BRUNNA MAGRI DE ANDRADE

Diretrizes para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação

São Paulo

2022

BRUNNA MAGRI DE ANDRADE

Diretrizes para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Gestão de Projetos na Construção

Área de Concentração: Gestão de Projetos na Construção

Orientadora: Profa. Dra. Flávia Rodrigues de Souza

São Paulo

2022

Catalogação-na-publicação

Andrade, Brunna Magri de
Diretrizes para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação / B. M. Andrade -- São Paulo, 2022.
237 p.

Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Gestão de riscos 2.Barragens 3.Construção civil 4.Infraestrutura I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pelas infinitas bênçãos em minha vida e por me guiar pelos caminhos certos.

À minha mãe, Jaildete Judite Lopes de Andrade, e ao meu pai, Flávio Magri de Andrade, agradeço pelo amor incondicional e pelo apoio nas horas difíceis, sempre me impulsionando a seguir em frente com palavras de amor e força.

Ao meu namorado, Farid José Thomaz Neto, pela paciência, parceria e carinho nos momentos de aflição, me mostrando que tudo ficará bem.

À Professora Flavia Rodrigues de Souza, por ter aceitado ser minha orientadora. Muito obrigada pela disponibilidade durante nossas reuniões de orientação, pela paciência, pelo carinho com que tratou este trabalho e por seus *insights* assertivos, sempre visando o melhor resultado final.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

ANDRADE, Brunna Magri de. 2022. **Diretrizes para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação.** Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

O Brasil possui vasta rede fluvial e se utiliza desse potencial hidráulico para gerar energia elétrica a milhões de pessoas, a partir das usinas hidrelétricas (UHEs), compostas basicamente pela barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de forma integrada. Tendo em vista que a maior parte da matriz elétrica brasileira é composta pela hidreletricidade, é de grande relevância o estudo acerca da gestão de riscos em barragens, que são as estruturas responsáveis pelo represamento da água. Essas estruturas, independentemente do seu uso, possuem risco de ruptura, que pode gerar danos sociais, ambientais, econômicos e perdas de vidas. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é discutir as práticas de gestão de riscos em barragens hidrelétricas no Brasil, à luz da Lei Brasileira de Segurança de Barragens, e propor diretrizes para a realização de gestão de riscos nessas estruturas, durante a fase de operação. A concepção do trabalho engloba duas etapas: a primeira consiste na revisão bibliográfica do tema, contemplando o exame da Lei de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334, de 2010) e demais referências bibliográficas relacionadas às barragens, ao conceito de risco e às metodologias de análise; a segunda etapa aborda o estudo de caso, conduzido a partir de entrevistas com agentes envolvidos em segurança de barragens de grandes empresas brasileiras do segmento de geração de energia hidrelétrica. Após as entrevistas, os dados coletados foram analisados e possibilitaram a elaboração de um modelo de recomendações para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas durante a fase de operação. O produto desta monografia é, além do modelo, a apresentação de diretrizes para que a gestão de riscos flua de forma eficiente na fase de operação dessas estruturas.

Palavras-chave: Gestão de riscos. Usinas hidrelétricas. Barragens. Diretrizes.

ABSTRACT

ANDRADE, Brunna Magri de. 2022. **Guidelines for hydroelectric dam risk management in the operational phase.** Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Brazil has a wide fluvial network and makes use of this hydraulic potential to generate electricity for millions of people, from hydroelectric power plants (HPPs), which are basically composed of the dam, water intake and adduction system, powerhouse and spillways, which work in an integrated way. Bearing in mind that most of the brazilian electric matrix is composed of hydroelectricity, the study of risk management in dams, which are responsible for the water storage, represents great relevance. Dams, regardless of their use, present risk of rupture, which can generate social, environmental, economic damage and loss of life. Based on this scenario, this work aims to discuss how risk management is conducted in hydroelectric dams, based on the practices indicated in the Dam Safety Law and to present guidelines for dam risk management during the operational phase. The design of this monograph includes two stages: the first one consists of the literature review on the subject, contemplating the review of the Brazilian Dam Safety Law (Law 12.334/2010) and other references related to dams, the concept of risk and its analysis methodologies. The second stage addresses the case study, conducted from interviews with agents involved in dam safety of large Brazilian companies in the hydroelectric power generation segment. After the interviews, the collected data were analyzed and allowed the elaboration of a model of recommendations for dam risk management of hydroelectric dams during the operational phase. The product of this monograph is, in addition to the model, the presentation of guidelines so that risk management flows efficiently in the operational phase of these structures.

Keywords: Risk management. Hydroelectric power plants. Dams. Guidelines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição mundial por finalidade de barragens de uso único 20
Figura 2 – Fluxograma de trabalho 23
Figura 3 – Quantidade de barragens cadastradas no SNISB em 26 de abril de 2022 25
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira em 2020 28
Figura 5 – Perfil esquemático de uma UHE 30
Figura 6 – Elementos típicos de uma barragem hidrelétrica 32
Figura 7 – Componentes de uma barragem hidrelétrica 34
Figura 8 – Predominância dos tipos de barragens no mundo 35
Figura 9 – Seção transversal de barragem de terra homogênea 35
Figura 10 – Seção transversal de barragem de terra zonada 36
Figura 11 – Seção de barragem de enrocamento com núcleo impermeável e com face impermeável 37
Figura 12 – Seções de barragens de concreto 38
Figura 13 – Barragem em arco de Kölnbrein, Áustria 39
Figura 14 – Estrutura institucional da regulação da segurança de barragens no Brasil 43
Figura 15 – Intervalos de classificação de barragens quanto à CRI 51
Figura 16 – Intervalos de classificação de barragens quanto ao DPA 53
Figura 17 – Classificação do nível de resposta no PAE 63
Figura 18 – Caracterização genérica das situações que acionam os diversos níveis de resposta 63
Figura 19 – O SNISB e sua relação com as diferentes entidades fiscalizadoras de segurança de barragens 66
Figura 20 – Classificação de barragens na Argentina 70
Figura 21 – Sistema de classificação de barragens segundo a FEMA 72
Figura 22 – Sistema de classificação de Danos Potenciais a Jusante, segundo o USBR 74
Figura 23 – Classificação do Dano Potencial para Projetos de Engenharia Civil, segundo o USACE 75
Figura 24 – Sistema de classificação de barragens em Portugal 76
Figura 25 – Sistema de classificação de barragens a partir da periculosidade e danos potenciais em Portugal 77
Figura 26 – Sistema de classificação de barragens na Espanha 78
Figura 27 – Classificação por tamanho de uma barragem na África do Sul 79

Figura 28 – Classificação do dano potencial associado de uma barragem na África do Sul ... 80
Figura 29 – Classificação por categoria de barragens com risco à segurança na África do Sul ... 80
Figura 30 – Categorias de impactos potenciais das consequências de falhas de barragens na Nova Zelândia ... 83
Figura 31 – Determinação do nível avaliado de danos na Nova Zelândia ... 84
Figura 32 – Determinação da classificação de barragens na Nova Zelândia ... 85
Figura 33 – Comparação Internacional e Nacional dos Sistemas de Classificação de Dano Potencial ... 86
Figura 34 – Barragem de Camará antes da inauguração e após a ruptura ... 88
Figura 35 – Barragem Campos Novos após ruptura ... 90
Figura 36 – Barragem de Algodões I depois da ruptura ... 91
Figura 37 – Barragem Euclides da Cunha, antes e depois da ruptura ... 92
Figura 38 – Barragem de Orós após reconstrução ... 93
Figura 39 – Ruptura da barragem de Teton ... 94
Figura 40 – Barragem de St. Francis antes da ruptura ... 95
Figura 41 – Barragem de St. Francis após ruptura ... 95
Figura 42 – Barragem de Vajont ... 97
Figura 43 – Vista de Longarone antes e após o desastre ... 97
Figura 44 – Vista da barragem de Malpasset antes e depois da ruptura ... 98
Figura 45 – Processo de gestão de riscos segundo a ISO 31000:2018 ... 100
Figura 46 – Etapas fundamentais da gestão de riscos, segundo a CNPGB ... 101
Figura 47 – O processo de gestão de riscos de barragens ... 102
Figura 48 – Exemplo de aplicação do método HAZOP ... 108
Figura 49 – Classificação dos índices de severidade, ocorrência e detecção ... 110
Figura 50 – Exemplo de aplicação do método FMEA/FMECA ... 112
Figura 51 – Matriz de risco FMEA ... 113
Figura 52 – Conceitos empregados numa árvore de eventos ... 115
Figura 53 – Aplicação prática de árvore de eventos para o perigo de abalo sísmico ... 115
Figura 54 – Símbolos lógicos utilizados na construção da árvore de falhas ... 117
Figura 55 – Representação esquemática da FTA ... 118
Figura 56 – Exemplo prático de uma árvore de falha ... 119
Figura 57 – Método Nó Borboleta ... 121
Figura 58 – Princípios de aceitabilidade e tolerabilidade ... 122

Figura 59 – Exemplo de curva F-N 123
Figura 60 – Representação esquemática das anomalias em barragens 126
Figura 61 – Fatores de riscos associados à barragens 128
Figura 62 – Localização das barragens hidrelétricas dos respectivos entrevistados 133
Figura 63 – Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de concreto 158
Figura 64 – Modelo conceitual preliminar para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas 162
Figura 65 – Etapas consideradas para a gestão de riscos segundo a ISO 31000:2018 163
Figura 66 – Modelo conceitual final para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas 177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Testes de projeto de estudo de caso 24
Tabela 2 – Características técnicas 47
Tabela 3 – Estado de conservação 48
Tabela 4 – Plano de segurança da barragem 50
Tabela 5 – Matriz de classificação de barragens por DPA 52
Tabela 6 – Causas genéricas para falha estrutural de barragens 129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de classificação de barragens por CRI e DPA 44
Quadro 2 – Prazos para elaboração do Plano de Segurança da Barragem 56
Quadro 3 – Periodicidade da RPSB 57
Quadro 4 – Periodicidade limite da ISR 58
Quadro 5 – Caracterização dos entrevistados 132
Quadro 6 – Características técnicas dos barramentos 134
Quadro 7 – Classificação em ordem decrescente sobre o grupo Características Técnicas 137
Quadro 8 – Classificação em ordem decrescente sobre o grupo Estado de Conservação 138
Quadro 9 – Classificação em ordem decrescente sobre o grupo Plano de Segurança da Barragem 139
Quadro 10 – Classificação em ordem decrescente sobre o DPA 140
Quadro 11 – Questão 19 e suas respostas 143
Quadro 12 – Questões 21 a 23 e suas respostas 145
Quadro 13 – Questões 26 a 29 e suas respostas 147
Quadro 14 – Resumo das diretrizes propostas para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação 187

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEEB	Atlas da Energia Elétrica do Brasil
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (Tão baixo quanto razoavelmente praticável)
AMFORP	American Foreign Power Company (Companhia Estrangeira Americana de Energia)
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANCOLD	Australian National Committee on Large Dams (Comitê Nacional Australiano sobre Grandes Barragens)
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AS	Australia Standards
BEN	Balanço Energético Nacional
BM	Banco Mundial
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCR	Concreto Compactado a Rolo
CDA	Canadian Dam Association (Associação Canadense de Barragens)
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CIGB	Comissão Internacional de Grandes Barragens
CMP	Cheia Máxima Provável
CNB	Conselho Nacional de Barragens
CNPGB	Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CRI	Categoria de Risco
CTAP	Câmara Técnica de Análise de Projetos
CTIL	Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais
DCE	Declaração de Condição de Estabilidade
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Secas
DPA	Dano Potencial Associado

EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETA	Event-tree Analysis (Análise de Árvore de Eventos)
FEMA	Federal Emergency Management Agency (Agência Federal de Gerenciamento de Emergências)
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis (Análise de Modos e Efeitos de Falha)
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticalidade)
FSB	Formulário de Segurança de Barragem
FTA	Fault-tree Analysis (Análise de Árvore de Falhas)
HAZOP	Hazard and Operability Analysis (Análise de Perigos e Operabilidade)
HSE	Health & Safe Executive
IBGC	Instituto Brasileiro de Governança Corporativa
ICODS	Interagency Committee on Dam Safety (Comitê Interagência sobre Segurança de Barragens)
ICOLD	International Commission on Large Dams (Comissão Internacional de Grandes Barragens)
ISE	Inspeção de Segurança Especial
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacioanal de Normalização)
ISR	Inspeção de Segurança Regular
LDSSC	Large Dam Safety Supervision Center
LIGHT	Light & Power
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
m^3	Metros cúbicos
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
NZS	New Zealand Standards
O&M	Operação e Manutenção
ONG	Organização Não Governamental
ORSEP	Organismo Regulador da Segurança de Barragens
PAE	Plano de Ação de Emergência

PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PMP	Precipitação Máxima Provável
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança da Barragem
RPSB	Revisões Periódicas da Segurança da Barragem
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SEED	Safety Evaluation on Existing Dams (Avaliação da Segurança de Barragens Existentes)
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SINIMA	Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UHE	Usina Hidrelétrica
USACE	United States Army Corps of Engineers (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)
USBR	United States Bureau of Reclamation (Bureau de Reclamação dos Estados Unidos)
WRD	World Register of Dams (Registro Mundial de Barragens)
ZAS	Zona de Autossalvamento
ZSS	Zona de Segurança Secundária

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO 18
1.2 OBJETIVO 21
1.3 MÉTODO DE PESQUISA 21
1.3.1 O Estudo de Caso 23
1.4 JUSTIFICATIVA 24
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO 26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 27
2.1 A ENERGIA HIDRELÉTRICA NO BRASIL 27
2.2 CONTEXTO HISTÓRICO DAS BARRAGENS NO BRASIL 30
2.3 ELEMENTOS DE UMA BARRAGEM HIDRELÉTRICA 32
2.4 TIPOS DE BARRAGENS 34
2.4.1 Barragem de Terra 35
2.4.2 Barragem de Enrocamento 36
2.4.3 Barragem de Concreto 37
2.5 SEGURANÇA DE BARRAGENS E A LEI Nº 12.334 39
2.5.1 Os Instrumentos e Pilares da PNSB 43
2.5.1.1 Sistema de classificação de barragens 44
2.5.1.1.1 Critérios para classificação de barragens quanto à categoria de risco 45
2.5.1.1.2 Critérios para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado 51
2.5.1.2 Plano de segurança da barragem (PSB) 54
2.5.1.2.1 Revisão periódica de segurança de barragem (RPSB) 56
2.5.1.2.2 Inspeção de segurança regular (ISR) 57
2.5.1.2.3 Inspeção de segurança especial (ISE) 59
2.5.1.2.4 Plano de ação de emergência (PAE) 61
2.5.1.3 Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) 64

2.5.1.4 Relatório de segurança de barragens (RSB) 66
2.6 PRÁTICAS INTERNACIONAIS NA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS 68
2.6.1 Argentina 69
2.6.2 Estados Unidos da América 71
2.6.2.1 FEMA 71
2.6.2.2 Os estados americanos 72
2.6.2.3 USBR 73
2.6.2.4 USACE 74
2.6.3 Canadá 75
2.6.4 Portugal 76
2.6.5 Espanha 78
2.6.6 África do Sul 79
2.6.7 China 80
2.6.8 Austrália 82
2.6.9 Nova Zelândia 82
2.7 RUPTURA DE BARRAGENS: CASOS NO BRASIL 87
2.7.1 Barragem de Camará 87
2.7.2 Barragem Campos Novos 89
2.7.3 Barragem Algodões I 90
2.7.4 Barragem Euclides da Cunha e Limoeiro 91
2.7.5 Barragem de Orós 92
2.8 RUPTURA DE BARRAGENS: CASOS NO MUNDO 93
2.8.1 Barragem de Teton 93
2.8.2 Barragem St. Francis 94
2.8.3 Barragem Vega de Tera 96
2.8.4 Barragem de Vajont 96
2.8.5 Barragem de Malpasset 97

2.9 O CONCEITO DE RISCO 98
2.10 GESTÃO DE RISCOS EM BARRAGENS 99
2.10.1 Avaliação de Risco 103
2.10.2 Análise de Risco 104
2.10.2.1 Conteúdo principal de uma análise de risco em barragens 105
2.10.2.2 Métodos e processos de análise de risco 106
2.10.2.2.1 Análise dos perigos e da operabilidade (HAZOP) 107
2.10.2.2.2 Análise dos modos de falha e efeitos / Análise dos modos de falha, efeitos e criticalidade (FMEA e FMECA) 109
2.10.2.2.3 Análise de Árvore de Eventos (ETA) 113
2.10.2.2.4 Análise de Árvore de Falhas (FTA) 116
2.10.2.2.5 Nó Borboleta (Noeud Papillon) 120
2.10.3 Apreciação do Risco 121
2.10.4 Controle de Risco 124
2.11 FATORES DE RISCOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS 124
3 PESQUISA DE CAMPO 131
3.1 ESTUDO DE CASO 131
3.1.1 Caracterização dos Respondentes e de suas Barragens 131
3.1.2 Critérios para Classificação da Barragem quanto à CRI e DPA 134
3.1.3 PSB 141
3.1.4 Inspeção e Monitoramento 144
3.1.5 PAE 150
3.1.6 Opiniões Pessoais 152
3.1.7 Análise dos Dados Coletados nas Entrevistas 154
3.1.7.1 Comparação dos critérios de classificação de barragens: FEMA *versus* legislação brasileira 154
3.1.7.2 Comparação relacionada ao PSB 155
3.1.7.3 Comparação relacionada às práticas de monitoramento e inspeções 156

3.1.7.4 Comparação sobre o PAE 159
3.2 PAINEL DE ESPECIALISTAS 162
3.2.1 Modelo Preliminar de Recomendações para a Gestão de Riscos em Barragens Hidrelétricas 162
3.2.2 Eixos de Análise 163
3.2.2.1 Eixo pessoas: diretrizes preliminares 164
3.2.2.2 Eixo informações técnicas: diretrizes preliminares 165
3.2.2.3 Eixos processos e sistemas de informações: diretrizes preliminares 169
3.2.2.4 Eixo comunicação: diretrizes preliminares 172
3.2.3 Apresentação do Modelo de Recomendações ao Painel de Especialistas 174
3.2.3.1 Definição dos especialistas 174
3.2.3.2 Estruturação e apresentação ao painel 174
3.2.3.3 Questões discutidas no painel de especialistas 175
4 RESULTADOS 177
4.1 MODELO FINAL DE RECOMENDAÇÕES PARA A GESTÃO DE RISCOS EM BARRAGENS HIDRELÉTRICAS 177
4.2 EIXOS DE ANÁLISE E AS DIRETRIZES 179
4.2.1 Eixo Partes Interessadas: diretrizes finais 179
4.2.2 Eixo Informações Técnicas: diretrizes finais 181
4.2.3 Eixo Processos e Sistemas de Informações: diretrizes finais 182
4.2.4 Eixo Comunicação e Consulta: diretrizes finais 185
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 188
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 190
APÊNDICES 199

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo dados do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), 65,2% da matriz elétrica brasileira é representada pela hidreletricidade. Tal fato decorre da abundância de recursos hídricos no país e apresenta como vantagens a utilização de um recurso renovável, que está presente em todo o mundo e que contribui com uma menor emissão de gases de efeito estufa.

Com as crises do petróleo ocorridas em 1973 e 1977, disseminou-se a ideia de que o petróleo era limitado, assim como outros recursos naturais; desde então, percebeu-se a necessidade de investir em fontes de energia renováveis. Nesse sentido, apostou-se no potencial hidrelétrico, considerando que esse tipo de energia, além de representar uma saída para a crise energética, é renovável, limpa e permite reutilização a jusante (MENDES, 2005).

Apesar das vantagens que a água apresenta como fonte para produção de energia elétrica, a implantação de usinas hidrelétricas (UHE) levanta a questão dos impactos ambientais causados tanto às comunidades que vivem próximas da área da construção, quanto às alterações na fauna e flora.

Segundo Müller (1995), a implantação de uma UHE tem, lamentavelmente, registros de experiências nos quais sociedades viram suas bases de sustentação econômica e seus valores socioculturais repentinamente solapados. Ainda que a geração hidrelétrica seja sustentável, algumas regiões atingidas para que ela fosse implementada vivenciaram, em lugar de desenvolvimento, um retrocesso insustentável.

Em agosto de 1981, foi promulgada a Lei da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938), quando as questões ambientais ganharam foco na opinião pública nacional e internacional (MENDES, 2005).

A Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (BRASIL, 1986), dispôs sobre os critérios básicos e diretrizes gerais para o uso e a implementação da avaliação de impactos ambientais. Ela define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e

o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a qualidade dos recursos ambientais e as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente.

Segundo Sevá Filho (1990), são inúmeros os impactos ambientais causados pela construção de hidrelétricas, e é possível destacar casos de rompimento e extravasamento de pequenos lagos, além de elevação do lençol freático, o que acarreta uma água imprópria para o consumo.

Para Mendes (2005), a formação dos lagos das UHEs geralmente atinge áreas de solos férteis, afetando não somente a população da região, mas também sua fauna e flora.

De acordo com Straškraba e Tundisi (2000), como efeitos positivos da construção de reservatório para uma UHE, citam-se a produção de energia elétrica, a criação de possibilidades de recreação, o aumento das possibilidades de pesca, a navegação e o aumento do potencial para irrigação. Como efeitos negativos, estão o deslocamento de populações, a diminuição de espécies nativas de peixes de rios, o deslocamento de animais selvagens e perda de biodiversidade, e o desaparecimento de recursos culturais, como locais sagrados, acarretando a perda de identidade cultural de algumas tribos.

A represa perturba o deslocamento dos organismos, permitindo alterações na composição de espécies rio acima e abaixo. Os rios, seus habitats e espécies existem em função da vazão, quantidade e natureza do sedimento que é transportado. A diminuição no transporte de sedimentos e nutrientes impacta na morfologia da planície de inundação, acarretando a perda de habitat para diversas espécies (COMISIÓN MUNDIAL DE REPRESAS, 2000).

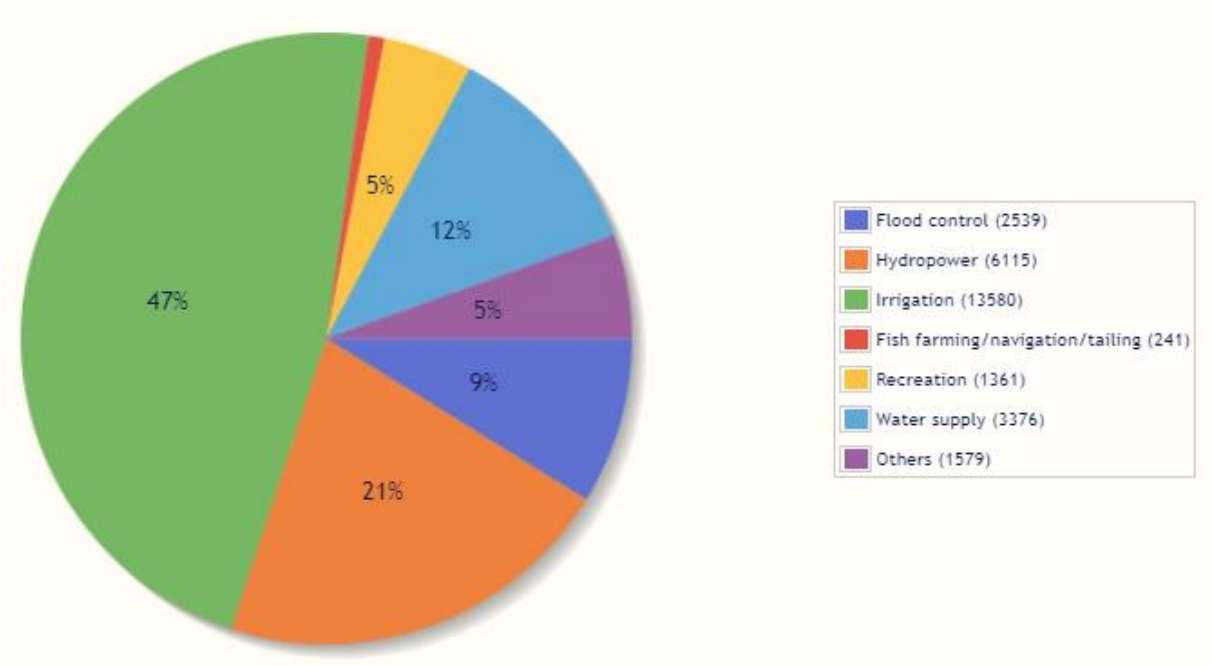
Segundo o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), ao longo dos últimos 5 mil anos, as barragens têm desempenhado o importante papel de fonte confiável de água para a vida das pessoas, de acordo com registros arqueológicos que se baseiam em investigações de ruínas e na observação de estruturas ainda em funcionamento.

O Banco Mundial (BM, 2015) estabelece que as barragens possuem a função de não apenas conter a água para fins de geração de energia, mas também evitar inundações, permitir irrigação de lavouras, favorecer a agricultura e piscicultura, facilitar a navegação interior, fornecer água para consumo humano e criar reservatórios que podem ser utilizados para atividades recreativas.

Para o CBDB, barragens que têm apenas uma função são conhecidas como barragens de uso único. Atualmente, essas estruturas são construídas para servir a diversas funções e, por essa razão, são conhecidas como barragens de usos múltiplos. As barragens hidrelétricas

constituem o segundo maior uso para barragens de uso único (Figura 1), sendo o acúmulo de água para irrigação a principal finalidade das barragens pelo mundo, sejam elas destinadas a uso único ou múltiplo.

Figura 1 – Distribuição mundial por finalidade de barragens de uso único



Fonte: Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD, 2020)

De acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD), o Registro Mundial de Barragens considera uma grande barragem aquela que possua altura de 15 m (independentemente do volume de água armazenável em seu reservatório) ou que tenha entre 10 e 15 m altura, desde que tenha capacidade de armazenar mais de 3 milhões de m³ de água em seu reservatório. Segundo esse critério, a altura de uma barragem é determinada pela diferença da elevação de sua crista[1] até o ponto mais baixo da sua fundação.

A ICOLD possui um registro de mais de 58 mil barragens no mundo, sendo que mais da metade está localizada em países em desenvolvimento (ICOLD, 2015). O Brasil ingressou nessa Comissão em 1957, por meio da Comissão Brasileira de Grandes Barragens, que foi sucedida em 1961 pelo atual CBDB.

O CBDB organiza e mantém o Cadastro Nacional de Barragens (CNB), que consiste em uma base de dados sobre todas as barragens brasileiras e, para cada uma delas, são fornecidas várias informações (dados e características) úteis à elaboração de projetos, à construção de

[1] Segundo Carvalho (2008), constitui a parte superior do aterro, geralmente utilizada como estrada.

barragens, à pesquisa científica e às avaliações estatísticas sobre barragens. O CNB serve também como fonte de informações sobre as barragens do país incluídas no *World Register of Dams* (WRD).

Desde os anos 50, existem registros de acidentes e incidentes com barragens, com impactos econômicos, sociais e perdas de vidas humanas (BM, 2015). A Resolução CNRH nº 144 (BRASIL, 2012) define acidente como o comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa. Incidente, por sua vez, é qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, caso não seja controlada, pode causar um acidente.

Somente em setembro de 2010 foi aprovada a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), também conhecida como Lei Brasileira de Segurança de Barragens, que estabelece a implantação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) para barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, além da criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Os benefícios promovidos com a construção de barragens são os mesmos, assim como as consequências do mau funcionamento dessas estruturas. Por esse motivo, a análise da gestão de risco de barragens no âmbito nacional é de extrema importância, pois os danos de uma possível ruptura podem ser irreversíveis.

1.2 OBJETIVO

Esta monografia tem como objetivo discutir as práticas de gestão de riscos em barragens hidrelétricas no Brasil, à luz da Lei Brasileira de Segurança de Barragens, e propor diretrizes para a realização de gestão de riscos nessas estruturas, durante a fase de operação.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa adotada é de caráter exploratório, compreendendo uma pesquisa qualitativa, de natureza aplicada[2], por meio de estudo de caso para avaliação das práticas empregadas para a gestão da segurança de barragens no Brasil.

[2] A pesquisa aplicada é dedicada à geração de conhecimento para solução de problemas específicos e dirigida à busca da verdade para determinada aplicação prática em situação particular (NASCIMENTO, 2021).

Segundo Gil (2008), as pesquisas exploratórias têm por objetivo o desenvolvimento e o esclarecimento de conceitos e ideias, objetivando a formulação de problemas mais precisos ou de hipóteses para estudos posteriores. Esse tipo de pesquisa é realizado quando o tema escolhido é pouco explorado e de difícil formulação de hipóteses sobre o assunto.

