



Instituto Superior Politécnico de Songo

DIVISÃO DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA HIDRÁULICA
Relatório de Estágio Profissional

**ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS: CASO DA
BARRAGEM DE GORONGOSA**



MATHE, France António

Songo, Maio de 2022



Instituto Superior Politécnico de Songo

DIVISÃO DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA HIDRÁULICA

Relatório de Estágio Profissional

ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS: CASO DA BARRAGEM DE GORONGOSA

Autor: MATHE, France António

Trabalho submetido ao Instituto Superior Politécnico de Songo, como parte dos requisitos para aquisição do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica.

Supervisores

Eng. Cipriano Irasmo da Silva (ISPS)

Engº. Celso Luís Faife (ARA-Centro, IP)

Songo, Maio de 2022



Instituto Superior Politécnico de Songo

DIVISÃO DE ENGENHARIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA HIDRÁULICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO
PROFISSIONAL

Declaro que o estudante _____ entregou no dia ___/___/2022 ___ cópias do relatório do seu Estágio Profissional com a referência: _____, intitulado: **ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS: CASODA BARRAGEM DE GORONGOSA.**

Songo, aos ___ de _____ de 2022

O Chefe da Secretaria

DEDICATÓRIA

Dedico o presente Relatório em primeiro lugar a minha Mãe Cristina Simião Site (In Memoriam) e ao meu Pai António Baieca Mathepelo apoio incondicional e nunca mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida. Aos demais familiares em especial meus irmãos, tias, avós, amigos e conhecidos não mencionados. A todos os colegas do estágio e aos que fizeram parte do percurso académico.

AGRADECIMENTOS

RESUMO

As barragens são estruturas necessárias, para um adequado aproveitamento dos recursos hidráulicos superficiais, com vista, nomeadamente, ao abastecimento urbano e industrial, à rega, à produção de electricidade, à navegação, ao lazer e ao controlo de grandes cheias. A segurança na construção e na exploração destas infra-estruturas deve constituir o objectivo fundamental, pois na ocorrência de eventos extremos podem afectar vidas humanas, serviços essenciais para a vida das populações, bens materiais e ambientais existentes nos vales a jusante, tornando-se assim indispensável avaliar correctamente estes danos potenciais e definir medidas adequadas para o seu controlo e mitigação.

Grande número de pessoas reside em vales a jusante de barragens, assim, o desenvolvimento de metodologias para apoio à gestão integrada do risco nestes vales é de grande interesse prático para a protecção desta população.

Para assegurar o cumprimento de segurança de barragens o Conselho de Ministros através do decreto nº 33/2017 aprovou o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) que define as obrigações e procedimentos a seguir para garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências. Os normativos e padrões de segurança a atender variam em função da categoria do risco e do dano potencial associado à barragem em caso de rompimento, exigindo assim a sua classificação, que é também um requisito para verificação de seu enquadramento no decreto.

O presente estudo ocupa-se essencialmente na classificação de barragens, uma avaliação dos danos potenciais e a classe de risco que a barragem de Gorongosa apresenta. Esta avaliação permite adoptar todo o conjunto de acções que visam a verificação das conformidades da operação da barragem, como manutenções periódicas e inspecções regulares.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE QUADROS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ESTRUTURA DO TRABALHO	1
1.2. ENQUADRAMENTO DO TEMA.....	2
1.3. JUSTIFICATIVA	3
1.4. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO	4
1.5. OBJECTIVOS	5
1.5.1. <i>Objectivo Geral</i>	5
1.5.2. <i>Objectivos específicos</i>	5
1.6. HIPÓTESES	6
1.7. CIÊNCIAS RELACIONADAS AO TEMA	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. SEGURANÇA DE BARRAGENS E VALES A JUSANTE	7
2.2. SEGURANÇA INTEGRADA DOS SISTEMAS ALBUFEIRA-BARRAGEM-VALE A JUSANTE	7
2.3. RISCOS ASSOCIADOS A BARRAGENS	8
2.3.1. <i>Vulnerabilidades</i>	8
2.3.2. <i>Riscos</i>	8
2.3.3. <i>Gestão do risco</i>	9
2.4. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS.....	11
2.4.1. <i>Finalidades</i>	11
2.4.2. <i>Classificação de Barragens no Brasil</i>	12
2.4.1.1. Categoria de risco	13
2.4.1.2. Dano potencial associado	13
2.4.3. <i>Classificação de Barragens em Moçambique</i>	19

2.4.3.1. Índice de vulnerabilidade.....	20
2.4.3.2. Dano Potencial Associado.....	25
2.4.3.3. Classe de risco.....	25
3. METODOLOGIA.....	28
3.1. MATERIAIS USADOS	28
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO.....	28
3.2.1. <i>Procedimento de Classificação pelo regulamento de Brasil</i>	29
3.2.1.1. Categoria de Risco (CRI)	29
3.2.1.2. Dano Potencial Associado (DPA).....	31
3.2.2. <i>Procedimento de Classificação pelo regulamento de Moçambique</i>	32
3.2.2.1. Índice de Vulnerabilidade	32
3.2.2.2. Dano Potencial Associado.....	33
3.2.2.3. Classe de risco	34
4. CASO DE ESTUDO.....	35
4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	35
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ALBUFEIRA	35
4.3. CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM DE GORONGOSA	36
4.3.1. <i>Medição de Caudal</i>	36
4.3.2. <i>Descarregadores de fundo</i>	37
4.3.3. <i>Sistema de Abastecimento de Água</i>	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. ANÁLISE DOS DADOS	40
5.2. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM PELO REGULAMENTO DE BRASIL	40
5.2.1. <i>Características Técnicas</i>	40
5.2.2. <i>Estado de Conservação</i>	41
5.2.3. <i>Plano de Segurança da Barragem</i>	42
5.2.4. <i>Nível de Dano Potencial</i>	43
5.2.5. <i>Classificação do Risco e dano potencial</i>	44
5.3. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM PELO REGULAMENTO DE MOÇAMBIQUE	44
5.3.1. <i>Características Técnicas</i>	44
5.3.2. <i>Estado de Conservação</i>	45
6. CONCLUSÃO.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Análise percentual da barragens rompidas por altura.....	6
Figura 2: Barragem de Camará após o rompimento e Barragem de Rejeitos da Indústria de Papel Cataguases.....	12
Figura 3: Fluxograma de aplicação da classificação estabelecida pela Resolução 143/CNRH. Fonte: BAIMA, 2015.....	14
Figura 4: Critérios de classificação	29
Figura 5: Classificação quanto à categoria de risco.....	30
Figura 6: Classificação quanto ao dano potencial Associado.....	32
Figura 7 : Classificação do índice de vulnerabilidade.....	33
Figura 8:Classificação do dano potencial	34
Figura 9: Albufeira da Barragem de Gorongosa.....	35
Figura 10: Medição de Caudal pelo ADCP	37
Figura 11: Descarregadores da Barragem de Gorongosa	38
Figura 12: Mapa de localização da Barragem de Gorongosa	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categoria de Risco e Dano Potencial Associado, Resolução CNRH n° 143.	Error! Bookmark not defined.
Tabela 2: Classificação da vulnerabilidade em função do valor do Índice de Vulnerabilidade	24
Tabela 3: Classificação do dano potencial em função do Índice de Dano Potencial	Error! Bookmark not defined.
Tabela 4: Descrição da Albufeira de Gorongosa	36
Tabela 5: Pontuações das características técnicas da barragem	41
Tabela 6: Pontuações de Estado de Conservação da barragem	42
Tabela 7: Pontuações de Plano de Segurança	43
Tabela 8: Pontuações do nível de dano potencial	43
Tabela 9: Classe do risco e nível de dano potencial	44
Tabela 10: Pontuações dos Índices parciais relativos as características técnicas	45
Tabela 11: Pontuações dos índices parciais relativos ao estado de conservação	45
Tabela 12: Pontuações dos índices parciais relativos ao controlo de segurança	46
Tabela 13: Classificação de índice de vulnerabilidade	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de classificação da Categoria de Risco (CRI) – Características Técnicas – Resolução n° 143 CNRH	15
Quadro 2: Matriz de classificação da Categoria de Risco (CRI) – Estado de Conservação – Resolução n° 143 CNRH.	16
Quadro 3: Matriz de classificação da Categoria de Risco (CRI) – Plano de Segurança de Barragens – Resolução n° 143 CNRH.	17
Quadro 4: Matriz de classificação quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) – Resolução n° 143 CNRH.	18
Quadro 5: Matriz de avaliação do Índice de Vulnerabilidade. Índices parciais relativos às Características Técnicas	22
Quadro 6: Matriz de avaliação do Índice de Vulnerabilidade. Índices parciais relativos ao Estado de Conservação	23
Quadro 7: Matriz de avaliação do Índice de Vulnerabilidade. Índices parciais relativos à implementação dos instrumentos do Controlo de Segurança	24
Quadro 8: Matriz de avaliação do Dano Potencial	26
Quadro 9: Classificação do dano potencial em função do Índice de Dano Potencial	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARA-CENTRO, IP – Administração Regional de Águas do Centro, Instituto Público

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

RSB - Regulamento de Segurança de Barragens

PAE – Plano de Acção Emergencial

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens

CMP – Cheia Máxima Provável

ADCP - Acoustic Doppler Current Profile (Perfilador Doppler-Acústico de Corrente)

ODS – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

SINIMA – Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente

DPA – Dano Potencial Associado

1. INTRODUÇÃO

As barragens são obras importantes e incontestáveis, quanto a sua utilidade para o desenvolvimento humano, seja na irrigação, na produção de energia eléctrica, na reserva hídrica para o abastecimento de água etambém têm sido o principal mecanismo para o combate aos efeitos da seca pois armazenam grandes volumes de água para usos diversos por um período considerável e regulam caudais ao longo dos rios nos tempos chuvosos, mitigando assim os impactos das cheias.

No entanto, o aumento do número de barragens construídas torna crescente a preocupação com a segurança deste tipo de infra-estruturas. Grandes acidentes com barragens no mundo, como rupturas das barragens da Indústria de Papel Cataguases em 2003 e de Camará em 2004, em Brasil chamaram atenção para este problema, porém compreende-se que a segurança não possui garantia absoluta, mas que existem riscos e que eles devem ser mensurados a fim de enquadrá-los como toleráveis ou não. (Lauriano *et al*, 2008)

O presente trabalho ocupa-se no estudo da classificação da barragem de Gorongosa, por categoria de risco associado, atendendo a legislação de segurança de barragens em vigor em Moçambique e Brasil. É sabido que em Moçambique existe um grande número de pessoas a residir em vales a jusante de barragens para o aproveitamento, no seu dia-a-dia, de recursos hídricos interceptados pela barragem, bem como que atravessam através do rio abaixo, assim sendo, o desenvolvimento de metodologias para apoio à gestão integrada do risco nestes vales é de grande interesse prático para a protecção desta população.

Este relatório surge como proposta para que seja tomado como base para a escolha dos procedimentos e medidas que visam tornar a barragem mais segura, determinando a periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das inspeções regulares e especiais de segurança, além da obrigatoriedade ou não da elaboração do Plano de Acção Emergencial da Barragem.

1.1. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho consiste no estudo da classificação da barragem de Gorongosa, no qual se avalia, desenvolve e justifica as características da infra-estrutura e o nível de ameaças que

esta pode apresentar. Esta pesquisa é composta por oito (8) capítulos, nomeadamente, Introdução, Revisão bibliográfica, Metodologia, Caso de estudo, Conclusão, Recomendações, Lista de Referências bibliográficas, Apêndice e Anexos.

O capítulo 1 compreende a introdução do tema, onde apresenta-se as generalidades, a descrição da estrutura do trabalho, o enquadramento do tema, a problemática e justificativa do estudo, as hipóteses e os objectivos.

