



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARTHA DE SOUSA CRUZ

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DE
SEGURANÇA DE BARRAGEM EM USINA HIDRELÉTRICA
ESTUDO DE CASO**

Palmas/TO
2021

MARTHA DE SOUSA CRUZ

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DE
SEGURANÇA DE BARRAGEM EM USINA HIDRELÉTRICA
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Dr. Fábio Henrique de Melo
Ribeiro

Palmas/TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S725a Sousa Cruz, Martha de.
 Avaliação dos processos de manutenção e inspeção de segurança de barragem em usina hidrelétrica - estudo de caso. / Martha de Sousa Cruz – Palmas, TO, 2021.
 99 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2021.
Orientador: Fábio Henrique de Melo Ribeiro
1. Segurança de barragens. 2. Inspeções de segurança. 3. Manutenções. 4. Anomalias em barragens. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARTHA DE SOUSA CRUZ

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DE BARRAGEM EM USINA HIDRELÉTRICA – ESTUDO DE CASO

Projeto de Graduação foi avaliado e apresentado à UFT– Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 27 / 05 / 2021

Banca Examinadora



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo
Ribeiro, UFT



Prof.ª Me. Bibiana Zanella Ribeiro, UFT
Prof.ª Dra. Indara Soto Izquierdo
Matrícula: 2360050
Eng. Civil / UFT

Prof.ª Dra. Indara Soto Izquierdo, UFT

Palmas/TO, 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre esteve presente em todos os momentos, guiando meus passos durante toda a minha jornada, mesmo com os altos e baixos, e que mesmo quando caía, ficava para baixo com as dificuldades enfrentadas, me ajudava a levantar e não desistia de mim nesse longo caminho que foi a graduação, me ajudando a erguer um patamar cada vez mais alto com cada pedra que aparecia no caminho.

Aos meus Pais, Márcia e Araújo, que sempre fizeram o melhor por mim, com todo o amor, apoio, dedicação e que sempre me apoiaram para a realização dos meus sonhos, e hoje sou o que sou graças a tudo o que fizeram e fazem por mim.

Aos meus avós, Maria (que agora está no céu), Cecília e João que também sempre me apoiaram e me incentivaram, ajudando como podiam para contribuir com meus estudos na faculdade.

Ao Dimatheu Limeira, pelo companheirismo e que me apoiou em todos os momentos, dando força e incentivando para continuar. Ele que sempre acreditou no meu potencial e no meu trabalho. Que sempre me ajudou em todas as situações, sem medir esforços, meu maior incentivador.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e incentivaram.

A Juliana Martins, que sempre me inspirou quanto ao tema relacionado a barragens e como profissional, seu apoio foi fundamental para a elaboração do presente trabalho, sempre com muita atenção, dedicação, e com muitos ensinamentos.

Agradeço ao meu orientador por todo o apoio e incentivo, e inspiração devido a minha admiração quanto professor e profissional da área de patologias, uma das matérias que ministrou na faculdade e mais me chamou a atenção.

RESUMO

O presente trabalho apresenta de forma exemplificada as principais anomalias observadas em uma barragem mista e analisar o estado de conservação das estruturas civis, das condições de preservação estrutural por meio de verificações in loco das condições de manutenção através da realização de inspeção visual na barragem da usina de geração hidrelétrica em estudo, localizada na região norte do Brasil, no Estado do Tocantins. O estudo da importância da realização das manutenções e inspeções para a segurança estrutural de barragens, tendo como base referências bibliográficas analisando publicações científicas relacionadas à temática, como artigos, teses, monografias, materiais internacionais disponibilizados pela FEMA (Agência Federal de Gerenciamento de Emergências - EUA), a Lei 14.066/2020 (que altera a Lei 12.334/2010), a Resolução Normativa nº696/2015 e o Manual do Empreendedor da ANA. As inspeções de segurança são elementos de suma importância que fazem parte do Plano de Segurança de Barragens, sendo as grandes responsáveis por fornecer informações importantes quanto ao estado de conservação da barragem, tendo em vista que para verificar o bom desempenho da barragem, devem ser realizadas inspeções para encontrar possíveis defeitos relacionados ao desempenho considerado satisfatório. De acordo com as metodologias estudadas para a realização das rotinas de inspeção, visando assegurar condições adequadas de segurança para as barragens, estas devem ser periodicamente revisadas, levando em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e da deterioração das estruturas ou de outros fatores. Com isso, os planos de manutenção para a segurança da barragem, as inspeções regulares ou inspeções especiais, são vitais para a segurança das estruturas a longo prazo e devem ser realizadas regularmente de acordo com o grau de risco da estrutura, a fim de mitigar os danos ocasionados por uma ruptura da barragem e buscando, além de preservar a integridade da estrutura, preservar também as vidas e o meio ambiente que poderiam ser prejudicados com o seu não cumprimento.

Palavras-chave: Segurança de barragens. Inspeções de Segurança em Barragens, Manutenções, Anomalias em barragens.

ABSTRACT

The present work presents, in an exemplified way, the main anomalies observed in a mixed dam and analysis of the state of conservation of civil structures, of the conditions of structural preservation through on-site checks of the maintenance conditions through the performance of visual execution in the dam of the plant. of hydroelectric generation under study, located in the northern region of Brazil, in the State of Tocantins. Based on bibliographic references analyzing scientific publications related to the theme, such as articles, theses, monographs, international materials made available by FEMA (Federal Emergency Management Agency - USA), Law 14.066 / 2020 (amending Law 12.334 / 2010), Normative Resolution No. 696/2015 and the ANA Entrepreneur Manual. Safety inspections are extremely important elements that are part of the Dam Safety Plan, being largely responsible for providing important information regarding the conservation status of the dam, in order to verify the good performance of the dam, inspections should be executed to find possible defects related to the performance considered satisfactory. According to the methodologies studied for perform the inspection routines, aiming to assure the safety conditions of the dams, these must be periodically analyzed, taking into account the inclusion of aging and deterioration of structures or other factors. As a result, maintenance plans for the safety of the dam, regular inspections or special inspections, are vital to the safety of structures in the long term plan and must be executed regularly according to the degree of risk of the structure, in order to mitigate the risks. damage caused by a rupture of the dam and aside to preserve the integrity of the structure, also secure the lives and the environment that can be harmed by its non-compliance.

Key-words: Dam safety. Dam Safety Inspections, Maintenance, Dams Anomalies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Evolução dos recursos aplicados em ações de segurança e recuperação estrutural	17
Figura 2: Mapa Geográfico do Setor Elétrico	19
Figura 3: Barragem e reservatório de Lajes, uma das duas grandes barragens mais antigas do Brasil	20
Figura 4: Barragem de Terra Homogênea	23
Figura 5: Seção transversal de uma barragem de terra zoneada	23
Figura 6: Barragens de Enrocamento	24
Figura 7: Seção transversal da barragem de concreto de Itumbiara, Brasil	25
Figura 8: Barragem de concreto em abóbada – visão à montante da usina de Funil – RJ	26
Figura 9: Barragem de Contraforte –Itaipu	27
Figura 10: Dispositivos que compõem uma barragem	28
Figura 11: Representação esquemática do barramento	28
Figura 12: Esquema de uma barragem mista, do reservatório, do vertedouro e tomada d'água da PCH de Isamu Ikeda I e II no Tocantins.	29
Figura 13: Seção transversal de uma barragem de terra homogênea – exemplo de sistema de drenagem interno	31
Figura 14: Principais Atores da PNSB	32
Figura 15: Principais órgãos Fiscalizadores	33
Figura 16: Matrizes para avaliação e classificação de barragens.	35
Figura 17: Avaliação para matrizes relacionadas à Categoria de Risco	36
Figura 18: Categoria de Risco - Barragens Fiscalizadas pela ANEEL	36
Figura 19: Dano Potencial Associado - Barragens Fiscalizadas pela ANEEL	40
Figura 20: Ficha de inspeção de barragem de terra	48
Figura 21: Exemplo de ficha de inspeção para barragens de concreto	48
Figura 22: situação da barragem	49
Figura 23: Quando a Magnitude da Anomalia	50
Figura 24: Nível de perigo	50
Figura 25: Evento Excepcional pela Resolução Normativa da ANEEL nº 696/ 2015.	51
Figura 26: Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência ao fenômeno de corrosão das armaduras.	52
Figura 27: Desempenho de uma construção ao longo do tempo	54
Figura 28: Condutos Forçados de Itaipu em Manutenção	55
Figura 29: Principais causas de acidentes em barragens	57
Figura 30: Distribuição espacial das barragens com alto risco de rompimento e alto dano potencial, no Brasil, 2017	57
Figura 31: Risco aceitável pela sociedade na eventualidade da rotura de uma barragem.	58
Figura 32: Riscos associados a obras de engenharia durante o período de construção	59
Figura 33: - Modelo do queijo suíço	60
Figura 34: Representação Esquemática das Principais Anomalias	61
Figura 35: Erosão interna de talude – piping	62
Figura 36: Desagregação do enrocamento	62
Figura 37: Segregação do rip-rap do talude montante e o crescimento de pequenos arbustos ...	63
Figura 38: Presença de árvores e arbustos	63
Figura 39: Surgências - mudança acentuada na vegetação	64
Figura 40: Surgência no talude de jusante	65
Figura 41: surgência na base do aterro a jusante	65

Figura 42: Afundamentos.....	66
Figura 43: Deformação de Talude a Jusante	66
Figura 44: Atividades de animais e insetos	66
Figura 45: Atividades de animais e insetos – Cupinzeiro	67
Figura 46: Toca de animal.....	67
Figura 47: Fissuras e Abrasão na crista da barragem	69
Figura 48: Efeitos da abrasão no tubo de sucção da UHE de Itaipu	69
Figura 49: Cavitação no canal extravasor da Barragem Oroville – Califórnia	70
Figura 50: Fissuras secundárias impostas pela restrição à expansão, na guia da comporta da tomada d'água da UHE PA - I.....	72
Figura 51: Fissuras tipo mapa	74
Figura 52: Fissuras (primárias) em forma de mapa no piso da tomada d'água da UHE PA-III ..	74
Figura 53: Exemplo de estruturas afetadas pela lixiviação.	76
Figura 54: Eflorescência em galeria de drenagem	76
Figura 55: Pontos de Rota	80
Figura 56: Verificação do alinhamento da crista.....	81
Figura 57: Periodicidade para a realização das inspeções de segurança	81
Figura 58: Exemplo ficha de inspeção elaborada pelo empreendedor.	82
Figura 59: Cadastro das Anomalias no Sistema:.....	84
Figura 60: Presença de Arbustos no barramento de terra.....	86
Figura 61: Presença de Arbustos no barramento de enrocamento ... Erro! Indicador não definido.	
Figura 62: Piezômetro encoberto pela vegetação.....	88
Figura 63: Deposição de Sedimentos na Canaleta	90
Figura 64: Presença de Cupinzeiros e Formigueiros Presentes no Barramento de Terra	90
Figura 65: Presença de Eflorescência na Estrutura de Concreto.....	91
Figura 66: Eflorescência.....	91
Figura 67: Processo de Lixiviação	92
Figura 68: Infiltração em galeria de drenagem	93
Figura 69: rip rap com insuficiência de agregados.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição/Ponderação de Critérios de Características Técnicas	37
Tabela 2: Descrição/Ponderação de Critérios do Estado de Conservação	38
Tabela 3: Descrição/Ponderação de Critérios do Plano de Segurança de Barragem.....	39
Tabela 4:– Descrição/Ponderação de Critérios para Determinar Dano Potencial	41
Tabela 5: Cálculo da Categoria de Risco	41
Tabela 6: Dano Potencial Associado (DPA)	42
Tabela 7: Matriz de Classificação para Barragens de Usos Múltiplos CNRH,.....	43
Tabela 8: Prazos para Elaboração do Plano de Segurança de Barragens	44
Tabela 9: Periodicidade de inspeções de segurança.....	47
Tabela 10: Matriz de Classificação da Barragem em Estudo.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CT	Características Técnicas
CDBD	Comitê Brasileiro de Barragens
CIGB	Comissão Internacional de Grandes Barragens
CRI	Categoria de Risco
DPA	Dano Potencial Associado
EC	Estado de conservação
FEMA	Agência Federal de Gerenciamento de Emergências dos EUA
FS	Fator de Segurança
ICOLD	International Commission On Large Dams
ISR	Inspeção de Segurança Regular
ISE	Inspeção de Segurança Especial
OMI	Operação, Manutenção e Inspeção
PAE	Plano de Ação Emergencial
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PNSB	Plano Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
RAA	Reação Álcali Agregado
RPSB	Revisão periódica de segurança
SINISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UHE	Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivo geral.....	17
1.2.1	Objetivos específicos	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Barragens	19
2.2	As primeiras barragens para produção de energia elétrica no Brasil.....	20
2.3	Classificação de Barragens – Categoria Técnica	21
2.3.1	Classificação de Barragens de Terra.....	22
2.3.2	Classificação de Barragens de Concreto.....	24
2.4	Elementos Principais de uma Barragem	27
2.5	Segurança De Barragens No Brasil.....	31
2.6	Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)	32
2.6.1	Objetivos de PNSB	33
2.6.2	Classificação de Segurança de Barragens.....	34
2.7	Plano de Segurança de Barragens (PSB).....	43
2.8	Tipos De Inspeções De Segurança De Barragens	44
2.8.1	Inspeção de Segurança Regular	45
2.8.2	Inspeções de Rotina ou Informais.....	46
2.8.3	Inspeções Periódicas	46
2.8.4	Fichas de inspeção	47
2.9	Inspeção de Segurança Especial.....	50
2.10	Durabilidade e Vida Útil	51
2.11	Manutenção.....	53
2.11.1	Manutenção Preditiva	54
2.11.2	Manutenção Preventiva.....	54
2.11.3	Manutenção Corretiva	56
2.11.4	Programa de Manutenção	56
2.12	Rupturas De Barragens	56
2.13	Identificação Das Principais Anomalias Em Barragens	61

2.14 Principais Anomalias em Barragens de Terra.....	62
2.14.1 Talude de Montante	62
2.14.2 Desagregação do Enrocamento.....	62
2.15 Talude de Jusante	63
2.15.1 Presença de Vegetação	63
2.15.2 Surgências.....	64
2.15.3 Afundamentos.....	66
2.15.4 Atividades de Animais e Insetos.....	66
2.16 Principais Anomalias em Barragens de Concreto.....	68
2.16.1 Erosão	68
2.16.2 Abrasão	68
2.16.3 Cavitação	70
2.16.4 Trincas e Fissuras	71
2.16.6 Lixiviação	75
3 METODOLOGIA.....	77
3.1 Estudo da Lei 14.066/2020 e suas Resoluções Normativas	77
3.2 Plano de Rotas para os locais inspecionados.....	80
3.3 Identificação das Principais Anomalias e Inspeção de Seg. Regular	81
4 ANÁLISES E DISCUSSÕES.....	83
4.1 Execução das Inspeções de Rotina e Pedido de Manutenção	83
4.2 Inspeção Regular de Segurança e Atividades de Manutenção	85
4.3 Plano de Rota e Anomalias	85
CONCLUSÃO.....	95
REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas construídas pelo homem há milhares de anos, com a finalidade de abastecimento humano, desenvolvimento econômico e, juntamente a isso, é acompanhado por uma crescente demanda de recursos minerais, hídricos e energéticos. A exploração desses recursos está associada a grandes obras de engenharia que, na maioria dos casos, utiliza-se de barragens cujo objetivo principal é reter água e desempenhar atividades como a produção de energia elétrica, abastecimento de água à população, irrigação, regularização de vazões de cheias e entre outros. (Agência Nacional de Águas, 2020).

Detentor de uma quantidade enorme de recursos hídricos, o Brasil nas décadas de 70 e 80 executou inúmeras construções de barragens para aproveitamento do potencial hidroelétrico de geração de energia, consumo de água, controle de cheias e lazer, com a adoção do concreto massa e com o concreto compactado a rolo. (CDBD, 2011).

Devido à magnitude da obra de uma barragem, são diversas as multidisciplinaridades e estudos necessários para a elaboração de um projeto desse porte, como estudos geológicos e geotécnicos, hidrológicos, sismológicos, topográficos, estudos de viabilidade e avaliações de impactos ambientais. É por envolver uma série de fatores como estes que a construção de uma barragem deve assegurar a conservação e a segurança dessa estrutura, sendo imprescindível para seu adequado funcionamento e prevenção contra rompimentos e acidentes (PEREIRA, 2019).

É fundamental para evitar desastres entender o que pode acontecer na segurança estrutural, com o intuito de corrigir o problema de forma adequada. Dessa maneira, ações necessárias para evitar desastres ou até mesmo gastos desnecessários são essenciais, a fim de evitar o que pode acontecer com elementos em estágios avançados dos processos de deterioração. Com isso, faz-se necessário entender como tais processos ocorrem e quais danos podem causar em decorrência do não cumprimento das ações/manutenções necessárias.

Desse modo, é evidente a importância do debate sobre a realização das inspeções de segurança em barragens e de suas manutenções, pois formam um conjunto de atividades ou medidas a serem realizadas com o intuito de preservar e conservar a estabilidade da edificação.

Portanto, acidentes em barragens de maneira geral podem acarretar grandes custos econômicos e porventura, em perdas de vidas humanas e danos ambientais, que dependendo da sua complexidade podem vir a ser irreparáveis. Além disso, agregam-se custos de parada da produção de energia durante os processos de reparos gerados por uma possível falha. (ZUCH, 2008).

O presente trabalho visa avaliar as condições de manutenção e segurança de barragem em uma usina de geração hidrelétrica, localizada na região norte do Brasil, no Estado do Tocantins, no qual foi permitido o acesso para participar da inspeção visual sem divulgar dados do empreendimento, apenas o material coletado para as análises e discussões. O empreendimento possui barramento constituído por um trecho em concreto tipo gravidade e um trecho em maciço de terra.

1.1 Justificativa

Como qualquer obra de engenharia, as barragens exigem cuidados e manutenções contínuas, a fim de assegurar que elas permaneçam em operação e que sejam capazes de desempenhar todas as finalidades de projeto, sem colocar em risco pessoas e propriedades a jusante.

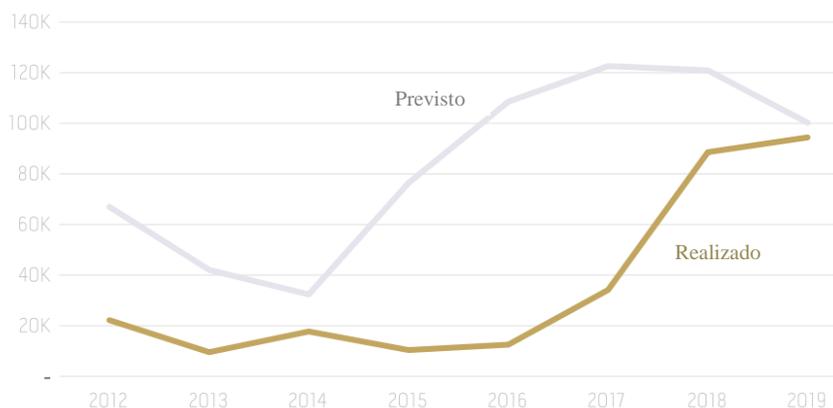
Segundo Lima e Silva (2019), a segurança de barragem é um processo que abrange desde a sua concepção até seu descomissionamento. Dessa maneira, além de compor o seu planejamento e o projeto de construção à operação, deve também abranger sua área de impacto direto e indireto em caso de colapso.

Vale ressaltar que na construção desse tipo de empreendimento o impacto ambiental e social são consequências que devem ser avaliadas desde o início dos estudos de viabilidade e aprofundadas em todas as etapas do projeto. Com isso, a segurança das barragens deve ser prioridade, pois estudos e avaliações erradas podem levar a consequências graves.

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragem (RSB), em 2019 os valores orçamentários previstos para segurança de barragens foram de aproximadamente 100 milhões de reais, onde 44% são da esfera federal e 56% da esfera estadual. Dessa forma, em 2019 ocorreu uma evolução dos recursos investidos nas ações de segurança de barragens, onde a relação entre o previsto e o realizado está mais equilibrada que os anos anteriores, conforme mostra a Figura 1. Esse fato demonstra uma maior atenção ao cumprimento das ações necessárias e da realização das

manutenções a fim de garantir a segurança estrutural do empreendimento e cumprir as funções que lhe foram atribuídas em projeto.

Figura 1: Evolução dos recursos aplicados em ações de segurança e recuperação estrutural



Fonte: Relatório de Segurança de Barragens, 2019

Vale ressaltar que as barragens também envelhecem o que conseqüentemente reforça a necessidade de cuidados para garantir a segurança estrutural. Dessa maneira, é evidente a importância da realização das inspeções que avaliam as condições do estado de integridade da barragem e juntamente a isso cumprir um programa de manutenções regulares.

Portanto, as Inspeções de Segurança visam avaliar as condições físicas das partes integrantes da barragem e identificar/monitorar anomalias que afetem potencialmente sua segurança estrutural. Com isso, o processo de inspeções de barragens se justifica pela importância da preservação das estruturas por meio dos processos de manutenções aplicados corretamente.