A pesquisa exploratória foi a metodologia escolhida para este trabalho pelo fato de o tema de gestão de segurança de barragens no Brasil ser pouco explorado pela autora. Embora possua formação em engenharia civil, esse assunto não corresponde às temáticas abordadas, como por exemplo, na disciplina de mecânica dos solos; trata-se de um tema muito específico, porém, de grande importância devido à vasta utilização dessas estruturas no Brasil e no mundo, seja para o armazenamento de água para abastecimento humano ou, principalmente, para a geração de energia hidrelétrica, que constitui o foco deste estudo.

Gerhardt e Silveira (2009) entendem que a pesquisa qualitativa considera o aprofundamento da compreensão de um grupo social ou de um indivíduo a respeito de determinado tema, não se preocupando com a representatividade numérica. Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa opõem-se ao pressuposto que defende um único modelo de pesquisa para todas as ciências, utilizando-se dos métodos qualitativos para explicar o porquê das coisas, sem quantificar valores, mas baseando-se na análise de dados não métricos (suscitados e de interação), sem que haja julgamentos nem suas próprias crenças contaminando o estudo.

De acordo com Neves (1996), a pesquisa qualitativa não busca elencar ou quantificar eventos e, geralmente, não se utiliza de instrumental estatístico para a análise dos dados, sendo frequente o entendimento dos fenômenos por parte do pesquisador a partir da perspectiva dos participantes da situação estudada e, desse ponto em diante, surgem as interpretações pautadas pelos fenômenos em questão.

Segundo Godoy (1995), existem pelo menos três diferentes possibilidades oferecidas pela abordagem qualitativa: a pesquisa documental, a etnografia[3] e o estudo de caso, sendo o último o enfoque deste trabalho. A Figura 2 ilustra o sequenciamento das metodologias adotadas no trabalho.

[3] Segundo Fetterman (1989), compreende a arte e a ciência de descrever uma cultura ou grupo.

Figura 2 – Fluxograma de trabalho

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

1.3.1 O Estudo de Caso

Para Yin (2015), a pesquisa de estudo de caso constitui o método preferencial em comparação a outros em situações nas quais as questões da pesquisa são “como” e “por quê”, e quando o pesquisador tem pouco ou nenhum controle sobre eventos comportamentais.

Ainda segundo o autor, a força exclusiva do estudo de caso é sua capacidade de lidar com uma ampla variedade de evidências (documentos, artefatos, entrevistas e observações), além da observação direta dos eventos estudados e entrevistas das pessoas envolvidas nos eventos (YIN, 2015).

Dessa forma, o estudo de caso objeto deste trabalho é único integrado, com unidades múltiplas de análise; tais unidades múltiplas correspondem às empresas detentoras de barragens hidrelétricas no Brasil.

A pesquisa foi conduzida a partir da revisão bibliográfica acerca do tema escolhido e, a partir de então, realizou-se a coleta de dados por meio de análise de documentos e entrevistas semiestruturadas, com a participação de colaboradores envolvidos em gestão de segurança de barragens em empresas de geração de energia.

Para a coleta de dados foram selecionadas empresas brasileiras de grande renome no setor, tendo em vista a realização posterior de entrevistas com agentes envolvidos em segurança de barragens hidrelétricas.

As recomendações de Yin (2015) foram devidamente consideradas como forma de aumentar a qualidade e a confiabilidade nos resultados obtidos para a elaboração do estudo de caso. A Tabela 1 compila os testes comumente utilizados para estabelecer qualidade em um projeto de estudo de caso.

Tabela 1 – Testes de projeto de estudo de caso

Testes	Validade do constructo	Validade externa	Confiabilidade
Procedimentos	a) uso de múltiplas fontes de evidência b) revisão do rascunho do relatório do estudo de caso por informantes-chave	a) utilização de teoria nos estudos de casos únicos b) lógica da replicação nos estudos de casos	a) execução de um protocolo de estudo de caso b) desenvolvimento de base de dados de estudo de caso
Justificativas	As múltiplas fontes de evidência contemplam os dados que serão colhidos a partir de entrevistas com agentes de segurança de barragens de empresas detentoras de barragens, além de empresas seguradoras e projetistas; posteriormente à análise dos dados, o trabalho será submetido à avaliação de um informante-chave	A estrutura do estudo de caso pode ser utilizada para replicação de outros trabalhos	O trabalho contempla um planejamento de estudo de caso; os dados coletados a partir das entrevistas servirão como base para as análises relacionadas ao tema de segurança de barragens

Fonte: Elaborado pela autora (2021), com base em Yin (2015)

A partir da coleta de dados realizada por meio de entrevistas, as informações obtidas foram analisadas com o intuito de entender como é conduzida a gestão de riscos em barragens hidrelétricas sob a ótica dos agentes envolvidos no tema em questão. Na sequência, foi elaborado um modelo de recomendações para a gestão de riscos nessas estruturas durante a fase de operação, com a proposição de diretrizes para tal finalidade.

As diretrizes sugeridas, juntamente com o modelo de recomendações, foram submetidas a um painel de especialistas, que debateu as ideias propostas.

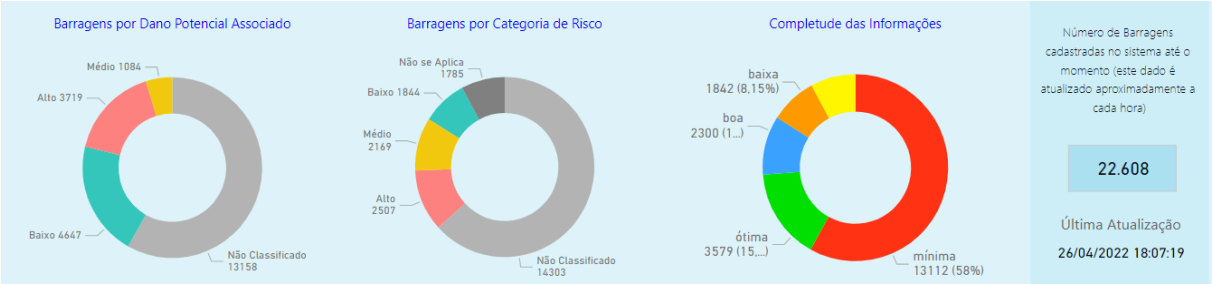
1.4 JUSTIFICATIVA

Cerca de 65,2% da matriz elétrica brasileira é representada pela hidreletricidade (EPE, 2021). Tal fato decorre da abundância de recursos hídricos no país e representa a utilização de um recurso renovável e presente no mundo inteiro.

Além de serem responsáveis pelo represamento da água para fins de geração de energia, as barragens possuem outros usos, como evitar inundações, permitir irrigação de lavouras, favorecer a agricultura e a piscicultura, facilitar a navegação interior, fornecer água para consumo humano e criar reservatórios que podem ser utilizados para atividades recreativas.

Segundo dados do Painel de Informações do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), coletados em abril de 2022, o Brasil possui 22.608 barragens cadastradas no sistema até a data da consulta. Desse total, 14.303 (63,26%) não possuem classificação quanto à categoria de risco e 13.158 (58,20%) não possuem classificação quanto ao dano potencial associado. A Figura 3 apresenta um panorama das barragens cadastradas no SNISB.

Figura 3 – Quantidade de barragens cadastradas no SNISB em 26 de abril de 2022



Fonte: SNISB (2022)

É possível perceber que há um grande número de barragens que não possuem classificação quanto à categoria de risco nem ao dano potencial associado. Essa não classificação impossibilita que o órgão fiscalizador verifique se o barramento se submete ou não à PNSB; tal fato impede que haja cobrança ao empreendedor quanto à manutenção da segurança da estrutura, seja com relação ao aspecto estrutural ou documental.

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens (RSB) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico relativo ao ano de 2020 (ANA, 2021), seu período de abrangência relatou 44 acidentes e 95 incidentes com barragens, em 16 diferentes estados do Brasil, sendo 40% deles concentrados em Minas Gerais.

Dentre esse tipo de acidente em território nacional, citam-se o rompimento da barragem de Mariana, em 2015, e de Brumadinho, em 2019; este último foi o maior acidente com barragem verificado em terras brasileiras, com 270 vítimas fatais, mais de 40 mil pessoas afetadas e prejuízo socioeconômico na casa de bilhões de reais (ANA, 2019).

Embora o tema barragem de rejeitos não seja o foco deste trabalho, o acidente de Brumadinho conferiu maior relevância à temática de segurança de barragens, assunto este de extrema importância, dada a magnitude dessas estruturas e dos impactos decorrentes de uma ruptura.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O conteúdo desta monografia está dividido em cinco capítulos, sendo que o primeiro deles apresenta a contextualização, o objetivo, a metodologia de pesquisa aprofundando-se no estudo de caso, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 compreende a revisão bibliográfica, abordando referências sobre a energia hidrelétrica no Brasil, o contexto histórico e os tipos de suas barragens, as diretrizes e instrumentos previstos na Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), o sistema de classificação de barragens hidrelétricas utilizado no Brasil, as práticas internacionais na classificação de barragens, exemplos de casos de ruptura de barragens no Brasil e no mundo, a definição do conceito de risco e as etapas da gestão de riscos, finalizando com apresentação de alguns métodos de análise de riscos.

O capítulo seguinte discorre sobre a pesquisa de campo, na qual está inserido o estudo de caso e o modelo de recomendações e suas diretrizes. Inicialmente, a coleta de dados é realizada por meio de entrevistas com agentes envolvidos em segurança de barragens; a etapa seguinte consiste na análise dos dados por meio de comparações entre as respostas dos entrevistados e as práticas indicadas na Lei de Segurança de Barragens e demais referências bibliográficas. Posteriormente, apresenta-se o modelo de recomendações preliminares para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas durante a fase de operação e, juntamente com o modelo, expõem-se as diretrizes sugeridas para os eixos de análise considerados. Decorrida a submissão do modelo ao painel de especialistas, são retratadas as discussões e sugestões abordadas durante o debate.

No Capítulo 4 encontra-se o modelo final de recomendações e as diretrizes propostas, pós-análise das considerações dos especialistas durante o painel e, por fim, o quinto e último capítulo traz as considerações finais acerca do tema estudado, além das dificuldades e opiniões sobre o assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A ENERGIA HIDRELÉTRICA NO BRASIL

Müller (1995) define UHE como a instalação na qual a energia potencial da gravidade d'água é transformada, primeiramente, em energia mecânica e, depois, em energia elétrica. Pode-se ou não ter um reservatório de acumulação, dependendo se a quantidade de água disponível sofre fortes variações ao longo do ano. Quando não há reservatório ou se este não é usado para acumulação ou regularização de fluxo, diz-se que a hidrelétrica opera a fio d'água[4].

De acordo com o Atlas da Energia Elétrica do Brasil (AEEB, 2008), a primeira hidrelétrica do mundo foi construída no final do século XIX – quando o carvão era o principal combustível e as pesquisas sobre petróleo ainda engatinhavam – junto às quedas d'água das Cataratas do Niágara. Na mesma época, ainda no reinado de D. Pedro II, o Brasil construiu a primeira hidrelétrica, no município de Diamantina, utilizando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, com 0,5 MW (megawatt) de potência e linha de transmissão de dois quilômetros.

Os primeiros aproveitamentos hidráulicos no país ocorreram nos estados de Minas Gerais e São Paulo, e datam do final do século XIX. Algumas tentativas foram feitas no âmbito de investimentos na geração de energia hidrelétrica e, logo na primeira década do século XX, esse tipo de energia ultrapassou a produção das usinas termelétricas (MÜLLER, 1995).

Os investimentos tanto para geração quanto para transmissão e uso da energia elétrica contaram com a participação de grupos estrangeiros, que investiram recursos financeiros e tecnológicos (BRANCO, 1975).

Até a década de 50, apenas duas empresas controladas por interesses transnacionais definiram a estrutura de produção e distribuição de energia elétrica no Brasil: *Brazilian Traction, Light & Power* (LIGHT) e *American Foreign Power Company* (AMFORP) (MIELNIK; NEVES, 1988).

Segundo Mendes (2005), a década de 60 foi marcada pela criação do Ministério das Minas e Energia e da Eletrobras, e pela reformulação dos órgãos federais relativos ao setor elétrico. No período subsequente, houve uma vigorosa intervenção estatal que disponibilizou

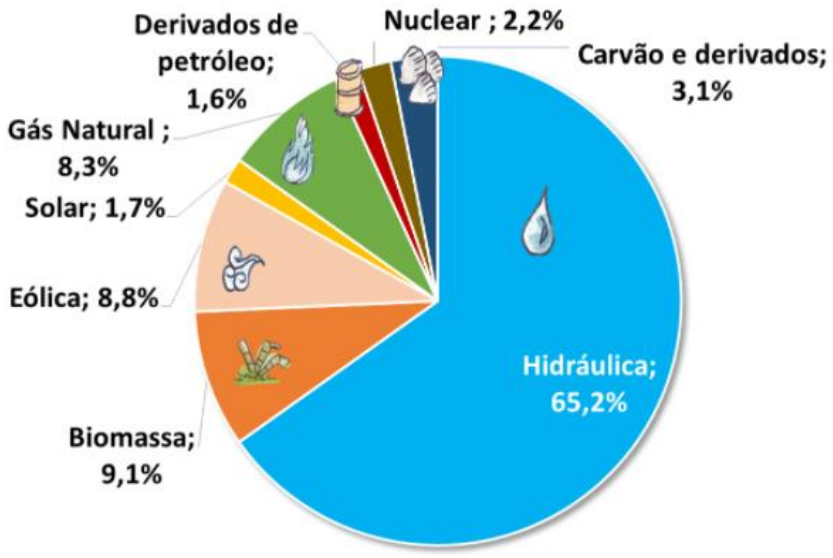
[4] UHEs a fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, ou seja, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico (AEEB, 2008).

créditos internacionais a baixos juros, devido à alta demanda por energia solicitada pela indústria, que despontava.

A fim de acompanhar o modelo capitalista de desenvolvimento, era necessário que o Brasil aumentasse sua capacidade energética e, com isso, foram construídas inúmeras usinas hidrelétricas entre 1960 a 1990 (MENDES, 2005).

Fontes de energia renováveis representaram 84,8% da matriz elétrica brasileira em 2020, com participação liderada pela hidráulica (65,2%), seguida da biomassa (9,1%), eólica (8,8%) e solar (1,7%), conforme apresentado na Figura 4, proveniente do Relatório do BEN, ano base 2020.

Figura 4 – Matriz elétrica brasileira em 2020



Fonte: BEN (2021)

Entende-se por potencial hidrelétrico aquele possível de ser técnica e economicamente aproveitado nas condições atuais de tecnologia. É medido em termos de energia firme, que é a geração máxima contínua na hipótese de repetição futura do período hidrológico crítico (EPE, 2020).

Dados do BEN (2021) indicam que o Brasil possui a segunda maior capacidade mundial de geração hidrelétrica, ficando atrás apenas da China. Em 2020, a capacidade total instalada para geração de energia elétrica no país alcançou 174.737 MW, considerando as fontes hidrelétrica, térmica, eólica, solar e nuclear. A fonte hidrelétrica, por sua vez, foi responsável por 109.271 MW (EPE, 2021).

De acordo com a Resolução Normativa da Aneel nº 875 (BRASIL, 2020), enquadram-se como UHEs os aproveitamentos hidrelétricos com as seguintes características:

a) potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 50.000 kW, desde que não sejam enquadrados como pequena central hidrelétrica (PCH) e estejam sujeitos à outorga de autorização;

b) potência instalada superior a 50.000 kW, sujeitos à outorga de concessão;

c) independentemente da potência instalada, tenham sido objeto de outorga de concessão ou de autorização.

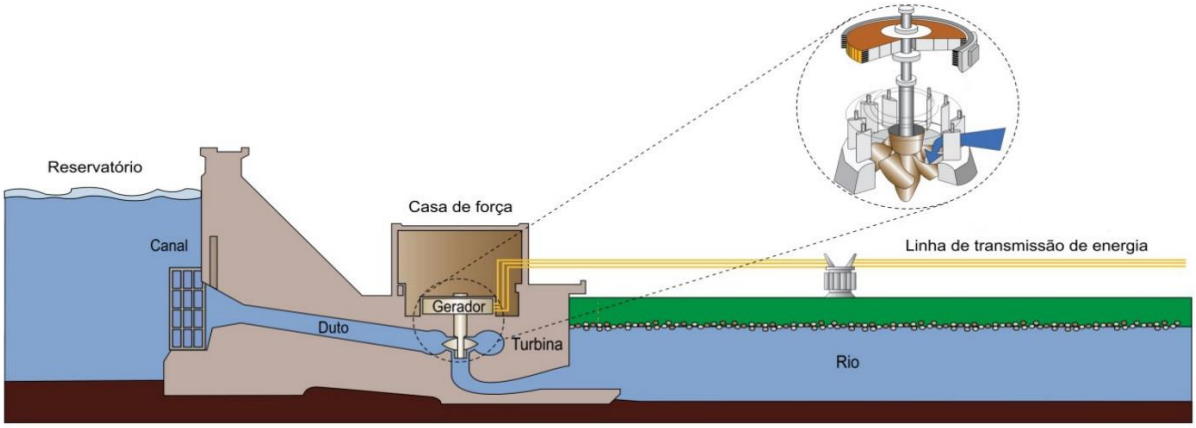
Ainda segundo essa resolução, enquadram-se como PCH os aproveitamentos hidrelétricos com potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, e área de reservatório de até 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio. Os aproveitamentos hidrelétricos podem ser classificados como central geradora hidrelétrica (CGH), quando a potência for igual ou inferior a 5.000 kW.

Dados levantados pelo boletim de informações gerenciais da Aneel, de março de 2019, revelam que o Brasil possui 1.341 empreendimentos hidrelétricos em operação, sendo 217 UHEs, 426 PCHs e 698 CGH; destaca-se que as UHEs são responsáveis por 59,8% da potência total instalada.

As principais variáveis utilizadas para classificação de uma UHE são a altura da queda d'água, a vazão, a capacidade ou potência instalada, o tipo de turbina utilizada, a localização e o tipo de barragem e reservatório, sendo todos esses fatores interdependentes. A altura da queda d'água e da vazão dependerá do local de construção e determinarão qual a capacidade instalada, que, por sua vez determina o tipo de turbina, barragem e reservatório (AEEB, 2008).

De acordo com o AEEB (2008), a estrutura de uma UHE é composta basicamente por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de forma integrada. A Figura 5 ilustra um perfil esquemático de uma UHE.

Figura 5 – Perfil esquemático de uma UHE



Fonte: AEEB (2008)

A barragem tem por finalidade interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório, o qual, além de armazenar a água, permite a formação do desnível necessário para a configuração da energia hidráulica. Os sistemas de captação e adução são constituídos de túneis, canais ou condutos metálicos, cuja função é transportar a água até a casa de força, onde estão localizadas as turbinas, que são formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador. Durante o seu movimento giratório, as turbinas convertem a energia cinética (movimento da água) em energia elétrica por meio dos geradores que produzirão a eletricidade. A água é restituída ao leito natural do rio pelo canal de fuga, após passar pela turbina. Por fim, tem-se o vertedouro, cuja função é permitir a saída da água sempre que os níveis do reservatório ultrapassam os limites recomendados (AEEB, 2008).

2.2 CONTEXTO HISTÓRICO DAS BARRAGENS NO BRASIL

Segundo o CBDB, o termo barragem provém etimologicamente da palavra francesa *barrage*, do século XII, que deriva das palavras *barre* do francês e *barra* do latim vulgar, que significam "travessa, tranca de fechar porta".

O Comitê, por sua vez, define barragens como obstáculos artificiais com a capacidade de reter água ou qualquer outro líquido, rejeitos e detritos, para fins de armazenamento ou controle. Podem variar em tamanho, desde pequenos maciços de terra, usados frequentemente em fazendas, a enormes estruturas de concreto ou de aterro, geralmente empregadas para fornecimento de água, de energia hidrelétrica, para controle de cheias e para irrigação, além de diversas outras finalidades.

Müller (1995) relata que a história das grandes barragens brasileiras é relativamente recente e pode ser dividida nos seguintes períodos:

- Até 1950, só havia 67 barragens no Brasil, das quais 31 atendiam à regularização de vazão e abastecimento de água do Nordeste, 26 visavam à geração de energia e 10 possuíam outros usos;
- A década de 50 registrou um aumento equitativo do número de empreendimentos entre o setor elétrico e os demais, com 21 barragens para fins energéticos e 22 para usos do Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS);
- Entre 1960 e 1980, mais 66 barragens hidrelétricas foram levantadas, enquanto que, para outros usos, se registravam 101 empreendimentos. A partir de 1963, com a construção da Usina de Furnas, as barragens brasileiras ultrapassaram a marca dos 100 m de altura, da fundação à crista;
- Em 1990, do total de 343 aproveitamentos hidráulicos cadastrados pelo Comitê Brasileiro das Grandes Obras, 124 destinavam-se à geração hidrelétrica, quatro à navegação, 72 ao abastecimento de água, 37 à irrigação, dois à piscicultura, 76 à regularização e 12 ao controle de cheias e mais barragens destinadas a diversas finalidades, como a proteção ambiental.

A mais antiga barragem que se tem notícia em território brasileiro foi construída onde, hoje, é a área urbana do Recife - PE, possivelmente no final do século XVI, antes mesmo da invasão holandesa. Conhecida presentemente como açude Apipucos, que na língua tupi significa “onde os caminhos se encontram”, aparece em um mapa holandês de 1577 (ANA, 2021).

A barragem original foi alargada e reforçada para permitir a construção de uma importante via de acesso ao centro do Recife. Há referências, também, ao dique Afogados, construído no rio Afogados, um braço do rio Capiberibe, por Harman Agenau, por 6.000 florins[5] para acesso a um forte, também na atual região urbana do Recife. O dique possuía 3 m de altura e cerca de 2 km de extensão, e foi concluído em dezembro de 1644; em 1650, sofreu transbordamento por ocasião de uma grande cheia, tendo colapsado em vários pontos (CBDB, 2011).

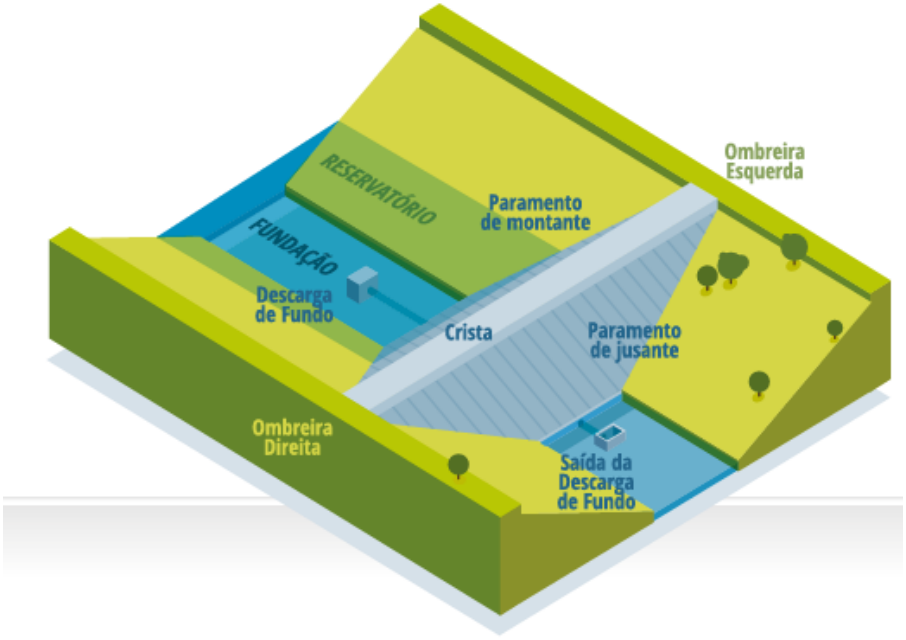
[5] Florim holandês pode ser considerada uma das primeiras moedas brasileiras tanto por trazer impresso o nome BRASIL, quanto por terem sido fabricadas em solo brasileiro (MOEDAS DO BRASIL, 2021).

2.3 ELEMENTOS DE UMA BARRAGEM HIDRELÉTRICA

De acordo com Müller (1995), barragem é uma construção destinada a impedir um curso d'água e proporcionar a formação de um reservatório, criando, com isso, um desnível entre montante e jusante, para o acionamento de turbinas hidráulicas.

Segundo o Relatório de Segurança de Barragens de 2020 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), essas estruturas são constituídas por barramento e sua fundação, ombreiras, estruturas extravasoras, estruturas de adução e reservatório. A Figura 6 exemplifica os elementos citados e, a seguir, encontra-se a descrição de cada um dos elementos constituintes.

Figura 6 – Elementos típicos de uma barragem hidrelétrica



Fonte: RSB (ANA, 2021)

Barramento é a estrutura construída transversalmente ao curso d'água e conjuntamente com a fundação e ombreiras, e é responsável pela retenção da água. Sua seção transversal, na maioria das vezes, possui a forma trapezoidal, sendo o lado maior (fundação) o contato com o terreno natural, os lados inclinados denominados taludes ou paramentos, e o lado menor, coroamento ou crista (ANA, 2021).

A crista conecta transversalmente as duas margens e deve possuir inclinação para o reservatório, de modo a escoar as águas da chuva e, eventualmente, ser coberto por um pavimento, a fim de permitir o tráfego de veículos.

As zonas das margens que mantém contato direto com o barramento são denominadas ombreiras, existindo ombreira direita (margem direita) e ombreira esquerda (margem esquerda). A margem direita de um curso d'água localiza-se à direita de um observador que olha o barramento a partir de montante; o mesmo raciocínio se aplica para a margem esquerda.

Os vertedouros, juntamente com a descarga de fundo, constituem estruturas extravasoras da barragem. Os vertedouros podem possuir ou não comportas para a evacuação de cheias, enquanto as descargas de fundo têm a finalidade de esvaziar o reservatório. O nível mais elevado de água previsto durante uma cheia é definido por nível máximo *maximorum*[6], que é a diferença entre a cota do coroamento da barragem e o nível máximo *maximorum*, denominado borda livre (LOPES; SANTOS, 2002).

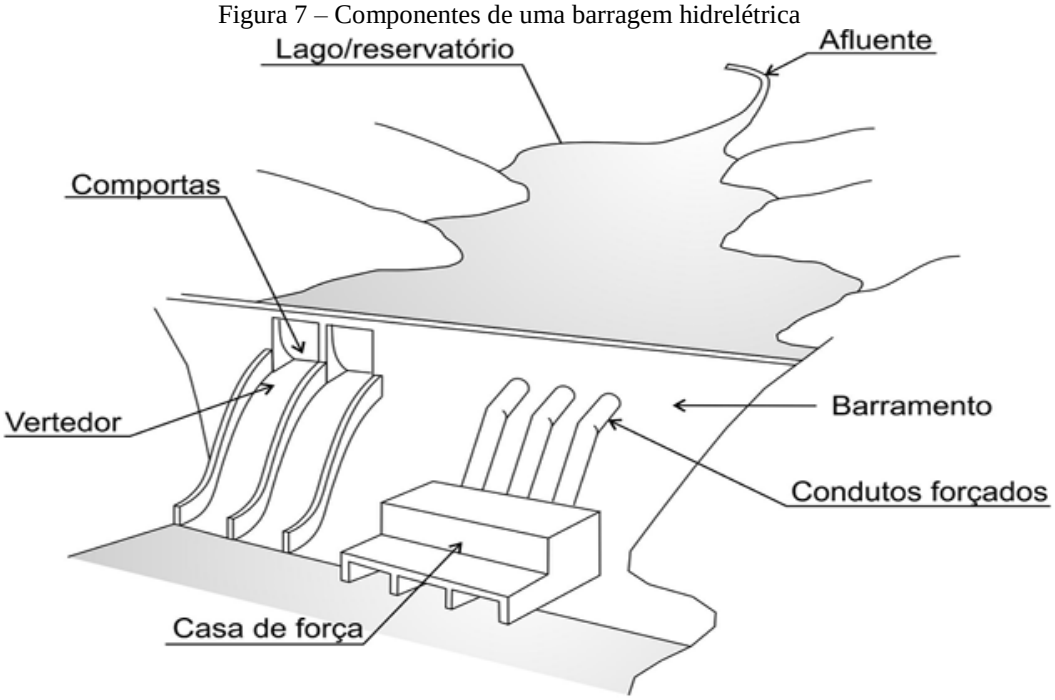
As descargas de fundo são equipadas com uma comporta para a operação normal, podendo ainda dispor de uma comporta adicional de segurança. Em sua grande maioria, são um conduto inserido na fundação da barragem. Em pequenas barragens, a tomada d'água e a descarga de fundo podem constituir uma mesma estrutura.

Por fim, o reservatório equivale ao espaço reservado para a acumulação de água, substância líquida ou mistura de líquidos e sólidos.

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. A casa de força é localizada pelo lado do paramento de jusante, onde fica a turbina que usa a força da água corrente para gerar energia. A Figura 7 apresenta um esquema com os componentes de uma barragem hidrelétrica.