O capítulo 2 trata-se da revisão bibliográfica, em que destaca-se os princípios teóricos e práticos das barragens, aspectos de segurança e descreve os sistemas de classificação de barragens propostos pela Política Nacional de Segurança de Barragens (Brasil) e Regulamento de Segurança de Barragens (Moçambique).

No capítulo 3 descrevem-se os materiais e métodos empregados para o estudo, o tipo de dados obtidos e as metodologias para a classificação das barragens.

O capítulo 4 aborda a caracterização do local e a composição da barragem.

O capítulo 5 apresenta os resultados e discussões, onde se faz a análise, interpretação dos dados obtidos e a classificação da barragem pelos métodos propostos no presente trabalho.

No capítulo 6 realiza-se uma análise final e se expõem as conclusões do trabalho desenvolvido.

No capítulo 7 apresenta-se as fontes de consulta da presente pesquisa.

1.2. ENQUADRAMENTO DO TEMA

O presente estudo representa uma contribuição para a sociedade académica, e enquadra-se no Objectivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 9.1 e na Agenda 2030, que versam sobre a promoção da construção e desenvolvimento de infra-estruturas de qualidade, confiáveis, sustentáveis e resilientes.

Para além das agendas internacionais, o presente estudo responde as exigências do Plano Quinquenal do Governo de Moçambique 2020-2024, que no ponto **4.2.10** apresenta como Objectivo estratégico, a promoção e desenvolvimento de infra-estruturas económicas, e no ponto **5** é estabelecido como prioridade fortalecer a Segurança na Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos e do Ambiente, para garantir essa segurança o

Governo institui como estratégia reduzir a vulnerabilidade das comunidades, da economia e infra-estruturas aos riscos climáticos e às calamidades naturais e antropogénicas.

1.3. JUSTIFICATIVA

A segurança de barragens constitui um motivo de preocupação para a sociedade, devido aos riscos potenciais associados a que ficam sujeitas as pessoas e bens instalados nos vales a jusante, face à possibilidade da ocorrência de rupturas. No entanto, sendo esta uma preocupação da sociedade, para o autor serviu de motivação para dar o seu contributo na busca de soluções para mitigação de impactos associados a estes riscos potenciais que estas infra-estruturas podem representar. Importa referir que o presente estudo é também uma necessidade institucional do Departamento no qual foi efectuado o estágio profissional pois é a entidade gestora da barragem de Gorongosa e uma das suas responsabilidades ocupa-se na operação, manutenção e inspecção de infra-estruturas hidráulicas de armazenamento de água de domínio público e a inspecção das infra-estruturas do domínio privado.

A classificação de barragens é o principal instrumento para orientar os reguladores e fiscalizadores da segurança de barragens, pois permite avaliar a conformidade da segurança destas atendendo a legislação em vigor em cada país, definindo assim, os critérios de fiscalização, às datas de revisão da segurança de barragens, à periodicidade das inspecções e outras funções necessárias para garantir a manutenção de um nível adequado de segurança.

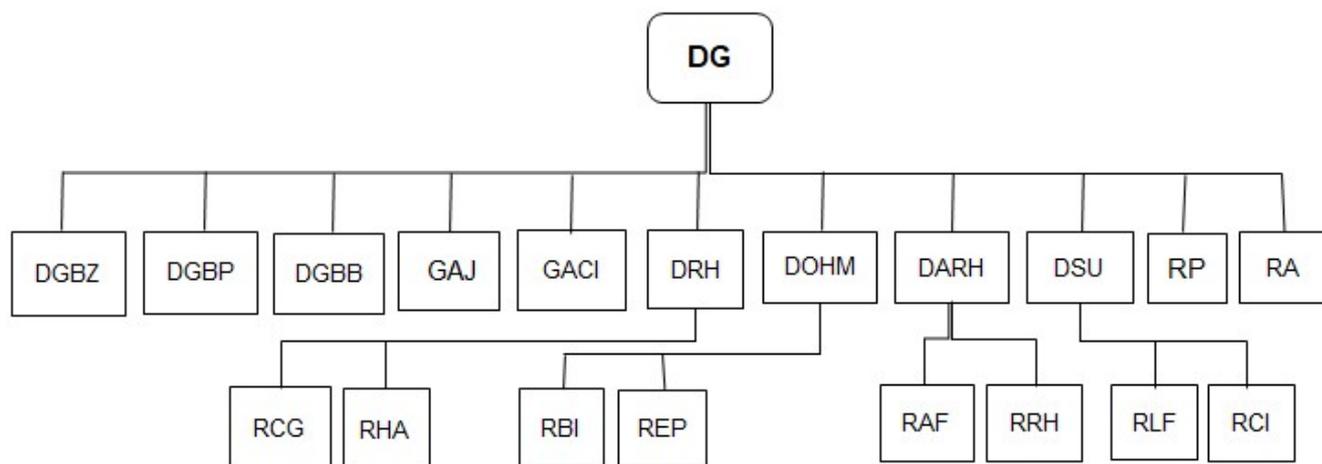
No entanto, no âmbito da avaliação da conformidade do grau de segurança da barragem de Gorongosa com a legislação de segurança em vigor em Moçambique, surgiu a necessidade de fazer-se um estudo de classificação desta, de forma a avaliar os riscos que esta pode representar. Portanto o objectivo desta classificação, é de identificar estes riscos e criar planos de mitigação destes, garantindo desta forma a operação segura da barragem.

1.4. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO

O Estágio Profissional foi realizado na ARA-Centro, IP, instituição criada pela Comissão Interministerial da Reforma da Administração Pública, aos 1 de Março de 2021 através da Resolução n° 22/2021.

A ARA-Centro, IP é um instituto público de gestão operacional de recursos hídricos, de âmbito regional, com as seguintes actividades: Gestão das bacias hidrográficas; Definição e implementação de medidas estruturais que tem como finalidade a mitigação de cheias, inundações e secas; Operação, manutenção e inspecção de infra-estruturas hidráulicas de armazenamento de água de domínio público e privado. Está estruturada da seguinte forma:

Organograma de ARA-Centro, IP



Legenda:

DG – Director Geral

DGBZ - Divisão de Gestão da Bacia Hidrográfica do Zambeze

DGBP - Divisão de Gestão da Bacia Hidrográfica do Púngue

DGBB - Divisão de Gestão da Bacia Hidrográfica do Búzi

GAJ - Gabinete de Assuntos Jurídicos

GACI - Gabinete de Auditoria e Controlo Interno

DRH - Departamento de Recursos Hídricos

DOHM - Departamento de Obras Hidráulicas e Manutenção

DARH - Departamento de Administração e Recursos Humanos

DSU - Departamento de Serviço ao Utente
RP - Repartição de Planificação
RA - Repartição de Aquisições
RCG - Repartição de Cadastro e Geohidrologia
RHA - Repartição de Hidrologia e Ambiente
RBI - Repartição de Barragens e Infra-estruturas
REP - Repartição de Estudos e Projectos
RAF - Repartição de Administração e Finanças
RRH - Repartição de Recursos Humanos
RLF - Repartição de Licenciamento e Facturação
RCI - Repartição de Comunicação e Imagem

As actividades do estágio profissional foram desenvolvidas no Departamento das Obras Hidráulicas e Manutenção e no Departamento de Recursos Hídricos.

1.5. OBJECTIVOS

1.5.1. Objectivo Geral

- Fazerum estudo de classificação da barragem de Gorongosaface aos potenciais riscos que ela representa.

1.5.2. Objectivos específicos

- Abordar conceitos gerais sobre segurança de barragens e a regulamentação associada a estas;
- Caracterizar a albufeira de Gorongosa;
- Caracterizar a Barragem de Gorongosa;
- Avaliar os danosassociados a barragem;
- Identificar a classe de risco da barragem.

1.6. HIPÓTESES

- i. Uma classificação bem definida de barragens compreende o estudo global dos elementos de segurança pois consiste no estudo da capacidade da infra-estrutura satisfazer as exigências de comportamento relativas aos aspectos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais ao longo da vida útil da obra, de modo a minorar as consequências dos riscos que a barragem pode representar.
- ii. No âmbito da segurança de barragens, o estado de conservação, os planos de emergência são importantes porque se baseiam num conjunto de medidas que integram a avaliação dos potenciais danos e os procedimentos a adoptar pelos vários intervenientes, por forma a fazer face a situações de emergência associadas a ondas de inundação.

1.7. CIÊNCIAS RELACIONADAS AO TEMA

Obras e Máquinas Hidráulicas – conhecimentos gerais sobre barragens e seus órgãos de descarga.

Projecto de Barragens – conhecimentos profundos sobre Regulamento de Segurança de Barragens, Riscos e Danos associados a Barragens.

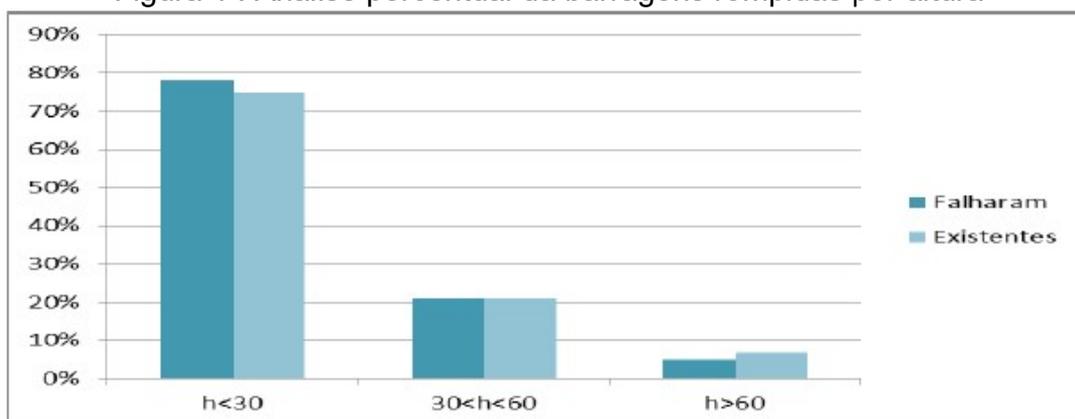
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como objectivo introduzir os conceitos fundamentais de segurança de barragens e a regulamentação associada a estas.

A segurança deve constituir o objectivo fundamental no projecto, construção e operação de barragens. Este deve ser referencial a ser buscado, uma vez que a ruptura de uma barragem pode ter consequências imensuráveis em termos de impactos socioeconómicos e ambientais. Apesar de reduzido, o risco de ruptura de uma barragem constitui uma realidade potencial para tais empreendimentos. De acordo com o Boletim 99 do ICOLD (1995), a percentagem de ruptura de grandes barragens é de 2,2% para as barragens construídas antes de 1950 e de cerca de 0,5% para as construídas após esta data. A maior parte das rupturas, cerca de 70%, ocorreu com barragens nos seus primeiros 10 anos de operação e, mais especialmente, no primeiro ano após o comissionamento.

Os gráficos a seguir, extraídos do Boletim 99 (ICOLD, 1995), mostram o número de rupturas pela altura da barragem. Consta-se que ocorrem mais casos de rupturas em barragens de pequena altura, possivelmente isto se explicaria pela baixa percepção do risco em estruturas menores, levando ao projecto e construção de qualidade inferior e ao monitoramento insuficiente na fase de operação.