1.2 Objetivo geral

O presente trabalho visa avaliar os processos de manutenção e inspeção, analisar o estado de conservação das estruturas civis por meio de verificações *in loco* das condições de manutenção e a presença de anomalias através da realização de inspeção visual na barragem da usina de geração hidrelétrica em estudo, localizada na região norte do Brasil, no Estado do Tocantins, para mostrar a importância da realização das inspeções de segurança e das manutenções.

1.2.1 Objetivos específicos

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- I. Verificar o funcionamento das rotinas de inspeções de segurança e como são realizadas as manutenções na usina de geração hidrelétrica em estudo.
- II. Identificar as anomalias presentes no empreendimento durante a inspeção visual realizada *in loco*.
- III. Verificar as condições de conservação da barragem inspecionada.
- IV. Propor sugestões de manutenções para resolver as anomalias identificadas durante a inspeção visual na barragem em estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Barragens

A água é de fundamental importância para a existência da civilização humana, sendo um elemento essencial a vida. A necessidade de dispor permanentemente da água em muitas situações se confronta com a escassez provocada pelas inconstâncias do ciclo hidrológico. A alternativa encontrada para vencer essa dificuldade foram formas para armazenamento e distribuição controlada da água ao longo do tempo, utilizando obstáculos artificiais aos cursos de água: as barragens, que são definidas como barreiras ou estruturas que cruzam córregos, rios ou canais para confinar e assim controlar o fluxo da água, de acordo com a CIGB (Comissão Internacional de Grandes Barragens).

Por ser uma estrutura que é construída transversalmente a um rio ou talvegue possui a finalidade de obter a elevação do seu nível d'água, o que vem a gerar um reservatório e que pode ter inúmeras finalidades (ICOLD,2019).

No setor hídrico de geração de energia elétrica as barragens são fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, responsável por fiscalizar o setor elétrico brasileiro, que disponibiliza o Portal de Geoprocessamento onde reúne os dados geográficos do Setor Elétrico que constam nas bases de dados da agência e tem como objetivo dar publicidade a essas informações conforme preconizam os princípios da administração pública. Na Figura 2 tem-se representado todos os empreendimentos hidrelétricos do Brasil, independente da capacidade de geração destes empreendimentos.

Figura 2: Mapa Geográfico do Setor Elétrico



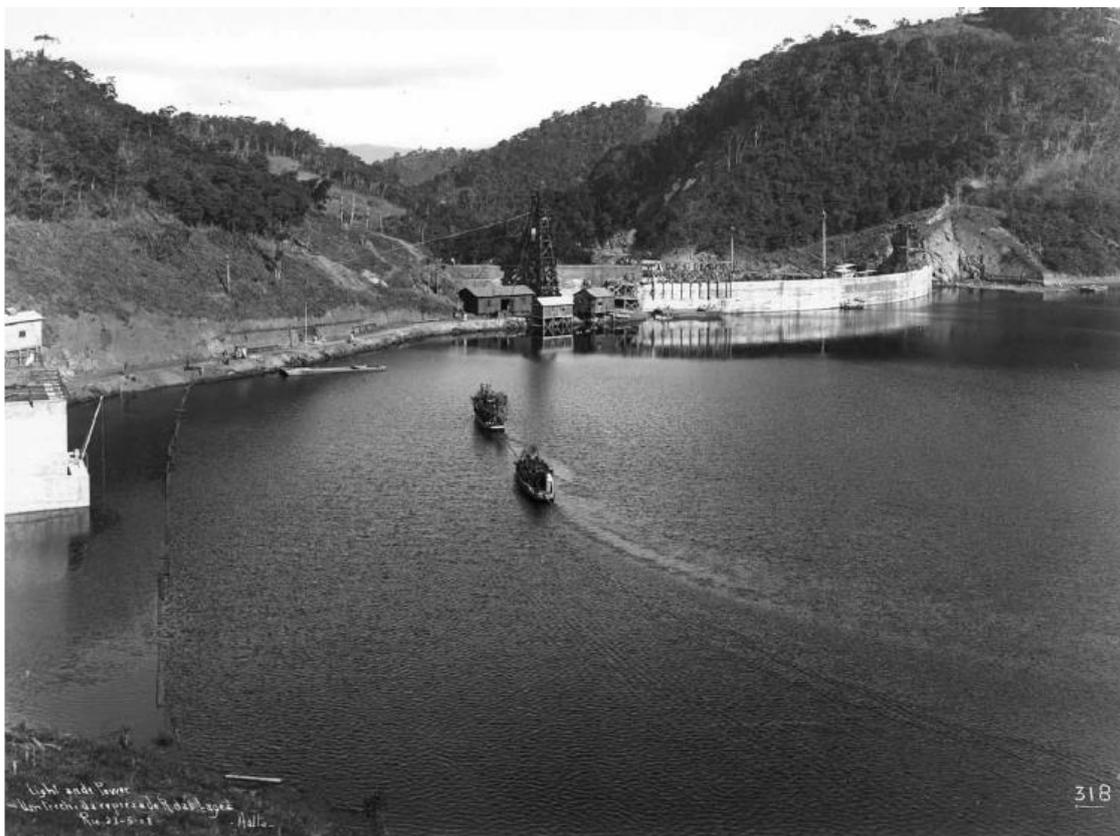
Fonte: O Portal de Geoprocessamento da ANEEL, 2019

2.2 As primeiras barragens para produção de energia elétrica no Brasil

As primeiras barragens para a produção de energia elétrica, no Brasil, originaram-se nas regiões Sul e Sudeste. Segundo o Comitê Brasileiro de Barragens (2011), no final do século XIX, começaram a ser implantadas pequenas usinas para o suprimento de cargas modestas e localizadas, todas com barragens de dimensões discretas. A grande maioria eram em estruturas de concreto (gravidade) ou de alvenaria de pedra, não muito altas. Em 2011 já havia 1206 MW instalados em hidrelétricas de mais de 50 anos de idade, onde muitas delas foram reabilitadas e repontencializadas.

As primeiras grandes barragens nacionais foram Cedros e Lajes (Figura 3), que entrou em operação em 1906 no Estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de derivar as águas do ribeirão de Lajes para a usina de Fontes (primeira usina no Complexo de Lajes) no Rio de Janeiro, na época uma das maiores do mundo (CDBD, 2011).

Figura 3: Barragem e reservatório de Lajes, uma das duas grandes barragens mais antigas do Brasil



Fonte: Mello, 2011b

2.3 Classificação de Barragens – Categoria Técnica

Zuch (2008) aborda que as barragens podem ser classificadas segundo diversos critérios:

- 1) De acordo com a utilização:
 - Barragens de armazenamento ou regularização das vazões.
 - Barragens de derivação para desviar o fluxo para canais.
 - Barragens para controle das cheias.
 - Barragens para contenção de rejeitos industriais

- 2) De acordo com o projeto hidráulico:
 - Barragens vertedoras ou de soleira livre.
 - Barragens não vertedoras

- 3) De acordo com o comportamento estrutural
 - Barragens tipo gravidade

- 4) De acordo com os materiais de construção:
 - Barragens de concreto ou alvenaria.
 - Barragens de aterro (terra ou enrocamento).

Em relação aos materiais de construção, as barragens podem ser classificadas como de terra, de enrocamento, de concreto e mistas.

As barragens, desse modo, podem ser classificadas de diversas maneiras, os critérios que são levados em consideração para poderem ser classificadas são a sua função, a sua estrutura, materiais de construção, sua dimensão: altura e volume do reservatório, entre outros.

Segundo o Comitê Internacional de Grandes Barragens (CIGB, ICOLD) as barragens podem ser para providenciar água para irrigação; suprimento de água para cidades; criar reservatórios para suprimento de indústrias; balneários recreativos; geração de energia elétrica, este no Brasil é um motivo contemporâneo que toma grandes proporções; controle de cheias. Esses propósitos podem isolados, planejados para várias utilizações ou simplesmente após a construção de um barramento sob um foco de propósito ele pode ser utilizado com outros fins.

Uma distinção muito importante a considerar é a baseada no material de construção e no tipo de estrutura. Assim, podem-se considerar dois grandes grupos: o das barragens de concreto e alvenaria e o das barragens de aterro (solo e enrocamento). Este tipo de distinção baseia-se principalmente na existência ou não de ligação entre os materiais de construção. As barragens de concreto e alvenaria são feitas de materiais ligados, sendo o cimento o ligante ou, no caso de barragens de alvenaria algum tipo de argamassa. As barragens de aterro, por outro lado, são feitas de materiais soltos como solos.

A prática atual em projetos de aproveitamentos hidrelétricos tem adotado, preferencialmente, os seguintes tipos de barragem:

- De terra, em seção homogênea em solo;
- De enrocamento;
- De concreto, convencional ou compactado a rolo (CCR), em seção tipo gravidade.

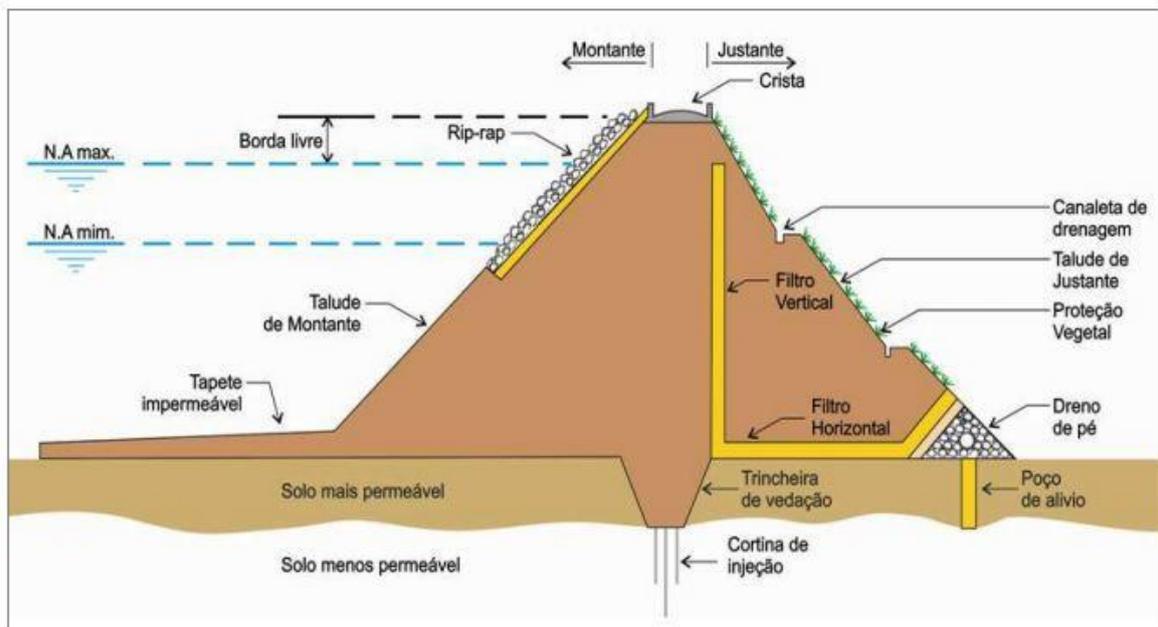
2.3.1 Classificação de Barragens de Terra

As barragens de terra são construídas a partir do deslocamento e disposição de um material de empréstimo com acumulação e sucessiva compactação. São denominadas homogêneas quando há predominância de um único material e zonadas, quando apresentam materiais heterogêneos na composição do talude, em geral com um núcleo impermeável de material argiloso (MASSAD, 2010).

- **Barragens de Terra Homogêneas:** são aquelas no qual há a predominância de um único material, e ainda assim podem ocorrer elementos diversificados como filtros e *rip-rap* por exemplo (Figura 4).

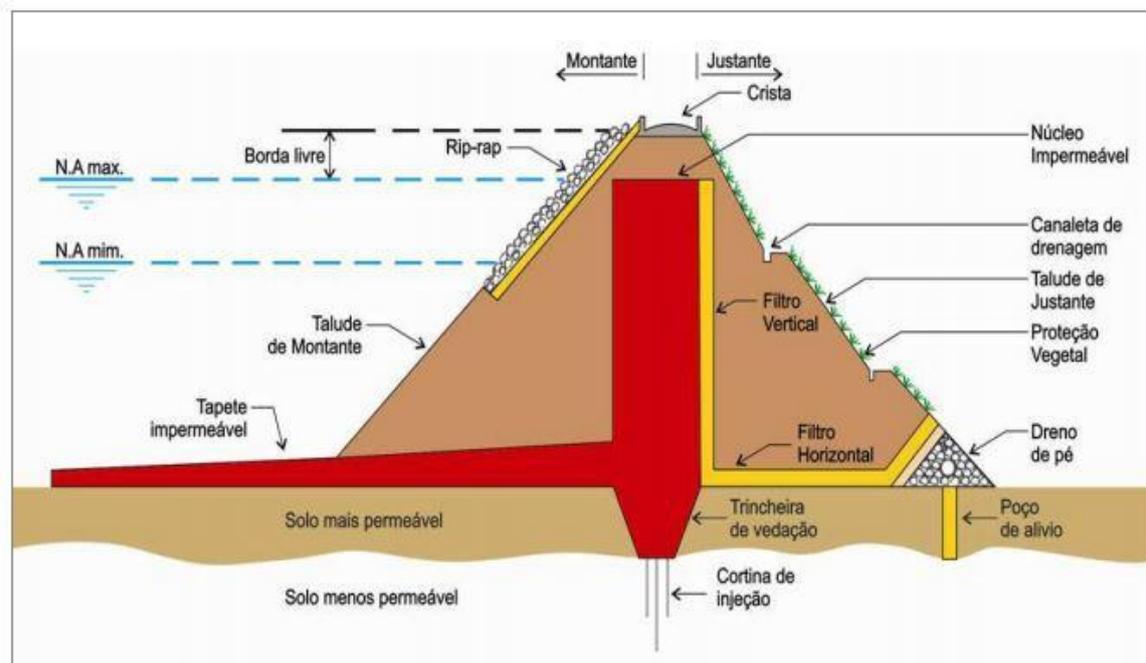
- **Barragens de Terra Zoneadas:** onde há um zoneamento de materiais terrosos em função das características que possuem e/ou da permeabilidade (Costa, 2012). São constituídas por uma zona central de solos argilosos, chamada de núcleo, e por zonas laterais de solos não argilosos, designadas por maciços estabilizadores, como mostra a Figura 5. O filtro chaminé é colocado entre o núcleo e o maciço estabilizador de jusante (Volume VIII - Guia Prático de Pequenas Barragens).

Figura 4: Barragem de Terra Homogênea



Fonte: Carvalho (2011)

Figura 5: Seção transversal de uma barragem de terra zoneada



Fonte: Carvalho (2011)

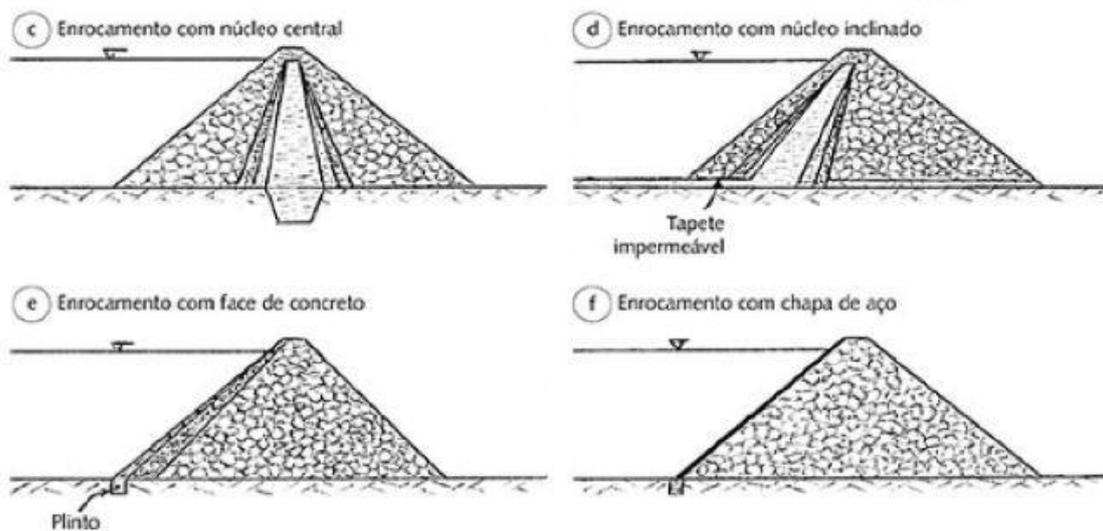
- **Barragens de Terra de Enrocamento:**

- **Com Núcleo Permeável:** o material rochoso é predominante e a vedação da água é feita por meio de núcleo argiloso, separado do enrocamento por zonas de

transição (Figura 6), para evitar o carreamento do material fino para o interior do enrocamento, onde o núcleo pode ficar centralizado ou inclinado para a montante.

- **Com Face Impermeável:** a vedação da água é garantida pela impermeabilização da face a montante da barragem, seja por camada de asfalto, placa de concreto, ou ainda, chapa de aço (Figura 6).

Figura 6: Barragens de Enrocamento



Fonte: Costa, 2012.

2.3.2 Classificação de Barragens de Concreto

Em função de sua forma, as barragens em concreto podem ser classificadas em: barragens de gravidade, barragens em arco e barragens contraforte. Essas barragens, se distinguem, também, em virtude de algumas particularidades como por exemplo: volumes de escavações, o concreto utilizado, a intensidade dos esforços, a importância da supressão agindo sobre a estrutura, a sensibilidade as variações de temperatura e os sismos, que o Brasil por estar situado no interior da placa Sul-América, não está sujeito a grandes abalos sísmicos (SILVEIRA, 2018).

- **Barragem de Gravidade de Concreto**

Para Pereira (2015) a barragem de gravidade (Figura 7) tem como característica principal sua estrutura com peso suficiente para resistir as forças horizontais exercidas pela água, que tendem a percolar de montante para a jusante, deslizando a estrutura

horizontalmente sobre a fundação. As forças verticais, representadas pelos esforços de supressão, também são resistidas pelo peso próprio da estrutura.

Sua estabilidade é garantida conforme o formato e peso próprio, podem ser maciças ou vazadas, para resistir o empuxo horizontal da água. Os materiais mais utilizados neste tipo de barragem são: concreto massa (concreto convencional), ciclópico ou CCR (concreto compactado a rolo: concreto com consistência e trabalhabilidade tal que permite sua compactação por meio de rolos compactadores), (TANUS, 2018).

Figura 7: Seção transversal da barragem de concreto de Itumbiara, Brasil



Fonte: Souza, 2013.

- **Barragens em Arco**

Também conhecidas como barragens abóbada, Figura 8, onde a forma é determinante para resistir à pressão da água, funcionando a estrutura como arco, sendo as forças transferidas para os apoios, o que requer a existência de maciços rochosos de boa qualidade.

As barragens em abóbada são estruturas com curvatura em planta e em altura, com a convexidade voltada para montante, por forma a que para as ações principais (peso próprio, pressão hidrostática e variações térmicas) não ocorram tensões de tração significativas. Esse tipo de estrutura pode atingir alturas bastante elevadas, com isso, é aconselhado a sua escolha para regiões com vales acentuados em maciços rochosos de boa qualidade (maciço de fundação com elevada resistência).

Figura 8: Barragem de concreto em abóbada – visão à montante da usina de Funil – RJ



Fonte: Walter, 2019.

- **Barragem de Contraforte**

Uma barragem de contrafortes é uma estrutura de concreto composta por uma placa inclinada que transmite o empuxo da água a uma série de contrafortes perpendiculares ao eixo da barragem, exercendo compressão na fundação, maior do que na barragem de gravidade de concreto (SOUZA, 2013). Na Figura 9 tem-se o exemplo de barragem de contraforte no Brasil, estruturas que possuem as seguintes características:

- Supressão reduzida devido a pequena na área da base
- Aumento da compressão sobre a fundação;
- Exige maior tratamento das fundações como tirantes e injeção de calda de cimento;
- Maior economia de concreto, mas necessita controle geológico maior.