[6] Corresponde à sobre-elevação máxima do nível d'água, medida a partir do nível d'água máximo operacional (nível máximo permitido para a operação normal do reservatório), disponível para a passagem de cheia (LOPES; SANTOS, 2002).

Figura 7 – Componentes de uma barragem hidrelétrica



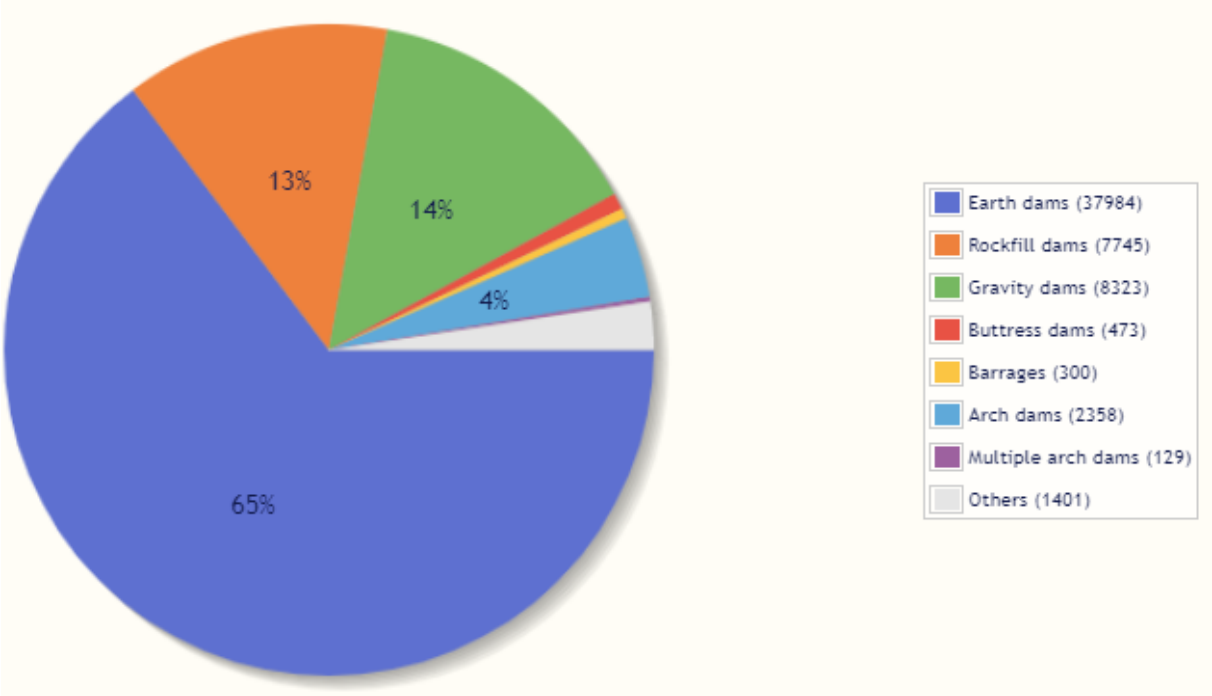
Fonte: Mees (2020)

2.4 TIPOS DE BARRAGENS

Segundo Possan (2019), as barragens podem ser classificadas por sua rigidez, geometria ou tipo de material empregado na construção e, como exemplo de barragens, citam-se as de terra, de enrocamento, de concreto convencional, compactada a rolo, entre outros.

De acordo com dados da ICOLD (2020), as barragens de terra constituem 65% de todas as barragens cadastradas no mundo (Figura 8).

Figura 8 – Predominância dos tipos de barragens no mundo

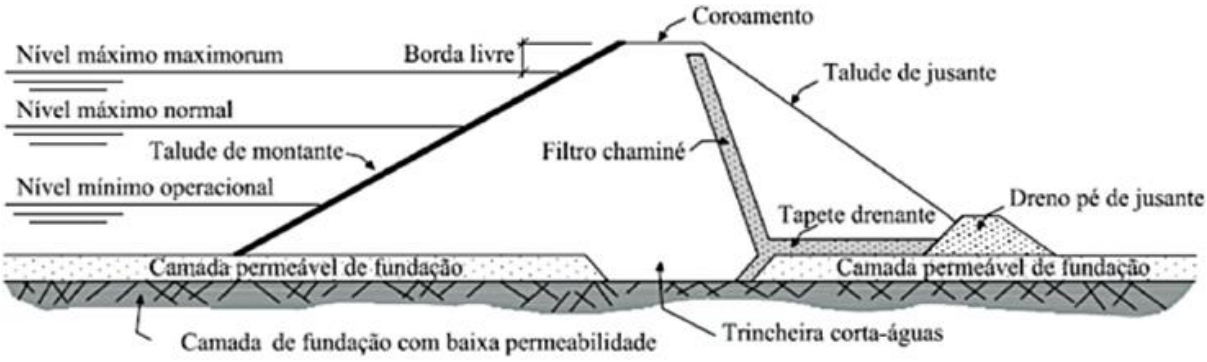


Fonte: ICOLD (2020)

2.4.1 Barragem de Terra

Barragens de terra são o tipo mais utilizado no Brasil. Sua composição pode ser de terra homogênea (Figura 9), quando constituída de um único material, ou zonada (Figura 10), quando o aterro é construído fazendo uso de vários materiais de solo diferenciados.

Figura 9 – Seção transversal de barragem de terra homogênea



Fonte: Guia Prático de Pequenas Barragens (ANA, 2016)

Figura 10 – Seção transversal de barragem de terra zonada

Fonte: Guia Prático de Pequenas Barragens - ANA, 2016

Segundo o Guia Prático de Pequenas Barragens, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016), as barragens de terra de perfil homogêneo são geralmente construídas com solos argilosos. Algumas dispõem de uma zona drenante (vertical ou inclinada) ao longo de quase toda a sua altura, denominada filtro chaminé, prolongada na horizontal por um tapete também drenante, na zona de contato com a fundação. Essas zonas drenantes têm a função de conduzir a água que atravessa a zona de montante do barramento, da fundação e das ombreiras para a jusante, sem provocar danos à barragem.

As barragens de perfil zonado são constituídas por uma zona central de solos argilosos, denominada núcleo, e por zonas laterais de solos não argilosos, designadas por maciços estabilizadores. O filtro chaminé é colocado entre o núcleo e o maciço estabilizador de jusante. Trata-se de uma estrutura menos rígida, o que confere menores esforços para as fundações, e que são caracterizadas por vales muito largos e ombreiras suaves (SILVA; OLIVEIRA, 2019).

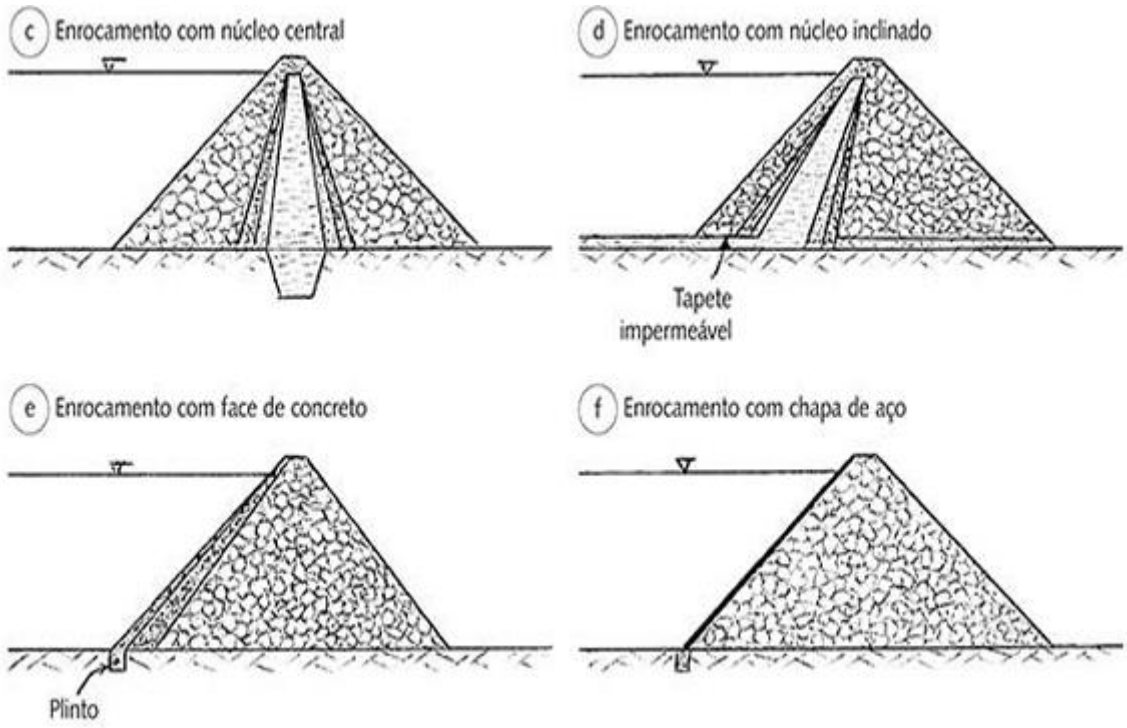
2.4.2 Barragem de Enrocamento

Barragens de enrocamento consistem em um maciço construído por um conjunto permeável de fragmentos rochosos compactados, cujo próprio peso dos blocos fornece a sua estabilidade. Costa (2012) define as barragens de enrocamento da seguinte forma: com núcleo impermeável e com face impermeável.

a) com núcleo impermeável: o material rochoso é predominante e a vedação da água, nesse caso, é feita por meio de um núcleo argiloso, separado do enrocamento por zonas de transição, a fim de evitar o carreamento do material fino para o interior do enrocamento. O núcleo pode ficar centralizado (Figura 11.c) ou inclinado para montante (Figura 11.d).

b) com face impermeável: a impermeabilização do talude de montante pode ser feita com camada asfáltica, concreto (Figura 11.e) ou ainda por uma chapa de aço (Figura 11.f).

Figura 11 – Seção de barragem de enrocamento com núcleo impermeável e com face impermeável



Fonte: Costa (2012)

2.4.3 Barragem de Concreto

Barragens de concreto são aquelas constituídas basicamente de materiais granulares produzidos artificialmente, aos quais se acrescentam cimento e aditivos químicos (MARANGON, 2004). Sua classificação varia de acordo com sua forma ou geometria, e pode ser de gravidade, de gravidade aliviada, em contrafortes e em arco.

A barragem de gravidade utiliza-se do peso próprio da estrutura para garantir estabilidade. Segundo Marangon (2004), este é o tipo mais resistente e de menor custo de manutenção, podendo ser adaptado para todos os locais, mas sua altura é limitada pela resistência das fundações.

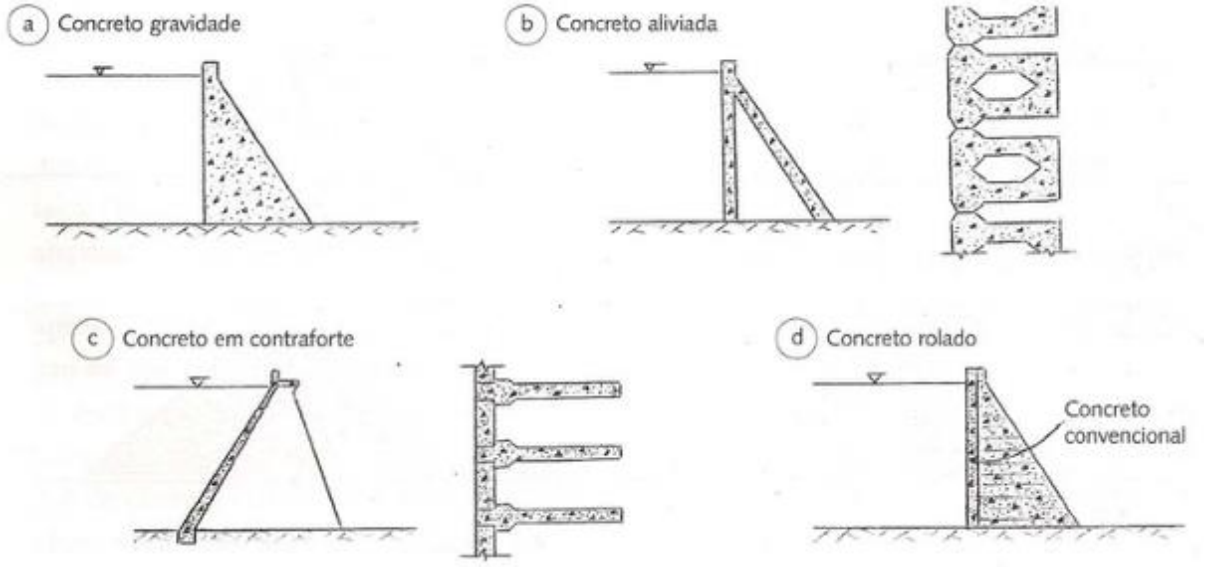
Por sua vez, a barragem de gravidade aliviada é uma variante da barragem de gravidade, pois procura otimizar a utilização do concreto, a partir da economia no material empregado. Trata-se de uma estrutura mais leve, na qual a barragem de gravidade convencional encontra-se vazada com o objetivo de imprimir menor pressão às fundações ou economizar concreto, que pode atingir menos da metade do consumo de uma barragem de gravidade. Neste tipo de barragem ocorrem esforços de tração, que exigem maior uso de armação (COSTA, 2012).

No caso da barragem de concreto em contraforte, esta possui volume inferior de concreto em relação à barragem de gravidade, porém, apresenta alto custo com formas e armaduras. É composta por uma laje impermeável a montante, apoiada em contrafortes verticais, exercendo compressão na fundação maior do que na barragem de concreto gravidade; sendo assim, a fundação que servirá de apoio a uma barragem de concreto com contrafortes deve ser de rocha com elevada rigidez (SAYÃO, 2009).

Segundo Costa (2012), barragens de concreto rolado ou compactado constituem uma barragem de gravidade na qual o concreto é espalhado com trator e, em seguida, é compactado. Neste método, o concreto não é vibrado, tornando-se necessária a utilização de uma camada de concreto convencional construída no paramento de montante, a fim de garantir a estanqueidade da barragem.

A seguir, a Figura 12 ilustra os quatro tipos de barragens de concreto descritos.

Figura 12 – Seções de barragens de concreto



Fonte: Costa (2012)

Barragens em arco são consideradas as mais raras, pois seu comprimento é pequeno se comparado à sua altura, exigindo a presença de materiais rochosos adequados de alta resistência nas encostas dos vales, onde são construídas, fazendo com que possam suportar grande resistência e esforços a elas transmitidos. Tais barragens são mais comuns na Europa, onde os vales são profundos e fechados (MARANGON, 2004). A Figura 13 apresenta um exemplo de barragem de concreto em arco.

Figura 13 – Barragem em arco de Kölnbrein, Áustria

Fonte: Wikipedia (2021)[7]

Segundo o RSB (ANA, 2021), 57% das barragens brasileiras submetidas à PNSB foram construídas em terra, 6% em concreto convencional e 5% em terra-enrocamento, e em 24% delas, não há informação sobre o material.

2.5 SEGURANÇA DE BARRAGENS E A LEI Nº 12.334

A segurança de uma barragem visa manter a sua integridade estrutural e operacional, de forma a minimizar o risco de incidentes ou acidentes, para que a barragem cumpra com sua finalidade, observando os cuidados necessários à preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente (ANA, 2021).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2016), a segurança de barragens é um aspecto fundamental para todas as entidades envolvidas, como as autoridades legais e os empreendedores, bem como os agentes que lhes dão apoio técnico nas atividades relativas à concepção, ao projeto, à construção, ao comissionamento, à operação e, por fim, ao descomissionamento (desativação), que devem ser proporcionais ao tipo, dimensão e risco envolvido.

[7] Wikipedia. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kölnbrein_Dam>. Acesso em: 02 fev. 2021.

Para Cruz (1996), os três princípios básicos de segurança de barragens são:

a) Controle de fluxo: tomando o eixo da barragem como referência, objetiva-se, na seção a montante, garantir a maior vedação possível no maciço e na fundação; na seção a jusante, busca-se assegurar uma drenagem interna efetiva;

b) Estabilidade: levando em consideração os diversos tipos de cargas que atuam sobre a barragem, sendo a pressão hidrostática do reservatório a mais significativa, os taludes de montante e jusante devem ser projetados para garantir sua integridade;

c) Compatibilidade das deformações: com a finalidade de reduzir os recalques diferenciais da fundação e dos materiais com diferentes características que compõem o maciço, é preciso prever zonas de transição.

Segundo o Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens (ANA, 2014; BM, 2014), com o propósito de garantir as condições de segurança necessárias das barragens ao longo de sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Tais medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula, no entanto, apesar disso, devem ser complementadas com medidas de defesa civil para minorar as consequências de um possível acidente, especialmente em casos nos quais estão associados danos potenciais mais altos.

Neves (2018) ressalta que o histórico da temática de segurança de barragens no Brasil segue a seguinte cronologia:

- 2003: Projeto de Lei nº 1.181 (BRASIL, 2013), que estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais;

- 2003: criação do Grupo de Trabalho no âmbito da Câmara Técnica de Análise de Projetos (CTAP), do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (GT SB CTAP/CNRH) para discussão sobre o tema;

- 2004: ao final dos trabalhos, o Grupo de Trabalho encaminhou minuta de substitutivo, que foi discutida e aprovada pela Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais (CTIL) e, posteriormente, pelo plenário do CNRH, dando origem ao Projeto de Lei PLC-168 (BRASIL, 2009);

- 2010: publicada a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), que estabeleceu a PNSB, servindo como um marco importante na gestão da segurança de barragens no país.

Xu e Benmokrane[8] (1996 apud BROWN, 2016) entendem que as principais razões para o reforço de barragens existentes são o atendimento às mudanças nos padrões de segurança, a superação de deficiências no projeto e construção, a recuperação da perda de resistência devido à deterioração do concreto e o aumento da altura da barragem.

As grandes preocupações com barragens brasileiras ocorrem porque os projetos, a construção e a manutenção dessas estruturas seguem normas e critérios distintos, reduzindo a confiabilidade na sua segurança. O Brasil não tinha uma lei que regulamentasse a segurança de barragens até o ano 2010 (ANA, 2014; BM, 2014).

A Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens abrangendo barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

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

a) 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 m;

b) capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m^3;

c) reservatório que contenha resíduos perigosos, conforme normas técnicas aplicáveis;

d) categoria de dano potencial associado (DPA), médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, segundo definição do sistema de classificação de barragens, estabelecido pelo Conselho Nacional dos Recursos Hídricos;

e) categoria de risco (CRI) alto, a critério do órgão fiscalizador.

São objetivos da Lei de Segurança de Barragens:

a) garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a fomentar a prevenção e reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências;

b) 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;

[8] XU, H.; BENMOKRANE, B. Strengthening of existing concrete dams using post-tensioned anchors: a state-of-the-art review. Canadian Journal of Civil Engineering, 1996. p. 1009-1014.

c) promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

d) criar condições que ampliem o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, na orientação e na correção das ações de segurança;

e) reunir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

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

g) fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos;

h) 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.

De acordo com a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), empreendedor é a pessoa física ou jurídica que detenha outorga, licença, registro, concessão, autorização ou outro ato que lhe confira direito de operação da barragem e do respectivo reservatório, ou, subsidiariamente, aquele com direito real sobre as terras onde a barragem se localize, se não houver quem os explore oficialmente.

Ainda segundo essa lei, a segurança da barragem deve ser considerada em sua fase inicial de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento, operação, desativação, descaracterização e usos futuros, sendo do empreendedor a responsabilidade legal pela sua segurança, pelos danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento e, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos. A população deve ser estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais da barragem (BRASIL, 2010).

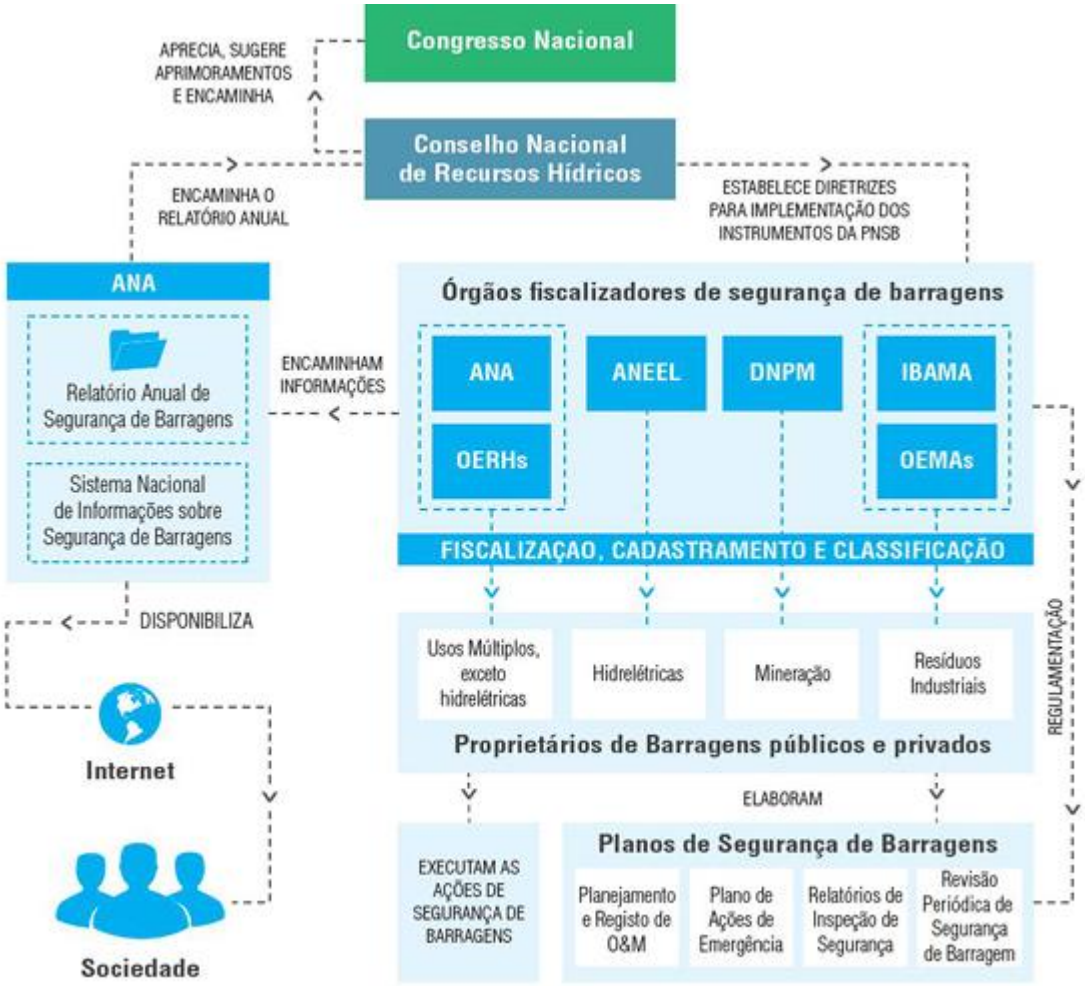
Cabe aos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) a fiscalização da segurança de barragens. A geração hidrelétrica compete à entidade que concede, autoriza ou registra o uso do potencial hidráulico; no Brasil, a Aneel é responsável pela fiscalização de barragens cujo uso preponderante seja a geração de energia hidrelétrica.

Neves (2018) destaca que, dentre as entidades fiscalizadoras, a ANA foi a que recebeu mais atribuições quando da implementação dessa lei. Além da responsabilidade de fiscalizar a segurança das barragens de usos múltiplos situadas em corpos d’água de domínio da União,

cabe a ela promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores na implementação da PNSB, organizar, implantar e gerir o SNISB e, anualmente, coordenar a elaboração do RSB, encaminhando-o ao CNRH; este, após apreciação, envia o Relatório ao Congresso Nacional.

A Figura 14 ilustra o arranjo institucional estabelecido no Brasil para a regulação da segurança de barragens.

Figura 14 – Estrutura institucional da regulação da segurança de barragens no Brasil



Fonte: ANA (2012) e BM (2012)

2.5.1 Os Instrumentos e Pilares da PNSB

Segundo o artigo 6º da Lei de Segurança de Barragens, são instrumentos da PNSB:

a) o sistema de classificação de barragens por CRI e DPA;

b) o Plano de Segurança da Barragem (PSB), incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE);

c) o SNISB;

d) o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);

e) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

f) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

g) o RSB;

h) o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH);

i) o monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência;

j) os guias de boas práticas em segurança de barragens.

De acordo com o RSB (ANA, 2021), dentre os 10 instrumentos ora mencionados, pode-se afirmar que quatro deles são os pilares da PNSB: o sistema de classificação de barragens por CRI e DPA, o PSB, o SNISB e o RSB.

2.5.1.1 Sistema de classificação de barragens

O sistema de classificação de barragens está fundamentado nas prescrições da Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) e na legislação complementar de segurança de barragens. Em seu artigo 7º, a lei estabelece que as barragens são classificadas pelos agentes fiscalizadores por CRI, por DPA e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo CNRH.

A Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015) dispõe que as barragens fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica são classificadas em classes, segundo CRI, DPA e volume do correspondente reservatório, de acordo com a matriz de classificação representada pelo Quadro 1.

Quadro 1 – Matriz de classificação de barragens por CRI e DPA

Categoria de Risco	**Dano Potencial Associado**		
	Alto	**Médio**	**Baixo**
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

Segundo a Aneel, as barragens classificadas como classe A são aquelas que apresentam categoria de risco e dano potencial alto e cujas anomalias necessitam de intervenção de curto prazo para manutenção das condições de segurança, não significando, necessariamente, casos de risco imediato de ruptura.

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

Por fim, as barragens classe C apresentam categoria de risco e dano potencial médio ou baixo, e não apresentam anomalias que comprometam a segurança da barragem.

Os critérios da Aneel que subsidiaram a classificação da barragem na respectiva classe de CRI e DPA estão descritos no capítulo seguinte.

2.5.1.1.1 Critérios para classificação de barragens quanto à categoria de risco

Com base na Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), a CRI compreende a classificação da barragem de acordo com aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre.

De acordo com a Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015), os seguintes critérios são considerados para a classificação de uma barragem quanto à CRI:

a) Características técnicas:

- altura do barramento;

- comprimento do coroamento da barragem;

- tipo de barragem quanto ao material de construção;

- tipo de fundação da barragem;

- idade da barragem;

- tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro.

b) Estado de conservação da barragem:

- confiabilidade das estruturas extravasoras;

- confiabilidade das estruturas de adução;

- eclusa;

- percolação;

- deformações e recalques;

- deterioração dos taludes.

c) Plano de Segurança da Barragem:

- existência de documentação de projeto da barragem;

- 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.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as respectivas matrizes de classificação que compõem a CRI, com base na Resolução nº 696 (BRASIL, 2015), da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Tabela 2 – Características técnicas

1 - 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)**	**Casa de força (g)**
Altura <= 15m (0)	Comprimento <= 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável[9]) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem casa de força associada (0)
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)	Casa de força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc. (2)
30m <= Altura <= 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)	Casa de força ao pé da barragem (5)
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 = ∑ (a até g):						

Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

[9] Cheia Máxima Provável (CMP) corresponde ao limite meteorológico/físico de produção de cheia em uma bacia (FUSARO, 2011)

Tabela 3 – Estado de conservação

2 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO (EC)					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	**Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)**	**Percolação (i)**	**Deformações e Recalques (j)**	**Deterioração dos Taludes/ Paramentos (k)**	**Eclusa (l)**
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento/ canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos 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 hidroeletromecânicas 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 à estrutura vertente (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando (1)

(Continua)

Tabela 3 – Estado de conservação

(Conclusão)

2 – ESTADO DE CONSERVAÇÃO (EC)					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	**Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)**	**Percolação (i)**	**Deformações e Recalques (j)**	**Deterioração dos Taludes/ Paramentos (k)**	**Eclusa (l)**
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução 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 hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos 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 hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)
EC = ∑ (g até l):					

Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

Tabela 4 – Plano de segurança da barragem

3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - 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 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 (6)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-
PS = ∑ (n até r):				

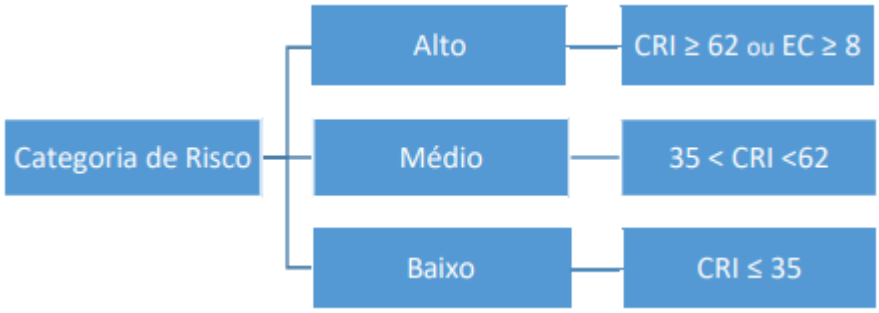
Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

De acordo com o Relatório de Classificação das Barragens – Ciclo 2019, publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a CRI corresponde à consolidação das três matrizes de avaliação das barragens, apresentadas anteriormente nas Tabelas 2, 3 e 4. O somatório dos valores de todas as células das matrizes representa o índice de vulnerabilidade a um acidente do maciço.

