: quando não ocorrerem danos a residências e/ou a despesas total das

reparações for inferior a R\$ 200.000,00 (incluindo reparos na 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 reparos na 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

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

ÓRGÃO VERTENTE

- De superfície sem controle
- De superfície com controle
- De fundo

VAZÃO DE PROJETO

- VMP ou $1000 < Tr < 10000$: a vazão de dimensionamento é a Vazão Máxima provável (VMP) ou foi recentemente verificada para um período de recorrência entre 1000 e 10000 anos;
- $100 < Tr < 1000$: a vazão de dimensionamento foi recentemente verificada para um período de recorrência entre 100 e 1000 anos;
- $Tr < 100$, ou desconhecido, ou calculado a mais de 20 anos: a vazão de dimensionamento foi calculada para um período de recorrência inferior a 100 anos, ou é desconhecida, ou foi calculada a mais de 20 anos e não mais verificada;

INFORMAÇÕES DE PROJETO

- Completas: quando a documentação de projeto está disponível e acessível nos arquivos da SABESP. Eventualmente, na falta da documentação original há análises completas de estabilidade, de percolação, da geologia local, dos materiais de construção realizadas já na fase de operação;
- Parciais: quando a documentação

parcial do projeto e a construção está disponível e acessível nos arquivos da SABESP. Eventualmente existem análises de comportamento e/ou estudos simplificados realizados durante a fase de operação;

- 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 análises de comportamento ou estudos sobre a barragem;

FREQUENCIA NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO

- Adequada: quando são realizadas inspeções rotineiras, periódicas e formais na periodicidade recomendada pela SABESP, com inserção dos resultados no Banco de Dados e emissão de relatórios e pareceres específicos avaliando o comportamento, tanto através das inspeções visíveis quanto pela instrumentação instalada;
- Razoável: quando são realizadas inspeções rotineiras e periódicas com a periodicidade recomendada pela SABESP. São preenchidas planilhas de inspeção que alimentam o Banco de Dados. Não são emitidos relatórios sobre

as análises de comportamento seja através da instrumentação e/ou das inspeções. A última inspeção formal foi realizada há 5 anos;

- Inadequada: quando as inspeções periódicas não seguem as frequências recomendadas ou não são preenchidas as planilhas de inspeção nem realizadas análises de comportamento. A última inspeção formal foi realizada há mais de 5 anos;
- Nenhuma: quando não são realizadas inspeções rotineiras ou periódicas e a última inspeção formal foi realizada há mais de 5 anos;

PERCOLAÇÃO

- Conforme prevista em projeto ou inexistente: significa 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: Significa 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: significa ter sido constatadas 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;

DEFORMAÇÃO

- Conforme prevista em projeto ou inexistente
- Fora do previsto, mas não crítica
- Crítica
- Desconhecida

NÍVEL DE DETERIORIZAÇÃO DOS PARAMENTOS OU DOS TALUDES

- Mínimo ou inexistente: quando houver degradação visível, a olho nu, dos materiais de proteção. O comportamento de paramentos e taludes está de acordo com o esperado;
- Baixo: quando não houver indícios importantes que denotem a degradação dos materiais de proteção;
- Moderado: quando há evidentes indícios de degradação. Trincamentos generalizados afetam áreas importantes

das estruturas, por exemplo. 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;

- Alto: em áreas extensas os níveis de degradação dos materiais são grandes. No concreto podem ser observados sinais de início 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. Em enrocamentos observa-se uma evidente redução da granulometria do rip-rap em grandes áreas dos taludes, etc. Há indícios de problemas que podem vir a ocorrer devido a estes fatores;

- 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. Em enrocamentos, as características físico-mecânicas dos blocos de rocha alteraram-se totalmente ocorrendo, com facilidade, manchas de material mais fino, com crescimento de vegetação e erosões localizadas pela ação de ondas ou das chuvas. Há ocorrências de escorregamentos;

EROSÕES A JUSANTE

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

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

- Moderadas: se ocorrem pontos localizados erodidos, entretanto não há perigo imediato de solapamento ou instabilização 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: se ocorrem erosões

importantes em grandes áreas, susceptíveis de solapar e instabilizar estruturas da barragem ou provocar danos a terceiros. São necessárias intervenções imediatas para evitar acidentes;

**CONDIÇÕES DOS
EQUIPAMENTOS DOS
DESCARREGADORES**

- Boa: se operantes a qualquer tempo e em perfeito estado de conservação;
- Razoável: se operantes, entretanto seu estado de conservação deixa a desejar.

;

Não são efetuados testes periódicos e não se faz manutenção preventiva. Foram operados pela última vez há mais de um ano;

- Ruim: em condições ruins, se não foram operados nos últimos dois anos, encontram-se com sinais de deterioração (corrosão, etc.), 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.