Figura 9: Barragem de Contraforte –Itaipu

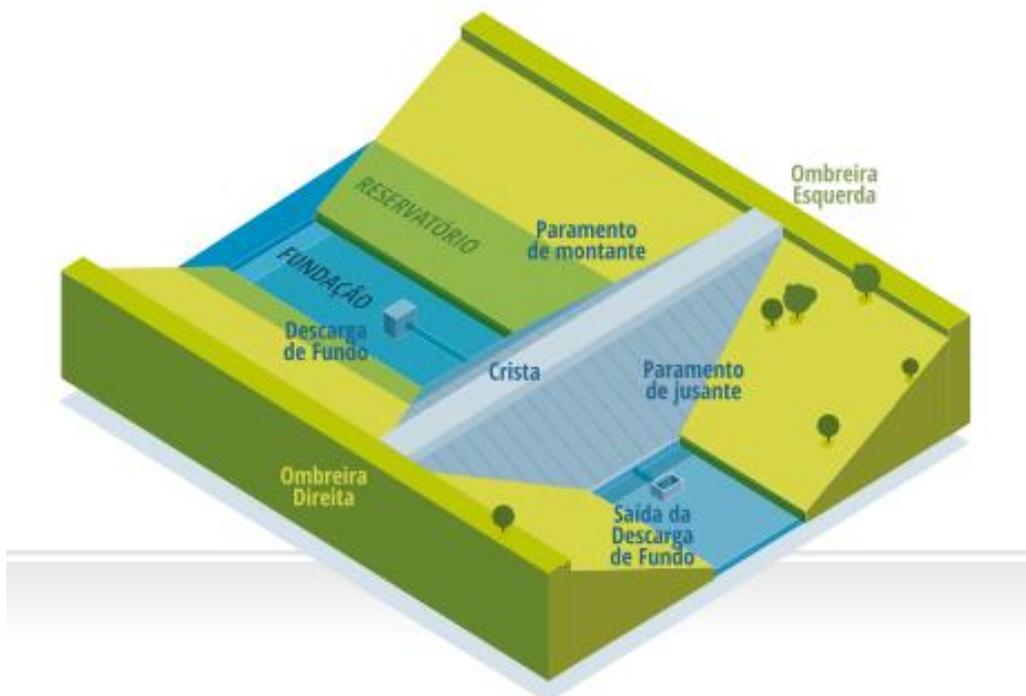


Fonte: Itaipu, 2019.

2.4 Elementos Principais de uma Barragem

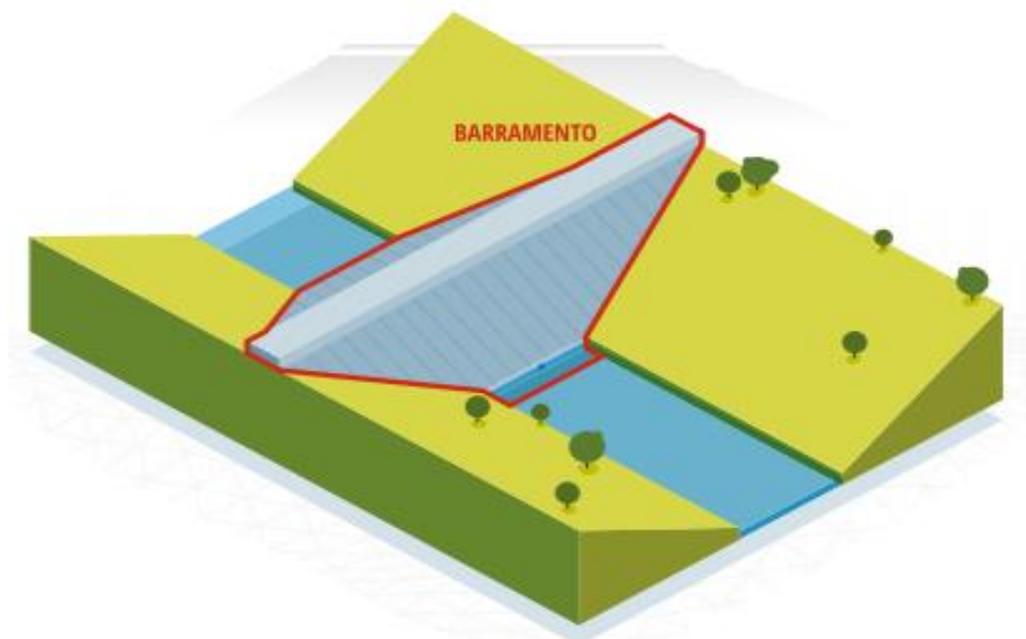
Os principais componentes de uma barragem convencional são a estrutura de retenção ou barramento (Figura 11), a sua fundação e as ombreiras, a zona vizinha a jusante, as estruturas extravasoras, as estruturas de adução, sistema de drenagem interno e o reservatório. As Figuras de 10 a 12 mostram de forma esquemática os elementos e dispositivos que compõem uma barragem convencional.

Figura 10: Dispositivos que compõem uma barragem



Fonte: Relatório de Segurança de Barragens, 2019,

Figura 11: Representação esquemática do barramento



Fonte: Relatório de Segurança de Barragens, 2019.

Figura 12: Esquema de uma barragem mista, do reservatório, do vertedouro e tomada d'água da PCH de Isamu Ikeda I e II no Tocantins.



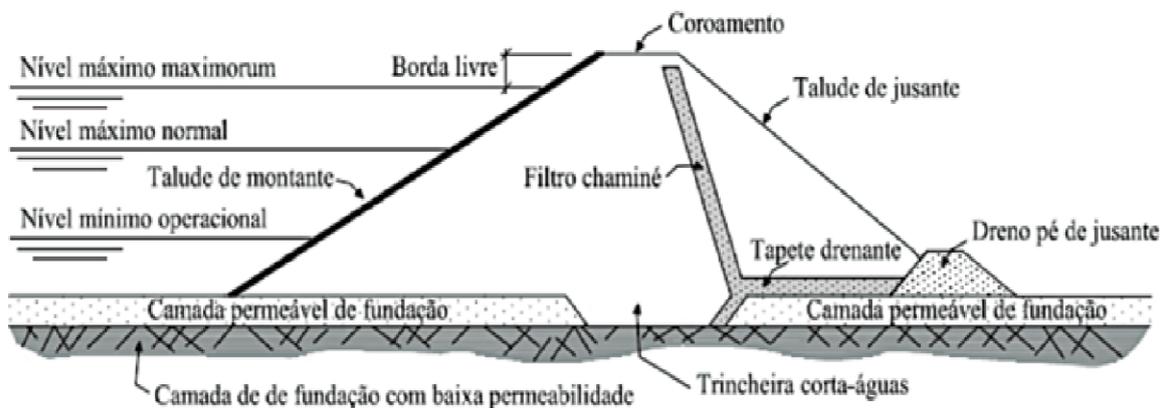
Fonte: Google Earth, 2020.

- Barragem: 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 (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020).
- O barramento é a estrutura construída transversalmente ao curso de água e, conjuntamente com a fundação e as ombreiras, é responsável pela retenção da água. Ele pode ser executado com diferentes tipos de técnicas e materiais, como aterro (terra, enrocamento, rejeitos), concreto (convencional, ciclópico, compactado a rolo), alvenaria, entre outros;
- Reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos (Redação dada pela Lei nº 12.334, de 2010).
- Ombreiras: As zonas das margens em contato direto com o barramento são denominadas de ombreiras, existindo uma na margem direita, designada de ombreira

direita, e outra na margem esquerda, a ombreira esquerda. A margem direita de um curso de água, localiza-se à direita de um observador que olhe para o barramento a partir de montante e a margem esquerda será a margem oposta. As ombreiras, conjuntamente com a fundação e o barramento, devem assegurar a retenção de água no reservatório, pelo que não devem deixar passar a água represada. Para tal, deve existir uma boa ligação entre as ombreiras e o barramento. Os paramentos das barragens têm que ser protegidos: o de montante do efeito das ondas que se formam no reservatório sob a ação do vento e o de jusante da ação da água das chuvas.

- Tomada D'água: estruturas hidráulicas projetadas para retirar água de cursos d'água (rios, canais), lagos ou reservatórios, com a finalidade de captar e conduzir água aos órgãos condutores, regular a vazão e impedir a entrada de corpos flutuantes indesejáveis. Em barragens de geração de energia elétrica a água é conduzida até a casa de força, onde passa por turbinas e posteriormente é restituída ao rio.
- Órgãos Extravasores: As estruturas extravasoras de barragens são constituídas por vertedouros de superfície, com ou sem comportas, para a evacuação de cheias, e por descargas de fundo para o esvaziamento do reservatório. A cota da soleira do vertedouro coincide com o nível máximo normal da barragem. Durante uma cheia o nível da água ultrapassa essa cota, escoando-se a água através do vertedouro. O nível máximo que se prevê que a água atinja durante uma cheia é designado por nível máximo maximorum. A diferença entre a cota do coroamento da barragem e o nível máximo maximorum é designada de borda livre. Assim, o vertedouro deve ser capaz de permitir a passagem da cheia afluyente de projeto sem que o nível do reservatório ultrapasse a borda livre.
- Sistema de Drenagem: tendo como exemplos o filtro vertical (ou chaminé) como mostra na Figura 13, filtro horizontal (ou tapete drenante) e o dreno de pé, que tem a função de escoar o fluxo de água formado no maciço da barragem de forma controlada, com a finalidade de evitar *piping* e erosões no maciço que poderiam causar a instabilidade da estrutura, ou seja, intercepta qualquer fluxo de água preferencial eventual no aterro e evita saturação da aba de jusante.

Figura 13: Seção transversal de uma barragem de terra homogênea – exemplo de sistema de drenagem interno



Fonte: Manual do Empreendedor da ANA, Volume 8

2.5 Segurança De Barragens No Brasil

No Brasil, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) é regida e estabelecida pela Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que recentemente sofreu alterações e passa a ser a Lei 14.066 de 30 de setembro de 2020. Esta lei é aplicada a barragens destinadas ao acúmulo de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais.

Para barragens hidrelétricas, a lei é regulamentada por seu órgão regulador – ANEEL, através da Resolução Normativa nº 696 de 2015, onde são estipulados os prazos para cumprimento dos termos da lei.

A segurança de barragem é uma condição que visa manter a integridade estrutural e operacional, de forma a mitigar o risco de incidentes ou acidentes, para que a barragem cumpra sua finalidade, com todos os cuidados necessários para à preservação da vida e do meio ambiente. O sinônimo de uma barragem segura é uma barragem bem cuidada, e para garantir as necessárias condições de segurança das barragens, ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de manutenção, prevenção e controle, entre elas a realização das inspeções de segurança. Essas medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida, para minorar as consequências de uma possível ocorrência de acidente, especialmente em casos em que se associam danos potenciais irreversíveis, como perda de vidas humanas e impactos ambientais

2.6 Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

A Lei Federal nº 14.066 de 30 de setembro de 2020 altera a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A Lei tem como objetivo de garantir os padrões de segurança das barragens do Brasil sendo elas de acumulação de água para quaisquer usos, a disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A PNSB evidencia as diretrizes necessárias para garantir as ações de segurança de barragens e os mecanismos para o monitoramento e fiscalização.

As Barragens enquadradas na PNSB são aquelas que apresentem pelo menos uma das seguintes características estabelecidas no Art. 1º:

I - altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros; (Alterada da Lei nº 12.334 que antes estabelecia: I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei;(Alterada da Lei nº 12.334 que antes estabelecia: IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.)

V - categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º desta Lei.(Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020).

Os principais atores envolvidos na Política Nacional de Segurança de Barragens são:

Figura 14: Principais Atores da PNSB

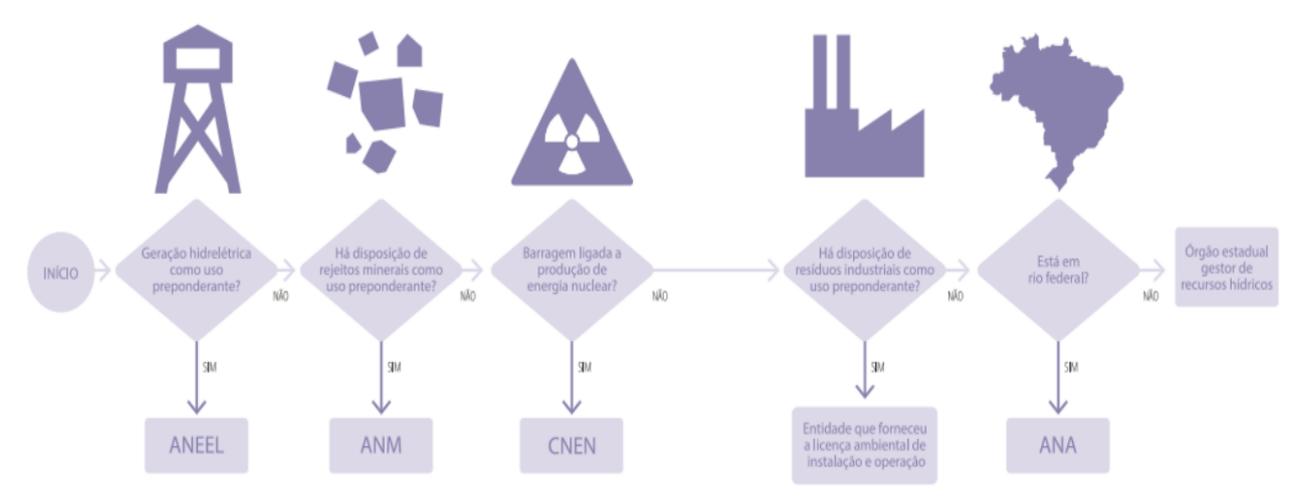


Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2020

Empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem: Agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade.

Já o Órgão fiscalizador é autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência. Segundo Agência Nacional de Recursos Hídricos e Saneamento Básico, atualmente estão em exercício 33 órgãos fiscalizadores, na imagem abaixo está representado os principais órgãos fiscalizadores.

Figura 15: Principais órgãos Fiscalizadores



Fonte: Relatório de Segurança de Barragens, 2019.

2.6.1 Objetivos de PNSB

De acordo com o Art. 3º da Lei nº 14.066 de 30 de setembro de 2020, tem-se que os objetivos da PNSB são os seguintes:

- I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências; (Redação dada pela Lei nº 14.066, de 2020) (Alterada da Lei nº 12.334 que antes estabelecia: I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;
- II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação, descaracterização e usos futuros de barragens; (Redação

dada pela Lei nº 14.066, de 2020) (Alterada da Lei nº 12.334 que antes estabelecia: II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional)

III - promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V - coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI - estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII - fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

VIII - definir procedimentos emergenciais e fomentar a atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

2.6.2 Classificação de Segurança de Barragens

No art. 6º da Lei 14.066 de 30 de setembro de 2020 estão listados os Instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), entre eles está o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, que é um item importante, pois é a partir dessa classificação ditam a periodicidade das inspeções de segurança regular, tema que rege o presente trabalho.

De acordo com o Art. 7º da Lei nº 14.066, de 2020, que é referente a classificação das barragens, infere que as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, que no caso das hidrelétricas o agente fiscalizador é a ANEEL, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). O empreendedor por meio da Ficha de Segurança de Barragens (FSB) faz o preenchimento das informações relacionadas as características técnicas (CT), Estado de Conservação (EC) e o Plano de Segurança de Barragens que são critérios para a classificação de

barragens de acordo com a Lei, e a partir da somatória que será explicada mais adiante, chega-se nas informações necessárias para a classificação da barragem.

A classificação por categoria de risco alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento à documentação sobre a segurança (ou seja, ao Plano de Segurança da Barragem). A classificação do dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perda de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do rompimento da barragem, além de sua capacidade de armazenamento (ANA, 2014).

Para se ter uma avaliação das características técnicas, estado de conservação, condições de segurança e potencial de dano dos barramentos integrantes do setor elétrico, a REN 696/2015 estabeleceu critérios de avaliação a serem realizados para cada um desses. Tais critérios compõem as matrizes de classificação de barragens (Figura 16), Anexo II da REN 696/2015 (ANEEL, 2019).

Figura 16: Matrizes para avaliação e classificação de barragens.

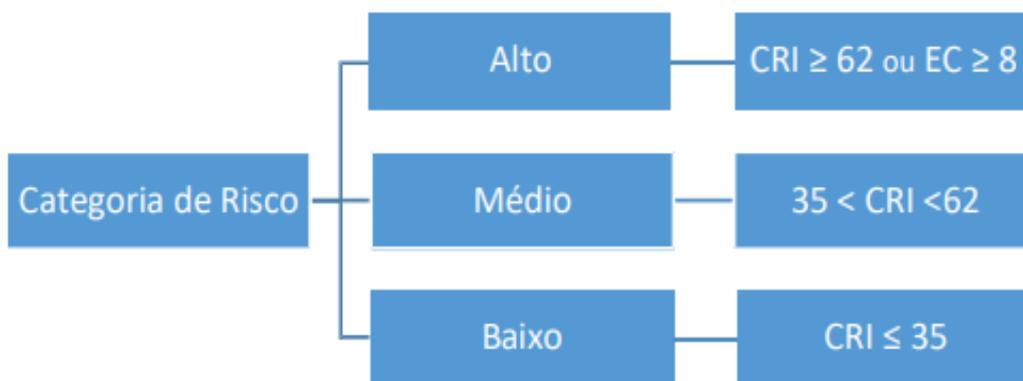


Fonte: Relatório de classificação de barragens – ciclo 2019 – ANEEL

a) Categoria de Risco – CRI

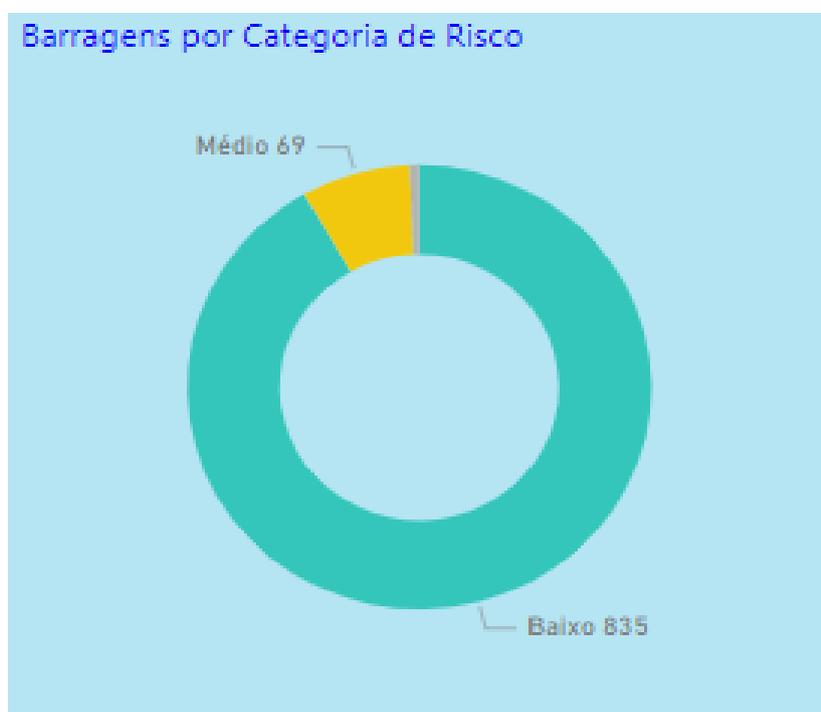
As classificações por CRI (art. 4º e Anexo II da Resolução nº 143 de julho de 2012) são determinadas de acordo com critérios que podem influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente em uma barragem, como mostra a Figura 17. Na Figura 18 tem-se a representação das barragens fiscalizadas pela ANEEL, que são 910 dados atualizados em 28 de novembro de 2020 no SINISB (Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens), quanto a categoria de risco.

Figura 17: Avaliação para matrizes relacionadas à Categoria de Risco.



Fonte: Relatório de classificação de barragens – ciclo 2019 – ANEEL

Figura 18: Categoria de Risco - Barragens Fiscalizadas pela ANEEL



Fonte: SNISB, atualizado em 28/11/2020

Cada critério se decompõe em vários parâmetros e cada parâmetro se divide em níveis com pesos ponderados. Quanto maior a ponderação de um parâmetro, mais crítico ele será. A CRI se obtém somando os pesos de todos os parâmetros para cada critério, e ao final somando os subtotais dos três critérios. As Tabelas de 1 a 3 apresentam uma descrição dos parâmetros e dos respectivos níveis e ponderações para os critérios da CRI (ANA, 2014).

Tabela 1: Descrição/Ponderação de Critérios de Características Técnicas

Características Técnicas (CT)					
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura \leq 15m (0)	Comprimento \leq 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado (CCR) (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m \leq Altura \leq 60m (2)	-	Terra homogênea/ enrocamento/ terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual/ Aluvião (5)	-	-

$$CT = \sum (a \text{ até } f)$$

Fonte: CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Tabela 2: Descrição/Ponderação de Critérios do Estado de Conservação

Estados de Conservação - EC					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Parâmetros (k)	Eclusa (l)
Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrônicos 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 hidroeletrônicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação. (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas. (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Falhas na proteção dos taludes e parâmetros, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletrônicas bem mantidas e funcionando. (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos 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 hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas. (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, 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 atuação corretiva. (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação. (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas. (10)	-	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 da segurança. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas. (4)

$$EC = \sum (g \text{ até } l)$$

Fonte: CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Em relação ao Estado de conservação da barragem são analisadas as seguintes características:

- Confiabilidade das estruturas extravasoras;
- Confiabilidade das estruturas de captação;
- Eclusa;
- Percolação;
- Deformações e recalques;
- Deterioração dos taludes.