Uma barragem será considerada de alto risco se o somatório resultante da pontuação dos critérios de avaliação obtidos nessas matrizes for superior a 62; entre 35 e 62 pontos, a barragem

será considerada de risco médio; abaixo de 35, será considerada de risco baixo. Adicionalmente, caso alguma coluna da matriz Estado de Conservação tenha pontuação maior ou igual a 8, automaticamente, a categoria de risco da barragem será definida como alta. A Figura 15 ilustra os cenários descritos anteriormente.

Figura 15 – Intervalos de classificação de barragens quanto à CRI



Fonte: Aneel (2019)

2.5.1.1.2 Critérios para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado

A Lei de Segurança de Barragens define por DPA à barragem o dano que pode ocorrer em razão de rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento da estrutura, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais.

A Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015) utiliza-se dos critérios listados abaixo para a classificação de uma barragem quanto ao DPA na área afetada:

a) existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;

b) existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;

c) existência de infraestrutura ou serviços;

d) existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;

e) existência de áreas protegidas definidas em legislação;

f) natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados;

g) volume.

Mencionada resolução considera os seguintes aspectos para a classificação de barragens para acumulação de água, quanto ao volume de seu reservatório:

a) pequena: reservatório com volume inferior ou igual a 5 milhões de m^3;

b) média: reservatório com volume superior a 5 milhões de m³ e inferior ou igual a 75 milhões de m³;

c) grande: reservatório com volume superior a 75 milhões de m³ e inferior ou igual a 200 milhões de m³;

d) muito grande: reservatório com volume superior a 200 milhões de m³.

A Tabela 5 apresenta a matriz de classificação por DPA para barragens de acumulação de água, segundo a Resolução nº 696 (BRASIL, 2015), da Aneel.

Tabela 5 – Matriz de classificação de barragens por DPA

Volume total do Reservatório (a)	**Potencial de perdas de vidas humanas (b)**	**Impacto Ambiental (c)**	**Impacto socioeconômico (d)**
Pequeno <= 5 milhões m³ (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 m³ (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)

(Continua)

Tabela 5 – Matriz de classificação de barragens por DPA

(Conclusão)

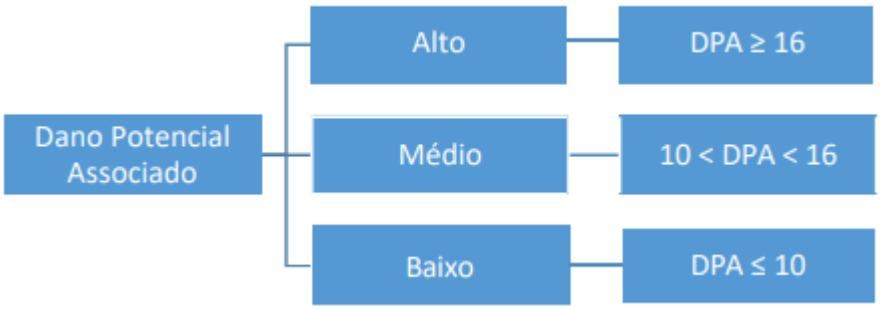
Volume total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Grande 75 milhões a 200 milhões m³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal 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 m³ (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-
DPA = ∑ (a até d):			

Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

De acordo com Aneel, um barramento será considerado de DPA alto caso a soma resultante da pontuação dos critérios de avaliação obtidos nessa matriz seja maior ou igual a 16 pontos; se a pontuação estiver entre 10 e 16 pontos, a barragem será avaliada como de DPA médio, e de baixo DPA para os casos de pontuação menor ou igual a 10 pontos.

A Figura 16 ilustra os intervalos que relacionam o dano potencial associado.

Figura 16 – Intervalos de classificação de barragens quanto ao DPA



Fonte: Aneel (2019)

Segundo o artigo 5º da Resolução nº 696 (BRASIL, 2015), a Aneel publicará relatório de classificação das barragens fiscalizadas em até seis meses contados a partir do término de cada ciclo de classificação, que possui periodicidade anual e iniciar-se-á no primeiro dia útil do mês de novembro.

A resolução entende por usinas existentes as hidrelétricas cuja operação comercial da primeira unidade geradora ocorreu em data anterior à sua publicação. Dessa forma, para usinas existentes, o empreendedor deve encaminhar classificação das barragens sob sua responsabilidade em até seis meses contados a partir da data de publicação da resolução, que ocorreu em 15 de dezembro de 2015. Para as usinas novas, ou seja, usinas cuja operação comercial começou após a publicação da resolução, o prazo será até o início da operação comercial da primeira unidade geradora.

2.5.1.2 Plano de segurança da barragem (PSB)

Segundo o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume I, da ANA (2016), o PSB é um instrumento da PNSB, de implementação obrigatória pelo empreendedor da barragem, cujo objetivo é auxiliá-lo na gestão da segurança. Compreende um conjunto de informações e documentos sobre o projeto da barragem, procedimentos de inspeção, regra operacional e relatório de inspeção, entre outros, e deve estar disponível para a entidade fiscalizadora.

Sua finalidade é assessorar o empreendedor na gestão da segurança da barragem, além de auxiliar as entidades fiscalizadoras de segurança de barragem na verificação do cumprimento das normas relacionadas ao tema.

De acordo com a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), o PSB deve estar disponível e acessível para a equipe responsável pela operação e gestão da barragem no local do empreendimento e para o órgão fiscalizador antes do início da operação da estrutura, além de ser inserido no SNISB.

Mencionado documento deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

a) identificação do empreendedor;

b) dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação dessa lei, do projeto como

construído, além daqueles necessários para a operação e manutenção (O&M) da barragem;

c) estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

d) manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

e) regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

f) indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;

g) Plano de Ação de Emergência (PAE);

h) relatórios das inspeções de segurança regular e especial;

i) revisões periódicas de segurança;

j) identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre;

k) mapa de inundação, considerado o pior cenário identificado;

l) identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem.

Ainda com base na Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), o PSB deve ser atualizado em decorrência das inspeções regulares e especiais, e das revisões periódicas de segurança de barragem (RPSB), incorporando suas exigências e recomendações. Além disso, deve ser elaborado e assinado por responsável técnico com registro no respectivo conselho profissional, e incluir manifestação de ciência por parte do empreendedor, no caso de pessoa física, ou do titular do cargo de maior hierarquia na estrutura da pessoa jurídica.

Segundo o artigo 7º da Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015), para usinas existentes, a elaboração do PSB deve observar os limites final e intermediário dispostos no Quadro 2.

Quadro 2 – Prazos para elaboração do Plano de Segurança da Barragem

Número de usinas por empreendedor	Prazos para elaboração do Plano de Segurança da Barragem	
	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 Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

Para usinas novas, a elaboração do documento deve ser realizada até o início da operação comercial da primeira unidade geradora; para barragens classificadas como A, seu PSB deverá ser elaborado em até um ano, independentemente do número de usinas por empreendedor.

Ainda de acordo com a resolução, o PSB deve ser atualizado em função dos resultados das inspeções regulares e especiais, da revisão periódica de segurança de barragem, de alterações de características técnicas da barragem ou de observações decorrentes das atividades de operação, monitoramento e manutenção.

2.5.1.2.1 Revisão periódica de segurança de barragem (RPSB)

A revisão periódica de segurança de barragem (RPSB) é parte integrante do PSB. A Lei de Segurança de Barragens estabelece que a RPSB deve ser executada com o objetivo de verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

A Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) estabelece que a RPSB indique as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança, quais sejam o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção; o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor; e a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões realizadas anteriormente.

De acordo com a Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015), a execução da revisão compete ao empreendedor e deve ser conduzida por responsável técnico. Ademais, seu artigo 7º estabelece que, para usinas existentes, a periodicidade de realização da revisão será definida

de acordo com a classe da barragem, conforme demonstrado no Quadro 3; para usinas novas, a RPSB deve ocorrer até o quinto ano desde o primeiro enchimento do reservatório.

Quadro 3 – Periodicidade da RPSB

Periodicidade	**Classe da Barragem**		
	A	**B**	**C**
	5 anos	7 anos	10 anos

Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

Segundo Neves (2018), a RPSB precisa ser realizada por equipe multidisciplinar com competência nas diversas disciplinas que envolvam a segurança da barragem em estudo. O profissional que assinará o documento deve ser legalmente habilitado, com registro no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA).

2.5.1.2.2 Inspeção de segurança regular (ISR)

As inspeções de segurança regulares e especiais também são partes integrantes do PSB. Sua periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento são definidos pelo órgão fiscalizador em função da CRI e DPA da barragem (BRASIL, 2010).

A ISR é realizada pela própria equipe de segurança da barragem e o relatório resultante dessa inspeção deve estar disponível ao órgão fiscalizador e à sociedade civil. Seu objetivo é monitorar os problemas e detectar anomalias na barragem, constituindo-se em uma ferramenta de alta relevância para identificar perigos em potencial e iminentes, e definir as medidas preventivas ou corretivas a serem adotadas pelos empreendedores (ANA, 2016).

A ISR compreende as etapas de planejamento da inspeção, execução da inspeção no campo, avaliação dos resultados e elaboração do relatório, e seus produtos são a ficha de inspeção preenchida, o relatório de inspeção regular e o extrato da inspeção de segurança regular de barragem (ANA, 2016).

Em consonância com a Lei de Segurança de Barragens, os relatórios resultantes das inspeções de segurança devem indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, sendo responsabilidade do órgão fiscalizador

estabelecer o prazo para que o empreendedor cumpra com as ações previstas nos relatórios de inspeção de segurança.

A Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015) estabelece que os relatórios de ISR contenham, minimamente, as seguintes informações:

a) identificação do representante legal do empreendedor;

b) identificação do responsável técnico;

c) avaliação da instrumentação disponível na barragem, indicando a necessidade de manutenção, reparo ou aquisição de equipamentos;

d) avaliação de anomalias que acarretem mau funcionamento, indícios de deterioração ou defeitos construtivos da barragem;

e) comparativo com ISR anterior;

f) diagnóstico do nível de segurança da barragem, segundo as seguintes categorias:

- normal: quando não houver anomalias ou, se existirem, que não comprometam a segurança da barragem, no entanto, devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;

- atenção: quando as anomalias não comprometerem a segurança da barragem no curto prazo, mas exigirem monitoramento, controle ou reparo ao decurso do tempo;

- alerta: quando as anomalias representarem risco à segurança da barragem, exigindo providências para manutenção das condições de segurança;

- emergência: quando as anomalias representarem risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

g) indicação de medidas necessárias à garantia da segurança da barragem.

De acordo com essa resolução, as ISR devem ser realizadas sempre que houver alteração do nível de segurança da barragem, observada a periodicidade limite disposta no Quadro 4.

Quadro 4 – Periodicidade limite da ISR

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

Fonte: Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015)

Para usinas existentes, a primeira ISR deve ser efetuada segundo os limites final e intermediário dispostos no Quadro 2, que apresenta os prazos para elaboração do PSB. No caso de novas usinas, a inspeção inicial precisa ser feita até o início da operação comercial da primeira unidade geradora.

2.5.1.2.3 Inspeção de segurança especial (ISE)

De acordo com as disposições da Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015), a inspeção de segurança especial (ISE) visa manter ou restabelecer o nível de segurança da barragem à categoria normal e deve ser realizada substitutivamente à ISR, sempre que o nível de segurança do barramento estiver nas categorias alerta ou emergência.

A Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) define que a realização da ISE por equipe multidisciplinar de especialistas obedeça às orientações do órgão fiscalizador, levando em consideração a CRI e o DPA da barragem nas fases de construção, operação e desativação, e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

Segundo o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II, da ANA (2016), a ISE deve ser realizada na sequência de ocorrências excepcionais, como cheias ou sismos, com período de recorrência superior ao previsto, bem como de circunstâncias anômalas que possam influenciar a segurança ou a funcionalidade da obra, como a ruptura de barragens situadas a montante e a queda de taludes para o interior do reservatório. O conteúdo mínimo necessário a ser apresentado no relatório de inspeção de segurança é o mesmo descrito para o relatório de inspeção de segurança regular.

Ainda em conformidade com o manual publicado pela ANA (2016), as grandezas a serem monitoradas dependem de vários fatores – como o tipo e característica da estrutura, condicionantes geológico-geotécnicos e etapas construtivas – e têm relação direta com o tipo de estrutura. Nas barragens de aterro, o interesse normalmente está voltado para a observação de depressões e afundamentos, assim como para as pressões no interior do aterro; por sua vez, nas barragens de concreto, o foco é observar o comportamento térmico do concreto, os deslocamentos globais das estruturas e os deslocamentos diferenciais entre as juntas que separam os blocos.

Para qualquer tipo de barragem, devem ser mensuradas as seguintes grandezas (ANA, 2016):

a) os níveis d’água no reservatório, a montante e a jusante;

b) as temperaturas do ar e da água do reservatório;

c) as precipitações.

A medição periódica dos níveis d’água no reservatório é realizada, normalmente, por meio de leitura direta em réguas milimétricas dispostas em determinados pontos. Diante da importância desse dado na operação do reservatório, as réguas devem ser aferidas por controle topográfico (ANA, 2016).

Para a medição das temperaturas do ar, utilizam-se termômetros de máxima e de mínima, instalados em locais protegidos da ação direta dos raios solares.

Por fim, a medição da quantidade de precipitação é feita por udômetros (pluviômetros) instalados em locais representativos – quando possível – das condições ambientais do aproveitamento. Estações meteorológicas permitem tanto a medição da temperatura quanto da quantidade de precipitação.

Segundo o Relatório de Segurança de Barragens, publicado em 2020, existem atualmente 33 entidades efetivamente fiscalizadoras de segurança de barragens, ou seja, possuem estruturas em seus respectivos cadastros para fiscalização. No que diz respeito à forma de estrutura de cada um desses órgãos, verifica-se que 64% possuem equipes compostas por até cinco integrantes trabalhando no tema, outros 30% possuem entre seis e 15 integrantes, e 6% restante, acima de 15 integrantes.

O Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens para Entidades Fiscalizadoras (ANA, 2016) cita a necessidade de uma equipe composta por dois técnicos com dedicação exclusiva para até 30 barragens fiscalizadas; uma equipe de dois a cinco técnicos para até 100 barragens fiscalizadas; seis a 10 técnicos para até 300 barragens fiscalizadas; 10 a 20 técnicos para até 1.000 barragens fiscalizadas e mais de 20 técnicos para mais de 1.000 barragens fiscalizadas.

Com base nos dados acima, constata-se que 15 órgãos fiscalizadores possuem, teoricamente, quantitativo adequado para desempenho das atividades de fiscalização; os outros 18 órgãos não contam com equipe adequada em relação ao número de barragens cadastradas (ANA, 2021).

2.5.1.2.4 Plano de ação de emergência (PAE)

De acordo com a Resolução Aneel nº 696 (BRASIL, 2015), o plano de ação de emergência (PAE) estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor, na hipótese de o nível de segurança da barragem enquadrar-se na categoria de emergência, e se constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B.

É importante destacar que a Agência Nacional de Energia Elétrica pode exigir do empreendedor a elaboração do PAE sempre que considerá-lo necessário, independentemente da classificação da barragem, mediante fundamentação. Tal elaboração deve ser conduzida por responsável técnico e contemplar minimamente:

a) descrição das instalações da barragem e das possíveis situações de emergência;

b) procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento, de condições potenciais de ruptura da barragem ou de outras ocorrências anormais;

c) procedimentos preventivos e corretivos, e ações de resposta às situações emergenciais identificadas nos cenários acidentais;

d) programas de treinamento e divulgação para os envolvidos e para as comunidades potencialmente afetadas, com a realização de exercícios simulados periódicos;

e) atribuições e responsabilidades dos envolvidos, e fluxograma de acionamento;

f) medidas específicas, em articulação com o poder público, para resgatar atingidos, pessoas e animais, para mitigar impactos ambientais, para assegurar o abastecimento de água potável e para resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural;

g) dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários para resposta ao pior cenário identificado;

h) delimitação da Zona de Autossalvamento[10] (ZAS) e da Zona de Segurança Secundária[11] (ZSS), a partir do mapa de inundação[12];

[10] Trecho do vale a jusante da barragem onde não haja tempo suficiente para intervenção da autoridade competente em situação de emergência, conforme mapa de inundação (BRASIL, 2010).

[11] Trecho constante do mapa de inundação não definido como zona de autossalvamento (BRASIL, 2010).

[12] Delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por eventual vazamento ou ruptura da barragem e seus possíveis cenários associados, objetivando facilitar a notificação eficiente e evacuação de áreas afetadas por essa situação (BRASIL, 2010).

i) levantamento cadastral e mapeamento atualizado da população existente na ZAS, incluindo a identificação de vulnerabilidades sociais;

j) sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem integrado aos procedimentos emergenciais;

k) plano de comunicação, incluindo contatos dos responsáveis pelo PAE no empreendimento, da prefeitura municipal, dos órgãos de segurança pública e de proteção e defesa civil, das unidades hospitalares mais próximas e das demais entidades envolvidas;

l) previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência, com alcance definido pelo órgão fiscalizador;

m) planejamento de rotas de fuga e pontos de encontro, com a respectiva sinalização.

Segundo a Lei de Segurança de Barragens, o empreendedor deve, antes do início do primeiro enchimento do reservatório da estrutura, elaborar, implementar e operacionalizar o PAE, e realizar reuniões com as comunidades para apresentação do plano e da execução das medidas preventivas nele previstas. Esse documento deve estar disponível no *site* do empreendedor e ser mantido, em meio digital, no SNISB, e em meio físico, no empreendimento, nos órgãos de proteção e defesa civil dos municípios inseridos no mapa de inundação ou na prefeitura municipal.

Ainda de acordo com a lei, o PAE deve ser revisto periodicamente nas seguintes ocasiões: quando o relatório de inspeção ou o RPSB assim o recomendar; sempre que a instalação sofrer modificações físicas, operacionais ou organizacionais capazes de influenciar no risco de acidente ou desastre; quando a execução do PAE em exercício simulado, acidente ou desastre indicar a sua necessidade; em outras situações, a critério do órgão fiscalizador.

O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV (ANA, 2016) prevê, no PAE, a descrição das situações que podem afetar a segurança e produzir um cenário de emergência para a barragem e o respectivo nível de resposta.

A gestão da emergência é realizada em função do nível de resposta, que é a convenção utilizada para graduar as situações que podem comprometer a segurança da barragem e as ocupações a jusante (ANA, 2016). A classificação do nível de resposta ocorre em quatro níveis,

em conformidade com a descrição das características gerais de cada situação de emergência em potencial da barragem (Figuras 17 e 18).

Figura 17 – Classificação do nível de resposta no PAE

0	**Normal (verde):** quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem não comprometam a segurança da barragem, mas devam ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;
1	**Atenção (amarelo):** quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem não comprometam a segurança da barragem no curto prazo, mas devam ser controladas, monitoradas ou reparadas;
2	**Alerta (laranja):** quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem representem risco à segurança da barragem, no curto prazo, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema;
3	**Emergência (vermelho):** quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos à barragem representem risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes do colapso da barragem.

Fonte: ANA (2016)

Figura 18 – Caracterização genérica das situações que acionam os diversos níveis de resposta

Nível de Resposta	Situação
VERDE	Situações de incidente declarado ou previsível, com as seguintes características: i) serem estáveis ou que se desenvolvem muito lentamente no tempo; ii) poderem ser controladas pelo Empreendedor; iii) poderem ser ultrapassadas sem consequências nocivas no vale a jusante.
AMARELO	Situações que impõem um estado de atenção na barragem e/ou no vale a jusante, inclusive no caso em que a magnitude da vazão afluente ao reservatório exija a liberação de vazão efluente superior às condições de restrição a jusante (cotas ou vazões limites impostas para evitar inundação de habitações ou infraestruturas importantes). As características principais são: i) a situação tende a progredir lentamente, permitindo a realização de estudos para apoio à tomada de decisão; ii) existe a convicção de ser possível controlar a situação, embora o coordenador do PAE possa vir a necessitar de assistência especial de entidades externas; iii) existe a possibilidade de a situação se agravar e de se desenvolverem efeitos perigosos no vale a jusante sobre pessoas e bens.
LARANJA	Situações que impõem um estado de alerta geral na barragem. As características principais deste nível de resposta são as seguintes: i) a situação tende a progredir rapidamente, podendo não existir tempo disponível para a realização de estudos para apoio à tomada de decisão; ii) admite-se não ser possível controlar o acidente, tornando-se indispensável a intervenção de entidades externas; iii) existe a possibilidade de a situação se agravar com a ocorrência de consequências muito graves no vale a jusante.
VERMELHO	Situação de catástrofe inevitável, incluindo o início da ruptura da barragem.

Fonte: ANA (2016)

As ações de respostas esperadas pelo coordenador do PAE, responsável por comandar as ações descritas no plano, uma vez estabelecido o nível de resposta correspondente àquela

situação, são definidas pelo Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV (ANA, 2016).

O nível verde de resposta corresponde à detecção de uma anomalia ou evento para a barragem que não apresenta risco à segurança da estrutura, nem de seus órgãos extravasores. As principais ações a serem desempenhadas pelo coordenador do PAE nesse nível são: monitorar a situação, implementar medidas preventivas e corretivas, e notificar os recursos humanos da barragem e o empreendedor.

Para o nível amarelo, quando há situações que apresentam um estado de atenção à barragem, o coordenador deve atuar nos seguintes aspectos: notificar os recursos humanos na barragem e, eventualmente, monitorar a situação com vigilância permanente (24 h/dia), mantendo-se atualizado sobre a evolução das condições meteorológicas e hidrológicas; verificar a operacionalidade dos meios e registrar todas as ocorrências e procedimentos; implementar medidas preventivas e corretivas, no sentido de minimizar as consequências do incidente; notificar o empreendedor, a entidade fiscalizadora e os responsáveis pelos serviços de defesa civil; e acionar o sistema de alerta à população caso estejam previstas ocorrências de descargas.

O nível laranja corresponde às situações que apresentam um estado de alerta geral na barragem. Aqui, o coordenador do PAE deve desempenhar ações idênticas às estabelecidas para o nível amarelo, sendo a principal ação o acionamento de sinal de alerta à população na ZAS, para que esta entre em estado de prontidão para eventual evacuação.

Por fim, no nível vermelho, a ruptura já é visível ou constitui uma realidade a curto prazo. A principal ação do coordenador do PAE é o acionamento do sistema de alerta à população na ZAS, visando sua evacuação. As ações previstas no nível anterior laranja também devem ser executadas.

2.5.1.3 Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

A Lei de Segurança de Barragens instituiu o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) para registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o país. Segundo a Resolução CNRH nº 144 (BRASIL, 2012), o SNISB tem como objetivo coletar, armazenar, tratar, gerir e disponibilizar para a sociedade as informações relacionadas à segurança de barragens em todo o território nacional.

Os responsáveis diretos pelas informações desse sistema são a da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, como gestora e fiscalizadora; os órgãos fiscalizadores, conforme disposto no artigo 5º da Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010); e os empreendedores.

A Resolução CNRH nº 144 (BRASIL, 2012) determina que à ANA, como gestora do SNISB, cabem as seguintes competências: desenvolver plataforma informatizada para sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas; estabelecer mecanismos e coordenar a troca de informações com os demais órgãos fiscalizadores; definir as informações que comporão o SNISB, em articulação com os demais órgãos fiscalizadores; e disponibilizar o acesso a dados e informações para a sociedade, por meio da Rede Mundial de Computadores.

Aos empreendedores compete atualizar as informações cadastrais relativas às suas barragens junto ao respectivo órgão fiscalizador, e articular-se com o órgão fiscalizador, com o intuito de permitir adequado fluxo de informações.

Ainda segundo a resolução de 2012, compete aos órgãos fiscalizadores manter o cadastro atualizado das barragens sob sua jurisdição; disponibilizar permanentemente o cadastro e demais informações sobre as barragens sob sua jurisdição, em formato que permita sua integração ao SNISB, em prazo a ser definido pela ANA, em articulação com os órgãos fiscalizadores; e manter atualizada no SNISB a classificação das barragens sob sua jurisdição por CRI, por DPA e pelo seu volume.

De acordo com o Banco Mundial (2015), as entidades fiscalizadoras fornecerão à ANA os dados, que devem ser atualizados constantemente. Essas entidades serão beneficiárias da interação com o SNISB e terão direitos de acesso a toda informação consolidada sobre a segurança de barragens nele contida e a todas as ferramentas disponíveis no sistema para o seu gerenciamento.

A ANA informa que o SNISB está sendo desenvolvido com base no conceito modular e com desenvolvimento faseado. A modularidade tem como objetivo diminuir a complexidade do sistema, facilitando o seu desenvolvimento, as atualizações e a expansão futura. Este modelo pretende garantir flexibilidade na inserção de novas funcionalidades e proceder à adaptação progressiva do sistema.

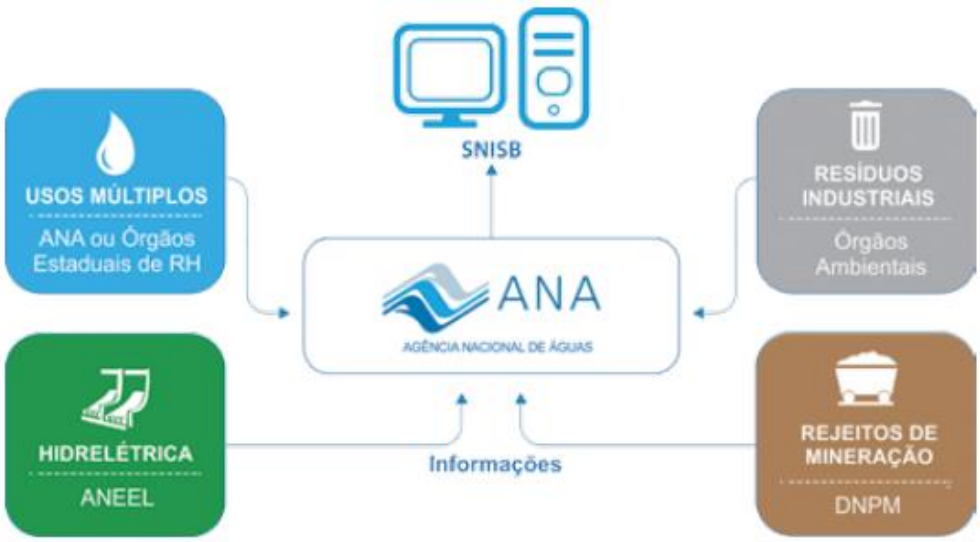
A parte desenvolvida até então permite o armazenamento de registro detalhado das principais características das barragens, apresentando gráficos e mapas, além do armazenamento e gerenciamento de informações relativas ao PSB, suas inspeções, revisões

periódicas, PAE, dentre outros. O portal do sistema também fornece informações como legislações/regulamentos, guias e manuais, além dos RSBs.

Ademais, a Agência assegura que o SNISB possui dois níveis de acesso, um destinado ao público em geral, cujo acesso é livre para consultas e visualização de mapas, gráficos e tabelas, e outro voltado aos fiscalizadores de segurança de barragens. Para esses agentes é reservado o acesso restrito, que necessita de *login* e senha. Fazendo uso desse perfil, a ANA realiza a gestão geral do sistema; os demais órgãos fiscalizadores o utilizam para inserir, alterar e excluir os dados referentes à sua área de atuação.

O fluxo de informações para compor o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 – O SNISB e sua relação com as diferentes entidades fiscalizadoras de segurança de barragens



Fonte: Banco Mundial (2015)

De acordo com o RSB de 2020, o número de barragens cadastradas no SNISB é de 21.953, porém, 60% delas não possuem informações suficientes para que os órgãos fiscalizadores definam se a barragem é ou não submetida à PNSB, fato este que persiste ano após ano (ANA, 2021).

2.5.1.4 Relatório de segurança de barragens (RSB)

O relatório de segurança de barragens (RSB) é um documento elaborado anualmente pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, com o objetivo de retratar a implementação da PNSB no país (ANA, 2019). Trata-se de um instrumento importante da

PNSB, que tem como objetivos apresentar à sociedade um panorama da implantação da PNSB e de sua eficácia na evolução da segurança das barragens brasileiras, na redução de incidentes e acidentes, e na melhoria da gestão de riscos (BM, 2015).

Compete à ANA a coordenação da elaboração do RSB, juntamente com as entidades fiscalizadoras, com base nas informações recebidas dessas entidades.