Figura 1 : Análise percentual da barragens rompidas por altura



Fonte: ICOLD (1995)

2.1. SEGURANÇA DE BARRAGENS E VALES A JUSANTE

As expectativas de segurança pública estão em crescimento em todo o mundo, pelo que a actual legislação sobre barragens obriga à realização de análises de segurança de pessoas e bens situados nos vales a jusante de barragens em consequência de eventuais galgamentos e/ ou rupturas desses empreendimentos. (CARMO, 2013)

Nesta conformidade, nos casos em que está em vigor legislação sobre segurança de barragens, é uma exigência comum a análise e definição de mapeamentos de inundação resultantes de eventuais rupturas, mesmo para pequenas barragens. Em geral, são também requisitos obrigatórios a preparação de planos de acção e evacuação, a menos que sejam reduzidas as consequências de ruptura das barragens. Por outro lado, a existência de planos de emergência e/ou de sistemas preventivos de alerta podem ser requisitos obrigatórios, mesmo sem a existência de estudos de ruptura, para as barragens que forem consideradas como de alto risco. Por exemplo, uma barragem que armazene um grande volume de água, situada num vale confinado no qual existem habitações em número significativo, precisaria claramente de um plano de emergência. Contudo, os requisitos mínimos para a obrigatoriedade de planos de emergência diferem entre países e mesmo entre regiões.

2.2. SEGURANÇA INTEGRADA DOS SISTEMAS ALBUFEIRA-BARRAGEM-VALE A JUSANTE

Nos vales e planícies de inundação a jusante de barragens, o paradigma da engenharia baseado em defesas estruturais contra inundações não pode ser considerado, atendendo às características anormais da cheia resultante da ruptura de uma barragem. Alternativas nãoestruturais precisam de ser implementadas, tais como zonamentos, monitorização das barragens e análises de risco, sistemas de alerta e planeamento de evacuação, bem como a consideração do comportamento dos envolvidos (gestores e residentes) no planeamento de emergência. Por conseguinte, no que respeita à segurança dos leitos de cheia e à gestão de riscos, é necessário considerar as seguintes estratégias (Almeida, 1999):

O princípio da prevenção de acidentes, no que concerne à gestão de redução do risco interno (na operação da barragem). O princípio da minimização dos danos, no que concerne à gestão de redução do risco externo (na gestão do vale a jusante).

2.3. RISCOS ASSOCIADOS A BARRAGENS

2.3.1. Vulnerabilidades

A análise de vulnerabilidade é uma parte da análise de risco. As análises de vulnerabilidade e risco compreendem a identificação de fontes e perigos, a avaliação de incertezas, a definição de vulnerabilidades, a estimação de riscos, e a identificação de possíveis medidas de mitigação.

2.3.2. Riscos

O risco corresponde a uma situação ou evento em que algo com valor para os humanos (incluindo nomeadamente os humanos) é colocado em jogo e onde os resultados das ocorrências são incertos. (Jaeger *et al.*, 2001)

O risco no conceito da prática de segurança de barragens se refere à incerteza acerca da ocorrência de um qualquer evento (eventualidade, possibilidade ou probabilidade) e às consequências negativas (perdas, danos) no caso do risco se concretizar. (RSB, 2007)

De ponto de vista técnico, e no âmbito das ciências da natureza, o conceito do risco pode ser definido como o valor provável de perdas ou danos decorrentes de um acontecimento num determinado período de tempo. É este conceito que se aplica na Engenharia a qual envolve probabilidades de ocorrência e perdas associadas.

Todas as preocupações em redor da segurança na projecção, construção e exploração de barragens, estão directamente relacionadas com os riscos da implantação de uma barragem num determinado local, assim como das consequências opressivas em caso de colapso ou acidente, devido a determinados eventos ou acções. Deste modo, o conceito de risco complementa o próprio conceito de segurança estrutural, considerando o risco o produto da probabilidade de ocorrência de um determinado evento pelos danos decorrentes da ocorrência desse mesmo evento (Almeida, 2004).

Em análise de segurança de barragens, risco hidrológico é a probabilidade de falha de uma estrutura hidráulica face à ocorrência de vazão superior aquela para a qual foi dimensionada. Podem ser considerados de riscos, os eventos que caso ocorram, representem consequências no vale de jusante, tais como, sismos, grandes cheias, rupturas estruturais, ou apenas má operação de comportas, ou seja, tudo o que possa originar uma onda de cheia a jusante. Entre todos os riscos existentes, o mais preocupante devido às suas consequências, é o de ruptura da própria barragem. Em caso de ruptura, toda a fauna, flora e as vidas das populações, ficam em risco eminente. É possível simular matematicamente os riscos de implantação de uma barragem.

$$R = P \cdot D \quad (1)$$

Onde:

R – Risco de ocorrência de determinado evento;

P – Probabilidade de ocorrência de determinado evento;

D – Danos decorrentes da ocorrência de determinado evento.

Assim sendo, o risco pode ser minimizado através da diminuição de uma das variáveis, P ou D. Na fase de projecto, ao ser certificada a segurança estrutural, assegurando a estabilidade da barragem, vai haver uma diminuição da probabilidade P. Por outro lado, actividades relacionadas com a segurança do vale a jusante, como seja o estudo das ondas de cheia e o aviso ou alerta às autoridades e às populações, que envolvem também as autoridades de protecção civil, destinam-se a diminuir os danos D. Quando se trata de segurança em barragens, sabemos que os riscos se baseiam em eventos de probabilidade de ocorrência (P) muito reduzida, mas cujos danos (D), em caso de ocorrência desses mesmos eventos, podem ser muito opressivos.

2.3.3. Gestão do risco

Uma condição fundamental para a prevenção de catástrofes é a disponibilidade de avaliações de risco e sistemas funcionais de alerta precoce, que forneçam informações precisas e úteis, atempadamente e de confiança aos decisores e à população em risco. Enquanto os riscos naturais não puderem ser evitados, a integração de avaliações de risco e alertas precoces, juntamente com a prevenção e as medidas de mitigação, podem

impedir que se tornem desastres naturais. Isso significa que podemos tomar medidas para reduzir consideravelmente perdas de vidas e danos socioeconómicos causados por esses riscos.

A gestão de risco, na sua forma mais simples, compreende decisões com base em conhecimentos e/ou talentos pessoais. No entanto, com os recentes avanços dos computadores, é hoje possível analisar rapidamente gamas consideráveis de informações, que podem incluir:

- Sistemas de Informação Geográfica, incluindo informações sobre as inundações, os usos da terra, os centros urbanos, as infra-estruturas no vale;
- Incidentes com barragens, dados históricos sobre inundações;
- Resultados de monitorizações, manutenções, análises de dados;
- Desempenhos dos sistemas albufeira-barragem em tempo real, incluindo valores de precipitação, escoamento;
- Simulações dos sistemas integrados, incluindo julgamento especializado para orientações sobre hipotéticos cenários; e,
- Modelação de situações de galgamento e ruptura considerando vários cenários - mapeamentos de inundação.

É hoje amplamente reconhecido que uma monitorização eficiente e os sistemas de alerta são vitais para uma efectiva identificação e gestão dos riscos. Tal requer equipamentos de monitorização específicos, sistemas de informação credíveis, e formação/treino eficiente, orientado tanto para os agentes das barragens como para os serviços de emergência. Isso também requer a divulgação clara de informações precisas ao público, e em tempo útil, para que seja assegurada uma resposta eficiente durante um evento.

Reconhece-se que têm sido desenvolvidos melhores critérios de projecto e constroem-se hoje em dia barragens bem mais seguras, mas não há nenhuma base para a complacência. As barragens continuam a envelhecer, as pessoas continuam a instalar-se em zonas de inundação (leitos de cheia) e os perigos existentes são suficientes para que os riscos para o público continuem a ser elevados e por vários anos. Uma gestão de riscos inclui o controlo e a mitigação dos riscos, a fim de evitar que estes aumentem com o

tempo. Uma avaliação de riscos comporta três partes iguais: análise do risco, avaliação do risco e gestão do risco.

2.4. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

Segundo (Baima, 2015), “As classificações de barragens baseadas no risco são as mais apropriadas para o controle de segurança e medidas de protecção civil, uma vez que possibilitam graduar o nível de exigência destas acções. O objectivo principal desta graduação consiste em evitar medidas de segurança injustificáveis para barragens que apresentem baixo risco, ao mesmo tempo em que busca garantir níveis de segurança aceitáveis para o vale a jusante.”

Os itens a seguir apresentam os sistemas de classificação de barragens adoptados por Brasil e Moçambique. A consulta a esses sistemas permitiu constatar que estes países que apresentam classificação quanto ao dano potencial associado, classificam como alto o dano de barragens localizadas a montante de regiões habitadas.

2.4.1. Finalidades

A classificação de barragens segundo o risco tem como finalidades principais:

- Servir como ferramenta de análise preliminar das condições de segurança da barragem: a análise é capaz de identificar as características e condições da barragem que contribuem para sua vulnerabilidade;
- Identificar informações adicionais necessárias para reduzir as incertezas;
- Possibilitar o estabelecimento das periodicidades de monitoramento das estruturas através das inspecções regulares e revisões de segurança.
- Avaliar as opções de redução de risco.
- Comunicar o risco: a quantificação do risco informa aos tomadores de decisão a gravidade do risco e suas potenciais consequências;
- Servir como motivador para a implementação de acções de segurança de barragens;
- Apoiar na alocação de recursos, pois indica as prioridades de acordo com a classificação relativa do risco.

2.4.2. Classificação de Barragens no Brasil

Devidos as rupturas da Barragem de Camará, em 2004, e da Barragem de Rejeitos da Indústria de Papel Cataguases, em 2003, levantaram um olhar crítico sobre as questões relativas à segurança de barragens no território brasileiro (Lauriano *et al*, 2008). Neste contexto, no dia 20 de Setembro de 2010 foi instituída a Política Nacional de Segurança de Barragens, designada Lei Federal nº 12.334/2010. Esta lei tem como objectivo garantir a observância de padrões mínimos de segurança de barragens, de forma a possibilitar a redução de acidentes e suas consequências, visando à protecção da população e do meio ambiente.

Figura 2: Barragem de Camará após o rompimento e Barragem de Rejeitos da Indústria de Papel Cataguases



A Lei referida anteriormente aplica-se às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem, pelo menos, uma das seguintes características:

- a) Altura do maciço maior ou igual a 15 m;
- b) Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3 hm³;
- c) Reservatório que contenha resíduos perigosos; e
- d) Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos económicos, sociais, ambientais ou de perdas de vidas humanas – classificadas pelo órgão fiscalizador, segundo critérios estabelecidos pela Resolução CNRH nº143/2012.

Esta lei, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens e definiu também, em seu Artigo 6º, sete instrumentos de gestão da segurança, tornando-os obrigatórios a partir de dia da aprovação. São eles:

- Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;
- Plano de segurança de barragens;
- Sistema nacional de informações sobre segurança de barragens (SNISB);
- Sistema nacional de informações sobre o meio ambiente (SINIMA);
- Cadastro técnico federal de actividades e instrumentos de defesa ambiental;
- Cadastro técnico federal de actividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais;
- Relatório de segurança de barragens.

Dentre os instrumentos citados pela legislação, destacam-se o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e dano potencial associado, o Plano de Segurança de Barragens (PSB) e o Relatório de Segurança de Barragens. (RSB) (Brasil, 2010)

2.4.1.1. Categoria de risco

A categoria de risco é a classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre, designadas Características Técnicas do empreendimento (CT), como: altura, comprimento, tipo de barragem quanto ao material de construção, tipo de fundação, idade da barragem e caudal de projecto. Esta classificação leva em conta o Estado de Conservação da Barragem (EC) e o Plano de Segurança do empreendimento (PS).

$$\text{Classe de Risco} = \sum CT + \sum EC + \sum PS \quad (2)$$

2.4.1.2. Dano potencial associado

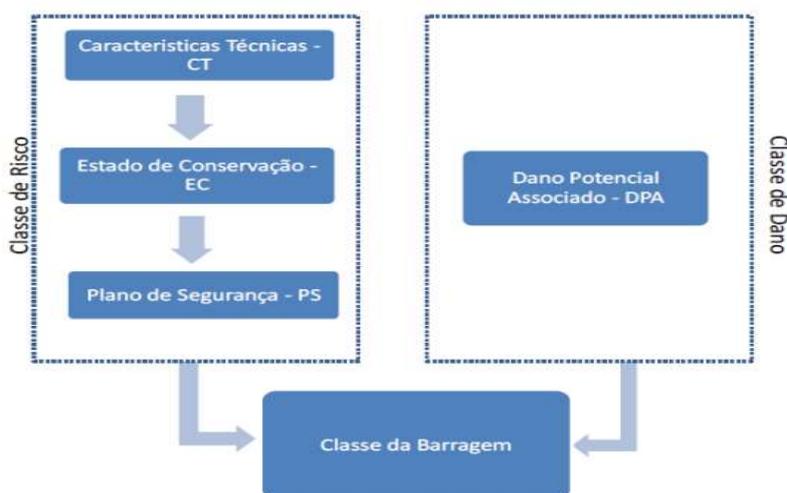
Dano potencial associado é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem,

independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, económicos e ambientais.