Tabela 3: Descrição/Ponderação de Critérios do Plano de Segurança de Barragem

Plano de Segurança de Barragens - PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e “como construído” (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou “como construído” (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexiste documentação do projeto (8)	-	-	-	-
$PS = \sum (n \text{ até } r)$				

Fonte: CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Quanto ao Plano de Segurança da Barragem (PSB) são analisadas as seguintes características:

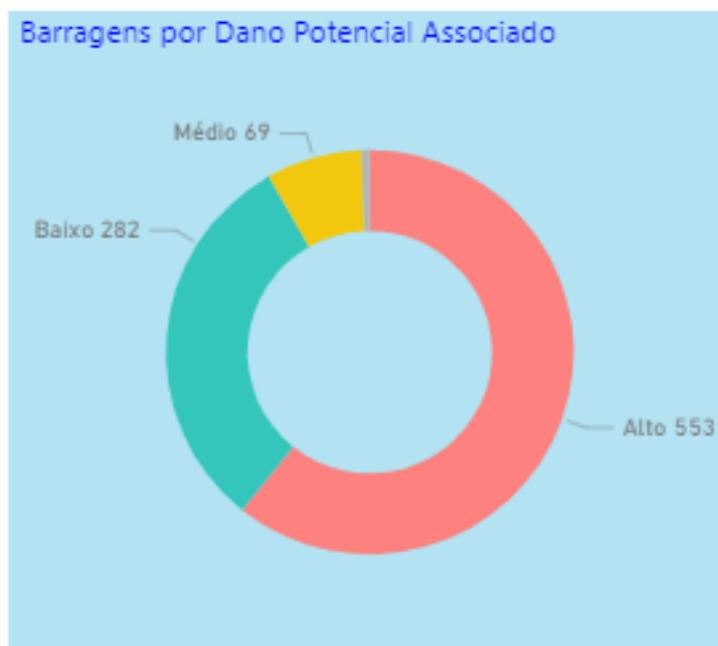
- Existência de documentação de projeto;
- Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;
- Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;
- Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

b) Dano Potencial Associado – DPA

Em relação ao dano potencial associado de uma barragem está relacionado ao impacto que pode ser causado na ocorrência de um rompimento, vazamento, infiltração do solo ou mau funcionamento da estrutura. Com isso, os critérios de inspeção estabelecidos pela resolução para a determinação do DPA que devem ser levados em consideração a jusante são os seguintes:

- Presença de população à jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- Existência de infraestrutura ou serviços;
- Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- Existência de áreas protegidas definidas em legislação;

Figura 19: Dano Potencial Associado - Barragens Fiscalizadas pela ANEEL



Fonte: SNISB, atualizado em 28/11/2020

Na Figura 19 tem-se a representação quanto ao dano potencial associado das usinas de geração hidrelétrica fiscalizadas pela ANEEL no ano de 2020. A Tabela 4 apresenta uma descrição dos parâmetros e dos respectivos níveis e ponderações para os critérios de DPA.

Tabela 4:– Descrição/Ponderação de Critérios para Determinar Dano Potencial

Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado – DPA (Acumulação de Água)			
Volume Total do Reservatório (a)	Potencial para a perda de vidas humanas (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto Socioeconômico (d)
Pequeno ≤ 5 milhões m ³ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área 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)
Médio 5 milhões a 75 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal 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 infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m 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 infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m ³ (5)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portando, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

$$DPA = \sum (a \text{ até } d)$$

Fonte: CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Tabela 5: Cálculo da Categoria de Risco

Critérios da Barragem que Afetam a Possibilidade de um Acidente	Pontos
Características Técnicas (CT)	
Estado de Conservação (EC)	
Plano de Segurança de Barragens (PS)	
Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS	

Fo

nte: Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

c) Classificação Final da Barragem

Na tabela 5 tem-se o cálculo para a obtenção da pontuação total da Categoria de Risco (CRI) da barragem, que é obtida pela somatória dos coeficientes das Características Técnicas (CT), Estado de Conservação (EC) da barragem e Plano de Segurança (PSB). A classificação é dada a partir da somatória abaixo:

$$\text{CRI} = \text{CT} + \text{EC} + \text{OS} \quad (1)$$

Logo, a classificação da categoria de risco (CRI) da barragem é dada de acordo com a pontuação total:

- **Alto:** quando a pontuação total $\text{CRI} \leq 60$ ou pontuação 8 em qualquer coluna de Estado de Conservação;
- **Médio:** quando a pontuação total $35 \leq \text{CRI} \leq 60$;
- **Baixo:** quando a pontuação total $\text{CRI} \leq 35$.
- $\text{EC} \geq 8$ em qualquer coluna dos critérios do Estado de Conservação (EC) implica automaticamente uma Categoria de Risco Muito Alta, e medidas imediatas devem ser adotadas pelo empreendedor da barragem.

Tabela 6: Dano Potencial Associado (DPA)

Dano Potencial Associado	DPA
Alto	≥ 16
Médio	$10 < \text{DPA} < 16$
Baixo	≤ 10

Fonte: Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Na tabela 6 tem-se a classificação para o Dano Potencial Associado (DPA), que é feita de acordo com a pontuação total.

As combinações dos resultados obtidos em termos de CRI e DPA dão origem à classificação final da barragem, conforme estabelecido em Matriz de Classificação específica proposta pelo CNRH e recepcionada pela REN 696/2015 - ANEEL, de acordo com a Tabela 7. A classificação das barragens quanto a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado, e a correlação dos resultados obtidos pelas somatórias chegam em suas classes, que são A, B e C, como mostra a tabela abaixo contendo a matriz de Classificação presente na *Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)*.

Tabela 7: Matriz de Classificação para Barragens de Usos Múltiplos CNRH,

Categoria de Risco	Dano potencial associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

A classificação de uma barragem está relacionada ao risco operacional e estrutural de acordo com as condições de categoria de risco e dano potencial associado estabelecidos na Resolução Normativa ANEEL nº 696/2015 e requer atualizações periódicas em função de alterações do estado de conservação das barragens ou da ocupação do vale a jusante. De acordo com o relatório de classificação de barragens – ciclo 2019 da ANEEL, tem-se que a Classificação da barragem como:

A – são barragens que apresentam categoria de risco e dano potencial altos e cujas anomalias necessitam intervenção de curto prazo para manutenção das condições de segurança, não significa, necessariamente, casos risco imediato de ruptura.

B – são barragens que apresentam categoria de risco ou dano potencial altos e cujas anomalias, se presentes, devem ser controladas, monitoradas e as intervenções podem ser implementadas ao longo do tempo para manutenção das condições de segurança.

C – são barragens que apresentam categoria de risco e dano potencial médio ou baixo e que não apresentam anomalias e as existentes não comprometem a segurança da barragem.

A classificação de uma barragem é de extrema importância, pois é a base para a definição dos prazos relativos à elaboração do PSB a periodicidade das inspeções de segurança regulares. Com isso, tem um papel fundamental para nortear as ações de monitoramento e manutenção das barragens e fundamentais para garantir satisfatório o nível de segurança. A classificação da barragem em estudo, por meio da matriz de classificação é de classe B, por ter categoria de risco baixo dano potencial alto.

2.7 Plano de Segurança de Barragens (PSB)

O Plano de Segurança de Barragens é um instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens, previsto no Art. 6º, Inciso II, da lei nº 14.066/2020, que é

atribuída a responsabilidade ao empreendedor, sendo a sua implementação obrigatória, com o objetivo de auxiliá-lo na gestão da segurança do empreendimento.

O PSB é composto de documentos com as informações referentes a barragem, Manuais de Operação, Manutenção e Inspeção (OMI) que contêm os planos e procedimentos a serem seguidos e com a regra operacional dos dispositivos de descarga do reservatório, informações de registros e controles de segurança e a Revisão Periódica de Segurança da Barragem, contendo um panorama do estado atual da segurança por meio das inspeções de segurança realizadas e monitoramento, servindo como ferramenta de planejamento de gestão da segurança da barragem, estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem. (ANEEL,2019).

As atividades que compõem o Plano de Segurança de Barragens, que são atribuições dos Empreendedores são:

- Inspeções Regulares (ISR) e Especiais (ISE);
- Plano de Ações de Emergência – PAE;
- Revisão periódica de segurança (RPSB).

O PSB possui prazos limites a serem seguidos pelo empreendedor (tabela 8) para a sua elaboração, que foram estabelecidos pela Resolução Normativa nº 696/2015 que são contados a partir da data da publicação da Resolução.

Tabela 8: Prazos para Elaboração do Plano de Segurança de Barragens

Número de usinas por empreendedor	Prazos para elaboração do Plano de Segurança de barragens	
	Prazos intermediários	Prazo limite
Até 5		até 2 anos
De 6 a 15	7 barragens em até 2 anos	até 3 anos
Mais do que 15	10 barragens em até 3 anos	até 4 anos

Fonte: Resolução Normativa 696/2015

2.8 Tipos De Inspeções De Segurança De Barragens

De acordo com o Art. 8º da Resolução Normativa nº 696/2015 da ANEEL, as inspeções de segurança serão classificadas em regular e especial, onde dividindo-se ainda em informais, formais e periódica, sendo que o Plano de Segurança deverá ser atualizado em decorrência de suas exigências e recomendações.

2.8.1 Inspeção de Segurança Regular

A Inspeção de Segurança Regular, previsto no Art. 9º, Inciso II, da Resolução Normativa nº 696/2015 deve ser realizada por equipe de Segurança de Barragem com a periodicidade de acordo com a Classificação da Barragem, ou seja, conforme sua Categoria de Risco e Dano Potencial Associado e deverão ser realizadas sempre que houver alteração do nível de segurança da barragem. O objetivo para sua realização é de analisar as condições físicas das partes integrantes da barragem, monitorar os problemas detectados nas barragens e a existência de anomalias que afetem sua segurança, sendo de extrema importância para a identificação dos perigos iminentes a estrutura e, com isso poderem ser definidas as ações preventivas ou corretivas necessárias a serem providenciadas pelo empreendedor, sendo de grande relevância identificar os fatores que estão na gênese das anomalias.

A inspeção de segurança regular possui etapas bem definidas para serem executadas de maneira eficiente, que são as etapas a seguir:

- Análise documental, que consiste em analisar todos os documentos e relatórios de inspeções anteriores.
- O planejamento da inspeção;
- A execução da inspeção;
- A avaliação dos resultados obtidos durante a inspeção, por meio de relatórios fotográficos e a elaboração do Relatório de Inspeção Regular, documento que faz parte do PSB.

O atendimento das recomendações do relatório, ou seja, das ações preventivas ou corretivas necessárias para manter a segurança.

Os relatórios de inspeção, segundo o inciso II da Resolução Normativa 696/2015 da ANEEL, devem conter as seguintes informações:

- Identificação do representante legal do empreendedor;
- Identificação do responsável técnico;
- Avaliação da instrumentação disponível na barragem, indicando necessidade de manutenção, reparo ou aquisição de equipamentos;
- Avaliação de anomalias que acarretem em mau funcionamento, em indícios de deterioração ou em defeitos construtivos da barragem;

- Comparativo com inspeção de segurança regular anterior;
- Diagnóstico do nível de segurança da barragem;
- Indicação de medidas necessárias à garantia da segurança da barragem.

O diagnóstico do nível de segurança da barragem deve ser fornecido pelo engenheiro responsável técnico pela segurança da barragem, com base na inspeção realizada, e com base nas seguintes categorias:

- a) **NORMAL**: quando não houver anomalias ou as que existirem não comprometerem a segurança da barragem, mas que devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;
- b) **ATENÇÃO**: quando as anomalias não comprometerem a segurança da barragem no curto prazo, mas exigirem monitoramento, controle ou reparo ao decurso do tempo;
- c) **ALERTA**: quando as anomalias representem risco à segurança da barragem, exigindo providências para manutenção das condições de segurança;
- d) **EMERGÊNCIA**: quando as anomalias representem risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

2.8.2 Inspeções de Rotina ou Informais

As inspeções de rotina ou informais são aquelas executadas por equipes qualificadas em segurança de barragens, a exemplo dos mantenedores, como parte regular de suas atividades locais de operação e manutenção. A frequência dessas inspeções pode ser semanal ou mensal, vai de acordo com o recomendado no ponto a ser inspecionado, e podendo ser mais reduzida em função de restrições sazonais.

Essas inspeções são essenciais pois o mantenedor qualificado ao longo do dia-a-dia de trabalho pode comunicar a equipe de engenharia eventuais anomalias identificadas, sem que a mesma esteja fisicamente no local, proporcionando tempo de resposta curto em caso de emergências.

2.8.3 Inspeções Periódicas

As inspeções periódicas são atividades que devem realizadas pela equipe técnica do empreendedor, que são os responsáveis pelo gerenciamento da segurança da barragem. As inspeções exigem o conhecimento do empreendimento desde o projeto, dos registros existentes e do histórico de intervenções, que seriam as inspeções

anteriores. Seus respectivos resultados são relatórios, chamados de Relatórios de Inspeção Regular conhecido como ISR e que faz parte da documentação do Plano de Segurança de Barragens (PSB), onde sua periodicidade está prevista na Resolução Normativa da ANEEL nº696/2015 (tabela 9), contendo as observações de campo, as análises realizadas e as ações a serem realizadas.

Tabela 9: Periodicidade de inspeções de segurança

	Classe da Barragem		
	A	B	C
Periodicidade	6 meses	1 ano	2 anos

Fonte: Resolução Normativa nº 696/2015 – ANEEL

2.8.4 Fichas de inspeção

As fichas de inspeção deverão enquadrar todas as partes que compõem uma barragem, sendo ela de terra, de concreto, ou mista, tendo listadas as anomalias encontradas, sua localização e sua situação. De posse dos recursos materiais e logísticos, o responsável por realizar a inspeção deve percorrer a barragem de acordo com o roteiro descrito nas fichas de inspeção, identificando e registrando as anomalias na ficha e por fotografias que irão compor um relatório fotográfico das anomalias encontradas durante a inspeção, que servirão de apoio para a elaboração do ISR. Deve também proceder a uma classificação inicial da magnitude e do nível de perigo da anomalia, em função dos critérios que serão descritos mais adiante.

A inspeção de campo deve contemplar todas as zonas da barragem que integra a inspeção visual realizada, além da leitura da instrumentação instalada, visando a detecção de anomalias para o preenchimento da ficha de inspeção designadamente do talude de montante, a crista, o talude de jusante, as ombreiras e a zona do reservatório. Deve também incluir as estruturas extravasoras, nomeadamente o vertedouro, a tomada de água e a descarga de fundo.

A ANEEL não possui modelo padrão de fichas de inspeção a serem adotadas, sendo responsabilidade dos empreendedores utilizar fichas próprias de inspeção, levando em consideração as particularidades das barragens inspecionadas.

A seguir tem-se o exemplo de modelos de ficha de inspeção para barragens de terra e de concreto (Figuras 20 e 21), adotadas pela ANA – Manual do Empreendedor Volume II, onde para cada estrutura a ser inspecionada terá ficha específica contendo a

localização e as possíveis anomalias que podem vir a ser encontradas no local inspecionado.

Figura 20: Ficha de inspeção de barragem de terra

FICHA DE INSPEÇÃO DE BARRAGEM DE TERRA															
	LOCALIZAÇÃO/ ANOMALIA	SITUAÇÃO										MAGNITUDE			NP
B	BARRAGEM														
B.1	Talude de Montante														
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
3	Fissura/afundamento (face de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
8	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
9	Deslocamento de blocos de rocha pelo efeito de ondas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
Comentários:															

Fonte: Manual do Empreendedor - Guia de Orientação e Formulários Para Inspeção de Segurança de Barragem

Figura 21: Exemplo de ficha de inspeção para barragens de concreto

FICHA DE INSPEÇÃO DE BARRAGEM DE CONCRETO															
	LOCALIZAÇÃO/ ANOMALIA	SITUAÇÃO										MAGNITUDE			NP
B.4	Estrutura Vertente														
1	Fissuras no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
3	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
4	Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
5	Juntas de dilatação danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
6	Sinais de deslocamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
7	Sinais de percolação ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
8	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
9	Vazão nos drenos de controle	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
10	Fissuras (trincas ou rachaduras) nos muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
11	Erosão nos muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
12	Deterioração da superfície do concreto dos muros	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
13	Ocorrência de buracos na soleira	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
14	Presença de entulho na bacia de dissipação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
15	Presença de vegetação na bacia de dissipação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
16	Erosão na base dos canais (área de restituição)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
Comentários:															

Fonte: Manual do Empreendedor - Guia de Orientação e Formulários Para Inspeção de Segurança de Barragem

Nos modelos de fichas de inspeção exemplificadas anteriormente observa-se a adoção do sistema de legendas, onde é indicado à situação da barragem em relação ao item examinado, como por exemplo:

Figura 22: situação da barragem

AU	Anomalia Aumentou: quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com maior intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme percebido pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.
NI	Este item Não foi Inspeccionado: quando um determinado aspecto da barragem que deveria ser examinado, por motivos alheios à pessoa que esteja inspecionando, não o foi, deve haver uma justificativa para a não realização da inspeção.
NA	Este Item Não é Aplicável: o item examinado não é pertinente à barragem inspecionada; por exemplo, os itens da tabela MUROS LATERAIS em uma barragem cujo vertedouro seja escavado em rocha sã e, por isso, delimitado lateralmente por taludes cortados na rocha.
NE	Anomalia Não Existente: quando não existe nenhuma anomalia em relação ao item examinado, ou seja, sob o aspecto em questão, a barragem não apresenta falha ou defeito e não foge às normas.
PV	Anomalia Constatada pela Primeira Vez: quando da visita à barragem, aquela anomalia for constatada pela primeira vez, não havendo indicação de sua ocorrência nas inspeções anteriores.
DS	Anomalia Desapareceu: quando em uma inspeção, uma determinada anomalia verificada na inspeção anterior não mais esteja ocorrendo.
DI	Anomalia Diminuiu: quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com menor intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.
PC	Anomalia Permaneceu Constante: quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com igual intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

Quanto a magnitude da anomalia (Figura 23), a sua definição procura tornar menos subjetiva a avaliação da dimensão do problema ou da falha encontrada. A magnitude das anomalias pode ser classificada em quatro categorias, como por exemplo:

Figura 23: Quando a Magnitude da Anomalia

I	Insignificante: anomalia de pequenas dimensões, sem aparente evolução;
P	Pequena: anomalia de pequena dimensão, com evolução ao longo do tempo;
M	Média: anomalia de média dimensão, sem aparente evolução;
G	Grande: anomalia de média dimensão, com evidente evolução, ou anomalia de grande dimensão.

Fonte: Manual do Empreendedor Volume II - Guia de Orientação e Formulários Para Inspeção de Segurança de Barragem

Já em relação ao nível de perigo (Figura 24), com esta informação, procura-se quantificá-lo em função da anomalia e indicar a agilidade com que ela deve ser corrigida.

Figura 24: Nível de perigo

0	Nenhum: anomalia que não compromete a segurança da barragem, mas pode ser entendida como descaso e má conservação;
1	Atenção: anomalia que não compromete a segurança da barragem em curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo;
2	Alerta: anomalia com risco para a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema;
3	Emergência: anomalia com risco de ruptura em curto prazo, exigindo ativação do Plano de Ação de Emergência (PAE).

Fonte: Manual do Empreendedor Volume II - Guia de Orientação e Formulários Para Inspeção de Segurança de Barragem

2.9 Inspeção de Segurança Especial

A inspeção de segurança especial visa a manter ou restabelecer o nível de segurança da barragem à categoria normal e deverá ser realizada mediante constituição

de equipe multidisciplinar de especialistas, substituindo a à Inspeção de Segurança Regular.

De acordo com a Resolução Normativa da ANEEL nº 696/2015, a inspeção especial deve ser realizada após a ocorrência de evento excepcional (Figura 25), como:

Figura 25: Evento Excepcional pela Resolução Normativa da ANEEL nº 696/ 2015.



Fonte: Autor

2.10 Durabilidade e Vida Útil

As barragens, independente da sua finalidade de uso, da mesma forma que qualquer obra de engenharia, bem projetadas e executadas, necessitam de manutenção preventiva para atingir a vida útil para garantir que a barragem continue trabalhando para o que foi projetada. NBR 6118/2014 preconiza que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado no projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente a sua vida útil.