De acordo com a Resolução CNRH nº 144 (BRASIL, 2012), o RSB deve conter, no mínimo, informações atualizadas sobre:

a) os cadastros de barragens mantidos pelos órgãos fiscalizadores;

b) a implementação da PNSB;

c) a relação das barragens que apresentem categoria de risco alto;

d) as principais ações para melhoria da segurança de barragem implementadas pelos empreendedores;

e) a descrição dos principais acidentes e incidentes durante o período de competência do relatório, bem como a análise, por parte dos empreendedores e do respectivo órgão fiscalizador, sobre as causas, consequências e medidas adotadas;

f) a relação dos órgãos fiscalizadores que remeteram informações para a ANA, com a síntese das informações enviadas;

g) os recursos dos orçamentos fiscais da União e dos Estados previstos e aplicados durante o período de competência do relatório em ações para a segurança de barragens.

O artigo 9º da Resolução CNRH nº 144 (BRASIL, 2012) estabelece que, no conteúdo do RSB, deve constar o período compreendido entre 1º de outubro do ano anterior e 30 de setembro do seu ano de referência. Os empreendedores têm o prazo de até 31 de outubro de cada ano para enviar aos órgãos fiscalizadores as informações necessárias para formulação do relatório em questão; os órgãos fiscalizadores, por sua vez, têm o prazo de até 31 de janeiro de cada ano para enviar à ANA as informações que subsidiem a elaboração do RSB.

Complementarmente, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico deve informar no RSB os órgãos fiscalizadores que não enviaram as informações; o relatório deve ser encaminhado de forma consolidada ao CNRH até 31 de maio (BRASIL, 2012).

Ao CNRH, cabe anualmente apreciar o RSB, fazendo, se necessário, recomendações para a melhoria da segurança das obras, e encaminhá-lo ao Congresso Nacional até o dia 20 de setembro de cada ano.

2.6 PRÁTICAS INTERNACIONAIS NA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

Em 2013, a ANA, em parceria com o Banco Mundial, elaborou o relatório denominado "Produto 3: Classificação de Barragens: Melhores Práticas Nacionais e Internacionais". Para tanto, o BM solicitou os serviços profissionais do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) para dar suporte às várias tarefas e ações no âmbito da assessoria técnica.

De acordo com o relatório, a maioria dos países com leis federais e/ou estaduais de segurança de barragens adotaram sistemas de classificação por danos potenciais das consequências relacionadas a uma ruptura de barragem e à inundação subsequente das áreas a jusante. Esses sistemas reconhecem que uma ruptura ou o mau funcionamento de qualquer barragem ou estrutura que armazena água ou outros líquidos, ou ainda misturas de sólidos com líquidos, seja qual for seu tamanho, coloca em risco a vida e os bens a jusante.

Com base na classificação quanto ao DPA da barragem, são selecionadas as condições às quais a barragem precisa resistir, como por exemplo, um terremoto, para garantir que ela não seja um perigo inaceitável para a população ou para o meio ambiente.

O relatório também destaca que um sistema de classificação de dano potencial normalmente é selecionado por meio de uma abordagem por etapas, que possui três níveis: (i) presuntivo; (ii) avaliação de dano incremental (estudos de ruptura de barragens); e (iii) avaliação baseada no risco.

O nível presuntivo utiliza dados existentes e inspeções de campo; o nível mais complexo (avaliação baseada no risco) consiste em um processo que usa informações sobre o risco para auxiliar na tomada de decisões sobre uma ampla variedade de atividades de segurança de barragens, como por exemplo, decisões sobre a periodicidade das inspeções; a necessidade de mais instrumentação; a necessidade de mais estudos técnicos; a avaliação do impacto de incertezas sobre o nível do risco; a suficiência de provas para justificar a necessidade de ações de remediação; a seleção de uma ação de remediação para resolver uma deficiência identificada; a priorização de projetos e ações; e a sequência em que as ações de remediação serão adotadas em determinada barragem ou grupo de barragens.

Apesar de a avaliação baseada no risco não ser um sistema formal de classificação de barragens, esse método pode ser útil para barragens individuais ou um conjunto de barragens. Atualmente, esse tipo de abordagem constitui uma prática padrão ou em vias de adoção na Austrália, Canadá, Reino Unido e Estados Unidos. França, Portugal e Espanha utilizam os sistemas de classificação por dano potencial para identificar as barragens de acordo com os impactos de suas consequências, contudo, a implantação da avaliação pautada no risco para classificar suas barragens ainda está sob análise.

A seguir, encontra-se um panorama dos sistemas de classificação de barragens adotados em vários países.

2.6.1 Argentina

O Organismo Regulador da Segurança de Barragens (ORSEP) foi criado pelo Decreto nº 239, do Poder Executivo Nacional argentino, no ano de 1999. O ORSEP tem por objetivo básico assegurar que as barragens sob sua jurisdição estejam em concordância com as normas mais estritas de segurança, a fim de proteger a população e o patrimônio nacional. Esse órgão também foi incumbido de elaborar um sistema de classificação de barragens no país (ANA; BM, 2012).

O sistema de classificação implantado na Argentina baseia-se nas consequências incrementais[13] que seriam produzidas quando da ruptura potencial de uma barragem. A Figura 20 apresenta o sistema de classificação elaborado pelo ORSEP.

[13] Danos ou perdas além dos que teriam resultado do mesmo evento hidrológico observado no local, se a barragem não tivesse rompido. Consequências incrementais dividem-se em perdas de vidas humanas, danos socioambientais e perdas econômicas (ANA; BM, 2012).

Figura 20 – Classificação de barragens na Argentina

Categoria		Consequências Incrementais		
Designação	Nível de Consequências	Perda de Vidas	Danos Socioambientais	Danos Econômicos
I	Alto	Sim	Altos	Altos
II	Significativo	Não	Significativos	Significativos
III	Baixo	Não	Baixos	Baixos

	Categoria		
	I **Nível de Consequências Alto**	**II** **Nível de Consequências Significativo**	**III** **Nível de Consequências Baixo**
Perda de Vidas	Possível perda de vidas. População em risco em zonas próximas à barragem, e/ou em zonas habitadas distantes da barragem onde, mesmo com alerta imediata, a perda de vidas é possível.	Não se espera perda de vidas. População em risco em áreas distantes da barragem onde é possível fazer alertas com antecipação suficiente para haver uma evacuação. População em risco limitada a áreas rurais e/ou pequenos centros urbanos com menos que 2.000 habitantes.	Não se espera perda de vidas. Sem população em risco, e portanto sem possibilidade de perda de vidas, a não ser por eventos imprevisíveis.
Danos Socioambientais	Impactos para ativos ambientais importantes. Danos ambientais não recuperáveis ou recuperáveis apenas em longo prazo. Impacto na vida e na saúde humana. Perda ou degradação de habitats importantes para animais e vegetação. Impactos na produção, armazenamento ou transporte de materiais de dano potencial que podem impactar o ambiente e a população.	Danos ambientais importantes mas recuperáveis a longo prazo. Perda apenas marginal de habitats de animais e vegetação. Sem impacto na produção, armazenamento ou transporte de materiais de dano potencial que possam afetar o ambiente e a população.	Perdas mínimas em curto prazo, sem perdas a longo prazo.
Danos Econômicos	Grandes perdas econômicas. Impactos em serviços públicos e privados. Danos à infraestrutura, habitações, indústrias e comércio.	Perda de infraestrutura e de serviços menores, com impacto em um número limitado de usuários. Perda de áreas de recreação. Perda de locais onde há oferta de trabalhos ocasionais.	Perdas econômicas menores, geralmente dentro da propriedade do empreendedor da barragem. Área atingida consiste de infraestrutura com serviços limitados.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de Diretrizes de Segurança de Barragens (ORSEP, 2011)

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o Banco Mundial (2012), a categoria deve ser definida em função das consequências incrementais mais severas, sejam elas de perda de vidas, danos socioambientais ou perdas econômicas. Para classificar uma barragem como categoria II ou III, é primordial verificar se os três tipos de consequências incrementais não ultrapassam o critério fixado para a respectiva categoria. Caso apenas um dos parâmetros dos critérios seja excedido, a barragem será classificada na categoria correspondente, ou seja, para classificar uma barragem como categoria I, basta verificar se apenas uma das consequências incrementais cumpre o critério fixado para essa categoria.

Atualmente, o ORSEP passa por processo de atualização de seus critérios de classificação de segurança de barragens, com adequações para uma abordagem probabilística de análise de riscos (LEITE, 2019).

2.6.2 Estados Unidos da América

Em junho de 1979, o Comitê Interagência sobre Segurança de Barragens (ICODS) publicou seu relatório com as primeiras diretrizes para órgãos federais e empreendedores de barragens, e a Lei do Programa Nacional de Segurança de Barragens foi promulgada em 12 de outubro de 1996, como parte da Lei para o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 1996 (PL 104-310); esta, por sua vez, foi emendada pela Lei de Segurança de Barragens, de 2002, para durar até 2006 (PL 107-310). A Lei do Programa Nacional de Segurança de Barragens é administrada pela Agência Federal de Gerenciamento de Emergências (FEMA), que se constitui em um órgão do Departamento de Segurança Interna (ANA; BM, 2012).

Normalmente, as barragens são classificadas pelos órgãos federais e estaduais de segurança de barragens em função do impacto de uma falha (ruptura) ou mau funcionamento (liberação não planejada) sobre áreas a montante e/ou a jusante ou em locais distantes da barragem.

Existem no país diversos sistemas de classificação, que variam dentro e entre as entidades federais e estaduais. Na sequência serão apresentados os sistemas de classificação de barragens da FEMA, dos Estados, do *United States Bureau of Reclamation* (USBR) e do *United States Army Corps of Engineers* (USACE).

2.6.2.1 FEMA

A *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), ou Agência Federal de Gestão de Emergências, administra o Programa Nacional de Segurança de Barragens dos Estados Unidos. Essa agência apresenta um relatório a cada dois anos sobre segurança de barragens, contendo dados fornecidos por todos os órgãos reguladores federais e estaduais do país (ANA; BM, 2012).

Em 1979, o ICODS publicou seu relatório com as primeiras diretrizes federais para a segurança de barragens para os órgãos federais e empreendedores. Uma das cinco diretrizes foi o sistema de classificação de danos potenciais para barragens. Para a classificação foram adotados três níveis, relacionados em ordem crescente de consequências adversas incrementais: baixo, significativo e alto. Os níveis de classificação dependem uns dos outros, ou seja, os níveis de classificação mais altos somam-se à lista de consequências para os níveis de classificação mais baixos.

A Figura 21 apresenta o sistema de classificação de barragens da FEMA.

Figura 21 – Sistema de classificação de barragens segundo a FEMA

Classificação do Dano Potencial	Perda de Vidas Humanas	Perdas Econômicas, Ambientais e de Serviços Vitais
Baixo (1)	Nenhuma esperada	Baixas e geralmente limitadas ao empreendedor
Significativo (2)	Nenhuma esperada	Sim
Alto (3)	Provável. Uma ou mais esperada	Sim (mas não necessárias para esta classificação)

Notas:

(1) As barragens classificadas com dano potencial baixo são aquelas onde o resultado de uma ruptura ou mau funcionamento é nenhuma perda provável de vidas humanas e baixas perdas econômicas ou ambientais. As perdas se limitam principalmente à propriedade do empreendedor.

(2) As barragens classificadas com dano potencial significativo são aquelas onde o resultado de uma ruptura ou mau funcionamento é nenhuma perda provável de vidas humanas, mas que podem causar perdas econômicas, danos ambientais, perturbação de serviços vitais ou outros impactos preocupantes. As barragens classificadas com dano potencial significativo frequentemente estão localizadas em áreas predominantemente rurais ou agrícolas, mas podem estar localizadas em áreas povoadas com infraestrutura significativa.

(3) As barragens classificadas com dano potencial alto são aquelas onde o resultado de uma ruptura ou mau funcionamento provavelmente causará a perda de vidas humanas, bastando esse critério para classificá-las.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de Diretrizes Federais para a Segurança de Barragens: Sistema de Classificação de Danos Potenciais em Barragens, Departamento de Segurança Interna dos EUA (FEMA, 1998)

O sistema de classificação da FEMA categoriza as barragens por dano potencial em função da provável perda de vidas humanas e das perdas econômicas, ambientais e de serviços vitais. Essa classificação baseia-se nas considerações relacionadas aos efeitos de uma ruptura ou mau funcionamento de uma barragem durante condições de vazão normal e de cheia. A classificação atribuída deve se pautar pelas consequências que levarão à classificação mais alta de dano potencial, considerando todos os cenários prováveis de ruptura e mau funcionamento.

Em casos nos quais a ruptura ou o mau funcionamento de uma barragem contribuírem para o colapso de uma ou mais barragens a jusante, a classificação dos danos potenciais dessa estrutura deve ser, pelo menos, tão alta quanto à classificação das barragens a jusante e é preciso levar em consideração as consequências adversas incrementais de falhas em barragens em cascata.

2.6.2.2 Os estados americanos

Nos Estados Unidos, a gestão de segurança de barragens varia drasticamente de um estado para outro. Alguns estados possuem competência para restringir a operação de qualquer

barragem ou reservatório que apresente preocupações quanto à segurança, no entanto, a maioria não possui autoridade para fazer cumprir a lei (ANA; BM, 2012).

As classificações de danos potenciais de barragens variam entre os estados, mas no geral, incluem três classes que se baseiam na perda de vidas e nos danos causados a jusante pela ruptura de uma barragem: (i) danos potenciais altos significam provável perda de devidas; (ii) danos potenciais significativos expressam possível perda de vida, grandes danos e (iii) danos potenciais baixos significam sem perda de vidas e danos menores. A maioria dos estados utiliza as três classes propostas pela FEMA, exceto Arizona, Califórnia, Colorado, New Hampshire, Ohio, Oklahoma e West Virginia, que adotam quatro categorias.

Os requisitos para segurança de barragens vinculam-se às classificações de danos potenciais das barragens. Estruturas com danos potenciais altos possuem requisitos de projeto mais rigorosos, como poder sustentar a carga do maior terremoto imaginável, passar com segurança pela cheia máxima provável, entre outros. Por outro lado, as barragens com danos potenciais significativos possuem requisitos menos específicos e menos difíceis, como por exemplo, o requisito de suportar 50% da CMP. As barragens com danos potenciais baixos podem apenas ter que suportar uma tempestade de 100 anos, sem requisito de investigações ou análises geotécnicas, desde que sejam citados projetos com precedentes (ANA; BM, 2012).

2.6.2.3 USBR

O *United States Bureau of Reclamation* (USBR) elaborou e publicou, em 1998, as Diretrizes para a Classificação de Danos Potenciais a Jusante, com os objetivos de fornecer orientação e critérios para identificação de danos potenciais a jusante; definir o método "Avaliação da Segurança de Barragens Existentes" (SEED), a fim de atribuir classes de danos potenciais às barragens; orientar e prover métodos para estimar a área a jusante suscetível à cheias pela ruptura de barragens; e promover coerência na classificação de danos potenciais a jusante (ANA; BM, 2012).

A Figura 22 ilustra o sistema de classificação de danos potenciais que tem sido utilizado pelo programa SEED na classificação de barragens do USBR, em função do dano potencial a jusante.

Figura 22 – Sistema de classificação de Danos Potenciais a Jusante, segundo o USBR

Classificação do Dano Potencial	Vidas em Perigo [1]	Perdas Econômicas [2]
Baixo	0	Mínimas (agricultura não desenvolvida, estruturas desabitadas dispersas ou recursos naturais importantes em escala mínima)
Significativo	1-6	Consideráveis (área rural com bastante lavoura, indústria ou lugares de trabalho, ou recursos naturais importantes)
Alto	Maior do que 6	Excessivas (área urbana com muitas comunidades, indústria, agricultura ou recursos naturais importantes)

Notas:

(1) Vidas-em-Perigo: todos os indivíduos dentro dos limites da área da cheia que, se não forem evacuados, ficarão sujeitos a um perigo que corresponde aos critérios na Seção IV das Diretrizes para a Classificação de Danos Potenciais a Jusante (USBR). O conceito "vidas em perigo" se restringe aos impactos diretos a jusante, resultantes de uma cheia causada pela ruptura da barragem. Assim, "vidas em perigo" não abrangem situações, por exemplo, de pessoas no reservatório ou acidentes de veículos causados por uma ponte que caiu (depois que a cheia passou). "Vidas em perigo" se dividem em uso permanente e uso temporário. Os valores na tabela acima ("1-6" e "Maior do que 6" para danos significativos e altos, respectivamente) são puramente arbitrários. Os critérios mais antigos para classificar os danos potenciais a jusante usavam "poucas" e "mais do que poucas" vidas em perigo, para as categorias de dano significativo e alto, respectivamente. Os valores na tabela servem para quantificar "poucas" e "mais do que poucas". Parece razoável considerar todos os moradores de dois domicílios médios como "poucos." De acordo com o censo de 1980, o domicílio médio nos EUA tem três ocupantes; por isso "poucas" foram definidas como até seis pessoas, e "mais do que poucas" foi definida como "mais do que seis". As "vidas em perigo" na classificação de potencial de dano baixo, que era "nenhuma esperada" foi quantificada como "zero".

(2) Perdas Econômicas: as perdas resultantes de danos a moradias, edifícios comerciais, indústrias, terras agrícolas, pastagens, serviços públicos, estradas e rodovias, ferrovias, etc. Também devem ser levadas em conta as perdas resultantes de danos a recursos naturais importantes dentro de parques, reservas e áreas de preservação oficiais. Por outro lado, se houver a presença significativa de substâncias tóxicas ou prejudiciais, o efeito de sua dispersão em áreas a jusante (apenas em termos das perdas econômicas) deve ser levado em conta na classificação do dano potencial a jusante. Por causa da variação do valor monetário dos imóveis ao longo do tempo e em função dos usos do imóvel, as Diretrizes não procuram atribuir um valor em dólares. Perdas econômicas não incluem a perda da barragem ou das instalações que fazem parte do projeto.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de USBR – Avaliação da Segurança de Barragens Existentes (SEED, 1998)

Para identificar possíveis danos potenciais, é necessário analisar mapas topográficos, fotografias, levantamentos de campo e informações dos moradores locais. Às vezes, não é preciso fazer uma análise para a classificação de danos potenciais a jusante, pelo fato de existirem poucas dúvidas de que vidas estariam em perigo e/ou haveria danos em caso da ruptura de uma barragem.

2.6.2.4 USACE

O *United States Army Corps of Engineers* (USACE) se utiliza de procedimentos baseados no risco para priorizar medidas de redução de risco em suas atividades de segurança de barragens, da mesma forma que o USBR tem feito há duas décadas (ANA; BM, 2012). Entretanto, o sistema de classificação apresentado na Figura 23 ainda é adotado na identificação de barragens em função dos danos potenciais.

Figura 23 – Classificação do Dano Potencial para Projetos de Engenharia Civil, segundo o USACE

Categoria [1]	Baixo	Significativo	Alto
Perda direta de vidas [2]	Nenhuma esperada	Nenhuma esperada	Certa (uma ou mais) (desenvolvimento considerável de residências, comércio ou indústrias a jusante)
Perdas de Serviços Vitais [3]	Sem perturbação de serviços – consertos apenas superficiais ou danos fáceis de consertar	Perturbação de instalações e acessos essenciais ou críticos	Não consideradas para esta classificação
Perdas de Bens [4]	Terras agrícolas particulares, equipamentos e edifícios isolados	Grandes ou extensas, de instalações públicas e privadas	Não consideradas para esta classificação
Perdas Ambientais [5]	Danos incrementais mínimos	Grandes ou extensas, mitigação é requerida ou impossível de mitigar	Não consideradas para esta classificação

Notas:

(1) As categorias se baseiam em consequências potenciais de uma ruptura da barragem e não se aplicam às estruturas específicas dentro de um projeto.

(2) O potencial para a perda de vidas se baseia no mapeamento da área de inundação a jusante do projeto. As análises do potencial para a perda de vidas levarão em conta a extensão do desenvolvimento e a população associada em risco, o tempo de trânsito da onda da cheia e o tempo para aviso.

(3) As ameaças indiretas à vida causadas pela interrupção de serviços vitais com a ruptura do projeto ou seu mau funcionamento, ou seja, a perda direta de (ou acesso às) instalações médicas essenciais, ou perda de água ou energia, comunicações, etc.

(4) O impacto econômico direto do valor de danos a bens nas instalações do projeto e bens a jusante, e impacto econômico indireto causado pela perda dos serviços do projeto, ou seja, impacto sobre a indústria de navegação ou a perda do reservatório para a navegação, ou o impacto sobre uma comunidade pela perda do abastecimento de água ou de energia.

(5) Impacto ambiental a jusante causado pela onda da cheia incremental produzida pela ruptura do projeto, além do impacto que normalmente seria esperado para um evento de cheia dessa magnitude, em condições sem o projeto.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de USACE – ER 1110-2-1156 – Segurança de Barragens – Políticas e Procedimentos (2012)

As categorias utilizadas são a perda de vidas, de serviços vitais, de bens e perdas ambientais. A classificação dos danos potenciais refere-se à integridade funcional do projeto e não à integridade estrutural de características ou componentes do projeto. A pontuação para o dano potencial baseia-se na proximidade da barragem com a população, que estaria em risco no caso de uma ruptura ou mau funcionamento.

A classificação dos danos potenciais refere-se à integridade funcional do projeto, não à integridade estrutural de características ou componentes projetuais.

2.6.3 Canadá

No Canadá, a gestão dos recursos hídricos é de competência de cada província. Na ausência de uma legislação provincial específica sobre a segurança de barragens, utilizam-se as diretrizes sobre segurança de barragens emitidas pela Associação Canadense de Barragens (CDA), em 1999 (ANA; BM, 2012).

Na maioria das províncias do país, a prática da segurança de barragens não é movida por regulamentações ou leis específicas, mas motivada pelo senso de proteção e de responsabilidade do empreendedor, ao reconhecer as responsabilidades administrativas, civis e penais relacionadas às barragens.

As diretrizes do CDA indicam que a responsabilidade pelos aspectos da segurança de barragens deve ser claramente definida e a delegação de competências, documentada. A entidade também sugere que a classificação de barragens seja realizada em função das consequências de sua ruptura, das características físicas estruturais e da probabilidade percebida de sua ruptura, a fim de determinar o nível necessário de fiscalização.

2.6.4 Portugal

O Regulamento de Segurança de Barragens, aprovado em 2007, abrange todas as barragens (novas ou existentes) de altura igual ou superior a 15 m ou as barragens cujo reservatório tenha uma capacidade superior a 100.000 m³. O Regulamento de Pequenas Barragens, aprovado em 1993, engloba as barragens restantes (ANA; BM, 2012).

De acordo com o regulamento, as barragens são classificadas em função dos danos potenciais associados à onda de inundação correspondente ao cenário de ruptura mais desfavorável, em termos de população, bens e ambientes afetados, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Sistema de classificação de barragens em Portugal

Categoria	Dano Potencial Associado
I	Alto – Residentes em número igual ou superior a 25.
II	Significativo –Residentes em número inferior a 25 ou infraestruturas e instalações importantes ou bens ambientais de grande valor e dificilmente recuperáveis ou existência de instalações de produção ou de armazenagem de substâncias perigosas.
III	Baixo – As restantes barragens.

Fonte: Regulamento de Segurança de Barragens (2007), adaptado de Regulamento de Segurança de Barragens – Portugal (2007)

A população é avaliada em função do número de pessoas que ocupam em permanência as habitações, os equipamentos sociais ou as instalações, bem como o número de pessoas que ocupam temporariamente os equipamentos sociais e as instalações comerciais e industriais, turísticas e recreativas. Para a contabilização do número de residentes, o número de pessoas em permanência deve ser adicionado ao número de pessoas de caráter temporário, multiplicado pelo fato de ⅓.

Os bens são avaliados em função das habitações, dos equipamentos sociais, das instalações e das infraestruturas presentes na área potencial afetada, tendo em vista a interrupção dos serviços prestados.

Por último, a avaliação dos impactos ambientais considera o seu valor e a capacidade de recuperação, além da existência de instalações de produção e armazenamento de substâncias perigosas.

Para as barragens de maior dano potencial, ou seja, categoria I, a Autoridade de Segurança de Barragens promove a intervenção sistemática do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em todas as fases da vida da obra. O empreendedor deve elaborar o plano de emergência interno, cabendo à Autoridade Nacional de Proteção Civil o desenvolvimento do plano de emergência externo; o LNEC deve prever o plano de observação da barragem.

De acordo com o Decreto-Lei nº 21, publicado em 28 de março de 2018 pelo Diário da República de Portugal, as barragens são classificadas em função da sua periculosidade e dos danos potenciais associados à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável, conforme se observa na Figura 25.

Figura 25 – Sistema de classificação de barragens a partir da periculosidade e danos potenciais em Portugal

Classe	Periculosidade da barragem e danos potenciais
I	$Y \geq 10$ e $X \geq 1000$
II	$Y \geq 10$ e $X < 1000$ ou $0<Y<10$ independentemente do valor de X ou Existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes
III	$Y=0$ independentemente do valor de X

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de Decreto-Lei nº 21 (2018)

A periculosidade (X) da barragem deve ser caracterizada pelo fator $X = H^2\sqrt{V}$, onde H corresponde à altura da barragem em metros, e V, à capacidade do reservatório em hm³.

Os danos potenciais devem ser avaliados na região do vale a jusante, onde a onda de inundação pode afetar a população, os bens e o ambiente. A população será avaliada em função do número de edificações fixas com caráter residencial permanente (Y) e os danos potenciais serão avaliados levando em consideração a existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes.

2.6.5 Espanha

Em 12 de março de 1996, foi assinada pelo Ministério de Obras Públicas, Transportes e Meio Ambiente, a Regulamentação Técnica sobre a Segurança de Barragens e Reservatórios na Espanha (ANA; BM, 2012). Segundo o regulamento, as barragens e reservatórios são classificados em três categorias, apresentadas na Figura 26, em função dos danos potenciais que podem ser causados por ruptura ou mau funcionamento.

Figura 26 – Sistema de classificação de barragens na Espanha

Categoria	Descrição do Dano Potencial Associado
A	Ruptura ou funcionamento incorreto pode afetar gravemente centros urbanos ou serviços essenciais, ou produzir danos materiais ou ambientais muito importantes.
B	Ruptura ou funcionamento incorreto pode produzir danos materiais ou ambientais importantes, ou afetar um número reduzido de residências.
C	Ruptura ou funcionamento incorreto pode produzir danos materiais moderados e apenas perdas fortuitas de vidas. Em todo caso, todas as barragens não incluídas nas Categorias A e B.

Os critérios gerais de classificação são os seguintes:

1. Categoria C – Pode produzir apenas perdas fortuitas de vidas. Não pode impactar residência alguma, a não ser, e minimamente, algum serviço não essencial.

2. Categoria B – Pode afetar um número menor de residências do que o mínimo que se considera um impacto grave em um centro urbano, ou um número equivalente de vidas humanas, ou produzir relevantes danos econômicos ou ambientais. Pode afetar minimamente quaisquer dos serviços essenciais da comunidade.

3. Categoria A – Excede a categoria anterior ao impactar gravemente pelo menos um centro urbano ou um número equivalente de domicílios que podem expor a risco um número de vidas humanas equivalente à população que ocupa o número de domicílios considerado como o limite máximo para a Categoria B, ou ao afetar gravemente qualquer serviço essencial da comunidade ou produzir danos econômicos ou ambientais muito importantes.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *Guía Técnica: Clasificación de presas en función del riesgo potencial, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Espanha (1996)*

Os critérios básicos para a classificação são:

a) é necessária uma avaliação das perdas e/ou danos potenciais que atingem terceiros em função de uma ruptura de barragem, para poder classificá-la;

b) o critério básico para determinar a categoria é a identificação dos danos em termos de seus impactos sobre: (i) centros urbanos ou o número de domicílio habitados isolados; (ii) serviços vitais para o desenrolar das atividades normais da população; (iii)

indústrias, imóveis, infraestrutura e agricultura; (iv) aspectos ambientais, históricos e culturais;

c) a gravidade do impacto é avaliada de acordo com os parâmetros hidráulicos da onda de cheia originada (velocidade e altura);

d) diferentes cenários para os modos de ruptura potenciais são levados em conta e os danos potenciais causados pelas rupturas são identificados caso a caso, sendo considerada a classificação do cenário mais desfavorável;

e) o efeito de uma barragem situada a montante da que está sendo classificada não será um fator para fins de classificação da barragem.

2.6.6 África do Sul

Segundo Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o Banco Mundial (2012), para classificar suas barragens, a África do Sul se baseia no risco à segurança. O procedimento segue as classificações apresentadas nas Figuras 27, 28 e 29.