A classificação pelo Dano Potencial Associado (DPA) considera como critérios: perdas de vidas humanas, tamanho de reservatório e impactos sociais e económicos decorrentes da ruptura da barragem.

$$\text{Classe de Dano} = \sum \text{DPA} \quad (3)$$

Figura 3: Fluxograma de aplicação da classificação estabelecida pela Resolução 143/CNRH. Fonte: BAIMA, 2015.



Nessa deliberação normativa entende que o porte da barragem é definido através da altura do barramento. A barragem que apresente uma altura inferior a 15 m é considerada de pequeno porte, logo não é computado pontos para essa situação. Mas para barragem com altura superior a 60 m essa é classificada como uma barragem de grande porte, logo recebe a pontuação máxima referente a esse critério que são 3 (três) pontos. Para barragens intermediárias a pontuação recebida será igual a 2 (dois) pontos.

Quadro 1: Matriz de classificação da Categoria de Risco (CRI) – Características Técnicas – Resolução n° 143 CNRH

1. Características Técnicas (CT)					
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão do projecto (f)
≤ 15 m [0]	≤ 200 m [2]	Concreto Convencional – CCV [1]	Rocha sã [1]	Entre 20 e 50 anos [1]	CMP ou TR 10000 [3]
15 m < h < 30 m [1]	> 200 m [3]	Alvenaria de Pedra/ Concreto Ciclóptico/ -CCV [2]	Rocha alterada dura com tratamento [2]	Entre 10 e 30 anos [2]	TR 10000 [5]
30 m < h < 60 m [2]	-	Terra homogénea/ Enrocamento/ Terra e enrocamento [3]	Rocha alterada sem tratamento/ rocha alterada fraturada com tratamento [3]	Entre 5 e 10 anos [3]	TR 500 [5]
h > 60 m	-	-	Rocha alterada mole/ saprolito/ solo compacto [4]	<5 anos ou > 50 anos ou sem informação [4]	TR < 500anos ou Desconhecida / Estudo não confiável [10]
-	-	-	Solo residual/ aluvião [5]	-	-
$CT = \sum (a \text{ até } f)$					

Quadro 2: Matriz de classificação da Categoria de Risco (CRI) – Estado de Conservação – Resolução nº 143 CNRH.

Estado de Conservação [EC]					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformação e Recalque (j)	Deterioração dos taludes/ parâmetros (k)	Eclusa (l)
Estruturas civis e hidroelectromecanicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos [0]	Estruturas civis e dispositivos hidroelectromecanicas em condições adequadas de manutenção e funcionamento [0]	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem [0]	Inexistente [0]	Inexistente [0]	Não possui eclusa [0]
Estruturas civis e hidroelectromecanicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porem sem riscos a estrutura vertente. [4]	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelectromecanicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação [4]	Umidade ou surgencia nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas [3]	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo [1]	Falhas na protecção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo [1]	Estruturas civis e hidroelectromecanicas bem mantidas e funcionando. [1]
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelectromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. [7]	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelectromecanicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas. [6]	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico [5]	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento [5]	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou actuação correctiva [5]	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelectromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação [2]
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelectromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas correctivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas [7]	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente [8]	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança [8]	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento de segurança [7]	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelectromecânicos com problemas identificados e sem medidas correctivas [4]
$CT = \sum (g \text{ até } l)$					

Quadro 3: Matriz de classificação da Categoria de Risco (CRI) – Plano de Segurança de Barragens – Resolução nº 143 CNRH.

Plano de segurança da Barragem (PS)				
Existência de documentação de projecto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspecções e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspecção de segurança com análise e interpretação (r)
Projecto executivo e as built [0]	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem [0]	Possui e aplica procedimentos de inspecção e monitoramento [0]	Sim ou vertedouro tipo soleira livre [0]	Emite regularmente os relatórios [0]
Projecto executivo OU as built [2]	Possui técnico responsável pela segurança da barragem [4]	Possui e apenas procedimentos de inspecção [3]	Não [6]	Emite os relatórios sem periodicidade [3]
Projecto básico [4]	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem [8]	Possui e não aplica procedimentos de inspecção e monitoramento [5]	-	Não emite os relatórios [5]
Anteprojecto ou projecto conceitual [6]	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento [6]	-	-
Documentação inexistente [8]	-	-	-	-
$PS = \sum (n \text{ até } r)$				

O Quadro 4 refere-se ao volume do reservatório, o qual é dividido em quatro faixas, sendo que cada faixa receberá um valor (V) dependendo do volume armazenado, também variando de 1 a 5 pontos, sendo a maior pontuação para as barragens que armazenam maior quantidade de material, ou seja, mais de 200 milhões de m³.

Além dos critérios técnicos utilizados para realizar a classificação dos danos potenciais das barragens, a altura e volume, são utilizados também critérios relacionados aos danos que uma ruptura em uma barragem pode causar. São três os critérios utilizados, sendo: a Ocupação humana a jusante da barragem, Interesse ambiental a jusante da barragem e a Existência de instalações na área a jusante da barragem.

Quadro 4: Matriz de classificação quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) – Resolução nº 143 CNRH.

DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)			
Volume total do reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconómico (d)
Pequeno $\leq 5 Mm^3$ [1]	Pouco frequente (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vacinal de uso local) [4]	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) [3]	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) [0]
$5 Mm^3 < \text{Médio} \leq 75 Mm^3$ [2]	Pouco frequente (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vacinal de uso local) [4]	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) [5]	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura na área afectada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) [4]
$75 Mm^3 < \text{Grande} \leq 200 Mm^3$ [3]	Frequente (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) [8]	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infra-estrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) [8]
Muito Grande $> 200 Mm^3$ [5]	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) [12]	-	-
$DPA = \sum (a \text{ até } d)$			

A partir dos valores resultantes dos somatórios, classifica-se a barragem quanto à sua categoria de risco e dano potencial associado, de acordo com a tabela que se segue.

Tabela 1: Categoria de Risco e Dano Potencial Associado, Resolução CNRH n° 143.

	CRI	DPA
Alto	≥ 60 ou $EC^* \geq 8$	≥ 16
Médio	35 a 60	10 a 16
Baixo	< 35	≤ 10

* Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

De acordo com o estabelecido pela legislação em vigor no Brasil, o Dano Potencial Associado (DPA) em barragens é classificado como alto sempre que houver pessoas ocupando permanentemente a área afectada a jusante da barragem, independente das características do reservatório ou dos impactos ambientais e socioeconómicos gerados.

2.4.3. Classificação de Barragens em Moçambique

A necessidade de construção de infra-estruturas de armazenamento de água e as já existentes em Moçambique, a preocupação com segurança destas chamou atenção das entidades responsáveis, pelo que o Conselho de Ministros através do decreto n° 33/2017, no dia 19 de Julho de 2017 aprovou o Regulamento de Segurança de Barragens, que tem como objecto a segurança de barragens, estabelecendo critérios para o controlo de segurança, regras que articulam as funções e as actividades das diferentes entidades a quem compete esse controlo e ainda estabelece requisitos para a concepção de projectos de barragens, sua construção, primeiro enchimento, exploração e abandono destas estruturas.

Este regulamento visa garantir a fiabilidade das obras, de forma a reduzir a possibilidade de ocorrência de acidentes e incidentes e, em caso de acidente, reduzir o risco relativamente à vida, saúde, bens patrimoniais e ambientais.

O regulamento aplica-se para as grandes barragens, isto é, de altura igual ou superior a 15 m, altura igual ou igual a 10 m e albufeira de capacidade de 1hm^3 e com caudal de

dimensionamento dos órgãos de descarga superior a 2000 m³/s. Aplica-se também as todas restantes barragens de dano potencial médio ou alto.

No presente Regulamento as barragens são classificadas segundo os seguintes critérios:

- Índice de vulnerabilidade;
- Danos potenciais por a elas associadas;
- Classe de risco.

2.4.3.1. Índice de vulnerabilidade

A classificação quanto à vulnerabilidade deve ter em conta as características técnicas da barragem, o seu estado de conservação e a implementação de medidas de controlo de segurança, a que estarão associados índices de vulnerabilidade parciais.

Na determinação do índice de vulnerabilidade parcial associado às características técnicas consideram-se os descritores:

- a) Geometria da barragem, caracterizada pela sua altura e o seu comprimento;
- b) Tipo de barragem em termos de perfil-tipo e de materiais de construção;
- c) Condições de fundação, avaliadas em função das características hidrogeológicas e geotécnicas do maciço e do tratamento a que foi sujeito;
- d) Idade da barragem;
- e) Período de retorno associado à cheia de dimensionamento considerada para o dimensionamento dos órgãos de segurança.

Na determinação do índice de vulnerabilidade parcial associado ao estado de conservação consideram-se os aspectos: Fiabilidade dos órgãos de segurança, onde se incluem os descarregadores, as descargas de fundo e os respectivos equipamentos; Ocorrência de anomalias relativas às condições de percolação pelo corpo da barragem ou pela sua fundação; Ocorrência de infiltrações e ressurgências; Ocorrência de anomalias devidas a reacções químicas adversas no corpo da estrutura; Ocorrência de anomalias associadas a abatimentos, deformações, assentamentos, deslizamentos de juntas, fissuração estrutural, depressões acentuadas ou fendilhação. Ocorrência de deteriorações do corpo da estrutura da fundação, designadamente associadas a falhas de protecção do coroamento e dos

paramentos, vegetação abundante ou de grande porte, buracos de animais, escorregamentos e ravinamentos.

Na determinação do índice de vulnerabilidade parcial associado à implementação de medidas de controlo de segurança consideram-se os seguintes descritores:

A) Cumprimento do plano de segurança, particularmente no que respeita:

- ✓ Regras de explorações;
- ✓ Plano de observação, no que respeita aos procedimentos adequados para a realização de inspecções de segurança e de campanhas de leitura dos equipamentos do sistema de observação da barragem;
- ✓ Elaboração regulamentada de relatórios com a análise do comportamento da barragem e Plano de segurança ambiental;

B) Existência do arquivo técnico da obra, designadamente com documentação de projecto, registos de construção e plano de segurança, bem como do livro técnico da obra.

C) Existência de um director de exploração, de designação aprovada pela Autoridade Regional de Segurança de Barragens.

O índice de vulnerabilidade é determinado através de uma regra de agregação das pontuações dos descritores indicados, sendo as barragens classificadas nas seguintes categorias:

- Baixa vulnerabilidade;
- Médiavulnerabilidade;
- Alta vulnerabilidade.