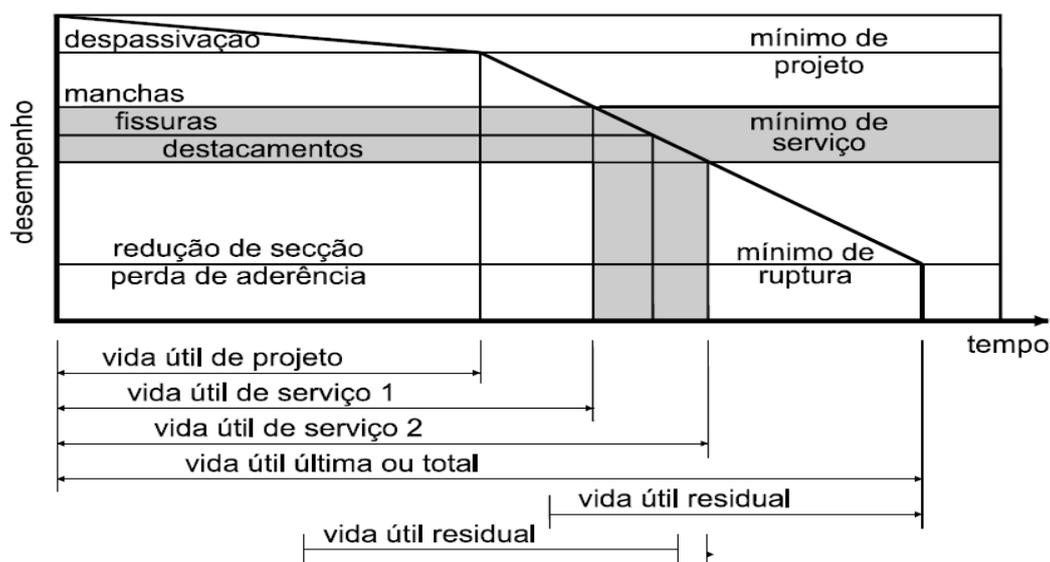
As barragens mesmo as bem projetadas, bem executadas e com a utilização de materiais corretamente especificados, necessitam de manutenção preventiva para atingir a vida útil prevista, garantida por uma durabilidade com um desempenho acima de um limite mínimo aceitável.

De acordo com a NBR 15.575, vida útil é o período de tempo em que os elementos e componentes se prestam às atividades as quais foram projetados e construídos, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no Manual de Uso, Operação e Manutenção.

No caso das barragens hidrelétricas, esse período referente a vida útil, é usualmente considerado na ordem de 50 anos (SANCHES, 2001). Porém, isso não significa que a estrutura já não possa mais estar em uso após esse período, não significa que o empreendimento deva ser desativado. Por isso a importância das manutenções preventivas e corretivas, da operação adequada, das inspeções de segurança e da própria segurança de barragens.

Helene (1997) apresenta a definição de vida útil que pode ser dividida de três maneiras: Vida útil de projeto, vida útil de serviço ou de utilização e vida útil total, como pode ser observado na Figura 26:

Figura 26: Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência ao fenômeno de corrosão das armaduras.



Fonte: Paulo Helene (1997)

- A **vida útil de projeto** é o período de iniciação, o período de tempo que vai até a despassivação da armadura, normalmente o tempo necessário para que a frente de carbonatação ou de cloretos atinja a armadura, mas isso não significa que a partir desse momento necessariamente venha a ter o fenômeno da corrosão, apesar de que em geral ela ocorre (HELENE, 1997).
- **Vida útil de serviço ou utilização:** é o período de tempo que vai até o momento em que aparecem manchas na superfície do concreto, ou quando há o destacamento do concreto de cobertura. Varia de caso a caso, mas quando há queda de pedaços de concreto pode considerar terminada a vida útil do serviço, o que pode vir a

comprometer a funcionalidade ou segurança da estrutura, colocando em risco vidas humanas e a integridade de bens. (HELENE, 1997).

- **Vida última última total:** é o período de tempo que vai até a ruptura, colapso parcial ou total da estrutura, onde há uma redução da seção resistente da armadura e perda da aderência da armadura e do concreto, o que vem ocasionar o colapso da estrutura.
- **Vida útil residual:** é o período que a estrutura ainda será capaz de desempenhar suas funções, contando após a realização de uma vistoria (que pode ser realizada em qualquer momento da vida em uso da estrutura). Com isso, como observado na Figura, o autor divide em três etapas: a primeira que vai até a despassivação da armadura, a segunda que vai até o aparecimento de manchas, fissuras ou destacamento do concreto e por último a terceira que é contada até a perda significativa da capacidade resistente do componente estrutural.

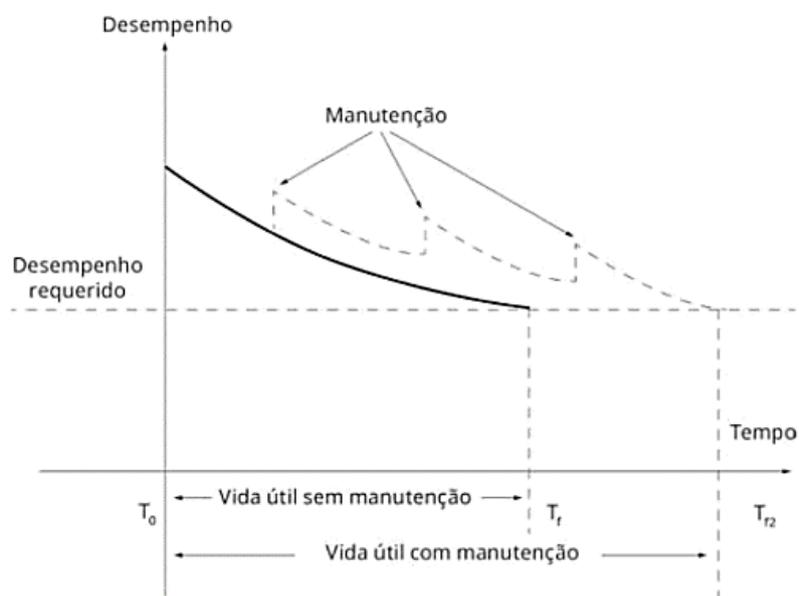
2.11 Manutenção

BOLINA et al. (2019) caracterizam que o acompanhamento, do empreendimento construído, se faz necessário para observar seu “funcionamento” quando em uso. E esse acompanhamento consiste na atividade de manutenção para o acompanhar o desempenho do sistema construtivo ao longo da sua vida útil, o que evidencia a necessidade ou não de adotar medidas que promovam correções ou substituição dos elementos e sistemas.

A prática das atividades de manutenção possui uma influência significativa na vida útil de uma edificação, pois uma construção terá a capacidade de atender o período de vida útil adotado em projeto se for realizado uma sequência de manutenções durante sua fase de uso, visando evitar ou até mesmo corrigir qualquer perda de desempenho que venha a ser apresentado, que comprometa a sua integridade. De acordo com BOLINA et al. (2019), a cada ação de manutenção praticada corretamente, significa uma recuperação do desempenho que é aplicada ao sistema, Figura 27.

Para barragens, a manutenção desempenha um papel importante na segurança da estrutura, pois algumas deteriorações graves podem levar a acidentes ou mesmo acidentes. A manutenção correta da estrutura pode reduzir o custo de reparo e restauração. A manutenção pode ser dividida em: preditiva, preventiva e corretiva.

Figura 27: Desempenho de uma construção ao longo do tempo



Fonte: BOLINA et al. (2019)

2.11.1 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva toma como base o acompanhamento dos parâmetros ou do desempenho de um elemento ou sistema que recebe monitoramento contínuo. Esse tipo de manutenção é elaborado de forma sistematizada, exigindo uma análise minuciosa dos resultados coletados ao longo do tempo, para a tomada de decisão. BOLINA et al. (2019) caracterizam que a manutenção preditiva é mais fundamentada do que preventiva, por envolver dados e índices comparativos, onde os equipamentos e o sistema analisado devem permitir algum tipo de monitoramento e as falhas devem ser oriundas de causas também que possam ser monitoradas e que por meio desse monitoramento, a decisão de intervenção é tomada quando o grau de deterioração ou agressão se aproxima ou atinge um limite já definido.

Para barragens, a manutenção preditiva é geralmente realizada por meio da análise dos resultados dos equipamentos de auscultação, muitas vezes após as inspeções serem realizadas e avaliadas.

2.11.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva tem o objetivo de evitar problemas que possam afetar a funcionalidade dos componentes ou equipamentos. De acordo com Gomide (2006),

manutenções preventivas são atividades programadas com datas preestabelecidas obedecendo a critérios técnicos e administrativos, baseados em dados estatísticos ou do próprio histórico da manutenção realizada. É o que se caracteriza seguir as recomendações da Lei 14.066/2020, da Resolução Normativa 696/2015 da ANEEL onde são determinadas a obrigatoriedade da realização das inspeções de segurança e sua periodicidade a serem cumpridas.

No caso de barragens, a manutenção preventiva é baseada nas informações das inspeções visuais periódicas e se refere às atividades de manutenção realizadas periodicamente.

A exemplo de aplicação desse tipo de manutenção, tem-se a renovação de uma pintura e foi como aconteceu recentemente, em 14 de abril de 2021, em que a Usina de Itaipu está passando por um processo de manutenção em seus condutos forçados de 13 unidades geradoras, como mostra a Figura 28. A manutenção em questão consiste na recuperação da pintura dos condutos, para impedir o avanço da corrosão, manter a integridade estrutural e prolongar a vida útil do equipamento. Mesmo sendo estruturas bem cuidadas, submetidas a limpezas recorrentes, elas não escaparam da ação do tempo, expostos ao sol e a outras intempéries.

Figura 28: Condutos Forçados de Itaipu em Manutenção

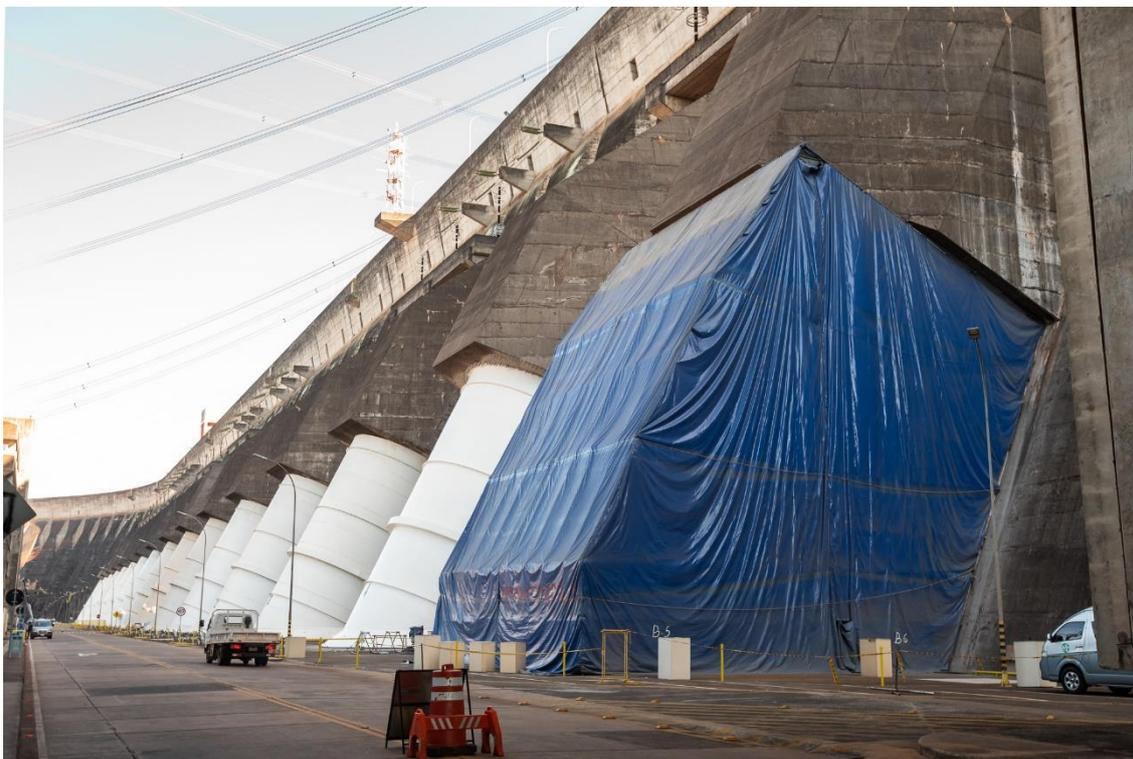


Foto: Rubens Fraulini/Itaipu Binacional

2.11.3 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, é uma intervenção que visa corrigir um elemento ou sistema que foi detectado falhas ou um desempenho menor do que o esperado. Observada essas deficiências, busca-se realizar reparos ou até mesmo a substituição do elemento que apresenta deficiência, com o intuito de restabelecer a funcionalidade e a segurança que foi determinada em projeto, BOLINA et al. (2019).

A exemplo da necessidade desse tipo de intervenção em barragens, tem-se a presença de infiltrações em galerias de drenagem, devido a presença de fissuras na estrutura de concreto, onde faz-se necessário planejar campanhas de injeções para a recuperação da infiltração.

2.11.4 Programa de Manutenção

Relacionado a barragens, o programa de manutenção consiste no Manual de Manutenção, Operação e Inspeção, também conhecido como Manual OMI, elaborado pelo empreendedor, que é citado na Lei 14.066/2020 da seguinte maneira no artigo 8º, parágrafo IV - manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem, que faz parte das informações que devem conter no Plano de Segurança de Barragens (PSB). Esse manual contempla os planos de manutenção das estruturas civis e dos equipamentos para que sejam mantidos em condições seguras e operacionais.

2.12 Rupturas De Barragens

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens de 2019, 70 % das rupturas de barragens ocorrem nos primeiros 10 anos de vida da barragem, como ocorreu por exemplo em 21 de agosto de 2020 com o rompimento de uma tubulação da barragem de Jati, no interior do Ceará, que recebe a água de transposição do Rio São Francisco, onde a ruptura ocorreu um dia após a comporta do reservatório ser acionada para liberar as águas do São Francisco para abastecer o Estado.

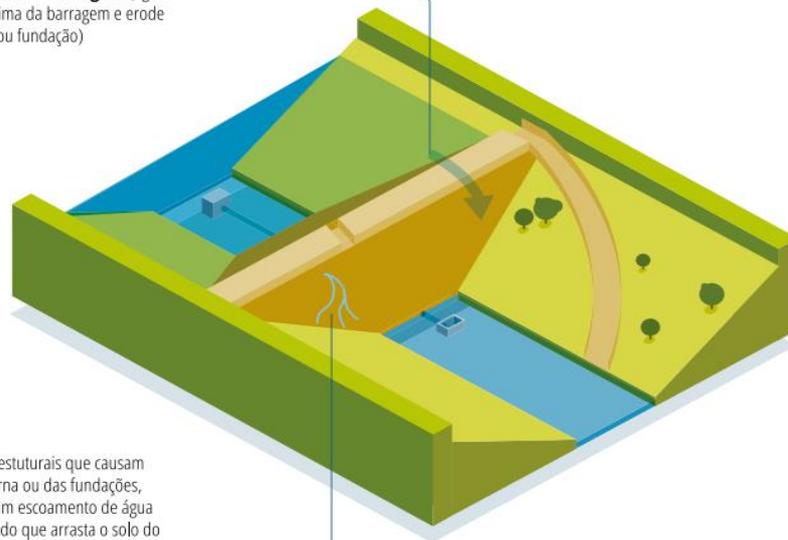
Os principais fatores que estão associados às causas de rompimento de barragens (Figura 29) são problemas de fundação, capacidade inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes, erosões, deficiência no controle e inspeção pós-operação e

ausência ou inadequação de procedimentos de segurança ao longo da vida útil da estrutura (LIMA E SILVA,2019). A Figura 30, que foi extraída do Relatório de Segurança de Barragens de 2017, exemplifica a Distribuição espacial das barragens em geral com alto risco de rompimento e alto dano potencial no Brasil.

Figura 29: Principais causas de acidentes em barragens

As principais causas de acidentes são:

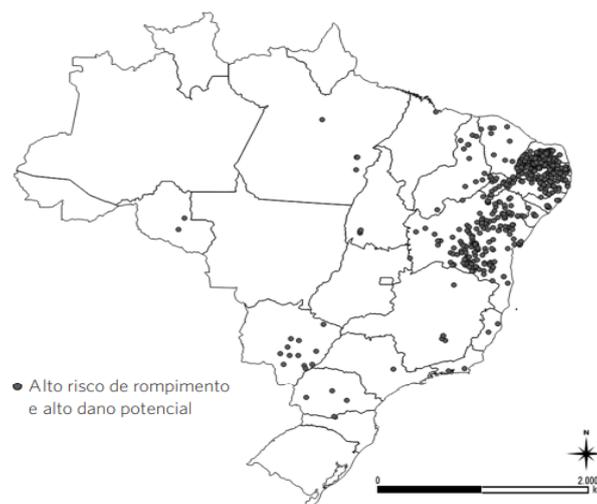
Insuficiente capacidade dos órgãos de descarga (vertedouro e descarregador de fundo), causando **galgamento da barragem** (água passa por cima da barragem e erode o talude e/ou fundação)



Problemas estruturais que causam erosão interna ou das fundações, formando um escoamento de água descontrolado que arrasta o solo do interior do aterro ou fundação, também conhecido como **"piping"**

Fonte: Relatório de Segurança de Barragens (RPS), 2019

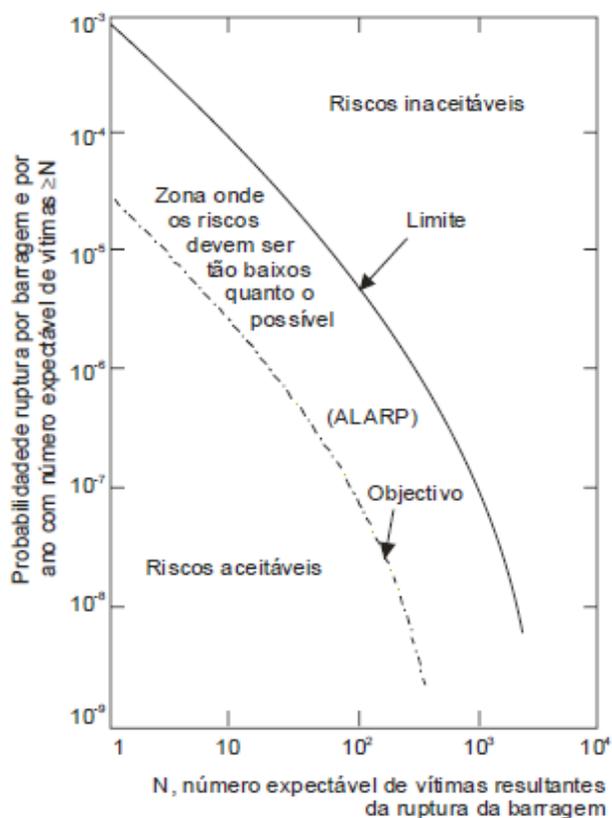
Figura 30: Distribuição espacial das barragens com alto risco de rompimento e alto dano potencial, no Brasil, 2017



Fonte: Elaborado a partir de dados do SNISB/ANA

Quando se avalia o tema de ruptura de barragens, é necessário levar em consideração que o risco é o dano x probabilidade daquele evento ocorrer. Assim, verifica-se que barragens sem danos potenciais à jusante apresentam maior probabilidade de ruptura, ainda que este valor seja muito baixo (1 a cada 1.000 barragens – limite aceitável), como mostra a Figura 31. Nesta situação, e de acordo com o critério de risco social aceitável de 10^{-4} vidas por ano e a probabilidade de rotura de uma barragem deveria ser no máximo igual a 10^{-5} , de acordo com Viseu, 2013.

Figura 31: Risco aceitável pela sociedade na eventualidade da rotura de uma barragem.

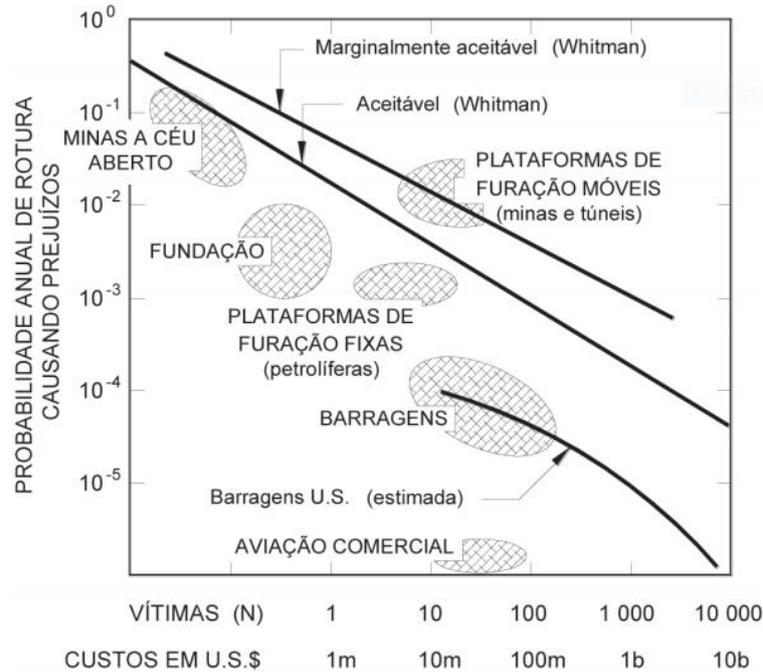


Fonte: Viseu, 2013.

Para as barragens fiscalizadas pela ANEEL, de acordo com o Relatório de Segurança de Barragens de 2019, corresponde à 884 barragens com a finalidade de geração de energia hidrelétrica detentoras de outorga da ANEEL e submetidas à PNSB, houve significativos avanços em termos da elaboração de quase todos os volumes do PSB (o que inclui as inspeções de segurança). Tal fato está relacionado a questão de que barragens hidrelétricas, que culturalmente apresentam maiores investimentos em manutenção, visto que as mesmas representam os ativos da empresa (geração de receita)

que busca então zelar o máximo possível pela sua segurança e conservação, o risco de ruptura é ainda menor.