Cada barragem que apresente risco à segurança deve ser classificada em função de seu tamanho e potencial de dano, a fim de determinar o nível de controle aplicável à segurança da estrutura. A classificação por tamanho de uma barragem com risco à segurança pauta-se na altura máxima da face (Figura 27).

Figura 27 – Classificação por tamanho de uma barragem na África do Sul

Classe de Tamanho	Altura Máxima da Face (m)
Pequena	Menor que 12 m
Média	De 12 m até 30 m
Grande	Maior que 30 m

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *Regulations Regarding the Safety of Dams in Terms of Section 123 (1) of the National Water Act, Republic of South Africa (1998)*

De acordo com a ANA e BM (2012), a classificação por dano potencial de uma barragem com risco à segurança deve ser feita em conformidade com a Figura 28, além dos seguintes parâmetros:

a) quando o impacto ambiental adverso sobre a qualidade de um recurso ambiental for avaliado, devem ser considerados a qualidade da água armazenada no reservatório e o volume estimado de sedimentos e de água que podem ser liberados do reservatório;

b) caso a água armazenada no reservatório esteja poluída ou contenha substâncias perigosas, o impacto potencial adverso sobre a qualidade dos recursos ambientais deverá ser tratado como significativo ou severo, respectivamente;

c) a classificação do dano potencial como “alto” (Figura 28) é determinada tendo em vista, separadamente, o potencial para perda de vidas, o potencial de perdas econômicas e o impacto potencial adverso sobre a qualidade ambiental de recursos a jusante da barragem.

Figura 28 – Classificação do dano potencial associado de uma barragem na África do Sul

Classe de dano potencial	Potencial para perda de vidas	Potencial de perdas econômicas	Impacto potencial adverso sobre a qualidade dos recursos ambientais
Baixo	Nenhum	Mínimo	Baixo
Significativo	Não maior do que 10	Significativo	Significativo
Alto	Maior do que 10	Grande	Severo

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *Regulations Regarding the Safety of Dams in Terms of Section 123 (1) of the National Water Act, Republic of South Africa (1998)*

Um representante do departamento deve realizar a classificação por tamanho e dano potencial de cada barragem que apresente risco à segurança e notificar o empreendedor sobre a classificação por categoria, conforme a Figura 29 (ANA; BM, 2012).

Figura 29 – Classificação por categoria de barragens com risco à segurança na África do Sul

Classe de Tamanho	Classificação do Dano Potencial		
	Baixa	Significativa	Alta
Pequena	Categoria I	Categoria II	Categoria II
Média	Categoria II	Categoria II	Categoria III
Grande	Categoria III	Categoria III	Categoria III

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *Regulations Regarding the Safety of Dams in Terms of Section 123 (1) of the National Water Act, Republic of South Africa, 1998*

O representante pode, de tempos em tempos ou quando surgirem novas informações, revisar a classificação de qualquer barragem com risco à segurança, devendo notificar o empreendedor, por escrito, sobre qualquer alteração na classificação.

2.6.7 China

Zhenghua et al. (1999) relatam que as barragens chinesas se dividem em estruturas para geração de energia, sob a jurisdição do Ministério de Recursos Hídricos, e armazenamento de recursos hídricos, de responsabilidade da Corporação Estatal de Energia (*State Power Corporation*).

Dentro das províncias, as agências de energia elétrica são responsáveis pela gestão das barragens associadas às hidrelétricas, enquanto as próprias UHEs respondem pela operação da barragem. Conclui-se, portanto, que a gestão de segurança de barragens chinesa possui três níveis: ministério, províncias e hidrelétricas.

Em 1985, foi criado o Centro de Supervisão de Segurança de Grandes Barragens, ou *Large Dam Safety Supervision Center (LDSSC),* juntamente com o Centro de Monitoramento de Segurança de Barragens *(Dam Safety Monitoring Center).* A criação dessas duas entidades foi um marco na gestão de segurança de barragens na China.

O LDSSC realizou um primeiro *round* de inspeções periódicas em barragens no ano de 1987. O processo durou 12 anos e teve como foco as barragens construídas antes de 1980. Foram encontradas barragens com problemas de segurança, como a deficiência na capacidade extravasora e infiltrações excessivas na fundação, para os quais foram adotadas medidas de correção. Como resultado dessa primeira inspeção periódica, foi possível promover a reabilitação dos projetos e a utilização de equipamentos de monitoramento, permitindo a análise de dados em larga escala e aumentando a conscientização dos agentes envolvidos na segurança de barragens (ZHENGHUA et al., 1999).

Um segundo *round* de inspeções periódicas foi conduzido em 1999, com a checagem de 132 barragens, e a conclusão alcançada foi de que a maioria delas apresentava problemas com monitoramento ou equipamentos, como a utilização de equipamentos de monitoramento obsoletos, métodos desatualizados e baixa precisão de equipamentos. Diante dessas deficiências, o Ministério de Energia, em 1992, implementou o Programa de Modificação de Monitoramento de Segurança de Barragens de Usinas Hidrelétricas (*Dam Safety Monitoring Modification Programme of Hydropower Stations),* com a finalidade corrigir as falhas citadas anteriormente. O programa começou modificando os equipamentos empregados no monitoramento das barragens analisadas na primeira rodada de inspeção, com o intuito de melhorar a precisão, a estabilidade e a confiança nos equipamentos utilizados.

Ainda de acordo com Zhenghua et al. (1999), a análise de dados sobre segurança de barragens começou tarde na China, contudo, o início de construção de grandes projetos de barragens em 1980 e 1990, juntamente com a implementação das inspeções periódicas e o rápido desenvolvimento e aplicação de tecnologia, contribuíram para o rápido desenvolvimento da análise de dados do comportamento dessas estruturas.

Tanto na China quanto no Brasil, a responsabilidade pela segurança da barragem é do empreendedor. Cabe ao governo a função de supervisionar, complementando, dessa forma, a responsabilidade empresarial.

2.6.8 Austrália

A Austrália não possui normas nacionais para a segurança de barragens; seus regulamentos formais vigentes são formulados e administrados nos estados, que promulgam regulamentações específicas de acordo com as necessidades de cada um. Todas as regulamentações seguem as diretrizes essenciais publicadas pelo Comitê Nacional Australiano sobre Grandes Barragens (ANCOLD), em 1994 (ANA; BM, 2012).

Tais diretrizes aplicam-se às chamadas barragens de referência, ou seja, aquelas com, pelo menos, 10 m de altura e com capacidade de armazenamento de, pelo menos, 20.000 m^3, ou que tenham mais de 5 m, com capacidade mínima de 50.000 m^3.

As diretrizes também estabelecem que a legislação deve incluir critérios para a classificação das barragens, sendo uma das sugestões importantes do ANCOLD que o escopo do programa de segurança de barragens esteja baseado no tamanho da barragem e em sua capacidade de armazenamento, categoria de DPA, nível de risco e valor da barragem para o empreendedor (ANA; BM, 2012).

2.6.9 Nova Zelândia

Desde 2000, as Diretrizes de Segurança de Barragens da Nova Zelândia já orientavam a classificação fundamentada em impacto potencial. Esse termo se relaciona com as consequências da ruptura de uma barragem, caso o conteúdo armazenado seja liberado. Uma barragem com alto impacto potencial deveria contar com um nível de segurança maior do que outras (ANA; BM, 2012).

O dano potencial descreve uma fonte de danos iminentes ou uma situação capaz de causar perdas. São exemplos de danos potenciais os terremotos, inundações e eventuais deficiências na barragem ou em suas fundações, pois se constituem em fatores que podem levar a barragem a um comportamento inseguro.

Uma barragem avaliada com alto impacto potencial não significa, necessariamente, que ela seja insegura, mas que deve contar com um nível de segurança maior do que outras.

A Figura 30 apresenta as categorias de impacto potencial, que se baseiam nas consequências incrementais que uma ruptura pode induzir. As consequências (perdas de vida e perdas econômicas) com maior pontuação determinam a categoria de impacto potencial da barragem.

Figura 30 – Categorias de impactos potenciais das consequências de falhas de barragens na Nova Zelândia

Categoria de Impacto Potencial	Consequências Incrementais Potenciais de Ruptura	
	Vidas	Socioeconômicas, Financeiras e Ambientais
Alto	Óbitos	Danos catastróficos
Médio	Possibilidade de poucos óbitos	Danos importantes
Baixo	Não se espera óbito	Danos moderados
Muito Baixo	Sem óbitos	Danos mínimos fora da propriedade do empreendedor

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *New Zealand Dam Safety Guidelines, The New Zealand Society on Large Dams (2000)*

Segundo os regulamentos de segurança de barragens da Nova Zelândia, promulgados em 2008, uma barragem é classificada por meio dos seguintes passos:

a) identificar o impacto que poderia ocorrer quando da liberação descontrolada do reservatório cheio devido à ruptura da barragem;

b) com base na Figura 31, determinar o nível de dano conforme as categorias especificadas – catastrófico, grande, moderado ou mínimo – e, então, selecionar o nível mais alto de dano;

c) estimar a população em risco;

d) com base na Figura 32, determinar a classificação da barragem, correlacionando o nível de dano avaliado com a estimativa da população em risco.

Figura 31 – Determinação do nível avaliado de danos na Nova Zelândia

Nível de Dano	Categorias Especificadas				
	Domicílios Residenciais (1)	Dano Severo ou Crítico à Infraestrutura (2)	Tempo para Restaurar Operações (3)	Ambiente Natural	Tempo de Recuperação da Comunidade
Catastrófico	Mais de 50 casas destruídas	Destruição extensa e generalizada e danos a vários componentes importantes da infraestrutura	Mais de 1 ano	Destruição extensa e generalizada	Muitos anos
Grande	4 a 49 casas destruídas e muitas casas danificadas	Destruição extensa e danos a mais do que 1 componente importante da infraestrutura	Até 12 meses	Danos pesados e restauração cara	Anos
Moderado	1 a 3 casas destruídas e algumas danificadas	Danos significativos a pelo menos 1 componente importante da infraestrutura	Até 3 meses	Danos significativos, porém restauráveis	Meses
Mínimo	Danos menores	Danos menores a componentes importantes da infraestrutura	Até 1 semana	Danos em curto prazo	Dias ou até semanas

Notas:
(1) No caso de casas residenciais, "destruídas" significa tornadas inabitáveis.
(2) Inclui:
a. serviços vitais [rede elétrica, abastecimento de água, abastecimento de gás, sistemas de transporte, tratamento de esgoto, telecomunicações (alimentação e nós de redes, mas não as conexões locais)];
b. instalações de emergência (hospitais, polícia, bombeiros);
c. grandes instalações industriais, comerciais ou comunitárias, cuja perda teria um impacto significativo na comunidade; e
d. a própria barragem, quando o serviço prestado por ela é vital para a comunidade e não há alternativa para a prestação do serviço.
(3) O tempo estimado necessário para reparar os danos o suficiente para a infraestrutura vital ou de grande porte voltar às operações normais.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *New Zealand Building (Dam Safety) Regulations (2008)*

Figura 32 – Determinação da classificação de barragens na Nova Zelândia

Nível de Dano Avaliado	População em Risco (PeR)			
	0	1 a 10	11 a 100	Mais que 100
Catastrófico	Impacto Potencial Alto	Alto	Alto	Alto
Grande	Impacto Potencial Médio	Médio/Alto (ver nota 4)	Alto	Alto
Moderado	Impacto Potencial Baixo	Baixo/Médio/Alto (ver notas 3 e 4)	Médio/Alto (ver nota 4)	Médio/Alto (ver notas 2 e 4)
Mínimo	Impacto Potencial Baixo	Baixo/Médio/Alto (ver notas 1, 3 e 4)	Baixo/Médio/Alto (ver notas 1, 3 e 4)	Baixo/Médio/Alto (ver notas 1, 3 e 4)

Notas:
(1) Com uma PeR de 5 pessoas ou mais, é improvável que o impacto potencial seja baixo.
(2) Com uma PeR maior do que 100 pessoas, é improvável que o impacto potencial seja médio.
(3) Utilize uma classificação média se for muito provável que uma vida seja perdida.
(4) Utilize uma classificação alta, se for muito provável que 2 ou mais vidas sejam perdidas.

Fonte: ANA e BM (2012), adaptado de *New Zealand Building (Dam Safety) Regulations (2008)*

Na Figura 33, encontra-se uma tabela resumo com as principais características adotadas nos sistemas de classificação dos países.

Figura 33 – Comparação Internacional e Nacional dos Sistemas de Classificação de Dano Potencial

País ou Estado/Província	Classes ou Categorias	Nomes das Classes	Níveis de Danos Potenciais	Consequências	Notas	Situação em relação à perda de vidas
Argentina	3	I, II e III	Alto, Significativo e baixo (equivalente às categorias na mesma ordem)	PdV e danos socioambientais e econômicos	Possível PdV implica Classe I	População em risco encontra-se em zonas próximas à barragem, e/ou em zonas habitadas distantes da barragem onde, mesmo com alerta imediato, a perda de vidas é possível.
Espanha	3	A, B e C	Alto equivalente a A; baixo a C	PeR e danos materiais ou ambientais	PeR equivalente à população residente em pelo menos um centro urbano	Não define a categoria em função da PeV mas sim em função da PeR.
Nova Zelândia	4	Alto, médio, baixo e muito baixo	Equivalentes às classes	Quatro faixas de PeR e quarto níveis de danos avaliados	Classificação em 2 níveis baseada em matriz com valores PeR versus níveis de danos avaliados	As categorias de PdV são definidas para " óbitos ", "possibilidade de poucos óbitos"," não se espera óbitos" e "sem óbitos".
África do Sul	3	I, II e III	Alto, significativo e baixo	PdV, perdas econômicas e impacto adverso sobre qualidade de recursos	Classificação em 3 níveis baseada em matriz com classe de tamanho versus pontuação de dano potencial	As categorias de PdV são definidas para "nenhuma", "não maior do que 10"e "maior do que 10".
Austrália/New South Wales	6	Extremo, alto A, alto B, alto C, significativo e baixo	Equivalentes às classes	Cinco faixas de PeR e quatro níveis de severidade de perdas e danos	Classificação baseada em 2 matrizes com valores PeR e PdV versus. gravidade dos níveis de danos e perdas; prevalece PdV.	Estabelece faixas para uma probabilidade de PdV .
Austrália/ Queensland	2	1 e 2	Alto e Baixo equivalente às categorias 2 e 1	PeR	Aplicável a barragens reguladas; não é regulada se PeR < 2	Não define a categoria em função da PeV mas sim em função da PeR.
Canadá/British Columbia	5	Muito alto, alto alto e alto baixo, baixo e muito baixo	Equivalentes às classes	PdV, perdas econômicas e sociais, e perdas ambientais e culturais	PdV implica classes alta e muito alta; usa subclasses para a avaliação de riscos	Considera cinco níveis para a PdV, variando de acordo com os seguintes intervalos - "sem possibilidades", "baixo potencial para a perda de múltiplas vidas", "10 ou menos pessoas", "100 ou menos pessoas", "mais de 100 pessoas".
Canadá/Québec	Sistema de classificação baseado em matriz do risco, que combina vulnerabilidade e consequências em função de ponderações. A definição dos riscos é comparado no relatório com uma prática nacional.					
Portugal	3	Alto, significativo e baixo	Equivalentes às classes	PeR, e danos socioambientais e econômicos	PeR > 25 implica classe alta	Não define a categoria em função da PeV mas sim em função da PeR.
EUA/FEMA	3	Alto, significativo e baixo	Equivalentes às classes	PdV e perdas econômicas, ambientais e de serviços vitais	PdV implica classe alta	As categorias de PdV são definidas para "nenhuma esperada" e "provável, uma ou mais esperadas".
EUA/Estados	Os sistemas de classificação para os 50 estados e Porto Rico são comparados na tabela 40 e Anexo I					
EUA/USACE	3	Alto, significativo e baixo	Equivalentes às classes	PdV e perdas econômicas, ambientais e de serviços vitais	PdV implica categoria alta	PdV Alto sempre que houver a perda de uma ou mais vidas.
EUA/USBR	3	Alto, significativo e baixo	Equivalentes às classes	PeR e perdas econômicas	PeR > 6 implica classe alta	Considera a PdV em faixas, de "nenhuma", de "1 a 6 vidas em perigo" e "maior do que 6".
BRASIL	3	Alto, médio e baixo	Equivalentes às classes	PdV e perdas econômicas, ambientais e de serviços vitais	PdV implica classe alta	existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas

Fonte: ANA e BM (2012)

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o Banco Mundial (2012), quando uma barragem é classificada com base no dano potencial que representa, essa classificação não se altera, independentemente das medidas executadas para mitigar o risco. Isso se aplica aos sistemas adotados no Brasil, Argentina, Portugal, Espanha e em praticamente todos os estados nos EUA, que se baseiam no sistema original publicado pela FEMA, nos anos 90.

Todas as diretrizes dos países citados anteriormente coincidem em um aspecto: a abordagem fundamental para avaliar os riscos de ruptura de barragens deve pautar-se tanto no potencial para a perda de vidas quanto no potencial para perdas crescentes de bens privados/públicos e danos ambientais, sendo a perda de vidas o elemento de maior ênfase (ANA; BM, 2012).

2.7 RUPTURA DE BARRAGENS: CASOS NO BRASIL

Segundo a ICOLD, a causa mais frequente de ruptura de barragens é o galgamento ou *overtopping*, que ocorre quando o nível d'água no reservatório ultrapassa a cota da crista da barragem. Esse tipo de ruptura se deve, normalmente, a chuvas muito intensas que superam a capacidade do vertedouro, ao bloqueio por sedimentos ou detritos e ao dimensionamento inadequado dessa estrutura extravasora.

Também podem ser citados como causas de ruptura de barragens a instabilidade de taludes, problemas com a fundação e *piping*, que é definido como uma erosão tubular, ou seja, a água penetra no maciço até encontrar um caminho de percolação, por onde ocorre o deslocamento de partículas, culminando na desestabilização do equilíbrio de forças na matriz do solo até a formação de brecha e colapso da estrutura (LADEIRA, 2007).

A ICOLD relata que pequenas barragens são responsáveis por 90% dos acidentes com ruptura de barragem em países em desenvolvimento, acidentes estes que, geralmente, têm consequências catastróficas.

A seguir, estão relacionados alguns casos de rupturas de barragens no Brasil.

2.7.1 Barragem de Camará

De acordo com Paiva Junior (2006), essa barragem foi construída no rio Riachão, no município de Alagoa Nova, estado da Paraíba. Inicialmente, foi concebida como uma barragem

de terra zonada, porém, após os primeiros cortes de fundação, concluiu-se como inviável a execução de uma barragem de terra, devido à exigência de grandes áreas de desmatamento e presença de material em decomposição nas ombreiras. Optou-se, então, pela execução de barragem de concreto compactado a rolo (CCR).

Sua construção foi concluída em julho de 2002 e entregue oficialmente no mês de dezembro do mesmo ano; seu reservatório ficou efetivamente cheio somente no primeiro semestre de 2004, quando chuvas torrenciais caíram sobre a região.

Em 17 de junho de 2004, a barragem se rompeu e alagou os municípios de Alagoa Grande, Mulungu, Araçagi e Alagoinha, deixando cerca de 3.000 pessoas desabrigadas e cinco vítimas fatais (VALENCIO, 2006).

Relatórios técnicos da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), de 2004, revelam as ações que culminaram com o rompimento da estrutura: elevação do nível d'água do reservatório devido às fortes chuvas que ocorreram em 2004; aumento da vazão dos drenos que carregaram matéria sólida, as quais bloquearam os tubos de saída da galeria; e acréscimo de vazamentos na galeria que, adicionados ao aumento de vazão nos drenos, inundaram a galeria de drenagem. Tais problemas originaram um orifício de, aproximadamente, 20 m de diâmetro, por onde escoaram 17 milhões de m^3 de água.

As imagens da Figura 34 ilustram a barragem de Camará às vésperas da inauguração, em 2002, e após a ruptura.

Figura 34 – Barragem de Camará antes da inauguração e após a ruptura

Fonte: Paiva Junior (2006)

2.7.2 Barragem Campos Novos

Barragem construída no rio Canoas, na divisa dos municípios de Campos Novos e Celso Ramos, em Santa Catarina. Uma infiltração em um dos túneis de desvio causou uma liberação descontrolada de água em 19 de junho de 2006.

A abertura súbita dos vãos do túnel provocou a liberação de uma vazão inicial máxima de cerca de 4.000 m³/s, correspondendo a uma cheia com tempo de retorno de 10 anos. O rebaixamento total do reservatório ocorreu em dois dias e não houve qualquer dano pessoal ou material a jusante (XAVIER; CORREA, 2008).

A Figura 35 apresenta a vista aérea da barragem após o acidente.

Figura 35 – Barragem Campos Novos após ruptura

Fonte: Sevá Filho (2011)

2.7.3 Barragem Algodões I

Barragem localizada no município de Cocal, no Piauí, com capacidade de armazenamento de 51 milhões de m^3 de água (SAMPAIO, 2014).

Após a ocorrência de chuvas de grande intensidade e frequência em abril de 2009, houve enchimento do reservatório e a estrutura da barragem foi prejudicada. Segundo Sampaio (2014), houve intensificação de escorregamento de massa de solo e pedra na encosta da ombreira direita, provocando obstrução total do vertedouro e o aumento da lâmina d'água sobre a soleira do vertedouro, que causaram as primeiras erosões: destruição da estrada de acesso à barragem pela ombreira direita e do alicerce de apoio às placas de proteção da barragem e do canal do vertedouro.

A barragem se rompeu em 27 de maio de 2009, liberando 50 milhões de m^3 de água, com uma onda de mais de 30 m, que atingiu mais de 600 famílias e causou a morte de nove pessoas (Figura 36).

Figura 36 – Barragem de Algodões I depois da ruptura

Fonte: ANA e BM (2012)

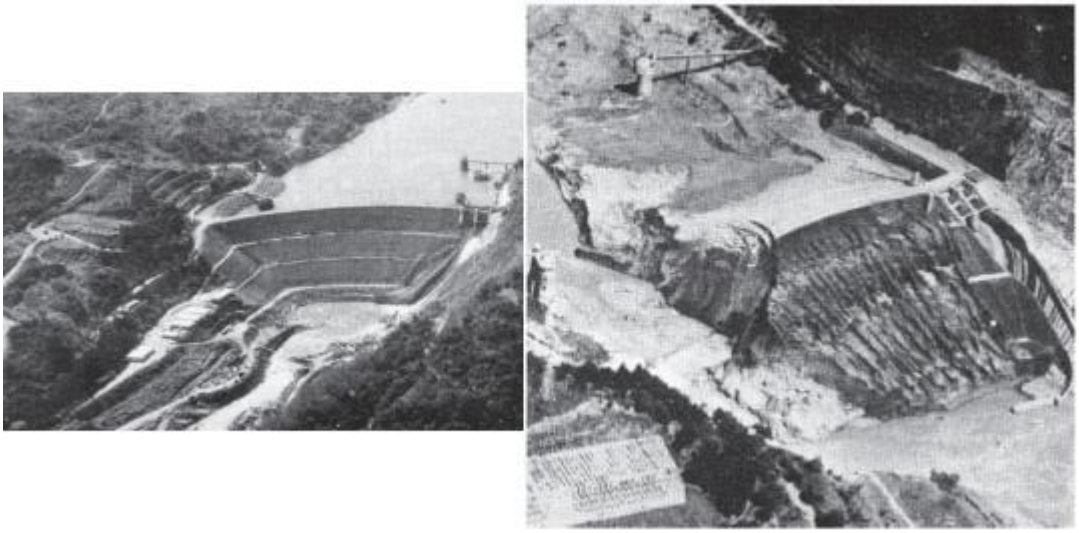
2.7.4 Barragem Euclides da Cunha e Limoeiro

A barragem de Euclides da Cunha e Armando Salles de Oliveira, também conhecida como Limoeiro, foi construída nos anos de 1958 e 1966, respectivamente, no rio Pardo, estado de São Paulo.

Segundo Balbi (2008), as duas barragens de terra romperam por galgamento em 19 de janeiro de 1977. Fortes chuvas geraram uma cheia próxima à de projeto, que atingiu a barragem de Euclides da Cunha, situada mais a montante; uma lâmina de 1,20 m galgou a barragem em um período de quatro horas.

Em poucos minutos, a onda atingiu a barragem de Limoeiro, localizada 10 km a jusante, resultando em uma ruptura em cascata das duas barragens. A Figura 37 ilustra a barragem Euclides da Cunha, antes e depois da ruptura.

Figura 37 – Barragem Euclides da Cunha, antes e depois da ruptura



Fonte: CBDB (1982)

2.7.5 Barragem de Orós

A barragem de Orós, no rio Jaguaribe, estado do Ceará, possui uma estrutura de terra semicircular com 54 m de altura e 620 m de comprimento. O volume do reservatório é de, aproximadamente, 4 milhões de m^3 de água.

Foi galgada em 25 de março de 1960 por uma cheia resultante de chuvas de mais de 635 mm precipitados em menos de uma semana. A barragem estava em construção quando a ruptura aconteceu (BALBI, 2008).

Em 22 de março daquele ano, tentou-se elevar o aterro com equipamento pesado, mas isso não foi suficiente. Peças metálicas foram lançadas no maciço na tentativa de aumentar a resistência contra a passagem da água e, como resultado do galgamento de 30 cm sobre a crista, formou-se uma brecha de 200 m de comprimento por 35 m de altura, liberando cerca de 90% do reservatório, a uma vazão de pico de 9.600 m^3/s (LAURIANO, 2009).

A grande onda que se formou devido ao rompimento da barragem chegou ao oceano Atlântico, 340 km adiante, entre quatro e sete dias após a ruptura (ICOLD, 1974).

Segundo Balbi (2008), o número de vítimas atribuídas a esse acidente varia significativamente, embora algumas fontes apontem para números da ordem de 1.000 mortos. Após as cheias, a obra foi reparada e o reservatório entrou em operação em 1961. A Figura 38 mostra a barragem após a reconstrução.

Figura 38 – Barragem de Orós após reconstrução

Fonte: CBDB (1982)

2.8 RUPTURA DE BARRAGENS: CASOS NO MUNDO

De acordo com Jansen (1983), um dos primeiros acidentes com barragens de que se tem registro ocorreu há, aproximadamente, 3.000 anos antes de Cristo, em Wadi al-Garawi, no Egito. Com 11 m de altura e 107 m de comprimento, a barragem Sadd el-Kafara foi construída com a intenção de realizar o represamento de água para os trabalhadores de pedreiras localizadas nas proximidades. Entretanto, acredita-se que não foi construído um vertedouro para possibilitar a liberação do fluxo em períodos de grande precipitação. Dessa forma, logo após o término da construção, a estrutura sofreu galgamento em função de um evento de cheia.

A seguir, são apresentados alguns exemplos de casos de ruptura de barragens pelo mundo.

2.8.1 Barragem de Teton

Barragem de terra localizada no rio Teton, no estado de Idaho, Estados Unidos. Possuía altura de 123 m e volume do reservatório de 356 milhões de m³. De propriedade do USBR, a barragem ruiu em 05 de junho de 1976, durante seu primeiro enchimento, quando o reservatório estava quase cheio. O enchimento foi iniciado em 03 de outubro de 1975 e continuou até o dia de sua ruptura, em junho de 1976 (JANSEN, 1980).

Durante o primeiro enchimento, o talude de terra da barragem rompeu. A brecha formada atingiu dimensões máximas de 46 m de largura por 79 m de altura (SINGH, 1996). A falha no talude da barragem foi piorando devido ao carreamento de partículas do maciço de terra pelo fluxo descontrolado de jusante para montante (*piping*) (LAURIANO, 2009).

Ainda segundo Lauriano (2009), o tempo de esvaziamento do reservatório foi de, aproximadamente, quatro horas, com vazão de pico de 66.000 m³/s. A onda de cheia provocou a morte de 11 pessoas e mais de 25.000 ficaram desabrigadas. A Figura 39 ilustra o momento da ruptura da barragem de Teton.

Figura 39 – Ruptura da barragem de Teton

Fonte: Rogers (2013)[14]

2.8.2 Barragem St. Francis

Barragem de concreto em arco, com 62,5 m de altura, localizada a 72 km de Los Angeles, EUA. O enchimento do reservatório teve início em 1926 e atingiu sua capacidade máxima de 46,9 milhões de m^3 em 05 de março de 1928 (JANSEN, 1980).

Para Balbi (2008), atribui-se como uma das possíveis causas do acidente o deslizamento da ombreira esquerda, cuja fundação não suportou a força exercida pela barragem e pela água, em razão das características geológicas do local. A ruptura ocorreu de forma súbita e provocou

[14] Disponível em: <https://web.mst.edu/~rogersda/teton_dam/Failure%20of%20Teton%20Dam.jpg>. Acesso em: 21 mar. 2021.