Quadro 5: Matriz de avaliação do Índice de Vulnerabilidade. Índices parciais relativos às Características Técnicas

Altura h (m)	$I_{C_{C_1}}$	Desenvolvimento do coroamento L(m)	$I_{C_{C_2}}$	Tipo de barragem/ materiais	$I_{C_{C_3}}$	Tipo de fundação			Idade t (anos)	$I_{C_{C_4}}$	Cheias de dimensionamento (anos)	$I_{C_{C_5}}$	
						Barragens de aterro	$I_{C_{C_6}}$	Barragens de betão e alvenaria					$I_{C_{C_7}}$
$k < 15$	1	Barragens de betão: $L < 200$	1	Betão convencional	1	Fundação com características adequadas ao tipo de barragem (tratamento não requerido)	1	Reforço com tratamento de consolidação, impermeabilização e drenagem	1	Barragens de aterro: $1 > 50$	1	Barragens de aterro: ≥ 100	1
		Barragens de betão: $L < 200$ e $V_{K_1} > 1$								Barragens de betão: $20 < L < 50$		Barragens de betão: ≥ 500	
$15 < k < 30$	2	Barragens de betão: $200 < L < 300$	2	Betão compactado com cimento (BCC) convencional com face no eixo montante de betão, de betão armado ou gunitado	2	Fundação com características mecânicas e técnicas adequadas ao tipo de barragem	2	Reforço com consolidação e impermeabilização em drenagem feita através com consolidação, impermeabilização e drenagem	2	Barragens de aterro: $20 < L < 50$	2	Barragens de aterro: $500 < L < 1000$	2
		Barragens de betão: $L < 200$ e $V_{K_1} > 1$ $200 < L < 300$ e $V_{K_2} > 1$								Barragens de betão: $30 < L < 20$		Barragens de betão: $100 < L < 500$	
$30 < k < 50$	3	Barragens de betão: $L > 300$	3	Alvenarias – convencionais/ betão laminado ou com cimento montante no eixo com sistema de drenagem interno	3	Fundação com tratamento mecânico e técnico adequadas ao tipo de barragem	3	Reforço com consolidação e impermeabilização em drenagem	3	Barragens de aterro: $5 < L < 20$	3	Barragens de aterro: $500 < L < 1000$	4
		Barragens de betão: $200 < L < 300$ e $V_{K_1} < 1$ $200 < L < 300$ e $V_{K_2} > 1$								Barragens de betão: $5 < L < 10$		Barragens de betão: $50 < L < 100$	
$50 < k < 100$	4	Barragens de aterro: $500 < L < 2000$ e $V_{K_1} < 1$ $2000 < L < 5000$	4	Barragens de betão no eixo a montante no eixo com sistema de drenagem interno ou com apenas parte deste sistema	4	Fundação com tratamento mecânico e técnico adequadas ao tipo de barragem	4	Reforço, não forçada, sem tratamento de drenagem através com consolidação e impermeabilização em drenagem	4	Barragens de aterro: $L < 5$	4	Barragens de aterro: $50 < L < 100$	4
		Barragens de betão: $L < 50$								Barragens de betão: $L < 50$ ou $L > 50$		Barragens de betão: $L < 50$ desconhecido ou estado não confiável	
$k > 100$	4	Barragens de aterro: $L > 5000$	4	Barragens de betão no eixo a montante com sistema de drenagem interno ou com apenas parte deste sistema	4	Fundação em solos ou rochas problemáticas com tratamento	4	Reforço através de tratamento de fundação em solos ou rochas problemáticas com tratamento	4	-	Barragens de aterro: $L < 50$ ou desconhecido ou estado não confiável	4	

Quadro 6: Matriz de avaliação do Índice de Vulnerabilidade. Índices parciais relativos ao Estado de Conservação

Fiabilidade dos órgãos de segurança, incluindo estruturas de dissipação	I_{EC_a}	Fiabilidade das estruturas de adução, com incidência na segurança	I_{EC_b}	Percolação pelo corpo da barragem e/ou da fundação	I_{EC_c}	Deformações, assentamentos, fissuração estruturais, reacções químicas adversas	I_{EC_d}	Deterioração do coroamento, paramentos, deslizamento taludes	I_{EC_e}	Fiabilidade de centrais e de eclusas	I_{EC_f}
Estruturas e equipamentos hidroelectromecânicos fiáveis	1	Estruturas e equipamentos hidroelectromecânicos fiáveis	1	Percolação moderada, controlada pela drenagem e monitorada	1	Inexistentes ou sem significado	1	Inexistente ou sem significado	1	Não existentes ou fiáveis	1
Existência de deteriorações e anomalias sem comprometimento da operacionalidade	2	Estruturas de adução deterioradas, mas sem comprometimento da vazão	2	Percolação expressiva mas controlada pela drenagem e monitorada	2	Existentes mas sem afectação da funcionalidade/reacções moderadas	2	Deterioração moderada das protecções e/ou vegetação de pequeno porte	2	Existência de anomalias e/ou deteriorações	2
Existência de deteriorações e anomalias com comprometimento parcial da operacionalidade	4	Estruturas de adução deterioradas, com comprometimento da capacidade de vazão	3	Percolação expressiva e não totalmente controlada	4	Existentes e com eventual afectação da funcionalidade	4	Deterioração significativa das protecções e/ou vegetação de grande porte	4	Existência de anomalias e/ou deteriorações com afectação da funcionalidade	4
Existência de deteriorações com comprometimento significativo da operacionalidade	6	Estruturas de adução deterioradas, com comprometimento da integridade estrutural	4	Percolação expressiva, não controlada pela drenagem, com ressurgências a jusante de tendência crescente	6	Existentes e com eventual afectação da segurança	6	Deslizamento global de taludes	6	Existência de anomalias e/ou deteriorações com afectação da segurança	6

Quadro 7: Matriz de avaliação do Índice de Vulnerabilidade. Índices parciais relativos à implementação dos instrumentos do Controlo de Segurança

Director de exploração / equipa técnica	I_{CS_a}	Arquivo/ livro técnico	I_{CS_b}	Plano de segurança			Inspeções de segurança	I_{CS_e}	Relatórios	I_{CS_f}	
				Regras de exploração	I_{CS_c}	Plano de observação/ sistema de observação/ campanhas de observação					I_{CS_d}
Designado/ em funções	1	Completos	1	Credíveis e em execução	1	Plano em cumprimento/ sistema operacional/ campanhas em execução regular	1	Inspeções de rotina e principais realizadas conforme regulamentado	1	Relatórios de comportamento, de referência e de segurança ambiental elaborados como regulamentado	1
Designado/ não existente	2	Incompletos	2	Pouco credíveis ou em execução deficiente	3	Sem cumprimento cabal/ existente mas não totalmente operacional/ campanhas em realização irregular	3	Inspeções de rotina ou principais não conformes com o regulamentado	3	Relatórios de comportamento, de referência e de segurança ambiental elaborados de forma não regulamentar	3
Não designado	6	Não existentes	3	Inexistentes	6	Não existentes	6	Sem inspeções de segurança	6	Relatórios não elaborados	4

Tabela 2: Classificação da vulnerabilidade em função do valor do Índice de Vulnerabilidade

Vulnerabilidade	Índice de vulnerabilidade
Baixa	$I_v \leq 5$
Média	$5 < I_v \leq 20$
Alta	$I_v > 20$

2.4.3.2. Dano Potencial Associado

A classificação em termos de dano potencial deve ter em conta as perdas de vidas humanas, os danos no património natural e construído e as perdas socioeconómicas, associadas à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável.

Em função do dano potencial, as barragens são classificadas nas seguintes categorias:

- ✓ Baixo dano potencial;
- ✓ Médio dano potencial
- ✓ Alto dano potencial.

2.4.3.3. Classe de risco

As barragens são classificadas em termos de risco, mediante o cruzamento das classificações relativas à vulnerabilidade e ao dano potencial, nas seguintes classes:

Classe I;

Classe II;

Classe III.

A classificação das barragens deve ser revista de cinco em cinco anos ou quando se mostre necessário.

Quadro 8: Matriz de avaliação do Dano Potencial

Capacidade total da albufeira (hm^3)	I_{DP_a}	Possibilidade de perdas de vidas humanas	I_{DP_h}	Possíveis danos no património natural e construído	I_{DP_c}	Possível impacto socioeconómico nas populações	I_{DP_d}	Plano de emergência interno	I_{DP_e}	Plano de segurança ambiental	I_{DP_f}
$C \leq 1$	1	Na área afectada a jusante não existem habitações permanentes ou temporárias, nem trânsito humano	1	A área afectada a jusante não tem relevância ambiental nem nela existem instalações e infra-estruturas	1	Na área afectada a jusante não há terrenos agrícolas, poços de água ou outros equipamentos de uso das populações	1	Existente	1	Em aplicação	1
$1 < C \leq 50$	2	Na área afectada a jusante não existem habitações permanentes, apenas habitações temporárias e caminhos	2	A área afectada a jusante tem alguma relevância ambiental ou nela existem instalações e infra-estruturas de interesse	3	Na área afectada a jusante há alguns terrenos agrícolas, poços de água ou outros equipamentos de uso das populações	3			Sem cumprimento cabal	3
$50 < C \leq 250$	3	Na área afectada a jusante existem até cinco habitações permanentes e/ou estradas rurais	4	A área afectada a jusante tem muita relevância ambiental ou nela existem instalações e infra-estruturas de muito interesse	4	Na área afectada a jusante há uma concentração significativa de terrenos agrícolas e/ou de equipamentos importantes de uso das populações	4	Não existente	4	Não existente	4
$250 < C \leq 1000$	4	Na área afectada a jusante existem mais de cinco habitações permanentes e/ou estradas distritais e/ou nacionais	6	-	-	-	-	-	-	-	-
$1000 < C \leq 4000$	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$4000 < C \leq 10000$	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$C > 10000$	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3: Classificação do dano potencial em função do Índice de Dano Potencial

Dano Potencial	Índice de Dano Potencial
Baixo	$I_{DP} \leq 20$
Médio	$20 < I_{DP} \leq 250$
Alto	$I_{DP} > 250$

No caso de na zona de auto-salvamento existirem mais de dez (10) habitações permanentes, o dano potencial será classificado como Alto, independentemente do valor do Índice de Dano Potencial.

Quadro 9: Classificação do dano potencial em função do Índice de Dano Potencial

Vulnerabilidade	Dano Potencial		
	Alto	Médio	Baixo
Alta	Classe I	Classe I	Classe II
Média	Classe I	Classe II	Classe III
Baixa	Classe I	Classe III	Classe III

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS USADOS

Para a compilação da informação contida neste documento foram usados materiais físicos, electrónicos e programas computacionais nomeadamente:

- Textos de apoio e dissertações;
- Regulamentos de Segurança de Barragens de Brasil e de Moçambique;
- Microsoft Office (Word e Excel);
- Google Earth Pro;
- ArcGIS

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO

Os resultados e reflexões deste estudo foram alcançados a partir de dados secundários para análise da categoria do dano potencial e a classe de risco associado a barragem de Gorongosa.

Em princípio, foi realizado um levantamento de publicações relevantes para o tema, tanto artigos científicos, quanto normativos e documentos técnicos produzidos por instituições governamentais directamente envolvidas na implementação da Política de Segurança de Barragens.

Inicialmente foi realizada pesquisa para a composição da revisão bibliográfica sobre a segurança de barragens, suas classificações quanto a vulnerabilidade, aos Danos Potenciais Associados e Classe de Risco que apresentam, e ainda se buscou evidenciar as faixas de classificação utilizadas quanto ao volume, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e socioeconómico através do Regulamento de Segurança de Barragens de Brasil e de Moçambique a fim de garantir uma boa classificação da barragem em estudo.

A delimitação da albufeira da barragem de Gorongosa foi efectuada através de “*Google Earth Pro*” mostrada na Figura 9, onde pode se observar o volume de água barrada por esta.

Foi necessário ainda mostrar o mapa de localização da barragem em estudo, e para isso, recorreu-se ao “*ARCGIS*” versão 10.2 (Figura 12), onde pode-se observar a localização

especial da barragem de Gorongosa, o rio Nhandare, curso no qual foi construída a barragem, bem como a bacia de Púnguè.