Figura 32: Riscos associados a obras de engenharia durante o período de construção.



Fonte: Viseu, 2013.

A Figura 31 apresenta um exemplo que ilustra os riscos associados a obras de engenharia durante o período de construção. Nela é contemplado o risco associado a algumas obras de engenharia, durante o período de construção, com a sinalização do número de vítimas e dos prejuízos econômicos, e a figura considera apenas as consequências quantificáveis (tangíveis) resultantes dos danos materiais nas propriedades, nos edifícios, nas atividades econômicas (agrícolas, industriais, comerciais) e nas infraestruturas (no caso presente, em especial, a própria barragem), afirma Viseu, 2013.

Em relação a Figura 32, faz-se notar que o risco aceitável de uma ruptura em barragem é maior que o risco aceitável de uma queda de avião, porque a probabilidade de causar uma ruptura de barragem é maior 10 vezes do que de um avião cair, e o número de vítimas e o custo dessa ação são semelhantes. Ou seja, é mais provável que tenhamos acidentes de barragens do que caíam aviões comerciais, e isso significa que, ainda é uma probabilidade muito baixa, 10⁻⁴ a probabilidade aceita. Acidentes com aviões não ocorrem com frequência, o mesmo acontece com barragens, os acidentes não

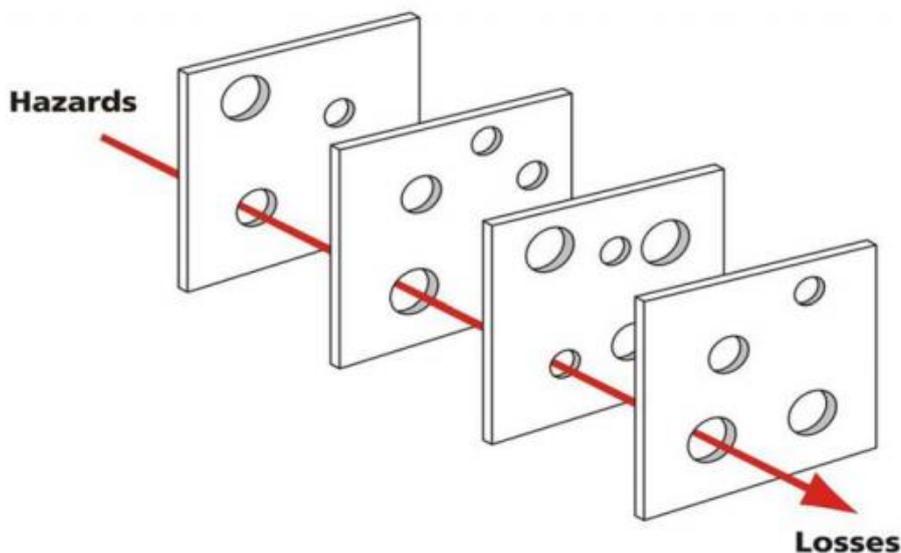
ocorrem com frequência, eles realmente podem acontecer, mas o risco é realmente muito baixo de acontecer, se tomadas as ações necessárias que mantenham a integridade da estrutura.

Identificados os riscos das barragens, deve-se buscar a identificação das anomalias que possam indicar sinais de que o modo de falha está prestes a acontecer. Destaca-se que uma ruptura de barragem não ocorre por eventos isolados, e sim por uma série de eventos, que presentes concomitantemente reduzem o Fator de Segurança da barragem abaixo da unidade ($FS < 1$).

Tal raciocínio pode ser explicado por meio do modelo do “Queijo Suíço” (Figura 33), desenvolvido por James Reason em 1990 após estudar a causa de vários desastres, e que de acordo com Coates (2019) também é conhecido como modelo de influência do ato cumulativo, onde pequenas falhas podem levar a grandes eventos. Sendo assim, reconhecendo que o risco nunca é zero, o modelo representa um sistema de defesa contra desastres como funciona uma fortaleza completamente sólida: um queijo com vários buracos. Segundo o autor do modelo, James Reason, esses buracos aparecem inevitavelmente em qualquer “camada” de proteção, contudo, enquanto os “buracos” não se alinharem, o desastre não acontecerá.

O método do queijo suíço é uma abordagem para entender como acontecem as falhas, tornando possível melhorar a análise de riscos e aprendizados para os responsáveis, no caso em questão, por barragens. Com isso, é um modelo que se enquadra muito bem para análises, gerenciamento e prevenção de riscos.

Figura 33: - Modelo do queijo suíço



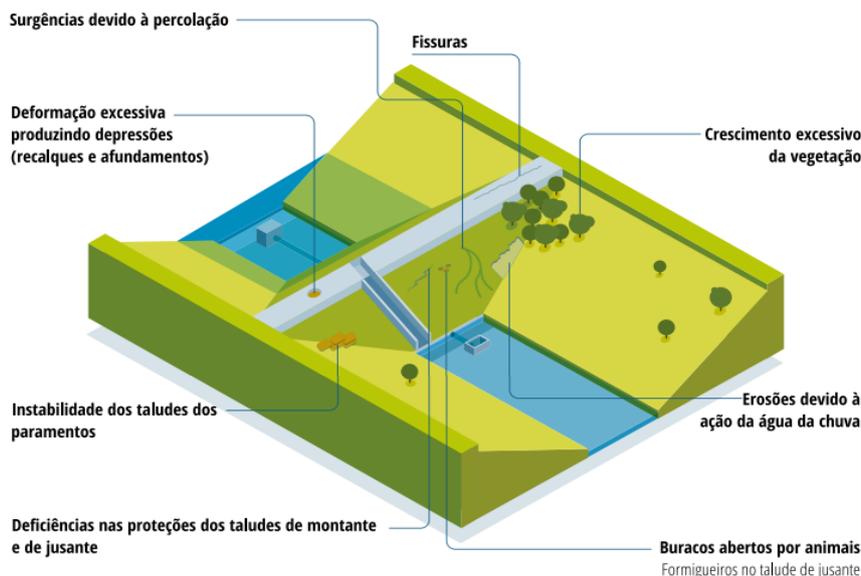
2.13 Identificação Das Principais Anomalias Em Barragens

Quaisquer defeitos que possam vir a afetar a segurança de uma barragem a curto prazo são considerados anomalias. No dia-a-dia durante as atividades de rotina em um dia normal de trabalho, anomalias podem ser encontradas (MIRANDA, 2016). Com isso, dá-se a grande importância de serem registradas, e nas anotações devem conter os detalhes referentes a localização da anomalia, tamanho, quantidade e qualquer outro fator que possa ajudar a descrever as condições da barragem.

O Relatório de Segurança de Barragens (RSB) de 2019 aborda os principais tipos de anomalias em barragens de terra e de concreto, como mostra a Figura 34. Os tipos de anomalias mais frequentes em barragens são:

- Fissuras;
- Surgências;
- Instabilidade de taludes;
- Depressões – recalques localizados, afundamentos;
- Proteção deficiente de taludes;
- Ocorrência de árvores e arbustos no talude;
- Tocas de animais.

Figura 34: Representação Esquemática das Principais Anomalias



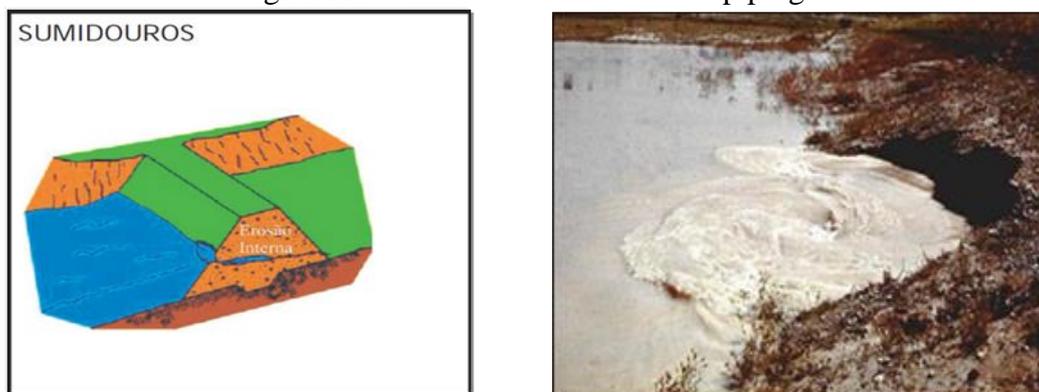
Fonte: Relatório de Segurança de Barragens (RPS), 2020

2.14 Principais Anomalias em Barragens de Terra

2.14.1 Talude de Montante

A. Erosão

Figura 35: Erosão interna de talude – piping

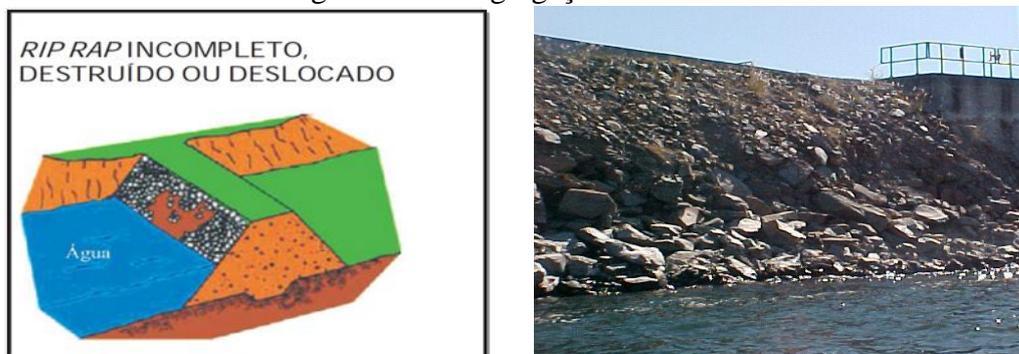


Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

Erosão interna ou piping (Figura 35) do maciço ou fundação da barragem pode originar um sumidouro, ou seja, o desabamento de uma caverna criada pela erosão. Um indicativo é a presença de água barrenta na saída a jusante, que seria uma consequência do desenvolvimento de erosão na barragem. Nesse caso, devem ser inspecionadas imediatamente outras partes da barragem em busca de infiltrações por um engenheiro qualificado para orientar as ações necessárias a serem tomadas para que a barragem venha a retornar ao nível normal de segurança.

2.14.2 Desagregação do Enrocamento

Figura 36: Desagregação do enrocamento



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

Figura 37: Segregação do rip-rap do talude montante e o crescimento de pequenos arbustos



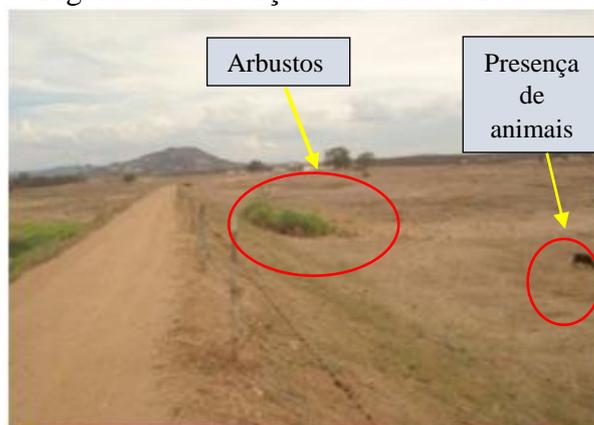
Fonte: TEIXEIRA, Sidnei Helder Cardoso et al. 2017

Nas Figuras de 36 e 37, tem-se exemplificado o processo de segregação do *rip-rap*, que tem a função de proteger o talude do choque das ondas do reservatório, que podem provocar o arraste dos materiais componentes do *rip-rap*, deixando a face do barramento a jusante exposta e sujeita a ações erosivas. Durante as inspeções rotineiras realizadas pelos mantenedores da usina podem ser identificadas o início dessa desagregação do *rip-rap*, ou durante as inspeções formais realizadas pela equipe de engenharia que poderá sugerir com base nos conhecimentos técnicos as atividades necessárias para reestabelecer o talude para a sua condição normal.

2.15 Talude de Jusante

2.15.1 Presença de Vegetação

Figura 38: Presença de árvores e arbustos



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

A presença de árvores e arbustos (Figura 38), permitem que raízes profundas penetrem no maciço e se decompõem quando a vegetação morre, criando caminhos preferenciais podem dar origem a caminhos no qual a água pode vir a percolar e os arbustos podem dificultar a realização das inspeções visuais, abrigar roedores, ou até mesmo animais peçonhentos. Com isso, é uma situação que pode vir a interferir nos resultados das inspeções de rotina realizadas pela equipe de manutenção e das inspeções periódicas que são realizadas pela equipe de engenharia do empreendimento, dificultando a inspeção visual de todo o maciço e possibilitando o desenvolvimento de problemas que somente serão detectados quando a segurança da barragem já estiver ameaçada.

2.15.2 Surgências

Figura 39: Surgências - mudança acentuada na vegetação



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

O aparecimento, no paramento de jusante ou a jusante do paramento, de zonas saturadas ou de variações na vegetação (Figura 39), pode indicar a presença de surgências (Figura 40) que podem estar relacionadas a existência de uma percolação não controlada pelos dispositivos de filtragem e drenagem, situação que requer atenção e a adoção do aumento da frequência das inspeções para acompanhar a percolação, cujas consequências para a segurança da obra é de suma importância analisar e monitorar. Nessa situação, faz-se necessário a realização de inspeções de segurança especial, para restabelecer o nível de segurança da barragem à categoria normal, e deverá ser realizada mediante constituição de equipe multidisciplinar de especialistas, substituindo à Inspeção de Segurança Regular.

Figura 40: Surgência no talude de jusante



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

Na inspeção visual devem ser identificados os locais de saída da água conhecidas como surgências, com ou sem pressão e surgências com ou sem carreamento) em resultado da percolação através do corpo da barragem e da sua fundação.

No caso de detecção de Surgências (Figura 40 e 41), devem adotar-se os seguintes procedimentos:

- localização de todos os pontos de saída;
- medição das respectivas vazões;
- avaliação da limpidez da água percolada;
- registro do nível da água no reservatório no decurso da observação;
- verificação das condições recentes de precipitação.

Esses procedimentos têm o intuito de acompanhar o comportamento da estrutura e estudar quais ações serão necessárias para a intervenção.

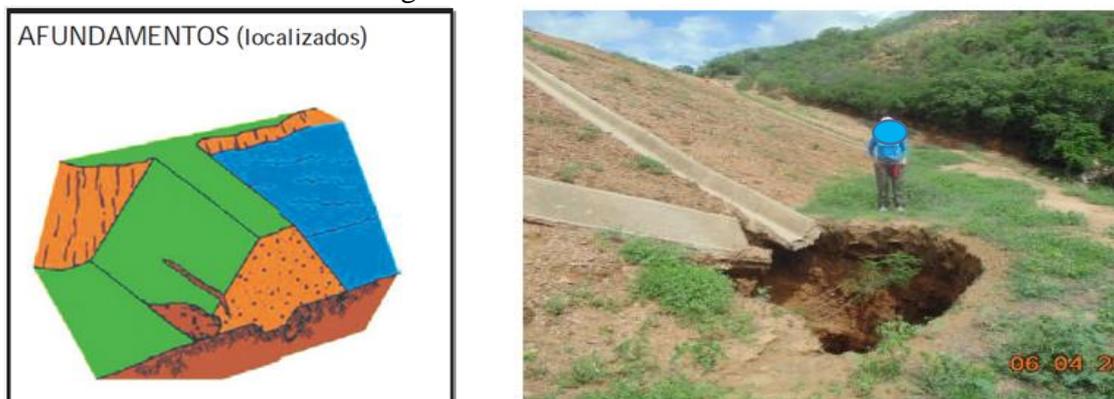
Figura 41: surgência na base do aterro a jusante



Fonte: FEMA – Agência Federal de Gerenciamento de Emergências (EUA) – Guia de Bolso, 2016

2.15.3 Afundamentos

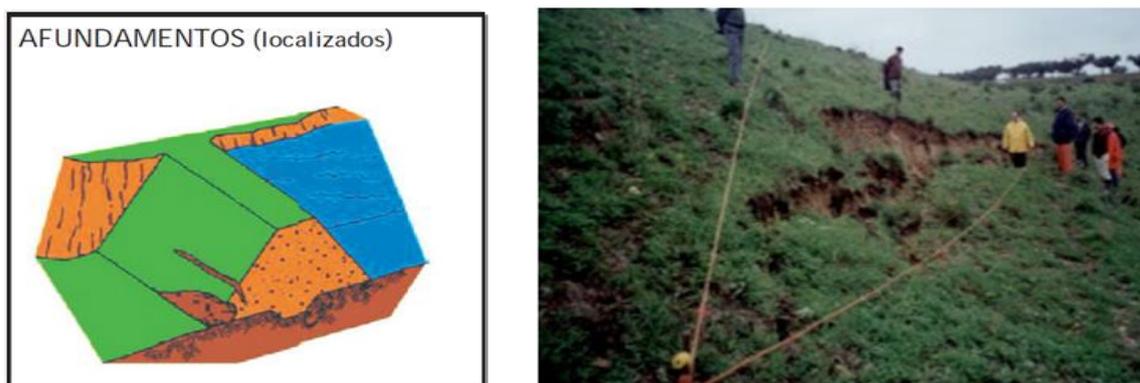
Figura 42: Afundamentos



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

O processo de erosão no talude de jusante pode vir a expor zonas impermeáveis à erosão e levar novos afundamentos (Figuras 42 e 43).

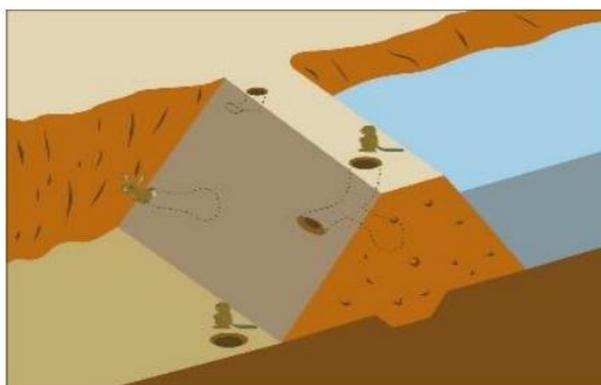
Figura 43: Deformação de Talude a Jusante



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

2.15.4 Atividades de Animais e Insetos

Figura 44: Atividades de animais e insetos



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

Figura 45: Atividades de animais e insetos – Cupinzeiro



Fonte: Banco de imagens do Autor

Figura 46: Toca de animal



Fonte: Banco de imagens ANA

A presença de animais e insetos (Figura 44) próximo ao reservatório, como por exemplo formigueiros e cupinzeiros (Figuras 45 e 46), podem originar buracos, túneis no barramento criando passagem da água superficial para dentro do maciço e com isso permitindo a saturação de áreas adjacentes, podendo causar erosões localizadas. E os túneis cavados por animais, atravessarem maior parte do maciço, podendo levar a ruptura da barragem. Com isso, durante as inspeções devem ser analisadas se há a presença de tocas de animais, cupinzeiros e de outros insetos, para controlar a população de animais e insetos para poder prevenir danos maiores.

2.16 Principais Anomalias em Barragens de Concreto

Muitos empreendimentos, entre eles inúmeras barragens foram construídas em um período em que a falta de cuidados na confecção das estruturas e falhas na manutenção podem contribuir para o aumento do número de manifestações patológicas nas suas estruturas, que podem vir a surgir em qualquer uma das etapas da construção (planejamento/projeto, materiais, execução e utilização).

As estruturas de concreto que compõe uma usina hidrelétrica estão sujeitas a atuação de agentes agressivos, pelo desenvolvimento de esforços externos/internos não previstos em projetos ou pelo emprego de processos não adequados nas etapas de execução do projeto, visto que a maioria das estruturas irá desempenhar suas funções em condições submersas (ZUCH, 2008)

2.16.1 Erosão

Estruturas em contato com fluido em movimento, ar ou água, contendo partículas em suspensão, atuando sobre superfícies de concreto, as ações de colisão, escorregamento ou rolagem das partículas, podendo via a provocar um desgaste superficial do concreto (NORMA DNIT 090/2006).

2.16.2 Abrasão

Ocorre a partir do momento em que as partículas transportadas pela água entram em choque com a superfície da estrutura de concreto, ocorrendo uma perda gradual da argamassa superficial (Figuras 47 e 48). Com isso pode vir a contribuir para o surgimento de outros tipos de manifestações patológicas pois as superfícies do concreto tornam-se mais porosas, facilitando a percolação de água e agentes nocivos à estrutura.

Brandão (1998) aborda que a resistência do concreto à abrasão é definida como a capacidade de sua camada superficial resistir ao desgaste por atrito, arranhamento ou percussão, onde o desgaste da superfície do concreto pode ser causado por tráfego pesado, impacto, materiais de enchimento e partículas sólidas transportadas pelo vento ou pela água, fenômenos estes que podem vir a ocorrer por exemplo em pavimentos, canais, pilares de ponte, barragens.