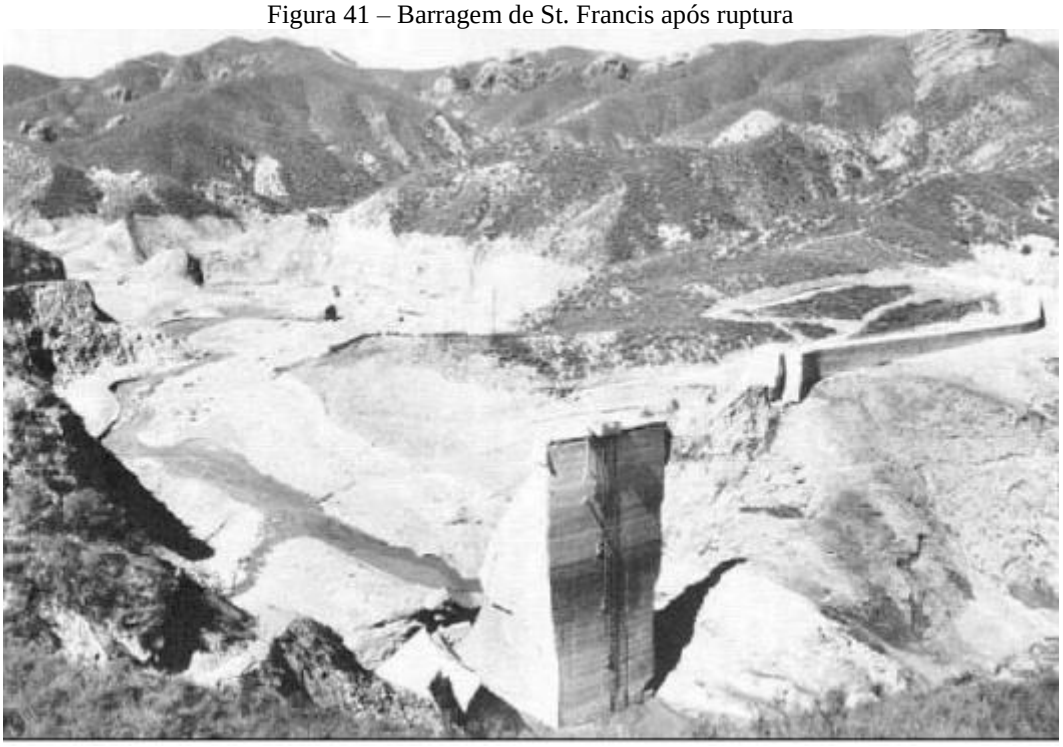
a morte de, aproximadamente, 450 pessoas. A onda de cheia propagou-se por cerca de 84 km até o oceano Pacífico.

As Figuras 40 e 41 retratam a barragem antes e depois de seu rompimento, respectivamente.

Figura 40 – Barragem de St. Francis antes da ruptura

Fonte: Jansen (1983)

Figura 41 – Barragem de St. Francis após ruptura



Fonte: Jansen (1983)

2.8.3 Barragem Vega de Tera

Barragem com estrutura em contrafortes, com 34 m de altura. Sua ruptura ocorreu em 10 de janeiro de 1959, causando a morte de 144 pessoas na região noroeste da Espanha. Devido à precipitação de intensas chuvas sobre a região, o nível de água do reservatório aumentou, ocasionando o galgamento da barragem, que a levou à ruptura (JANSEN, 1980).

2.8.4 Barragem de Vajont

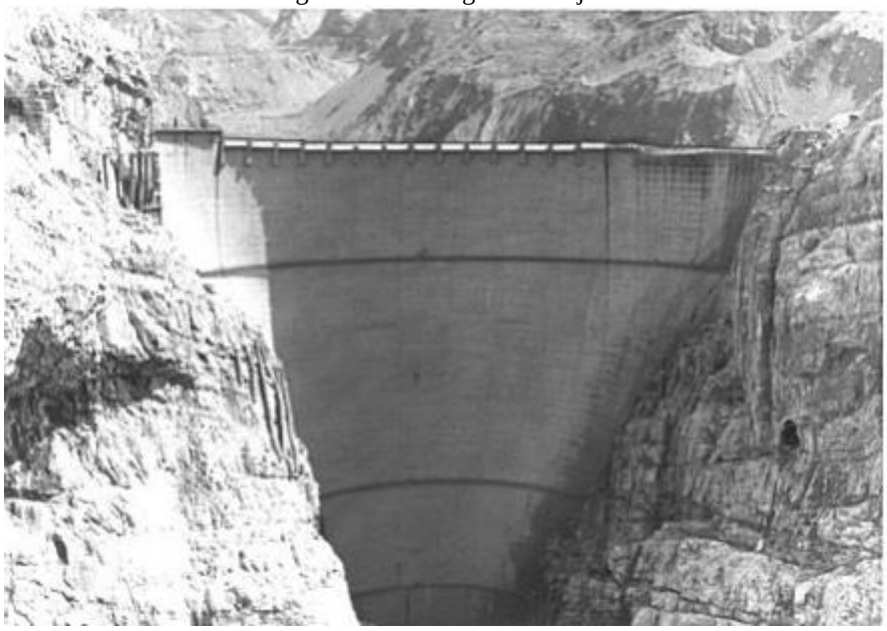
A barragem de Vajont está associada a um dos maiores desastres com barragens já registrado, embora sua estrutura não tenha se rompido. Localizada a 100 km ao norte da cidade de Veneza, Itália, a barragem possuía estrutura em concreto em arco, com altura de 267 m (SINGH, 1996).

O acidente consistiu no galgamento da estrutura ocasionado por uma grande onda, provocada pelo deslizamento de uma massa de terra de 260 milhões de m³ para dentro do reservatório, em 09 de outubro de 1963. O movimento do material adentrando o reservatório produziu uma onda que galgou a barragem a uma altura superior a 100 m sobre a crista (JANSEN, 1980).

A inundação atingiu as vilas de Longarone, Erto, Casso e Belluno. Cerca de 2.000 pessoas morreram como resultado do evento, sendo 1.269 pessoas somente em Longarone (USBR, 1999),

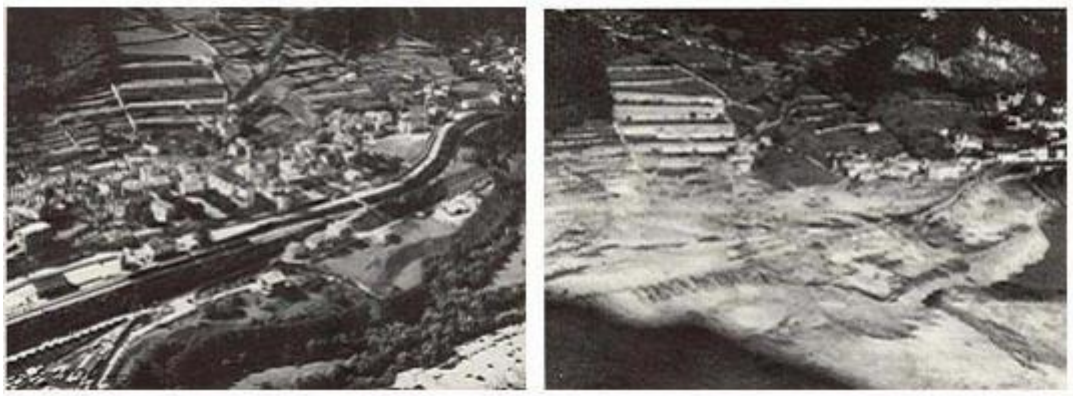
A Figura 42 mostra a barragem de Vajont e a Figura 43, a vista de Longarone antes e após o desastre.

Figura 42 – Barragem de Vajont



Fonte: Annovi (2007)

Figura 43 – Vista de Longarone antes e após o desastre



Fonte: Annovi (2007)

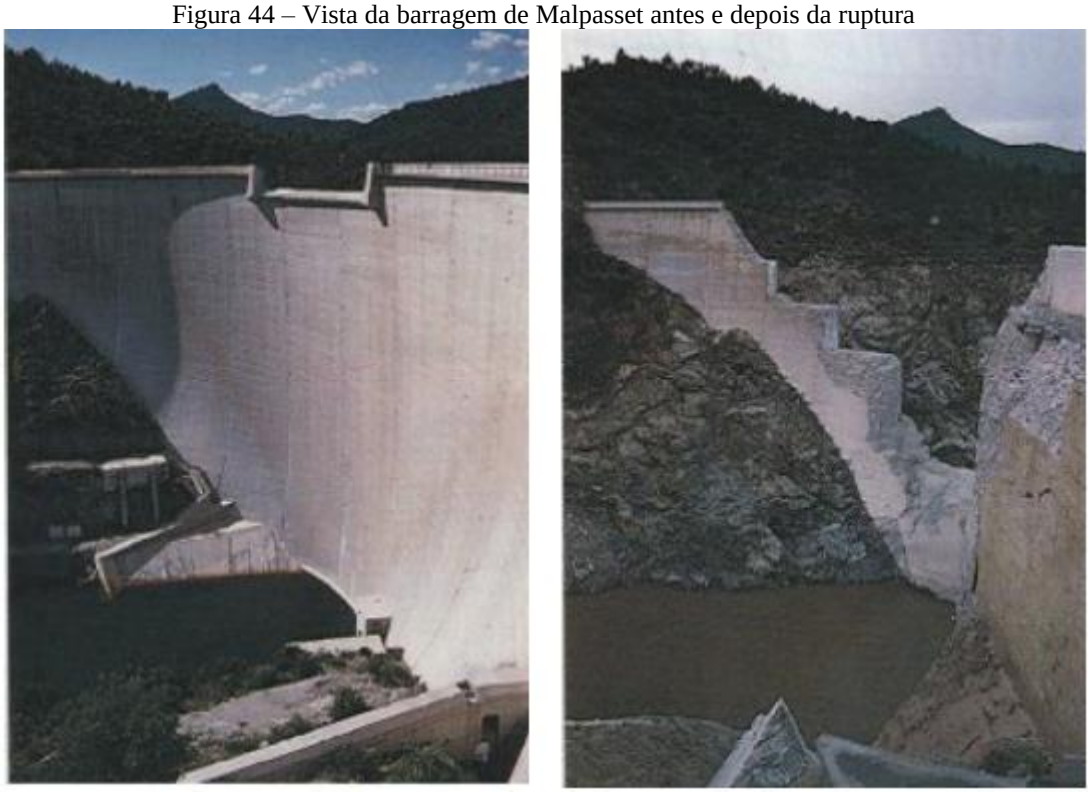
2.8.5 Barragem de Malpasset

Localizada no rio Reyran, no distrito de Cannes, ao sul da França, a barragem de Malpasset foi construída com a finalidade de prover água para consumo humano e irrigação. Sua estrutura era de concreto em arco, com 66 m de altura e 223 m de comprimento, com um reservatório de capacidade máxima de 51 milhões de m³ (MARY, 1968).

A ruptura da barragem ocorreu em 02 de dezembro de 1959 por galgamento. A onda de cheia percorreu 11 km até o mar Mediterrâneo, causando a morte de 421 pessoas (MASCARENHAS, 1990).

A seguir, a Figura 44 apresenta o antes e o depois da ruptura da barragem de Malpasset.

Figura 44 – Vista da barragem de Malpasset antes e depois da ruptura



Fonte: Bruel (2021)

2.9 O CONCEITO DE RISCO

Segundo Bernstein (1997), o termo “risco” é uma derivação do italiano antigo *riscare*, que deriva do baixo-latim *risicu, riscu,* que significa ousar.

O conceito de risco formalizado na ABNT NBR ISO 31000:2018 compreende o efeito da incerteza nos objetivos, sendo o efeito um desvio em relação ao esperado, tanto para o positivo quanto para o negativo. O conceito estabelecido nessa norma corresponde ao mais difundido e aceito atualmente (ANDERÁOS; ARAÚJO; NUNES, 2013).

De acordo com Cohen e Palmer (2004), risco consiste no potencial existente em termos de complicações e problemas relacionados à conclusão de uma tarefa ou à realização de uma meta em um projeto. Pelo fato de o risco ser inerente a todas as atividades de um projeto e nunca ser totalmente eliminado, seus impactos podem ser mitigados para efeito de conclusão dos objetivos.

Para Viseu e Almeida (2009), no âmbito da segurança de barragens, o risco é descrito como o produto da probabilidade e das consequências de ruptura potencial.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o Banco Mundial (2012), o risco é definido no âmbito da segurança de barragens como a medida da probabilidade e da severidade de consequências adversas. É computado para uma variedade de potenciais tipos de ruptura, normalmente considerando uma ruptura de barragem com liberação descontrolada do reservatório. O risco para um tipo particular de ruptura é definido como produto da probabilidade de rompimento e as consequências associadas a essa ruptura, sendo que a probabilidade de rompimento corresponde à probabilidade da carga (cheia ou evento sísmico) multiplicada pela resposta estrutural àquela carga.

O conceito de risco estabelecido na PNSB diverge daquele formalmente encontrado na literatura. A Lei de Segurança de Barragens estabelece que a classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será dada em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao PSB. Sendo assim, a categoria de risco tal como expressa na Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), informaria o grau de propensão de uma barragem à ocorrência de incidentes ou acidentes, com a indicação da magnitude de suas consequências a partir do dano potencial associado (ANA; BM, 2012).

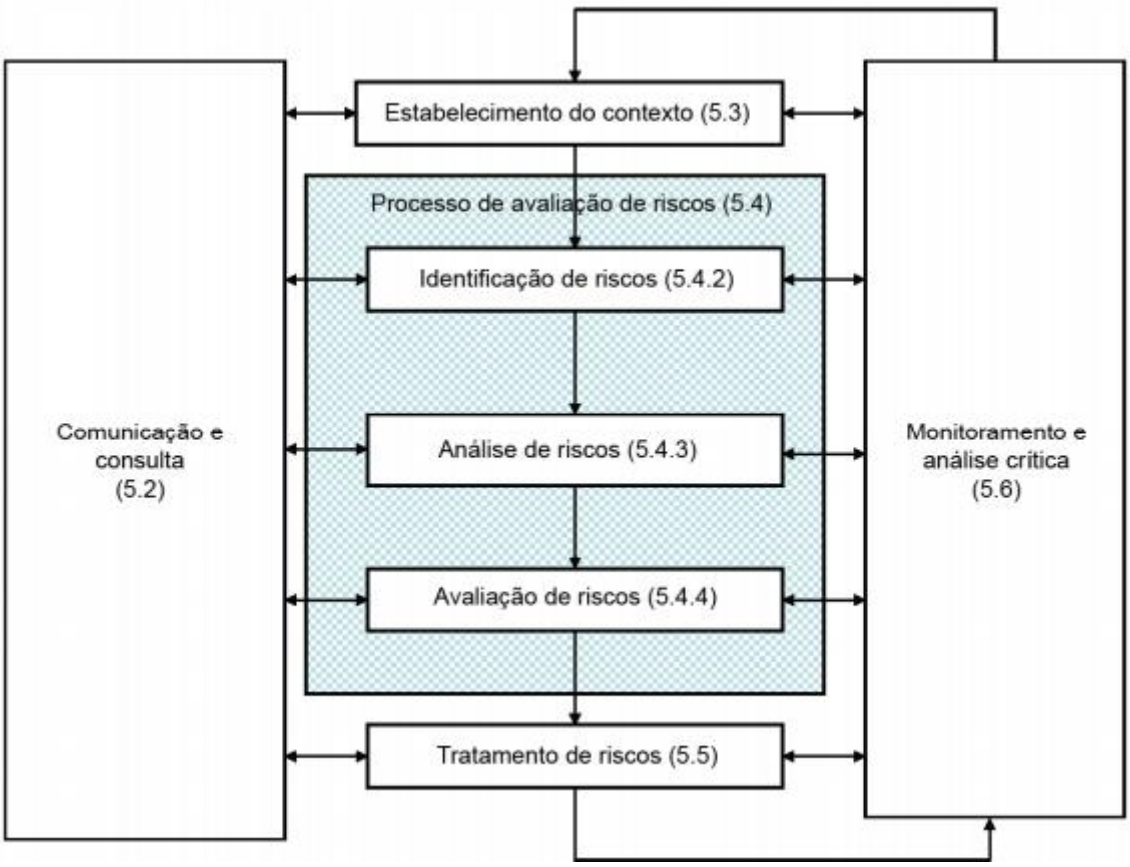
Para Melo (2014), ainda que não seja explicitado o conceito técnico de risco na referida lei, a metodologia por ela imposta enquadra-se como uma boa prática de gestão de segurança de barragens adotadas internacionalmente. O método utilizado, além de atender ao objetivo primário de classificação das barragens, também propicia uma primeira reflexão sobre seus possíveis modos de falha.

2.10 GESTÃO DE RISCOS EM BARRAGENS

Segundo Melo e Fusaro (2015), a gestão de risco consiste na aplicação sistemática, coordenada e integrada de políticas de gestão, procedimentos e práticas para as tarefas de identificação, análise, avaliação, mitigação e controle do risco.

A Figura 45 apresenta as atividades fundamentais para o processo de gestão de riscos, de acordo com a ISO 31000, de 2018.

Figura 45 – Processo de gestão de riscos segundo a ISO 31000:2018



Fonte: ABNT NBR ISO 31000 (2018)

A norma ABNT NBR ISO 31000:2018 estabelece que o processo de gestão de riscos divide-se em:

a) comunicação e consulta: auxiliar as partes interessadas pertinentes na compreensão do risco, promovendo a conscientização e o entendimento, auxiliando na tomada de decisão. Os planos de comunicação e consulta devem ser desenvolvidos logo no estágio inicial, abordando questões relacionadas ao risco, suas causas, consequências e medidas que estão sendo adotadas com a finalidade de tratá-los;

b) estabelecimento do contexto: definição dos parâmetros externos e internos a serem levados em consideração ao gerenciar riscos;

c) identificação de riscos: processo de busca, reconhecimento e descrição de riscos, contemplando a identificação das fontes de risco, eventos, suas causas e consequências potenciais;

d) análise de riscos: processo de compreender a natureza do risco e determinar seu nível, fornecendo a base para a avaliação de riscos e para as decisões acerca do seu tratamento;

e) avaliação de riscos: processo de comparar os resultados da análise de riscos com os critérios de risco, a fim de determinar se ele e/ou sua magnitude é aceitável ou tolerável, auxiliando na decisão sobre o tratamento de riscos;

f) tratamento de riscos: seleção de uma ou mais opções para modificar os riscos e a implementação dessas opções;

g) monitoramento e análise crítica: processo de checagem e vigilância, garantindo que os controles sejam eficazes e eficientes, a fim de identificar os riscos emergentes.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o Banco Mundial (2012), a gestão e as decisões baseadas no risco no âmbito da segurança de barragens é um processo que utiliza informações sobre o risco para auxiliar na tomada de decisões que envolvem uma ampla gama de atividades relacionadas à segurança de barragens, como por exemplo, periodicidade das inspeções, necessidade de mais instrumentação, necessidade de mais estudos técnicos, escolha de uma ação a ser adotada para solucionar uma deficiência identificada e sequência em que as ações de remediação serão adotadas para determinada barragem ou grupo de barragens.

Segundo a Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens (CNPGB, 2005), a avaliação do risco, em conjunto com o controle do risco, são etapas fundamentais da gestão de riscos. A avaliação do risco engloba a análise (primeira etapa da fase de avaliação do risco) e a apreciação do risco, que compreende a formulação de recomendações para a tomada de decisões. O controle do risco é composto pela mitigação, divulgação e revisão.

Na sequência, a Figura 46 ilustra as etapas fundamentais do processo de gestão de riscos.

Figura 46 – Etapas fundamentais da gestão de riscos, segundo a CNPGB

Fonte: CNPGB (2005)

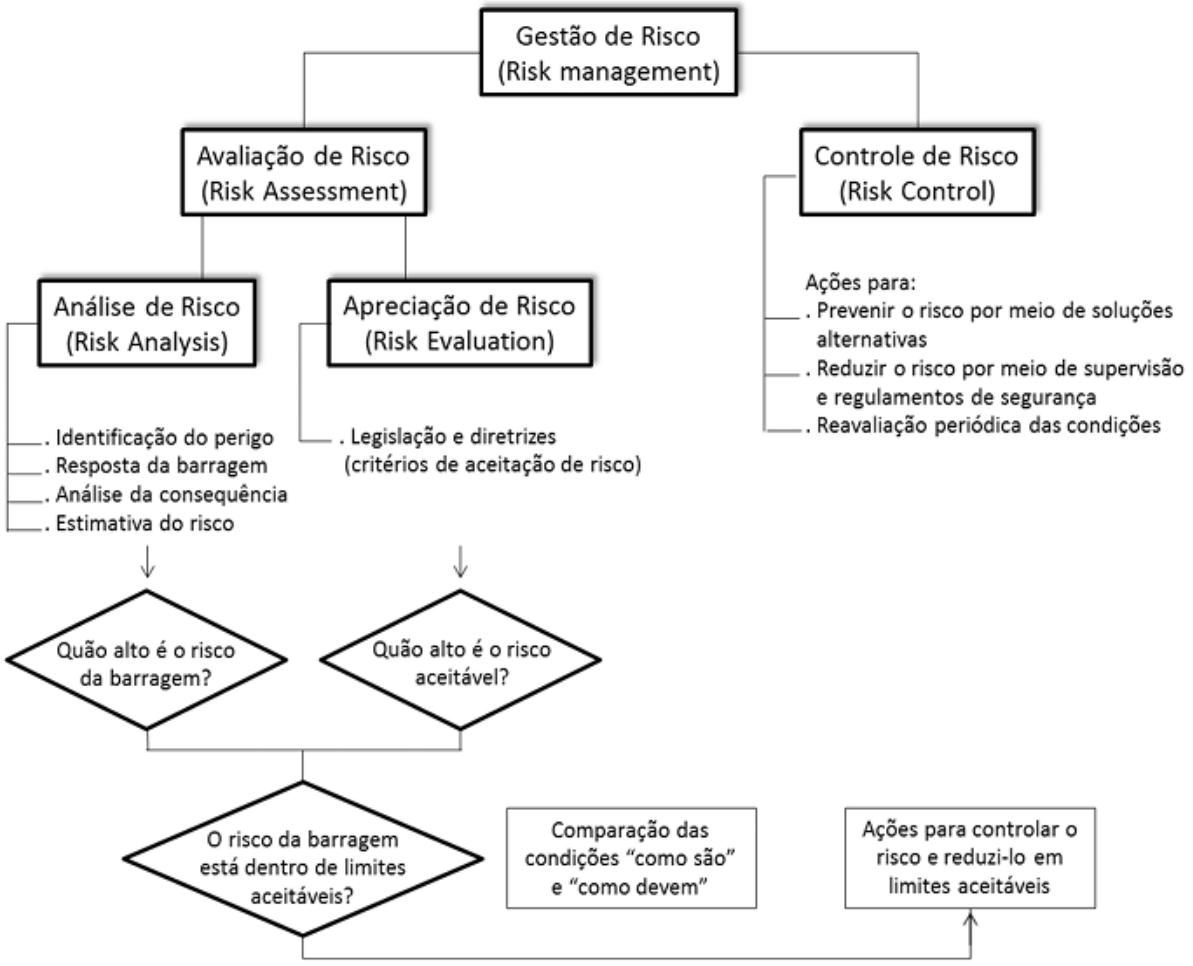
De acordo com Viseu e Almeida (2009), a gestão de riscos de barragens é consequência de dois aspectos fundamentais: uma barragem sempre apresentará um risco potencial e há a necessidade de garantir uma segurança apropriada e equitativa para os envolvidos, caso um acidente venha a ocorrer.

Os autores defendem a existência de duas etapas importantes na gestão de riscos de ruptura de barragens: prever as perdas ou danos e sua probabilidade a partir da avaliação do risco, e encontrar as medidas de mitigação apropriadas, quando os riscos não forem aceitáveis.

O principal objetivo da gestão de riscos de ruptura de barragens é reduzir a perda de vidas esperadas e os danos ao vale a jusante relacionados à ruptura da estrutura, a partir da adoção de medidas estruturais e não estruturais (VISEU; ALMEIDA, 2009).

O processo de gestão de risco de barragens pode ser considerado uma metodologia consistente, pautada na sequência de ações a serem realizadas ciclicamente para a proteção do vale a jusante. A Figura 47 apresenta as ações que constituem a gestão de riscos em barragens.

Figura 47 – O processo de gestão de riscos de barragens



Fonte: Melo (2014)

Para Plate (1997)[15] apud Viseu e Almeida (2009), o processo de gestão de riscos em barragens consiste em duas partes conceitualmente diferentes: a primeira, processo de avaliação do risco, consiste na atualização das decisões, levando em consideração se o risco existente é tolerável ou não; a segunda, denominada processo de mitigação do risco, inclui medidas alternativas para controle dos riscos, como a manutenção da barragem (prevenção) e a gestão do solo, e medidas de proteção civil a serem adotadas ao longo do vale de jusante (prontidão).

De acordo com Leite (2019), no âmbito de engenharia de barragens, a gestão de risco pode ser compreendida como um processo composto pelas seguintes etapas: avaliação do risco; análise do risco; apreciação do risco; controle do risco.

2.10.1 Avaliação de Risco

Para Adamo et al. (2017), a avaliação do risco é o processo de considerar as estimativas quantitativas ou qualitativas de risco, juntamente com os fatores sociais, ambientais e temporais relacionados, a fim de determinar um caminho recomendado de ações para mitigar ou aceitar o risco.

Viseu e Almeida (2003) entendem que a avaliação do risco de ruptura de barragem define a magnitude da inundação que pode ocorrer em caso de rompimento da estrutura, estimando as principais consequências e avaliando sua importância. Os autores descrevem que, na avaliação do risco, os resultados obtidos a partir da análise e apreciação do risco são integrados para, então, tecer as recomendações a respeito da necessidade de reduzir o risco ou apenas controlá-lo.

De acordo com Bowles (2010), a avaliação do risco deve ter início com uma clara definição de seu propósito; isso inclui a identificação das decisões para as quais tem-se a intenção de utilizar os resultados obtidos a partir da avaliação. É preciso, ainda, incluir a identificação dos fatores que afetam a tomada de decisão acerca da segurança da barragem, no contexto do propósito específico de avaliação do risco.

Bowles (2010) cita como exemplos de objetivos de avaliação de riscos no âmbito da segurança de barragens:

a) identificar e compreender potenciais modos de ruptura;

[15] PLATE, E. J. Dams and safety management at downstream valleys. Dams and safety management in downstream valleys (eds. ALMEIDA, A. B.; VISEU, T.). BALKEMA, A. A. Rotterdam, 1997. P. 27-43.

b) identificar, justificar e priorizar investigações e análises, a fim de reduzir incertezas nas estimativas de risco;

c) consolidar a elaboração, justificativa e priorização de medidas de redução de riscos para barragens;

d) identificar formas para melhorar a segurança da barragem, por meio de mudanças na operação do reservatório, monitoramento, gestão dos sistemas de segurança, treinamento de equipe e planos de ação de emergência;

e) fornecer uma base não técnica para comunicação com o público no que concerne aos riscos à segurança da barragem;

f) fortalecer o exercício do dever de zelo, devida diligência e responsabilidade legal do proprietário da barragem.

Ainda sobre a avaliação do risco, o autor defende que o processo de definição e seleção do nível de detalhamento ou complexidade da avaliação do risco deve ser desenvolvido com base no propósito da avaliação e no processo de identificação dos modos de ruptura (BOWLES, 2010).

Nesse processo, todos os potenciais modos de ruptura para a barragem em questão são enumerados, incluindo a relação entre cada modo de ruptura e os tipos de consequências relacionadas àquela ocorrência, que são relevantes e devem ser consideradas, a fim de satisfazer o propósito da avaliação.

2.10.2 Análise de Risco

Viseu e Almeida (2009) conceituam a análise de risco como a compreensão da natureza e extensão da incerteza relacionada às condições sob as quais a barragem deverá performar, assim como a incerteza na resposta da barragem a essas condições.

Seu principal objetivo é estimar o valor ou o nível do risco induzido por uma barragem ou conjunto de barragens aos indivíduos ou população, propriedades ou ativos ambientais, a partir do processo que visa identificar a extensão e a probabilidade das consequências associadas à ruptura da barragem ou de seus componentes (VISEU; ALMEIDA, 2009).

Para os autores, probabilidade é uma declaração quantificada do nível de confiança para a ocorrência de determinado resultado, fundamentada na experiência anterior ou no grau de crença do especialista ou qualquer conhecimento e experiência pessoal.

Bowles (2010) defende que a análise de risco engloba a identificação dos riscos e sua estimativa, sendo a identificação do risco o processo de reconhecimento das ameaças às quais a barragem é exposta, os potenciais modos de ruptura e os resultados das consequências adversas. A estimativa do risco consiste em determinar carregamentos, as respostas do sistema e as probabilidades dos resultados, além das consequências para vários cenários de ruptura de barragem.