3.2.1. Procedimento de Classificação pelo regulamento de Brasil

A classificação de barragens é um processo com várias etapas, que envolve a colecta de dados relativos as características técnicas, estado de conservação, condições de segurança do vale à jusante, para assim utilizar os critérios classificativos estabelecidos por lei e os métodos de cálculo mais indicados. Desse modo, a resolução Nº 143/2012 por meio do CNRH, estabeleceu os critérios de avaliação que compõem a matriz de classificação de barragens, como pode ser vista na Figura4

Figura4: Critérios de classificação



Fonte: Autor (2022)

Cada um dos critérios que compõem a matriz de classificação apresentam seus parâmetros e respectivas pontuações para cada característica ou condição, que estão sintetizados nas matrizes dos Quadro 1, Quadro 2, Quadro 3 e Quadro 4 do presente estudo.

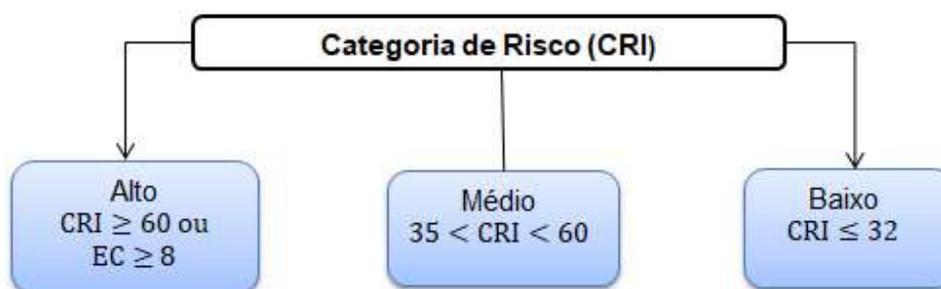
3.2.1.1. Categoria de Risco (CRI)

A categoria de risco é composta por três critérios, sendo eles: I - Características Técnicas (CT); II - Estado de Conservação (EC); e III - Plano de Segurança de Barragem (PS). O somatório das pontuações de cada um dos critérios da CRI representa o nível de propensão da barragem em desenvolver um acidente com o seu barramento ou maciço. Caso o somatório da pontuação dos critérios de avaliação da categoria de risco obtiver um

valor superior a 60 pontos, ou se algum dos parâmetros do critério EC obtiver pontuação igual ou superior a 8, a barragem é enquadrada como de alto risco. Se a pontuação estiver entre 35 e 60 pontos, a barragem é enquadrada como de risco médio. Agora, caso a barragem apresente uma pontuação inferior a 35 pontos, a categoria de risco é considerada baixa, como pode ser visto na Figura 5.

$$CRI = \sum CT + \sum EC + \sum PS \quad (4)$$

Figura 5: Classificação quanto à categoria de risco



I - O critério de Característica Técnica (CT) trata de questões intrínsecas ao projecto da barragem, calculadas de acordo com as pontuações parciais atribuídas, sendo elas: altura (a), comprimento (b), tipo de barragem quanto ao material de construção (c), tipo da fundação (d), idade da barragem (e) e vazão de projecto (f).

$$CT = \sum_{i=a}^f CT_i \quad (5)$$

II - O critério de Estado de Conservação (EC) diz respeito às questões de gerenciamento da barragem tangíveis ao empreendedor ou empresa responsável, em que na sua observação analisa-se as pontuações nos seguintes aspectos: confiabilidade das estruturas extravasoras (g) e de adução (h), existência de percolação (i), deformações e recalques do barramento (j), deterioração dos taludes (k) ea existência de manutenção de eclusas (l).

$$EC = \sum_{i=g}^l EC_i \quad (6)$$

III - O critério de Plano de Segurança da Barragem (PS) concerne em agregar pontuações das questões de avaliação da existência de documentação de projecto (n), na estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem (o), nos procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p), na regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q) e nos relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r).

$$PS = \sum_{i=n}^r PS_i \quad (7)$$

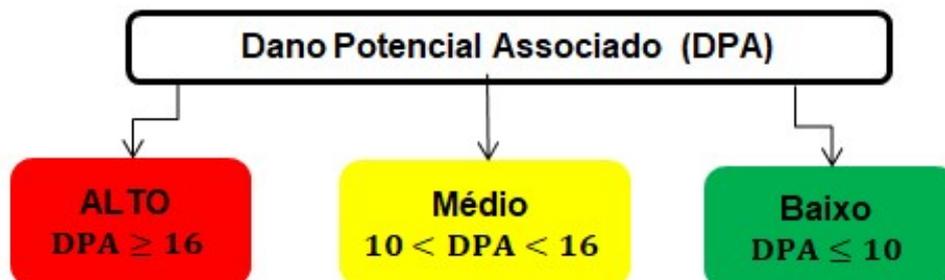
3.2.1.2. Dano Potencial Associado (DPA)

A classificação da barragem por Dano Potencial Associado consiste em representar o nível de danos, de maneira potencial pode atingir os elementos distribuídos à jusante de uma barragem com a cheia decorrente do seu rompimento, e que na maioria das vezes faz surgir um cenário de destruição ambiental, socioeconómica e de vidas humanas. Assim, essa categoria requer o conhecimento de informações sobre o volume total do reservatório, a ocupação de vidas humanas à jusante, a existência de áreas ambientais. O dano potencial é calculado através das pontuações parciais distribuídas no Quadro 4.

$$DPA = \sum_{i=a}^d DPA_i \quad (8)$$

De acordo com o esquema disposto na Figura 6, a barragem apresentará a classificação de DPA alto quando o somatório das pontuações dos parâmetros supracitados for superior a 16. Entre 10 e 16 pontos, a barragem será avaliada como de DPA médio, e com uma pontuação inferior a 10 pontos é classificada como de DPA baixo.

Figura 6: Classificação quanto ao dano potencial Associado



3.2.2. Procedimento de Classificação pelo regulamento de Moçambique

O procedimento para a classificação foi com base no regulamento de segurança de barragens de Moçambique fundamenta-se na avaliação parcial dos índices de vulnerabilidade relativas as características técnicas, controlo de segurança e estado de conservação, danos potenciais associados e classe de risco que a barragem apresenta.

3.2.2.1. Índice de Vulnerabilidade

A determinação do índice de vulnerabilidade parcial associado às características técnicas é calculada com a média dos descritores de análise, como altura da barragem (a), comprimento (b), tipo de barragem quanto ao material de construção (c), tipo da fundação (d), idade da barragem (e) e cheia de dimensionamento (f).

$$I_{CT} = \frac{\sum_a^f I_{CTi}}{6} \quad (9)$$

A determinação do índice de vulnerabilidade parcial associado ao estado de conservação é calculada considerando os aspectos seguintes: Fiabilidade dos órgãos de segurança (a), e de adução (b), controlo de percolação (c), Ocorrência de deformações (d), Ocorrência de deteriorações do corpo da estrutura da fundação (e) e fiabilidade das centrais e eclusas (f)

$$I_{EC} = \frac{\sum_a^f I_{ECi}}{6} \quad (10)$$

O índice de vulnerabilidade parcial associado ao controlo de segurança é estimado considerando os seguintes parâmetros: Documentação do projecto (a), equipe de

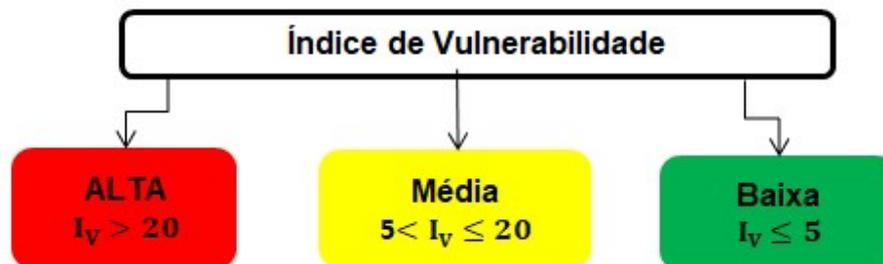
segurança da barragem (b), Regras de exploração (c), Cumprimento do plano de segurança (d), inspeções de segurança e de monitoramento (e) e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (f).

$$I_{CS} = \frac{\sum_a^f I_{CS_i}}{6} \quad (11)$$

O índice de vulnerabilidade é determinado através de uma regra de agregação das pontuações dos descritores anteriormente indicados. A sua classificação é através do valor de cálculo que apresenta, conforme mostra a Figura 7.

$$I_V = I_{CT} \cdot I_{EC} \cdot I_{CS} \quad (12)$$

Figura 7 : Classificação do índice de vulnerabilidade

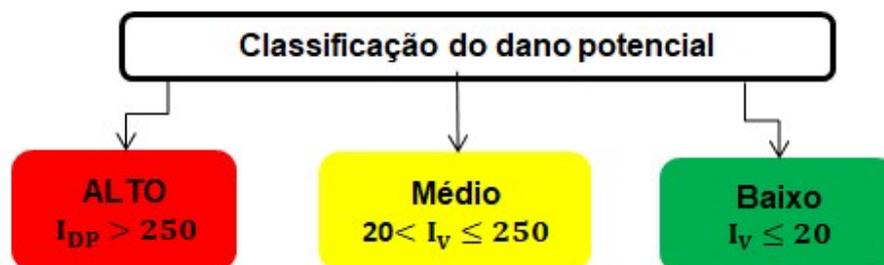


3.2.2.2. Dano Potencial Associado

A avaliação do dano potencial leva em conta as pontuações parciais dos danos relativos a capacidade da albufeira (a), possibilidade de perdas de vidas humanas (b), danos no património natural e construído (c), as perdas socioeconómicas (d) associadas à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável, plano de emergência interna (e) e plano de segurança ambiental (f). A classificação do nível de dano potencial é conforme indicado na Figura 8.

$$I_{DP} = I_{DP_a} \cdot I_{DP_b} \cdot I_{DP_c} \cdot I_{DP_d} \cdot I_{DP_e} \cdot I_{DP_f} \quad (13)$$

Figura 8: Classificação do dano potencial



3.2.2.3. Classe de risco

As barragens são classificadas em termos de risco, mediante o cruzamento das classificações relativas à vulnerabilidade e ao dano potencial, nas seguintes classes

Quadro 10: Classificação de nível de risco

Vulnerabilidade	Dano potencial		
	Alto	Médio	Baixo
Alta	Classe I	Classe I	Classe II
Média	Classe I	Classe II	Classe III
Baixa	Classe I	Classe III	Classe III

4. CASO DE ESTUDO

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A barragem de Gorongosa foi construída sob financiamento do governo Moçambicano, com objectivo primordial de melhorar a fiabilidade de abastecimento de água à povoação de Gorongosa. Esta é uma barragem mista pois encontra-se preparada para incluir, no futuro, a produção de energia eléctrica, este conceito evoluiu por diversas razões, sendo uma delas, que a energia necessária para a bombagem pode ser obtida facilmente na rede local.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ALBUFEIRA

A albufeira da barragem de Gorongosa localiza-se no Distrito de Gorongosa, Província de Sofala, no rio Nhandare, um afluente de nível secundário da bacia do Púnguè, em que nas coordenadas 18°30'50,37"S e 34°04'23,17"L foi construída a barragem.

Na albufeira da barragem foi criada uma captação de água que, no âmbito do projecto, foi elevada para um reservatório de passagem, numa zona plana a pequena distância da barragem.