Figura 47: Fissuras e Abrasão na crista da barragem



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

Figura 48: Efeitos da abrasão no tubo de sucção da UHE de Itaipu



Fonte: ZURCH (2008)

Um fator relevante para esse tipo de manifestação patológica é a qualidade do concreto, no caso de águas correntes, pois a velocidade desse tipo de erosão depende da qualidade do material empregado, forma, tamanho e dureza das partículas transportadas e sua velocidade, pois a partir do momento em que a pasta de cimento é desgastada e os agregados ficam expostos, a resistência passa a ser função da aderência entre a pasta e

os agregados e sua dureza, sendo que estes são mais resistentes à abrasão do que a pasta de cimento.

2.16.3 Cavitação

A cavitação é um fenômeno causado pela vaporização de um líquido pela redução da pressão durante o escoamento. À medida que as bolhas de vapor que fluem na água entram em uma região de pressão mais elevada, elas implodem com grande impacto, pela entrada de água a alta velocidade nos espaços antes ocupados pelo vapor, causando severas erosões localizadas, que nada mais é que o efeito da cavitação, como evidenciado na Figura 49, que pode ser observado que a cavitação provoca um desgaste na superfície do concreto gerando uma forma irregular e com aspecto corroído (DNIT 090/2006 –ES).

Figura 49: Cavitação no canal extravasor da Barragem Oroville – Califórnia



Fonte: EngenhariaCivil.com

Brandão (1998) afirma que a queda de pressão para valores abaixo da pressão atmosférica pode ser causada por sifonamento, que é o efeito de inércia no interior de uma curva ou presença de irregularidades na superfície, efeito este que pode ocasionar um deslocamento do fluxo da água da superfície de contato, dando origem a cavitação.

Pereira (2003) aponta que os problemas com cavitação nos órgãos de descarga das obras hidráulicas ocorrem, na grande maioria, quando o escoamento se processa com velocidades elevadas, superiores a 30 – 35 m/s. Tais problemas surgidos quando as velocidades do escoamento são mais baixas são provocadas ou pelo acabamento imperfeito das superfícies ou por turbulência local devido a ranhuras de comportas, pilares, blocos de amortecimento (dissipação de energia).

Segundo Zuch (2008) uma das melhores maneiras de evitar a ocorrência do efeito de cavitação na estrutura de concreto de uma barragem é por meio de uma previsão da sua ocorrência, ainda na fase de projeto e nos procedimentos da construção, para poder vir a produzir um fluxo mais ameno e uniforme na estrutura.

2.16.4 Trincas e Fissuras

Zuch (2008) aborda que o projeto de uma estrutura civil é muito cauteloso e que quando calculado corretamente, tem uma reserva de segurança e que pequenas alterações na distribuição de cargas produzidas por fatores internos ou externos não chegam a comprometer a segurança do empreendimento. Porém, podem vir a causar o aparecimento de trincas e fissuras que comprometem a durabilidade da estrutura e pode vir a afetar a estanqueidade de estruturas de barragens.

As principais causas de fissuras em barragens são: devido à retração plástica, ataque de sulfatos, reações álcali-agregado e similares, corrosão da armadura, assentamento do concreto, erros de acabamento, congelamento e degelo, concretagem em rampa, movimentos das formas, assentamento das fundações, fissuras geradas por carregamentos excessivos ou induzidas dinamicamente, alterações volumétricas geradas pelos fenômenos de origem térmica no concreto (GODKE, 2014).

2.16.5 Reação Álcali Agregado (RAA)

Reação Álcali agregado O primeiro estudo brasileiro publicado dentro da literatura sobre a reação álcaliagregado deu-se em 1963 quando foi investigado os agregados disponíveis para a construção da barragem de Jupia, no estado de São Paulo. No Brasil, foram registrados mais de 20 casos de barragens afetadas por esta manifestação patológica como a barragem de Furnas (Estado de Minas Gerais) e a barragem Apolônio Sales na Bahia, por exemplo (SILVA, 2007).

Trindade (2015) aborda que a reação álcali- agregado é uma manifestação patológica que tem como origem a reação que se dá entre componentes dos agregados e componentes do cimento e que visualmente é identificada por fissuras na superfície do concreto, geralmente em forma de mosaico.

Silva (2007) aponta que a reação álcali – Agregado (RAA) pode ser definida como uma reação química que ocorre dentro da massa do concreto, entre alguns constituintes mineralógicos do agregado e os hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Partindo desse pressuposto, tais reações ocorrem quando da dissolução dos álcalis na própria água de amassamento do concreto e em seguida na água contida nos poros do concreto, sendo assim a solução alcalina reagirá com os agregados dando início à reação álcali-agregado.

Como resultado da reação álcali-agregado, são formados produtos que, na presença de umidade, em sua maioria, são capazes de expandir e causar tensões internas, fissurações e deslocamentos (Figura 50), podendo levar a um comprometimento da durabilidade. Com isso, para que ocorram reações químicas deletérias, há a necessidade da presença de umidade e água (TOMAZELI, 2017). Em função dos tipos de minerais presentes nos agregados, a RAA pode ser classificada em: reação álcali-sílica e álcali-carbonato.

Figura 50: Fissuras secundárias impostas pela restrição à expansão, na guia da comporta da tomada d'água da UHE PA - I



Fonte: SILVA (2007)

1) Reação Álcali-Sílica

De acordo com Couto (2008), a reação álcali-sílica é uma reação química entre certas formas de sílica presente nos agregados e os hidróxidos alcalinos (NaOH e KOH) das pastas de cimento hidratadas. No entanto, quando a sílica reage com estes hidróxidos, a reação inicia-se pelo ataque dos íons hidroxilas presentes no meio, sendo logo depois incorporados à estrutura da sílica os íons alcalinos e íons de cálcio, formando um gel expansivo, que em contato com a umidade vem a ser o responsável por muitos danos em estruturas de concreto, principalmente em obras hidráulicas.

2) Reação álcali-carbonato

É uma reação que até meados de 1935 não havia registros, sendo que em 1957 no Canadá essa manifestação patológica foi diagnosticada, baseadas em investigações de expansão, fissuramento e soerguimento de concretos (SILVEIRA, 2006). Couto (2008) relata que a RAC (reação álcali-carbonato) é uma interação química entre álcalis e as dolomitas presentes nos calcários, promovendo a formação da brucita, processo conhecido como “desdolomitização”, que gera fissurações e o enfraquecimento da zona de transição.

O primeiro estudo brasileiro publicado dentro da literatura sobre a reação álcali-agregado deu-se em 1963 quando foi investigado os agregados disponíveis para a construção da barragem de Jupuíá, no estado de São Paulo. No Brasil, foram registrados mais de 20 casos de barragens afetadas por esta manifestação patológica como a barragem de Furnas (Estado de Minas Gerais) e a barragem Apolônio Sales na Bahia, por exemplo (SILVA, 2007).

Trindade (2015) aborda que a reação álcali-agregado é uma manifestação patológica que tem como origem a reação que se dá entre componentes dos agregados e componentes do cimento e que visualmente é identificada por fissuras na superfície do concreto, geralmente em forma de mapa (Figuras 51 e 52).

Silva (2007) aponta que a reação álcali – Agregado (RAA) pode ser definida como uma reação química que ocorre dentro da massa do concreto, entre alguns constituintes mineralógicos do agregado e os hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Partindo desse pressuposto, tais reações ocorrem quando da dissolução dos álcalis na própria água de amassamento do concreto e em seguida na água contida nos poros do concreto, sendo assim a solução alcalina reagirá com os agregados dando início à reação álcali-agregado.

Como resultado da reação álcali-agregado, são formados produtos que, na presença de umidade, em sua maioria, são capazes de expandir e causar tensões internas, fissurações e deslocamentos (Figura 49), podendo levar a um comprometimento da durabilidade. Com isso, para que ocorram reações químicas deletérias, há a necessidade da presença de umidade e água (TOMAZELI, 2017). Em função dos tipos de minerais presentes nos agregados, a RAA pode ser classificada em: reação álcali-sílica e álcali-carbonato.

Figura 51: Fissuras tipo mapa



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II

Figura 52: Fissuras (primárias) em forma de mapa no piso da tomada d'água da UHE PA-III



Fonte: SILVA (2007)

Fissuras tipo mapa (Figuras 51 e 52) são fissuras abertas, tipo aleatório, abertas e extensíveis com presença de sílica gel devido à reatividade álcali-agregado, que podem causar a deterioração progressiva (Figura 52) reduzindo a vida útil da barragem. Nesse caso faz-se necessário uma Inspeção Especial, onde um engenheiro qualificado deve imediatamente inspecionar a barragem e orientar as ações a serem tomadas, para a retomada do nível de segurança normal da barragem.

2.16.6 Lixiviação

A lixiviação é um dos mecanismos mais comuns responsáveis pelo envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto. Os sintomas básicos são superfícies arenosas ou agregados expostos sem a presença da pasta de superfície (Figura 53), redução do pH e risco de despassivação da armadura.

A corrosão por lixiviação consiste na dissolução progressiva dos compostos da pasta de cimento endurecido. Compostos facilmente solúveis podem ser lavados do concreto ou da pasta de cimento pelo acesso contínuo da água, verificando-se a perda do material.

Um sintoma desse tipo de deficiência são as eflorescências verificadas na superfície do concreto (manchas brancas pontuais ou lineares) causadas pela lixiviação do hidróxido de cálcio do cimento - Ca(OH)_2 - que se carbonata em contato com o gás carbônico do ar - quando da percolação de água através da massa de concreto pelos poros, fissuras ou juntas de concretagem mal executadas. Se o processo é contínuo, formam-se estalactites e às vezes estalagmites.

Os principais agentes da lixiviação são:

- Substâncias ácidas (por exemplo, ácido sulfúrico, ácido sulfuroso, ácido carbônico, ácido húmico, chuvas ácidas ou águas de condensação de processos industriais);
- Substâncias alcalinas (por exemplo, soda cáustica);
- Águas puras ou pouco salinas (água de chuva, águas subterrâneas de grandes profundidades, águas pantanosas poucos salinas.);
- Fungos e bactérias.

Figura 53: Exemplo de estruturas afetadas pela lixiviação.



Fonte: Capacitação ANA, módulo II.

Figura 54: Eflorescência em galeria de drenagem



Fonte: Capacitação ANA, módulo II

Na Figura 54 tem-se a representação de uma eflorescência, que é o efeito de lixiviação do concreto. A lixiviação é o processo de extração de substância de um sólido através da dissolução em um líquido. No concreto, a passagem da água dissolve e transporta cristais de hidróxido de cálcio e de magnésio, e quando evapora, aparecem cristais dos sais na superfície do concreto, o que é a eflorescência.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho é o método hipotético dedutivo. Este método foi escolhido, pois, segundo Lakatos (2003), toda investigação nasce de um problema teórico prático que dirá o que é relevante ou não a ser observado, e quais os dados que devem ser selecionados.

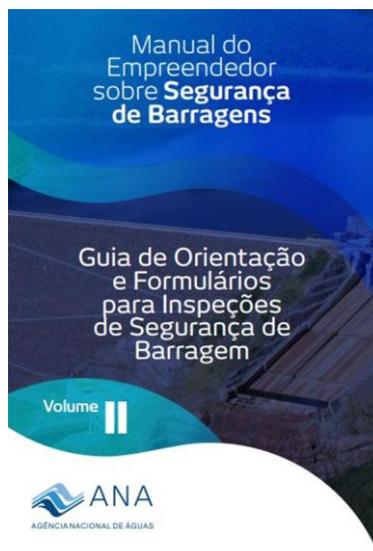
Para tanto, utilizou-se a avaliação dos processos de manutenção e inspeção de segurança em uma barragem de usina hidrelétrica, localizada na região norte do Brasil, no estado do Tocantins. Dessa maneira, foi identificado por meio da realização de inspeções *in loco* a presença de anomalias na estrutura.

3.1 Estudo da Lei 14.066/2020 e suas Resoluções Normativas

Para dar início aos trabalhos, foi realizado um estudo do Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Este guia mostra as principais anomalias presentes em barragens de terra, concreto e como identificá-las em campo, além de demonstrar como funcionam as fichas de inspeção, Figura 55.

É importante destacar o entendimento da Resolução Normativa 143/2012, foi crucial devido ao estudo da matriz de classificação da barragem, que está classificada como classe B, por possuir categoria de risco baixo e dano potencial associado alto. como mostra a tabela 10. Vale ressaltar, que o entendimento dessa matriz permitiu uma visão geral das características técnicas da barragem em estudo.

Figura 55: Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragens



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)

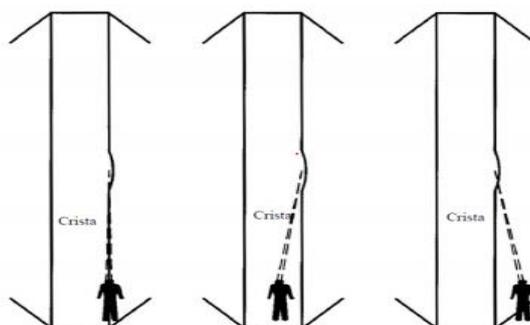
Tabela 10: Matriz de Classificação da Barragem em Estudo

CATEGORIA DE RISCO:		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT		
Altura (a)	15m < Altura < 30m	1
Comprimento (b)	comprimento > 200m	3
Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Terra homogênea/ Enrocamento/ Terra enrocamento	3
Tipo de fundação (d)	Rocha alterada dura com tratamento	2
Idade da Barragem (e)	entre 30 e 50 anos	1
Vazão de Projeto (f)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar	3
Casa de Força (g)	Casa de força ao pé da barragem	5
	Σ CT	18
ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC		
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (h)	Estruturas civis e hidroetromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos.	0
Confiabilidade das Estruturas de Adução (i)	Estruturas civis e dispositivos hidroetromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento.	0
Percolação (j)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas.	3
Deformações e Recalques (k)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo.	1
Deterioração dos Taludes / Paramentos (l)	Inexistente	0
Eclusa (m)	Não possui eclusa	0

	Σ EC	4
PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS		
Existência de documentação de projeto (n)	Projeto executivo ou "como construído".	2
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem.	0
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção.	3
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre.	0
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)	Emite regularmente os relatórios.	0
	Σ PS	5
	Σ CT+Σ EC+Σ PS	27
	CATEGORIA DE RISCO	Baixo
DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA		
Volume Total do Reservatório (a)	GRANDE 75 milhões a 200 milhões m ³	3
Potencial de perdas de vidas humanas (b)	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
Impacto ambiental (c)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	3

A Figura 57 exemplifica a técnica geral adotada, que é caracterizada por caminhar sobre os taludes e coroamento da barragem de terra e enrocamento, ao passo que, esse caminho é percorrido dos pontos A até F (Figura 56). Dessa maneira, esse plano de rotas objetiva englobar toda a região, não ficando nenhum ponto sem ser vistoriado, e com isso observar toda a superfície da barragem de terra para verificar se há alguma depressão, irregularidade ou anomalia. A Figura 57, por exemplo, também mostra uma das formas de como deve ser a análise do alinhamento dos bordos da crista.

Figura 56: Verificação do alinhamento da crista



Fonte: Cardia, 2019

Durante esta etapa é importante verificar as irregularidades na superfície, pois a existências delas pode indicar eventual ocorrência de anomalia (escorregamento, recalque, deformação, etc.) ou problema, necessitando de manutenção.

3.3 Identificação das Principais Anomalias e Inspeção de Segurança Regular

Para auxiliar no conhecimento das principais anomalias que podem surgir em barragens foi utilizado o Manual do Empreendedor da Agência Nacional de Águas (ANA). Com isso, foi realizada a inspeção de segurança regular que deve ocorrer anualmente, tendo em vista sua matriz de classificação de segurança está caracterizada como classe B, Figura 58. Vale ressaltar, que o acesso a essas matrizes de classificação foi disponibilizado pelo empreendedor durante a conferência de classificação da barragem.

Figura 57: Periodicidade para a realização das inspeções de segurança

	Classe da Barragem		
	A	B	C
Periodicidade	6 meses	1 ano	2 anos

Fonte: Resolução Normativa 696/2015

Durante o estudo foi realizado uma inspeção de segurança regular *in loco*, em 20 de setembro de 2020, com o auxílio da ficha de inspeção elaborada pelo empreendedor, como demonstrado na Figura 59. Nessa inspeção foram registradas as manifestações patológicas por meio de fotografias e as anotações coletadas com o auxílio de uma prancheta.

Como já mencionado, a ficha de inspeção foi elaborada pelo empreendedor com todos os itens a serem inspecionados, cuja prática permitida pela lei adequa as fichas de inspeção de acordo com as características da barragem.

Figura 58: Exemplo ficha de inspeção elaborada pelo empreendedor.

Itens da Barragem inspecionados		
ITENS	DESCRIÇÃO	SITUAÇÃO*
Acesso da barragem	Verificar o estado de manutenção dos acessos, a viabilidade das estradas / caminhos.	N/A
Margem da barragem	Verificar o estado de manutenção das margens, as estruturas, as baias pertos e ao longo da barragem.	N/A
Cabine de comando das comportas de vertedouro	Verificar o estado de manutenção da casa de comando das comportas e painel de comando, limpeza, fumaça, aquecimentos	N/A
encontros (ombreiras)	Verificar as condições das estruturas de ancoragem: fundação e pilares.	N/A
Partes visíveis - barragem	Verificar o estado de manutenção das partes visíveis da barragem como a crista, face a montante / jusante, superfície vertedouros, a entrada / saída das estruturas de controle de inundação, cais, drenagens, etc.	N/A
Sistema de monitoramento - barragem	Verificar a acessibilidade e o estado de manutenção dos pontos de medição do sistema de monitoramento da barragem	N/A
Comportas de vertedouro	Verificar o estado de manutenção das comportas e as suas juntas, vazamentos, vedação, estado de conservação	N/A
Estruturas visíveis a jusante - barragem	Verificar a acessibilidade e estado de manutenção das partes visíveis das estruturas hidráulicas jusante da represa perto do rio, como a bacia de dissipação	N/A
Nível de água	A medição do nível de água	N/A
Barragem	Medição das fugas barragem, vegetação, rachaduras	N/A

Fonte: Adaptado do empreendedor

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

As inspeções visuais de segurança para identificar anomalias foram realizadas em uma barragem para a geração de energia elétrica, no Estado do Tocantins.

A visita para realizar as inspeções ocorreu em setembro de 2020, período seco na região, onde o reservatório tende a estar abaixo do seu nível normal de operação. As etapas para o procedimento avaliativo consistiram em caminhar atenciosamente por cada região da barragem com o intuito de avaliar as condições de conservação das estruturas.

A seguir, será abordado como são realizadas na prática, no dia-a-dia da usina as inspeções rotineiras e os resultados das inspeções realizadas que colaboraram para a realização do presente trabalho.

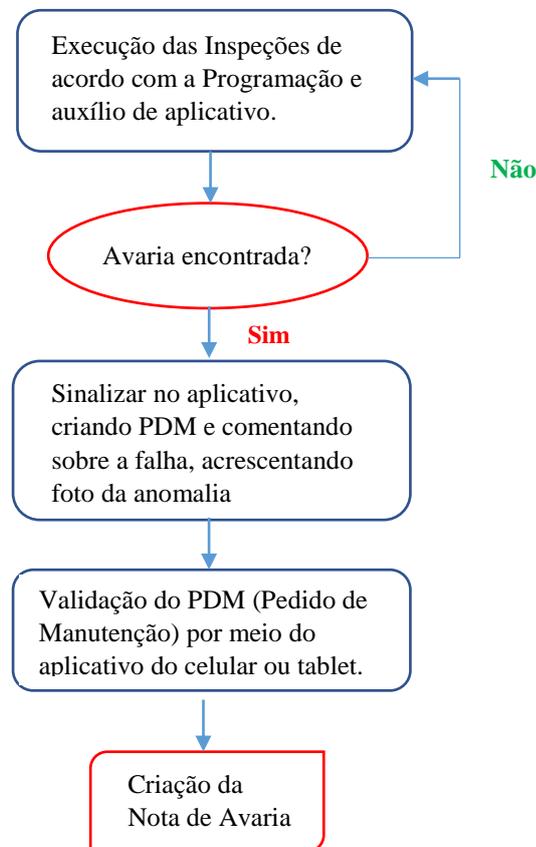
4.1 Execução das Inspeções de Rotina e Pedido de Manutenção

As inspeções de rotina são realizadas pelo operador da usina, com a frequência semanal ou mensal, dependendo do ponto inspecionado, como por exemplo os instrumentos de auscultação da barragem.

O operador da usina para executar inspeções rotineiras e para identificar a necessidade da realização das manutenções, passa por um treinamento para entender como devem ser realizadas as inspeções, a importância da sua realização, as principais anomalias que podem vir a surgir, como realizar um PDM (Pedido de Manutenção) e é o responsável por realizar as inspeções de rotina, onde são registradas em um aplicativo desenvolvido pela empresa contendo os pontos que devem ser percorridos para verificar a integridade da estrutura. Os pedidos de manutenção e ingressos das avarias identificadas são cadastrados no Sistema Interno (Sistema, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados) conforme Figura 60.