Figura 9: Albufeira da Barragem de Gorongosa



Fonte: autor (2022)

Tabela 4: Descrição da Albufeira de Gorongosa

Albufeira	Rio Nhandare
_ Bacia Hidrográfica	125.3 km ²
_ Nível de Pleno Armazenamento (NPA)	332.5 m
_ Nível de Máxima Cheia (Tr=10 anos)	333.5 m
_ Nível de Máxima Cheia (Tr=100 anos)	335.3 m
_ Nível de Máxima Cheia (Tr=2000 anos)	337.0 m
Objectivo	Aproveitamento hídrico
Área do Reservatório ao NPA	3.53 ha
Capacidade de Armazenamento	84780 m ³

4.3. CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM DE GORONGOSA

A Barragem de Gorongosa é uma estrutura construída por betão armado, com as seguintes características técnicas: (ARA-Centro, IP, 2021)

1. Cota mais baixa do coroamento: 332.5 m
2. Cota mais alta do coroamento: 337.3 m
3. Altura máxima: 11.8 m.
4. Volume de betão: 2732 m³
5. Cota soleira: 332.5 m.
6. Comprimento do coroamento: 101.0 m

4.3.1. Medição de Caudal

A medição de caudal é fundamental na gestão das necessidades de consumo de recursos hídricos, na gestão de segurança de barragem, na produção de energia eléctrica e na prevenção de inundações. No entanto, a medição do caudal a montante e a jusante da barragem de Gorongosa é efectuada pelo Método Acústico Doppler (ADCP), um equipamento acústico de medição de vazão que utiliza o efeito Doppler (mudança observada na frequência de uma onda qualquer resultante do movimento relativo entre a

fonte e o observador) transmitindo pulsos sonoros de frequência fixa e escutando o eco que retorna das partículas em suspensão (sedimentos e plâncton). Estes materiais, na média, movem-se com a mesma velocidade da massa da água em que se encontram.

Figura 10: Medição de Caudal pelo ADCP



Fonte: ARA-Centro, IP (2021)

4.3.2. Descarregadores de fundo

O assoreamento é um processo gradual e inevitável nos reservatórios das barragens afectando directamente no volume armazenado e na vida útil do aproveitamento.

Os descarregadores de fundo são estruturas hidráulicas que possuem a finalidade principal de remover os sedimentos presentes nos reservatórios de barragens

A Barragem da Gorongosa será equipada com quatro descargas de fundo compostas, cada um delas, por uma comporta de serviço e uma comporta de guarda (comportas verticais). No total existem 4 comportas de guarda e 4 comportas de serviço, comandadas de forma manual e automática, respectivamente.

Os descarregadores localizam-se nos encontros, sendo que dois estão situados no centro, com as dimensões de 1.5 m de largura e 1.2 m de altura.

Figura 11: Descarregadores da Barragem de Gorongosa



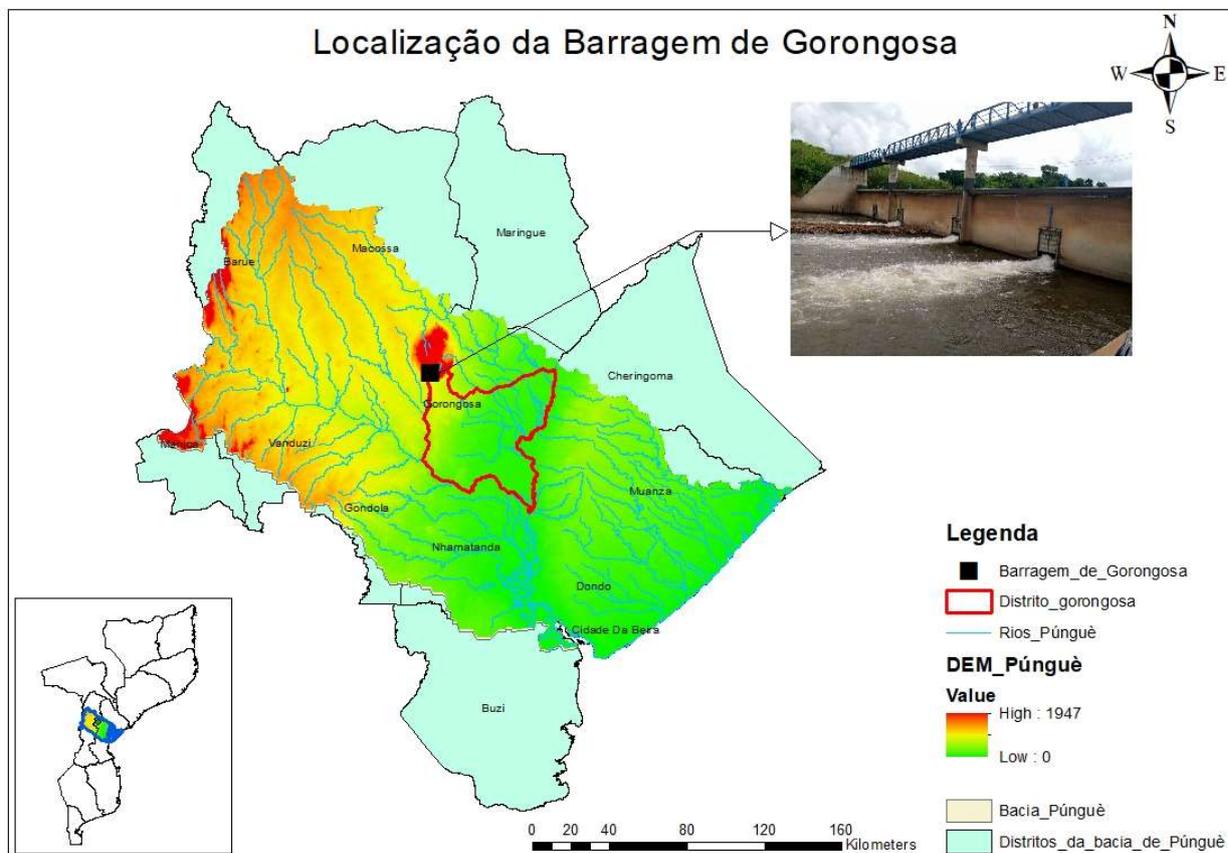
Fonte: ARA-Centro, IP (2021)

4.3.3. Sistema de Abastecimento de Água

A albufeira da barragem de Gorongosa garante o abastecimento de água a toda vila de Gorongosa até outras localidades vizinhas, fornece ainda água para actividades agrícolas. Esta albufeira tem água suficiente para produção de energia que ainda está por se instalar uma turbina que irá produzir em torno de 0.4Mw.

O sistema de captação e adução é composto por duas (2) bombas submersíveis com capacidade total de 60 l/s, uma adutora de diâmetro nominal de 200 mm e com altura de elevação de 45 m.

Figura 12: Mapa de localização da Barragem de Gorongosa



Fonte: Autor (2022)

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISE DOS DADOS

A classificação das barragens é um instrumento fundamental para a Avaliação da Segurança da Barragem, a qual permite a identificação das estruturas que apresentam os maiores riscos e danos socio-ambientais, permitindo uma maior cobrança quanto a segurança e fiscalização dessas barragens, bem como a promoção de acções e medidas que visem a prevenção, o controle e a mitigação desses riscos.

No entanto, para garantir uma boa fiabilidade do presente estudo, a barragem será classificada por dois regulamentos designados por Política Nacional de Segurança de Barragens de Brasil (PNSB) e o Regulamento de Segurança de Barragens de Moçambique (RSB).

5.2. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM PELO REGULAMENTO DE BRASIL

5.2.1. Características Técnicas

Nessa deliberação normativa entende que o porte da barragem é definido através da altura do barramento. A barragem em tem uma altura inferior a 15 m é considerada de pequeno porte, logo não é computado pontos para essa situação. Mas para barragem com altura superior a 30 m essa é classificada como uma barragem de grande porte, logo recebe a pontuação máxima referente a esse critério que são 2 (dois) pontos. Para barragens intermediárias a pontuação recebida será igual a 1 (um) ponto.

As pontuações de principais características técnicas da barragem de Gorongosa são descritas na Tabela 5. Por se tratar de um projecto inaugurado recentemente a barragem apresenta pontuações menores, portanto, de acordo com a legislação de segurança de barragens são menos cobradas pelos órgãos fiscalizadores.

Tabela 5: Pontuações das características técnicas da barragem

Barragem de Gorongosa					
Características Técnicas (CT)					
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem [e]	Vazão do projecto (f)
≤ 15 m [0]	≤ 200 m [2]	Concreto Convencional – CCV [1]	Rocha sã [1]	<5 anos ou > 50 anos ou sem informação [4]	TR < 500anos ou Desconhecida / Estudo não confiável [10]
$\sum CT = 18$					

5.2.2. Estado de Conservação

O Estado de Conservação da barragem de Gorongosa demonstra de forma objectiva e padronizada a pontuação do estado da estrutura.

A pontuação do estado de conservação da estrutura varia de 0 a 10, no qual 0 quer dizer que não há nenhuma observação importante a fazer e 10 o grau mais alto de alguma anomalia dentro de um aspecto verificado. Essa pontuação é realizada de acordo com a avaliação dos itens pré-determinados pela matriz da classificação, tais como: confiabilidade das estruturas extravasoras (implantadas para manutenção do nível de água projectado, de forma a transbordá-la quando necessário), percolação (movimento da água no solo), deformações e recalques (abaulamento do solo) e deterioração (danificação) de taludes/paramentos (aterro compactado ou solo natural inclinado).

De acordo com a análise dos dados disponíveis, o Estado de Conservação da barragem de Gorongosa encontra-se 7 pontos (sem pontos de atenção) ou seja, está em condições satisfatórias.

Tabela 6: Pontuações de Estado de Conservação da barragem

Estado de Conservação [EC]					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformação e Recalque (j)	Deterioração dos taludes/ parâmetros (k)	Eclusa (l)
Estruturas civis e hidroelectromecanicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porem sem riscos a estrutura vertente [4]	Estruturas civis e dispositivos hidroelectromecanicas em condições adequadas de manutenção e funcionamento [0]	Umidade ou surgencia nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas [3]	Inexistente [0]	Inexistente [0]	Não possui eclusa [0]
$\sum EC = 7$					

5.2.3. Plano de Segurança da Barragem

O Plano de Segurança da Barragem é um instrumento de extrema importância, com objectivo de auxiliar na gestão da segurança da barragem e a sua implementação é obrigatória pelo Empreendedor.

Na barragem em estudo verificou-se a falta de alguns arquivos técnicos do projecto, roteiros de inspecção e monitoramento não especificados, regras de operacionalização dos dispositivos de descargas não fundamentadas e a emissão das inspecções de segurança com análise e interpretação sem periodicidade como regulamentado. Deste modo a pontuações relativamente ao plano de segurança aumentaram consideravelmente.

Tabela 7: Pontuações de Plano de Segurança

Plano de Segurança da Barragem (PS)				
Existência de documentação de projecto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspecções e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspecção de segurança com análise e interpretação (r)
Anteprojecto ou projecto conceitual [6]	Possui técnico responsável pela segurança da barragem [4]	Possui e apenas procedimentos de inspecção [3]	Não [6]	Emite os relatórios sem periodicidade [3]
$\sum PS = 22$				

5.2.4. Nível de Dano Potencial

Quanto ao dano potencial observa-se na Tabela 8, que o volume da albufeira é menor e não existem residências permanentes que possam ser afectadas mas não se descarta a hipótese de provocar danos a jusante da barragem pois diversas actividades são desenvolvidas pela população na área afectada e também é uma área de interesse ambiental e socioeconómico. As pontuações apresentadas são referentes aos possíveis impactos que a barragem pode provocar no vale a jusante.

Tabela 8: Pontuações do nível de dano potencial

DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)			
Volume total do reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconómico (d)
<i>Pequeno</i> $\leq 5 Mm^3$ [1]	Pouco frequente (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afectada a jusante da barragem, mas existe estrada vacinal de uso local) [4]	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) [5]	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura na área afectada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) [4]
$\sum DPA = 14$			

5.2.5. Classificação do Risco e dano potencial

Como já explicado na metodologia usada no presente estudo, a classe de risco pelo Regulamento Brasileiro é avaliado conforme a análise das pontuações das Características Técnicas da barragem, Estado de Conservação e plano de segurança. No entanto, nesta classificação no ECse avaliam fenómenos que podem comprometer funcionalidade segurada barragem, como é o caso da percolação no corpo e confiabilidade das estruturas descarregadoras, razão pela qual as pontuações deste se excederem 7 a barragem automaticamente é classificada como **classe alta**.

Analisadas as pontuações dos impactos que o volume de água armazenada pela albufeira pode provocar, constata-se que o dano potencial é médio.

Tabela 9: Classe do risco e nível de dano potencial

	CRI	DPA
ALTO	≥ 60 ou $EC^* \geq 8$	≥ 16
MÉDIO	35 a 60	10 a 16
BAIXO	< 35	≤ 10

5.3. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM PELO REGULAMENTO DE MOÇAMBIQUE

5.3.1. Características Técnicas

Os índices parciais relativos as características técnicas pelo regulamento de Moçambique da barragem são menores como se pode verificar na Tabela 10, portanto as condições em que a barragem se encontra são satisfatórias por estar na fase inicial da operação.

Tabela 10: Pontuações dos Índices parciais relativos as características técnicas

Altura h (m)	Desenvolvimento do coroamento L(m)	Tipo de barragem/ materiais	Tipo de fundação	Idade I(anos)	Cheias de dimensionamento (anos)
			Barragens de betão e alvenaria		
h ≤ 15	Barragens de betão: L ≤ 200	Betão convencional	Rocha sã com tratamento de consolidação, impermeabilização e drenagem	Barragens de betão: I ≤ 5 ou I > 50	Barragens de betão: /desconhecido ou estudo não confiável T = 2 000
$I_{CT_a} = 1$	$I_{CT_b} = 1$	$I_{CT_c} = 1$	$I_{CT_d} = 1$	$I_{CT_e} = 4$	$I_{CT_f} = 6$
$I_{CT} = \frac{\sum_{i=a}^f I_{CT_i}}{6} = 2.33$					

5.3.2. Estado de Conservação

Esse critério considera o estado de conservação das estruturas, para os principais modos de falha de uma barragem que são galgamento, instabilização e erosão interna. Para isso, são utilizadas informações provenientes das inspeções realizadas na barragem. Ressalta-se que esse parâmetro representa a situação da barragem em um dado momento, podendo a classificação variar ao longo de curtos intervalos de tempo. De acordo com as condições que a barragem apresenta as pontuações são menores por se tratar de uma barragem que está na sua fase inicial de exploração.

Tabela 11: Pontuações dos índices parciais relativos ao estado de conservação

Estado de Conservação (EC)					
Fiabilidade dos órgãos de segurança, incluindo estruturas de dissipação	Fiabilidade das estruturas de adução, com incidência na segurança	Percolação pelo corpo da barragem e/ou da fundação	Deformações, assentamentos, fissuração estruturais, reacções químicas adversas	Deterioração do coroamento, paramentos, deslizamento taludes	Fiabilidade de centrais e de eclusas
Estruturas e equipamentos hidroelectromecânicos fiáveis	Estruturas e equipamentos hidroelectromecânicos fiáveis	Percolação moderada, controlada pela drenagem e monitorada	Inexistentes ou sem significado	Inexistente ou sem significado	Não existentes ou fiáveis
$I_{EC_a} = 1$	$I_{EC_b} = 1$	$I_{EC_c} = 1$	$I_{EC_d} = 1$	$I_{EC_e} = 1$	$I_{EC_f} = 1$
$I_{EC} = \frac{\sum_{i=a}^f I_{EC_i}}{6} = 1$					

5.3.3. Controlo de Segurança

Este índice tem por objectivo avaliar a qualidade da gestão dos riscos associados à barragem pelo empreendedor, utilizando os factores de documentação de projecto, Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem, Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento, Plano de Acção Emergencial (PAE), Relatórios de inspecção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança.

Tabela 12: Pontuações dos índices parciais relativos ao controlo de segurança

Controlo de Segurança					
Director de exploração/ equipa	Arquivo/ livro técnico	Plano de segurança		Inspeções de segurança	Relatórios
		Regras de exploração	Plano de observação/ sistema de observação/ campanhas de observação		
Designado/ em funções $I_{CS_a} = 1$	Incompletos $I_{CS_b} = 2$	Pouco credíveis ou em execução deficiente $I_{CS_c} = 3$	Sem cumprimento cabal/ existente mas não totalmente operacional/ campanhas em realização irregular $I_{CS_d} = 3$	Inspeções de rotina ou principais não conformes com o regulamentado $I_{CS_e} = 3$	Relatórios de comportamento, de referência e de segurança ambiental elaborados de forma não regulamentar $I_{CS_f} = 3$
$I_{CS} = \frac{\sum_{i=a}^f I_{CS_i}}{6} = 2.17$					

5.3.4. Índice de vulnerabilidade

O índice de vulnerabilidade é determinado através da regra de agregação das pontuações dos índices parciais relativos as características técnicas, estado de conservação e planos de segurança, sendo que a barragem em estudo nos cálculos apresentou o valor indicado na **Error! Reference source not found.** e classifica-se como vulnerabilidade baixa nas condições apresentadas.

Tabela 13: Classificação de índice de vulnerabilidade

Índice de cálculo	Índice de vulnerabilidade	Vulnerabilidade
$I_V = \prod_{i=a}^c I_p = 5.06$	$I_V \leq 5$	Baixa
	$5 < I_V \leq 20$	Média
	$I_V > 20$	Alta

5.3.5. Dano Potencial

O reservatório será considerado de pequeno porte pois o volume armazenado é inferior a 1 hm^3 . Este factor é importante ser analisado porque as consequências a jusante da barragem caso de ruptura estão associadas ao volume armazenado.

O Dano Potencial Associado é obtido através do produtório dos pontos obtidos em cada um dos factores, Perdas de Vidas Humanas, Impacto Ambiental, Impacto Socioeconómico, Volume do Reservatório, Plano de Emergência e Plano de segurança ambiental.

Tabela 14: Pontuações Parciais de Danos Potenciais

Capacidade total da albufeira (hm^3)	Possibilidade de perdas de vidas humanas	Possíveis danos no património natural e construído	Possível impacto socioeconómico nas populações	Plano de emergência interno	Plano de segurança ambiental
$c \leq 1$	Na área afectada a jusante não existem habitações permanentes, apenas habitações temporárias e caminhos	A área afectada a jusante tem alguma relevância ambiental ou nela existem instalações e infra-estruturas de interesse	Na área afectada a jusante há alguns terrenos agrícolas, poços de água ou outros equipamentos de uso das populações	Não existente	Sem cumprimento cabal
$I_{DP_a} = 1$	$I_{DP_b} = 2$	$I_{DP_c} = 3$	$I_{DP_d} = 3$	$I_{DP_e} = 4$	$I_{DP_f} = 3$
$\prod_{i=a}^f I_{DP_i} = 216$					

De acordo com a Tabela 15, a barragem será classificada com DPA Alto se a pontuação alcançada for maior a 250 pontos. Se a pontuação alcançada no DPA estiver entre 20 e 250 pontos a sua classificação será médio e, além disso, se a pontuação for menor ou igual a 20 pontos esta barragem será classificada de baixo DPA. No entanto a barragem em estudo classificada com Dano Potencial Médio.

Tabela 15: Classificação do dano potencial

Dano Potencial	Índice de Dano Potencial
Baixo	$I_{DP} \leq 20$
Médio	$20 < I_{DP} \leq 250$
Alto	$I_{DP} > 250$

Após a classificação do índice de vulnerabilidade e de dano potencial é feito cruzamento dos dois índices para a avaliação do nível da categoria que a barragem apresenta. Para o caso de estudo como mostra a Tabela 16, a barragem caracterizada como classe II.

Tabela 16: Classe da barragem de Gorongosa

Vulnerabilidade	Dano potencial		
	Alto	Médio	Baixo
Alta	Classe I	Classe I	Classe II
Média	Classe I	Classe II	Classe III
Baixa	Classe I	Classe III	Classe III

6. CONCLUSÃO

A classificação de barragens quanto à categoria de risco e dano potencial associado da Lei nº12.334/2010 e do decreto nº33/2017, permitiu a verificação de maneira satisfatória do que se pode evidenciar na barragem de Gorongosa. No entanto, esta barragem de acordo com a legislação de Brasil e Moçambique enquadra-se na categoria de risco médio e dano potencial médio.

Percebe-se que neste empreendimento em termos de segurança sofre um descanso por parte de seus responsáveis legais, o que coloca em risco a segurança do vale jusante da estrutura, já que se observou a inexistência de procedimentos de operação e manutenção da barragem.

7. RECOMENDAÇÕES

Durante o estudo verificou-se a indisponibilidade de algumas informações das diferentes fases do projecto, no entanto recomenda-se a elaboração de um projecto detalhado referente ao funcionamento da barragem.

Para uma maior fiabilidade, nos próximos estudos recomenda-se avaliação profunda do funcionamento de todas as componentes da barragem, afim de melhor enquadramento da classe da barragem.

E ainda recomenda-se a elaboração de um mapa de inundação detalhado da área afectada a jusante da barragem no caso de ruptura hipotética.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].MOECKE, G.C.(2019).*Análise da classificação quanto ao dano potencial associado de 15 barragens brasileiras com base nos resultados de 90 cenários de ruptura*.Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil –Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Ceará, FORTALEZA.
- [2]. FONTENELLE, M. C. *et al.* (2017). Revista electrónica de engenharia Civil, *Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem malcozinhado no nordeste brasileiro*, vol. 14, nº 1, p. 25-42.
- [3] LEITE, S.R. (2019).*Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com Associação de Métodos de Análise de Decisão Multicritério e Conjuntos Fuzzy*. Dissertação de Mestrado. Brasília.
- [4]BRASIL. *Lei nº12.334 de 20 de Setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 Setembro de 2010. Seção 1, p. 1.
- [5] CNRH (2012). *Conselho Nacional de Recursos Hídricos*. Resolução nº 143/2012. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file>.
- [6] RSB (2017). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Decreto nº 33/2017, Maputo.
- [7] SOUZA, J. G.; SILVA, I. M. C. F.(2017).Revista FENEC, *Classificação de barragem quanto à categoria de risco e dano potencial associado – um estudo de caso*, vol. 1, nº 2, p. 246-256.
- [8] JAEGER, C. C. *et al.* (2001). *Risk, uncertainty and rational action*. Earthscan, p. 17.
- [9] ALMEIDA, A. B. (1999). *Dam Risk Management at Downstream Valleys*. Proceedings of the 3rd CADAM Workshop, Milan.
- [10] CARMO, J. S. A. (2013). *Grandes barragens: vulnerabilidades e riscos*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra.
- [11] PEDROSA, L. (2017). *Reavaliação do Sistema de Classificação de Barragens Realizado pelo DNPM*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica. Ouro Preto.
- [12] BAIMA, S. K. O.; CAMPOS, J. N. B. (2014). *Classificação de Risco de Barragens por Índices de Riscos – Um Estudo de Caso*, Geotecnia nº 132. p. 151-174.

- [13] MAGALHÃES, T. E. T. (2018). *Proposta de Metodologia de Classificação de Risco e Dano Potencial Associado de Barragens de Rejeito de Mineração no Quadrilátero Ferrífero Utilizando o AnalyticHierarchyProcess*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica. Ouro Preto.
- [14] LAURIANO, A. W. *et al.* (2008). *Propagação da Onda de Cheia Proveniente de Ruptura Hipotética de Barragem e Mapeamento de Áreas Inundáveis - Estudo de Caso: Usina Hidroelétrica de Funil*. Rio de Janeiro.