As anomalias detectadas pelas inspeções de rotina, realizadas pelo operador (mantenedor) da usina, devem ser obrigatoriamente registradas por meio de um cadastro interno, o PDM, que é enviado automaticamente para o setor responsável pelo planejamento das manutenções e de seus planos de ação para corrigir alguma falha, anomalia.

Figura 59: Cadastro das Anomalias no Sistema:



Fonte: Autor

O ingresso das avarias no Sistema Interno é feito através de um aplicativo criado para registrar as inspeções e gerar os pedidos de manutenção (PDM):

- Quando uma anomalia for encontrada ela deve ser relatada através do próprio aplicativo sinalizando o PDM (Pedido de Manutenção) e acrescentando um comentário e foto do local;
- Após as inspeções as medidas coletadas devem ser enviadas;
- No site do aplicativo na WEB é possível visualizar e armazenar todos os dados das inspeções;
- Quando houver um PDM, este deve ser analisado e aceito para que seja aberto a nota de avaria no sistema;
- A partir da Nota de Avaria é criada a Ordem de Serviço no sistema, e feitos os planejamentos para realizar a manutenção.

O uso do aplicativo permitiu uma maior interação entre os setores de manutenção, operação e segurança de barragens, pois as informações chegam em tempo real no sistema interno, como por exemplo: foi detectada durante as inspeções de rotina uma avaria na comporta do vertedouro, um vazamento, e foi aberto um Pedido de Manutenção (PDM) que foi registrado no aplicativo, onde as informações são armazenadas no sistema WEB e que podem ser acessadas pelos setores envolvidos para planejarem as ações necessárias para sanar a anomalia identificada.

4.2 Inspeção Regular de Segurança

Devido a barragem em estudo ser classificada como B, as inspeções regulares são realizadas anualmente. No ano de 2020 foi realizada em 20 de setembro, no qual foi autorizado o acompanhamento da inspeção juntamente com a equipe responsável, e que resultou nas análises e discussões do presente trabalho.

4.3 Plano de Rota e Anomalias

Com isso, as inspeções visuais de segurança, seguindo o plano de rota traçado, puderam constatar os seguintes aspectos:

Foi constatado a presença de arbustos no barramento da barragem de terra e enrocamento, conforme mostrado nas Figuras 56 e 57. Tal situação, se não for resolvida logo de início, pode permitir que raízes profundas penetrem no maciço criando caminhos preferenciais podem dar origem a caminhos no qual a água pode vir a percolar e os arbustos podem dificultar a realização das inspeções visuais, que não é o caso das imagens abaixo, pois ainda estão em estágio inicial, mas que podem abrigar roedores, ou até mesmo animais peçonhentos.

Nas imagens 61 e 62, percebe-se que os arbustos já estão com um tamanho significativo e conseqüentemente suas raízes vão crescendo, e que já deveriam ter sido removidos, porque quanto mais essa atividade vai sendo postergada, por mais simples que aparenta ser, a demora na sua realização pode trazer danos gigantescos para a estrutura, pois caminhos para a água percorrer podem ser criados ocasionando em um piping, que se não solucionado pode trazer a estrutura ao colapso. São ações que podem ser resolvidas na fase inicial, enquanto as raízes estão rasas e que foram verificadas em inspeções e que a própria equipe de manutenção local poderia resolver muito facilmente

e devem entender a importância da realização desse tipo de atividade no talude de enrocamento.

A manutenção para esse tipo de situação, primeiro ela deve ser sinalizada pelo operador da usina, para a equipe da manutenção do empreendimento, por meio do aplicativo utilizado internamente faça a abertura de um PDM (Pedido de Manutenção), e a partir daí serão traçadas as ações necessárias com a equipe do setor de engenharia ambiental para resolver essa questão da melhor maneira, sem ferir ao meio ambiente e a segurança estrutural, pois esses arbustos não podem ser simplesmente serem retirados, pois não se sabe ao certo a profundidade das suas raízes, por isso que o recomendado é extrair na fase inicial, onde as raízes não são profundas e não criaram caminhos diferenciais para a passagem da água pelo maciço.

Figura 60: Presença de Arbustos no barramento de terra



Fonte: autor

Figura 61: Presença de Arbustos no barramento de enrocamento



Fonte: Autor

Na Figura 63, foi constatado o instrumento de auscultação, o piezômetro, encoberto por vegetação, o que atrapalha e muito no momento da leitura do instrumento, porque não era somente nesse local que a vegetação estava dificultando o acesso aos instrumentos. Reforçando que a inspeção foi realizada no mês de setembro/2020 que é período não chuvoso na região e é a época em que surgem muitos animais peçonhentos no local, e nessa situação pode-se perceber uma ausência de manutenção no local. São pequenos detalhes, em situações que se não tratadas logo de início podem ocasionar avarias sérias, correndo o risco de comprometer a estabilidade da estrutura, criando caminhos diferenciais para a passagem da água e que para a sua correção, seria um custo em manutenção corretiva mais alto, em comparação se for mitigado com manutenções preventivas programadas.

Figura 61: Piezômetro encoberto pela vegetação



Fonte: Autor

É uma situação que pode ser facilmente resolvida, com as manutenções preventivas, como por exemplo a limpeza da vegetação regularmente do local. Todas as atividades devem ser reportadas pelo aplicativo para o sistema interno da empresa, mas ações simples como essa deveriam ter pelo menos uma programação, pois é uma dinâmica conhecida por todos os responsáveis pelo empreendimento, e cabe ao operador da usina informar a real necessidade dos trabalhos de limpeza da vegetação, para o setor responsável por programar as manutenções preventivas do empreendimento.

Figura 63: deposição de sedimentos na canaleta de drenagem do barramento - jusante



Fonte: Autor

A deposição de sedimentos na canaleta (Figuras 64 e 65) pode causar transbordamento, ocasionando erosões em suas extremidades, devido à falta da proteção vegetal do talude. Esse tipo de situação evidencia ausência de manutenções periódicas, para chegar no ponto que estava no momento da inspeção, e a deposição de sedimentos em canaletas prejudica a drenagem de águas pluviais, possibilitando o acúmulo de água em certas regiões, e propiciando o surgimento de áreas úmidas no solo do talude, podendo ocasionar sobrecargas e comprometer a sua estabilidade.

Apesar da anomalia não representar perigo de ruptura iminente da barragem, deve ser um ponto a ser observado e realizado processos de manutenções preventivas constantes, desobstruindo as canaletas, pois essas obstruções podem ser materiais carreados pelas chuvas ou até por roçagem feita nas proximidades e que o material não foi retirado do local. Portanto, um plano de manutenção para essas áreas deve ser traçado para evitar que situações como essa se repitam.

Figura 62: Deposição de Sedimentos na Canaleta



Fonte: Autor

Figura 63: Presença de Cupinzeiros e Formigueiros Presentes no Barramento de Terra



Fonte: Autor

Durante as inspeções visuais, foi notado a presença de cupinzeiros e formigueiros (Figura 66), que podem originar buracos, túneis no barramento que cavados por animais, chegam a atravessar grande parte do maciço, que podem se tornar favoráveis a percolação, causando a saturação de áreas adjacentes, e conseqüentemente erosões localizadas. A falta de erradicação dos cupins numa fase inicial, causam perfurações que favorecem o enfraquecimento do aterro e o fácil acesso de água quando

de muito grandes dimensões. Trata-se de uma situação a resolver na primeira oportunidade, e em curto prazo, no momento em que são detectados e que na maioria das vezes não são casos isolados, então a realização de um mapeamento no talude tornaria a atividade mais eficaz, verificando quais locais tem a presença de cupinzeiros e formigueiros e a partir daí realizar a programação de uma manutenção corretiva.

Durante a inspeção nas galerias de drenagem foi observado a presença de eflorescência no concreto, por ser uma estrutura em contato direto com água. Ou seja, uma maior quantidade de água em contato com o substrato facilita o transporte dos sais até a superfície. Nas imagens 59 a 61, pode-se perceber os locais com a formação de eflorescência devido a lixiviação, fenômeno de entrada de água dentro do concreto, dissolvendo o Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2 , presentes no cimento, e trazendo-os até a superfície.

Quando na superfície, os hidróxidos de cálcio e magnésio reagem com o CO_2 do ar, sofrendo a reação de carbonatação, transformando-se nos sais, que com a evaporação da água, formam-se as manchas brancas (Figura 67 e 68) que chama-se de eflorescência, na Figura 69 tem-se a formação de estalactites formados através da lixiviação. As anomalias evidenciadas nas imagens 67 a 70 foram reparadas por meio de manutenção corretiva, mas que poderiam ter sido resolvidas antes, pois como mostra a Figura 69, onde tem-se a formação de estalactites, devido ao escoamento proveniente de infiltração com carreamento de materiais, o que reforça que é uma infiltração antiga.

Figura 64: Presença de Eflorescência na Estrutura de Concreto



Fonte: Autor

Figura 65: Eflorescência



Fonte: Autor

Figura 66: Processo de Lixiviação



Fonte: Autor

Figura 67: Infiltração em galeria de drenagem



Fonte: Autor

Na Figura 70 pode-se observar a presença de umidade na parede da galeria, região em contato constante com água. A presença de infiltração nesse caso já deu início a formação de bolor, que são essas manchas escuras, devido a presença de umidade. Para essa situação, de infiltrações, foi aberto um PDM, e por ser uma anomalia em uma estrutura civil, o ideal para mitigar a avaria detectada seria um plano de ações necessárias para a correção da anomalia, como a programação de injeções poliuretano que tem a finalidade de estancar infiltrações em uma estrutura de concreto, que é um tipo de polímero de alto poder selante, esta resina interrompe o vazamento e garante a impermeabilização, para sanar as infiltrações encontradas nas galerias de drenagem.

Figura 68: rip rap com insuficiência de agregados



Fonte: Autor

Procurando evitar a instabilidade, o talude de montante deve ser protegido contra a ação das correntes de água nos taludes, que podem dar origem a ravinamentos. Por sua vez, essa proteção é realizada através de um revestimento conhecido como rip-rap ou enrocamento de proteção, que é o mecanismo mais utilizado em taludes de montante, podendo ser utilizado também em taludes de jusante. A insuficiência de agregados do rip-rap (Figura 71), com a ação das ondas nessas regiões desprotegidas pode vir a diminuir a largura do maciço, ocasionando erosões, carreamento de material.

A ausência de manutenção nas estruturas de rip-rap que protegem o talude da barragem de terra podem trazer sérios problemas para a estrutura, que fica desprotegida das ações das ondas e que vão carreando materiais da barragem. São medidas de proteção para prevenir ações de erosões causadas também pela chuva, ressecamento do solo, entre outras situações.

Vale ressaltar que todas as anomalias apresentadas foram reparadas e a barragem está com Nível de Segurança Normal, não apresentando riscos de ruptura.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou de forma exemplificada os processos de manutenção e a importância da sua realização, as principais anomalias comumente observadas em barragens de terra homogênea e de concreto, as quais se não tratadas adequadamente podem levar à ruptura de barragens. Assim visa demonstrar um elemento de suma importância que faz parte do Plano de Segurança de Barragens, que são as inspeções de segurança.

Por meio da inspeção de segurança visual realizada, foi constatado a deficiência de manutenção em algumas regiões inspecionadas das estruturas. Embora essas anomalias não representem o risco de ruptura iminente da barragem. Essas anomalias caso não sejam tratadas, devido à ausência de um plano de manutenções, podem se agravar com o tempo e causar problemas à estrutura, dificultando também a operação e inspeções de barragens, por exemplo, quando há excesso de vegetação.

As inspeções de segurança são as grandes responsáveis por fornecer informações importantes quanto ao estado de conservação da barragem, tendo em vista que para verificar o bom desempenho desta, devem ser realizadas inspeções para encontrar possíveis defeitos relacionados ao desempenho considerado satisfatório e montar um plano de manutenções.

De acordo com as metodologias utilizadas para a realização das rotinas de inspeção, visando assegurar condições adequadas de segurança para as barragens, as condições de segurança das barragens devem ser periodicamente revisadas, levando em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e da deterioração das estruturas ou de outros fatores.

Com isso, os planos de inspeção e segurança para barragens hidrelétricas, além de obrigatórios conforme a RN696/2015, são essenciais para a segurança das barragens a longo prazo, devendo fazer parte do plano geral de operação estrutural, avaliando a segurança e a operação da barragem e revelando a integridade da estrutura.

As inspeções periódicas ou inspeções especiais devem ser realizadas regularmente de acordo com o grau de perigo da estrutura a fim de mitigar os riscos de ruptura da barragem e buscando além de preservar a integridade da estrutura, preservar também as vidas e o meio ambiente que poderiam ser prejudicados com o seu não cumprimento. As inspeções tratam-se de medias de monitoramento constante, que resultam na possibilidade de apontar, com a devida antecedência ou urgência, a

necessidade de reabilitar barragens que representem ameaças, que poderiam culminar na ruptura e trazer consequências até irreversíveis para o plano ambiental, social e econômico.

Destaca-se que o risco de ruptura de barragens hidrelétricas pode ser baixo, resultado efetivo da metodologia de monitoramento, através da realização das inspeções, e controle por instrumentação, em conjunto com a realização de planos de manutenções bem elaborados e bem executados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. Resolução n. 236, de 30 de janeiro de 2017. Documento nº 00000.005651/2017-42. Brasília, DF, 30 de janeiro de 2017.

ALVES, Henrique Rosmaninho. O rompimento de barragens no Brasil e no mundo: desastres mistos ou tecnológicos. Faculdade Dom Helder Câmara, Belo Horizonte, v. 5, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: 2014. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

AQUINO, Fernanda Laus de. Mesa Redonda II-Segurança de Barragens: avanços e desafios. 2019.

BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. Patologia de estruturas. Oficina de Textos, 2019.

BRANDÃO, Ana Maria da Silva. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRASIL. Lei n. 12334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União, Legislativo, 21 de setembro de 2010, p.1.

CARDIA, Ruben José Ramos et al. Programa de Capacitação em Segurança de Barragens-Enap. 2019.

CARVALHO, D. Dimensionamento de filtros, PUC Goiás. 2011. Disponível em :

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/barragem_terra_4.pdf> Acesso em: 20 de novembro 2020.

COELHO, Nailde de Amorim. Métodos analíticos e numéricos para o estudo dos efeitos termomecânicos no concreto massa orientados às barragens de gravidade. 2016.

COSTA, Walter Duarte da. Geologia de Barragens. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

COUTO, Tiago Andrade et al. Reação álcali-agregado: estudo do fenômeno em rochas silicosas. 2008.

DE BARRAGENS, COMITÉ BRASILEIRO. A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

DE SOUZA, Thiago COUTINHO et al. MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO: APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES NO GERENCIAMENTO DE RISCOS ASSOCIADOS A BARRAGENS.

FONSECA, Alessandra da Rocha. Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica-estudo de caso das barragens da UHE São Simão. 2003.

GODKE, Bruna. Proposta de processo de monitoramento do comportamento das fissuras térmicas em barragens de concreto gravidade: um estudo de caso.

Google, https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp Visitado em 18 de outubro de 2019.

Google, https://www.ana.gov.br/noticias/45-barragens-preocupam-orgaos-fiscalizadores-aponta-relatorio-de-seguranca-de-barragens-elaborado-pela-ana/infografico_rsb2017.png Visitado em 19 de outubro de 2019.

Google, <https://ghtengenharia.com.br/pt/blog/o-problema-da-cavitacao-em-extravasores-de-barragens>, Visitado em 12 de novembro de 2019.

Google, Igor Pinheiro <https://www.inovacivil.com.br/barragens/>, Visitado em 20 de outubro 2019.

Google, https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp, visitado em 10 de novembro de 2019.

Google, <https://www.itaipu.gov.br/energia/instrumentacao>, Visitado em 15 de novembro de 2019.

Google, <https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.066-de-30-de-setembro-de-2020-280529982> , Visitado em 01 de novembro de 2020.

Google, <http://aneel.gov.br/seguranca-de-barragens>, Visitado em 01 de novembro de 2020.

Google, <https://www.engenhariacivil.com/colapsoiminente-mais-alta-barragen-eua>, Visitado em 10 de novembro de 2020.

Google, <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/equipamentos-em-dia-manutencao-garante-sustentabilidade-de-condutos-forcado>.

HELENE, Paulo; DA SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. Concreto: Ciência e Tecnologia, v. 2, 2011.

HELENE, Paulo RL. Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. Ambiente Construído, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 47-57, 1997.

KANASHIRO, Winston Hisasi; DIAS, Glauco Gonçalves. MÓDULO I – BARRAGENS: ASPECTOS LEGAIS, TÉCNICOS E SÓCIOAMBIENTAIS.

Disponível em

https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/4/Unidade_10-modulo1.pdf, Acesso em 12 de Outubro de 2019.

LIMA, Eliane; SILVA, Mariano Andrade da Silva. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Desenvolvimento, desastres e emergências em saúde pública**, p. 242.

LIMA, Maryangela. PROJETAR COM BASE NO MICROCLIMA MINIMIZA PATOLOGIAS. Disponível em < <https://www.cimentoitambe.com.br/projetar-microclima-minimiza-patologias/>> Acesso em 20 de novembro de 2019.

Manual do Empreendedor Sobre Segurança de Barragens, Guia Prático de Pequenas Barragens, Módulo VIII, Agência Nacional de águas – ANA. Brasília, 2016.

MASSAD, F. Obras de terra: Curso básico de Geotecnia. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MELLO, F. M.. Síntese do Desenvolvimento da Implantação das Barragens no Brasil. A História das Barragens no Brasil Séculos XIX, XX, XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro:CBDB, 2011a.

NEVES, Luiz Paniago. Segurança de Barragens – Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada. Brasília: Agência Nacional de Mineração, 2018. Disponível em: . Acesso em: 27 de outubro de. 2019.

NBR 15575-5: Edifícios habitacionais - Desempenho : parte 1 : Requisitos Gerais: ABNT 2013

NORMA DNIT 090/2006-ES, Patologias do Concreto - Especificação do serviço, Instituto de Pesquisas Rodoviárias

PEREIRA, G. Magela. Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo. Oficina de Textos. 2015.

PEREIRA, Lucas Mazullo Mascarenhas. Avaliação das condições de manutenção e segurança de barragens no interior do estado do Rio Grande do Norte. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

PEREIRA, Geraldo Magela. DIRETRIZES/CRITÉRIOS PARA OS PROJETOS DE ESTRUTURAS HIDRÁULICAS VISANDO EVITAR A EROSÃO POR CAVITAÇÃO.

PEREIRA, Ludmilla Freitas. Segurança de barragens no Brasil: um breve comparativo com a legislação internacional e análise da influência da cobertura do solo de APPs sobre manchas de inundação (estudo de caso da PCH Pedra Furada, Ribeirão–PE). 2019.

Relatório de Segurança de Barragens, 2017, Agência Nacional de Águas – ANA.

Relatório de Segurança de Barragens, 2020, Agência Nacional de Águas – ANA.

de Barragens, C. C. B. (2010). Dicionário de Barragens. Núcleo regional do Paraná. Porto Alegre: Nova Prova.

- SANCHEZ, Luis Enrique. Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. Edusp, 2001.
- SILVEIRA, Ana Livia Zeitune de Paula. Estudo da reação álcali-agregado em rochas carbonáticas. 2006.
- SILVEIRA, Iarly Vanderlei da. Estudo da influência da crosta local no comportamento sísmico do sistema barragem gravidade-reservatório-fundação. 2018.
- SOUZA, MM de. Estudo para o Projeto Geotécnico da Barragem e Alto Irani, Sc. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 129p. Rio de Janeiro, 2013.
- TANUS, Henrique Moraes. Importância da inspeção na prevenção de falhas em barragens: estudo de caso. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- TOMAZELI, Alexandre. Diretrizes para inspeção, análise e aceitação de superestruturas em concreto armado de edifícios habitacionais com obras paralisadas. São Paulo, 2017.
- WISEU, Maria Teresa. O risco e as barragens. **Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo. Coimbra: Ed. Universidade de Coimbra**, p. 425-440, 2013.
- WARNER, JEROEN; ALVES, ELIZABETH NUNES; COATES, ROBERT. O QUEIJO SUÍÇO NO BRASIL: CULTURA DE DESASTRES VERSUS CULTURA DE SEGURANÇA. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019.
- WALTER, ISABELA LIMA RIBEIRO. ANÁLISE DE RISCOS EM USINAS HIDRELÉTRICAS POR ABORDAGENS COMPLEMENTARES: ESTUDO PRÁTICO NA USINA DE FUNIL. 2019.
- ZUCH, Roberto Arsego. Manifestações patológicas nas estruturas em concreto de usinas hidrelétricas: levantamento de ocorrências e estratégias de reparo utilizadas. 2008.
- ZUFFO, Monica Soares Resio et al. Metodologia para avaliação da segurança de barragens. 2005.