O autor defende que as consequências decorrem de diversos fatores, como a natureza e extensão da falha; a extensão e característica da inundação; a estação do ano; o tempo de aviso da ruptura da estrutura à população a jusante; e a efetividade da evacuação e do plano de emergência (BOWLES, 2010).

Para Viseu e Almeida (2009), a análise quantitativa de riscos[16] possibilita uma métrica comum para avaliação e classificação da segurança de uma barragem, a partir da quantificação das possíveis perdas devido a um evento potencial (futuro) e incerto de ruptura da estrutura. Isso implica em diferentes tipos de incertezas na previsão do desempenho futuro da(s) barragem(s), como a condição de carregamento da estrutura, considerando diferentes fontes e fatores de risco, riscos naturais, riscos produzidos pelo homem ou induzidos, fraquezas estruturais e vulnerabilidades físicas do vale à jusante, assim como as ações e respostas humanas.

2.10.2.1 Conteúdo principal de uma análise de risco em barragens

Viseu e Almeida (2009) defendem que a análise de riscos é composta por três partes principais: definição e identificação dos riscos, seleção do cenário de ruptura da barragem e determinação do risco.

A primeira parte compreende a identificação das interações dos componentes presentes a jusante da barragem e a identificação do reservatório, incluindo a definição das barreiras físicas entre eles. As fontes de riscos naturais e não naturais precisam ser identificadas (enchentes, terremotos, fragilidade na estrutura da barragem ou mal funcionamento de equipamentos, entre outros) e definidas, tanto em magnitude quanto em probabilidade de ocorrência (VISEU; ALMEIDA, 2009).

[16] Processo de análise baseado em valores numéricos das consequências potenciais e suas probabilidades, assumindo-se que tais valores são uma representação válida da magnitude real das consequências e da probabilidade dos cenários estudados (MELO, 2014).

Os autores ainda defendem que a construção e a seleção de cenários de riscos são peças fundamentais da análise, pois cada cenário compreende uma combinação de fontes de riscos e fatores ou condições do sistema que enquadrarão a cadeia de resultados (causas e efeitos interligados), associados ao caminho e impacto do risco (VISEU; ALMEIDA, 2009).

A análise do cenário abrange: resposta da barragem e reservatório, considerando uma ruptura total ou parcial; impacto da inundação nos componentes expostos a jusante; e resposta do vale a jusante ao impacto da inundação (danos potenciais e consequências). Cada cenário escolhido apresenta uma previsão hipotética de "como um acidente com barragem pode ocorrer". A probabilidade de ocorrência de sucessivos eventos que foram considerados em cada cenário informará "quão provável é que esses eventos aconteçam" e, por fim, as consequências estimadas em cada cenário de ruptura informarão "que dano aconteceria se tal cenário ocorrer" (VISEU; ALMEIDA, 2009).

As consequências adversas (danos) podem ser estimadas segundo a equação genérica (1) a seguir:

$$\text{Danos} = \text{Exposição} \times \text{Vulnerabilidade} \times \lambda_r \qquad (1)$$

Onde:

- Exposição: conjunto de valores sob risco ou expostos ao impacto direto ou indireto de uma inundação, devido à ruptura de uma barragem (vidas humanas ou propriedade);

- Vulnerabilidade: fator de dano determinístico (ou probabilístico) ou nível do dano decorrente de cada impacto de perigo específico; possui valor entre 0 e 1;

- "Fator de recuperação" ($\lambda_r \geq 1$): também pode ser considerado para estabelecer custos extras de recuperação, que superarão os custos de reposição (VISEU; ALMEIDA, 2009).

2.10.2.2 Métodos e processos de análise de risco

De acordo com Ladeira (2007), os métodos mais utilizados para análises de riscos em barragens são:

a) análise dos perigos e da operabilidade (HAZOP)

b) análise de modo de falha e efeitos (FMEA) / análise dos modos de falha, efeitos e criticalidade (FMECA);

c) análise de árvore de eventos (ETA);

d) análise de árvore de falhas (FTA);

e) nó borboleta.

2.10.2.2.1 Análise dos perigos e da operabilidade (HAZOP)

Segundo a CNPGB (2005), este método foi criado em razão da necessidade de avaliar desvios no funcionamento de partes de um sistema. Seu foco é a análise do comportamento do sistema, suas causas e consequências, sendo adequado para a análise sistemática dos desvios de determinadas grandezas, classificando-os com base em características que definem seu comportamento, determinam suas causas e consequências, e propõem ações corretivas.

Além do enfoque na resposta dos vários subsistemas, sua principal vantagem está em seu caráter sistemático e aplicação relativamente rápida; por outro lado, sua principal desvantagem é não analisar explicitamente os modos de falha que podem definir os desvios.

Para ser aplicado na engenharia de barragens, são necessárias adaptações para utilização nas fases de construção, atividades de fiscalização e na fase de operação (CNPGB, 2005).

De acordo com a CNPGB (2005), os procedimentos para aplicação do método são:

a) seleção do subsistema que se pretende analisar;

b) escolha de uma grandeza com repercussão no comportamento do subsistema em análise;

c) escolha de uma palavra-chave da classificação adotada para caracterizar o desvio;

d) identificação das causas potenciais desse desvio;

e) identificação das consequências potenciais desse desvio;

f) identificação dos meios de detecção do desvio;

g) proposta de eventuais meios adicionais;

h) repetição da análise para diferentes palavras-chaves (passos “c” a “g”);

i) repetição dos passos “b” a “h” para todas as grandezas relevantes para o comportamento do subsistema em análise.

A Figura 48 sintetiza todos os procedimentos acima citados.

Figura 48 – Exemplo de aplicação do método HAZOP

Sistema principal: Barragem (3)
Sub-sistema: Ensecadeira (2)
Fase: Construção (1)

Data:
Folha:
Autor:
Aprovação:

Código de identificação	Designação	Grandeza	Desvio (palavra chave)	Causa	Efeitos	Meios			Meios adicionais
						de detecção do desvio	de prevenção do desvio	de mitigação dos efeitos	
3-2-1 (a-b-c) (1)	Ensecadeira	Assentamento	MUITO SUPERIOR (ao valor estimado)	Colapso dos materiais do maciço estabilizador de montante	. Abertura de fendas . Estabelecimento de caminhos de percolação montante/jusante . Erosão interna . Formação de brecha . Libertação de uma onda de cheia para jusante	Marcas de nivelamento para medição dos assentamentos	Ensaios de caracterização	Subida expedita do coroamento da ensecadeira	Mais do que um meio de comunicação entre a obra e o exterior
						Inspecção visual	Colocação e compactação dos materiais do maciço estabilizador de montante do lado húmido	Accionamento do Plano de Emergência	Sistema de aviso e alerta

(1) -

a - Sistemas principais

1 - bacia hidrográfica
2 - albufeira
3 - barragem
4 - vale a jusante

b - Sub-sistemas da barragem

1 - galeria de desvio provisório
2 - ensecadeira
3 - corpo da barragem
4 - descarregador de cheias
5 - descarga de fundo
6 - tomada de água

c - Fase

1 - construção
2 - 1º enchimento
3 - exploração (primeiros 5 anos)
4 - exploração (após os primeiros 5 anos)

Fonte: CNPGB (2005)

No exemplo acima, escolheu-se o sistema principal (barragem) e o subsistema (corpo da ensecadeira[17]), na fase de construção. Após essa definição inicial, parte-se para a escolha de uma grandeza do subsistema em análise, como um assentamento, e define-se uma palavra-chave para caracterizar o desvio (muito superior ao valor estimado para o assentamento). Identificam-se as causas potenciais para ocorrência do desvio, assim como suas consequências (efeitos) potenciais. Além disso, os meios de detecção e de prevenção do desvio, além dos meios de minimização das consequências são descritos para, por fim, serem propostos meios adicionais; repete-se a análise para diferentes palavras-chave e para todas as grandezas relevantes para o comportamento do subsistema avaliado.

2.10.2.2.2 Análise dos modos de falha e efeitos / Análise dos modos de falha, efeitos e criticalidade (FMEA e FMECA)

A análise dos modos de falha e efeitos (FMEA) é considerada uma das primeiras técnicas sistemáticas para a análise de falhas (MELO, 2014).

De acordo com Viseu e Almeida (2009), FMEA é um método de análise por meio do qual os efeitos ou consequências de componentes individuais de modos de ruptura são sistematicamente identificados e analisados.

Para Caldeira (2008), o método permite: (i) avaliar os efeitos e a sequência de acontecimentos decorrentes de cada modo de falha; (ii) determinar a importância de cada modo de falha; (iii) avaliar o impacto sobre a confiabilidade e segurança do sistema considerado; e (iv) classificar os modos de falhas estudados, tendo como objetivo a eliminação ou controle de todos os modos de falha de um sistema, que possam colocar em risco seu funcionamento.

Citando novamente Viseu e Almeida (2009), o FMEA pode ser estendido para incluir considerações de criticidade, constituindo o FMECA (análise dos modos de falha, efeitos e criticalidade).

Segundo Bowles e Peláez[18] (1995 apud WALTER, 2019), o método FMECA é normalmente utilizado para calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR), que é resultado do produto entre a probabilidade de falha no componente analisado (ocorrência), o impacto

[17] Barragem provisória com a finalidade de fechar uma região do curso d'água, de forma a deixar seca uma área onde serão executados os trabalhos (ROCHA, 2006).
[18] BOWLES J.B., PELÁEZ C.E. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering and Systems Safety, vol.50, 1995, p. 203–213.

decorrente de sua falha (severidade) e a possibilidade de detecção do problema antes de sua ocorrência (detecção). Esses fatores costumam ser avaliados por meio de uma escala ordinal de valores que variam de 1 a 10; os modos de falha cujo NPR é alto são prioridade em relação aos demais, que são classificados em ordem decrescente de valor.

Essa metodologia utiliza as pontuações indicadas na Figura 49, que estabelecem que o índice de ocorrência possui pontuações que variam de 1 a 10, de “Improvável” até “Frequente” na escala nominal e de menor que 0,1% a maior que 20% na escala racional. O índice de severidade também possui pontuações de 1 a 10, variando de “Muito baixo” até “Catastrófico”. Por último, o índice de detecção apresenta pontuações de 1 a 6, variando de “Quase Certo” até “Quase Impossível” (WALTER, 2019).

Figura 49 – Classificação dos índices de severidade, ocorrência e detecção

ÍNDICE DE SEVERIDADE (S)		ÍNDICE DE OCORRÊNCIA (O)		ÍNDICE DE DETECÇÃO (D)	
S_i	Efeito	O_i	Probabilidade	D_i	Probabilidade
1	Muito baixo	1	Improvável (0,1%)	1	Quase certo
2, 3	Baixo	2, 3	Remoto (0,1 a 1%)	2	Muito alto
4, 5	Médio	4, 5, 6	Ocasional (1 a 10%)	3	Alto
6, 7, 8	Grave	7, 8, 9	Provável (10 a 20%)	4	Moderadamente alto
9	Muito grave	10	Frequente (>20%)	5	Moderado
10	Catastrófico	..	..	6	Baixo
..	..	..	..	7	Muito baixo
..	..	..	..	8	Remoto
..	..	..	..	9	Muito remoto
..	..	..	..	10	Quase impossível

Fonte: Melo (2014)

Quanto maior o índice de ocorrência (O), maior a probabilidade de que uma falha aconteça; quanto maior o índice de severidade (S), piores são os efeitos de sua consequência em determinado modo de falha nos âmbitos ambiental, social, político e econômico; finalizando, quanto maior o índice de detecção (D), menor a probabilidade de detectar as causas de uma falha antes que ela ocorra (PORTES, 2013).

Para Melo (2014), há uma grande variedade de *layouts* dos formulários de FMEA acessíveis na literatura, inexistindo uma padronização. Usualmente, são apresentados na forma de tabelas, abordando os seguintes itens:

a) identificação do sistema;

b) identificação dos subsistemas, componentes (ou elementos);

c) descrição da função dos componentes;

d) modo de falha;

e) efeito;

f) causa;

g) controle;

h) índice de ocorrência (O) = probabilidade da falha ocorrer;

i) índice de severidade (S) = impacto ou gravidade dos efeitos da falha;

j) índice de detecção (D) = eficiência (ou probabilidade) dos controles de detecção da falha;

k) NPR = produto dos índices de ocorrência, severidade e detecção.

A aplicação do método consiste na decomposição do sistema em itens, sendo essa a primeira etapa fundamental do processo, que condiciona à análise subsequente. Cada elemento (sistema, subsistema ou componente) deve ter sua função e funcionamento explicitados (MELO, 2014).

Na sequência, identifica-se um modo de ruptura (maneira com que o item falha ou deixa de apresentar a função desejada ou esperada) a ser analisado e sua respectiva causa (acontecimento iniciador); posteriormente, parte-se para a identificação dos efeitos da ruptura (efeitos locais, no subsistema em análise, efeitos em outros subsistemas e efeitos terminais).

O próximo passo é definir os meios de detecção e prevenção do modo de ruptura e meios de mitigação de seus efeitos (ação recomendada).

Por fim, repete-se a análise considerando as possibilidades plausíveis de outros modos de ruptura, identifica-se outro estado de funcionamento e, novamente, a análise deve ser refeita.

A Figura 50 exemplifica a aplicação do método FMEA/FMECA.

Figura 50 – Exemplo de aplicação do método FMEA/FMECA

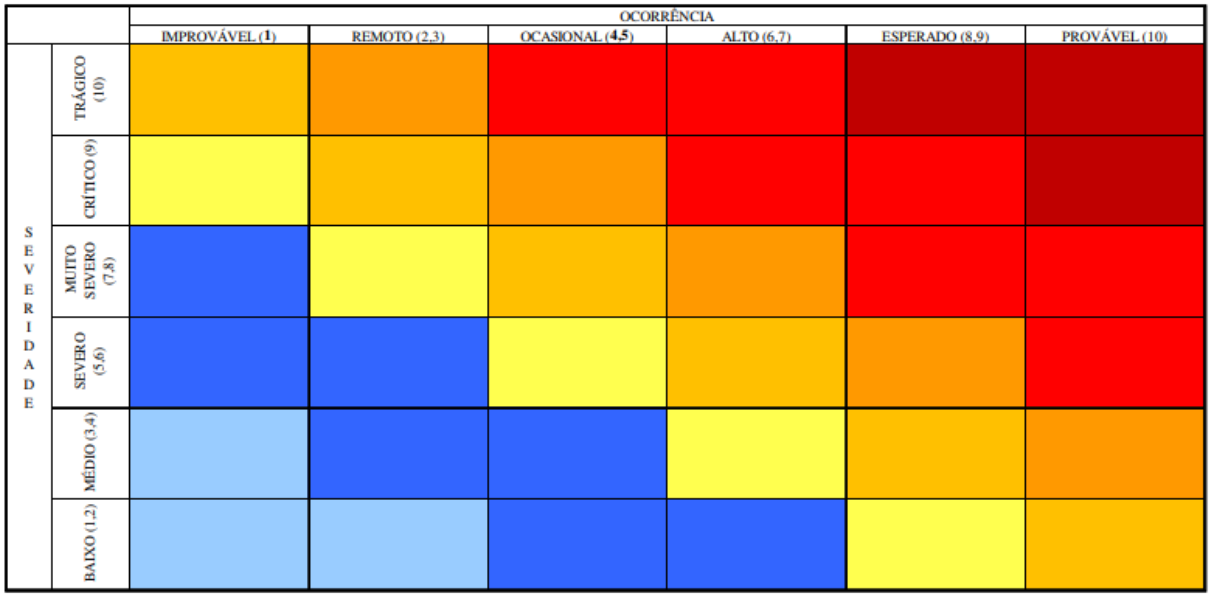
Identificação da Obra: PDE Canga
Fase da Obra: Concluída
Objetivo da Análise: Análise de Desempenho

Identificação e designação da componente	*Modos Potenciais de Falha*	*Causas Potencias de Falha*	Ocorrência (O)	*Efeitos Potenciais de Falha*	Severidade (S)	*Métodos de Detecção*	Detecção (D)	RPN	*Ação Recomendada*	*Responsável pela Execução*	Resultados da Ação			
											O	S	D	RPN
II.1	Posição elevada do NA no maciço	Obstrução da saída da drenagem interna	4	Surgências nos taludes; Saturação do pé da pilha.	3	Inspeção Visual	1	12	Desosbstrução da saída da drenagem interna; Continuidade da leitura dos MNAs.	x				
II.2	Erosões superficiais	Comprometimento da cobertura vegetal	3	Movimentos de massa localizadas; Assoreamento das áreas a jusante.	3	Inspeção Visual	1	9	Reconstituição da área afetada através de aterro controlado.	x				
	Abatimentos	Geometria inadequada	4	Movimentos de massa localizados.	3	Inspeção visual	2	24	Retaludamento	x				
II.3	Abatimentos	Geometria inadequada	4	Acúmulo de água acompanhado da saturação local; Erosão.	4	Inspeção Visual	1	16	Reaterro compactado no local	x				
III.1	Comprometimento do fluxo contínuo	Danos físicos	2	Percolação do maciço; Saturação das bermas.	4	Inspeção Visual	1	8	Adequação dos dispositivos de drenagem	x				
III.2	Comprometimento do fluxo contínuo	Obstrução da saída da drenagem interna	4	Elevação do nível de água; Saturação do pé da pilha.	4	Inspeção visual	4	64	Desosbstrução da saída de drenagem interna; Continuidade da leitura dos INAs.	x				

Fonte: Petronilho (2010)

Segundo Melo (2014), a ordenação dos modos de falha pode ser realizada de duas maneiras: pelo índice de criticalidade (expresso pelo produto da ocorrência e severidade) ou pelo NPR. No primeiro caso, a representação por matrizes bidimensionais é mais comum, gerando a matriz de risco ou criticalidade, apresentada na Figura 51.

Figura 51 – Matriz de risco FMEA



Fonte: Portes (2013)

Essa representação gráfica apresenta como vantagem a facilidade de visualização dos modos de falha e dos riscos inerentes, não passíveis de distinção apenas por meio da definição do NPR (PORTES, 2013).

A priorização dos modos de falha a partir do NPR considera o fator relativo à facilidade de identificação, dada a importância da inclusão do índice de detecção, já que alguns mecanismos de falha não demonstram manifestações evidentes, mesmo com uma inspeção visual rigorosa (MELO, 2014).

2.10.2.2.3 Análise de Árvore de Eventos (ETA)

Viseu e Almeida (2009) descrevem que a análise de árvore de eventos (ETA) é o método mais utilizado na análise de riscos. Trata-se de um método lógico, indutivo e que pode ser tratado sob todas as formas de análise (qualitativa, semiquantitativa[19] ou quantitativa), embora, comumente, esteja associada à natureza quantitativa (MELO, 2014).

[19] Análise intermediária, na qual se considera uma abordagem conjunta (qualitativa e quantitativa), utilizando-se de descritores verbais para transformações numéricas de valores de probabilidades atribuídas (MELO, 2014).

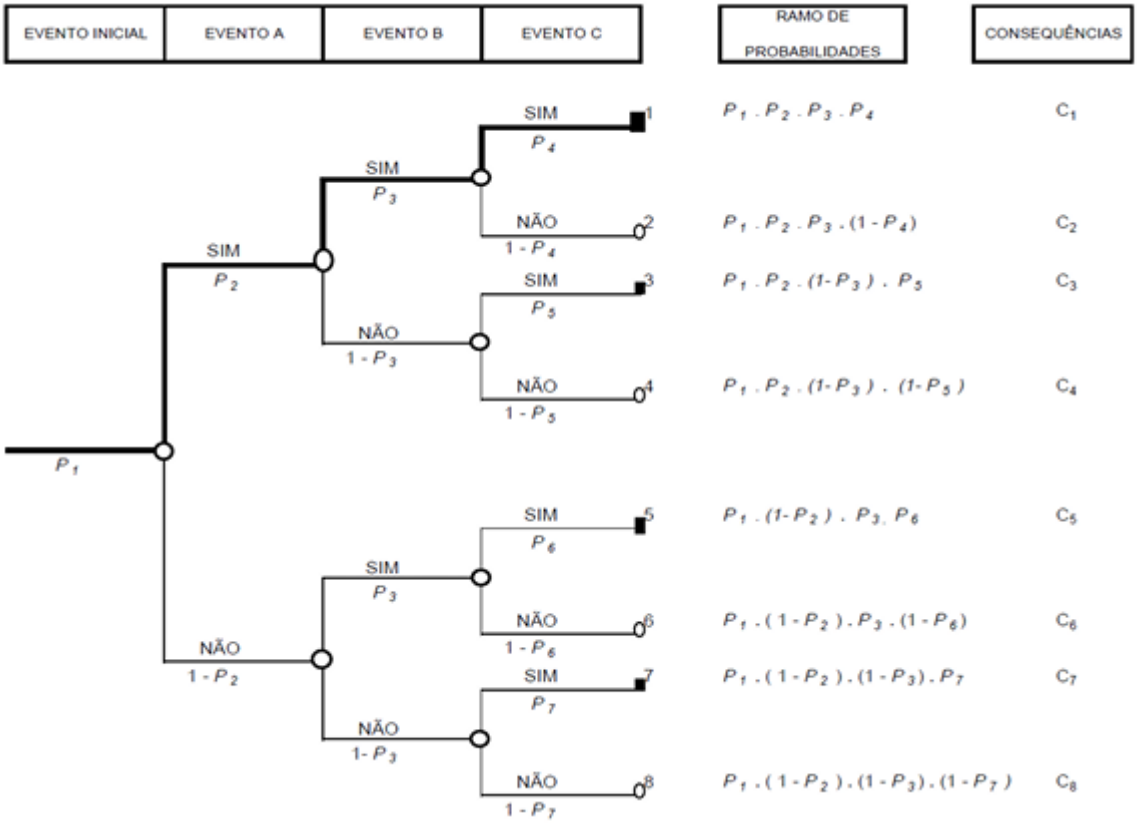
Baseia-se na árvore de eventos, que apresenta as sequências lógicas possíveis de causas e efeitos, induzidos por um evento de risco ou situação inicial (VISEU; ALMEIDA, 2009).

Segundo Melo (2014), a árvore de eventos geralmente adotada para barragens refere-se a modelos de sistema físicos. A análise tem início a partir de um perigo ou evento iniciador, com construções gráficas dispostas em ordem cronológica (da esquerda para a direita). Cada ramo da árvore estratifica-se binariamente em dois ramos, representando uma situação de sucesso e outra de falha. Quando utilizada na forma quantitativa, são explicitadas as probabilidades de ocorrência de cada sequência.

Para Ladeira (2007), o requisito teórico para cada evento representado na árvore de eventos são as ocorrências mutuamente exclusivas e coletivamente completas. O primeiro termo significa que dois ou mais eventos não podem acontecer simultaneamente; o segundo indica que há, no mínimo, um evento dentro do grupo de eventos que deve ocorrer, ou seja, que os eventos juntos compreendem todos os pontos do espaço amostral.

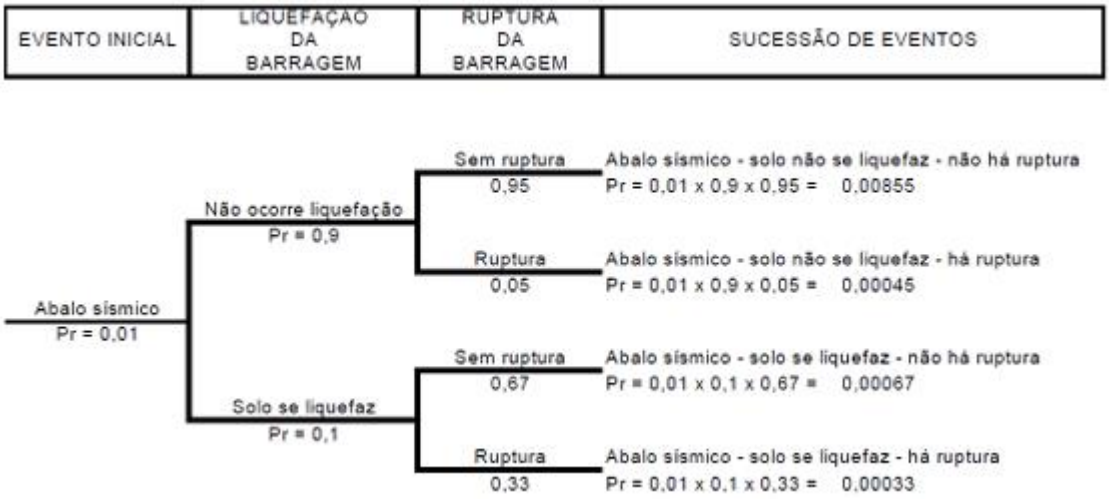
As Figuras 52 e 53 apresentam os conceitos empregados na árvore de eventos e um exemplo de aplicação prática, respectivamente.

Figura 52 – Conceitos empregados numa árvore de eventos



Fonte: Ladeira (2007), modificado de Hartford e Baecher (2004)

Figura 53 – Aplicação prática de árvore de eventos para o perigo de abalo sísmico



Fonte: Ladeira (2007), modificado de Hartford e Baecher (2004)

De acordo com Hartford e Baecher[20] (2004 apud LADEIRA, 2007), a falta de base teórica pode culminar na dificuldade de construção das árvores, quando não impossíveis para

[20] HARTFORD, D. N. D.; BAECHER G. B. Risk and uncertainty in dam safety – CEA Technologies Dam Safety Interest Group. ISBN 0 7277 3270 6, Londres, Inglaterra: Thomas Telford Publishing, 2004. 391 p.

alguns modos de falha, contudo, isso não significa que a ETA não seja útil para avaliação de risco em barragens, pelo fato de fornecerem uma estrutura altamente intuitiva.

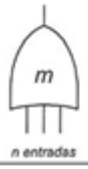
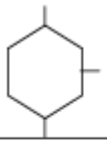
2.10.2.2.4 Análise de Árvore de Falhas (FTA)

A análise de árvore de falhas foi um dos primeiros métodos a ser desenvolvido para análise de riscos (VISEU; ALMEIDA, 2009). Segundo Ladeira (2007), FTA é um método dedutivo, que pode ser adotado em análises qualitativas, semiquantitativas ou quantitativas; trata-se de um método gráfico que recorre a um conjunto de símbolos lógicos que caracterizam a relação entre os vários eventos.

Segundo Melo (2014), o FTA apresenta como estrutura básica o desdobramento dos eventos em níveis hierárquicos, sendo que o primeiro nível se relaciona com o evento de topo. A representação é feita em diversos níveis, a depender da complexidade do sistema. Todos os símbolos são padronizados e, usualmente, representados por retângulos, círculos, losangos e triângulos. Os símbolos lógicos (“e” e “ou”) são usados para caracterizar a relação entre os elementos.

A Figura 54 ilustra os principais símbolos habitualmente utilizados na construção da árvore de falhas.

Figura 54 – Símbolos lógicos utilizados na construção da árvore de falhas

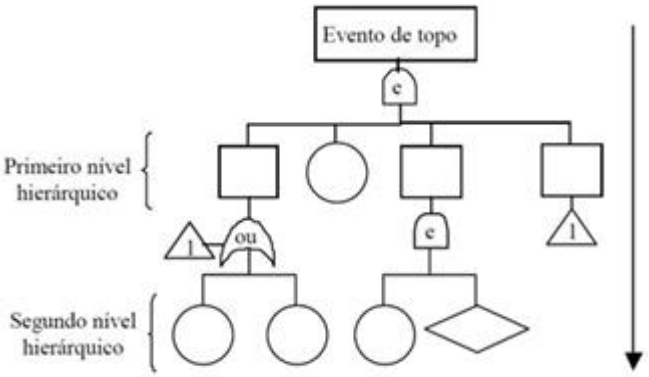
SÍMBOLO LÓGICO	DESIGNAÇÃO	OBSERVAÇÕES
	Porta **E**	O evento de saída ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem
	Porta **OU**	O evento de saída ocorre se ocorrer pelo menos um dos eventos de entrada
	Porta **OU exclusiva**	O evento de saída ocorre se um único dos eventos de entrada ocorrer
	Porta **E condicional**	O evento de saída ocorre se todos os eventos de entrada ocorrerem por ordem, da esquerda para a direita
	Porta **m em n**	O evento de saída ocorre se **m** dos **n** eventos de entrada ocorrerem
	Porta **Condicional**	O evento de saída é resultado do evento de entrada se o evento condicional ocorrer
	Acontecimento iniciador	Evento elementar com potencial directo ou indirecto para originar a falha em análise
	Evento por desenvolver	Evento cujas causas estão por desenvolver
	Evento	Evento que resulta da associação lógica de outros eventos
	Símbolo de transferência	Evento que resulta de outra árvore de falhas

Fonte: CNPGB (2005)

Diferentemente da ETA, a FTA parte do evento final (evento de topo) para os eventos iniciadores, buscando identificar todos os pontos que possam materializar a ocorrência de determinada falha, sendo um método muito utilizado para análises pós-acidente (MELO, 2014).

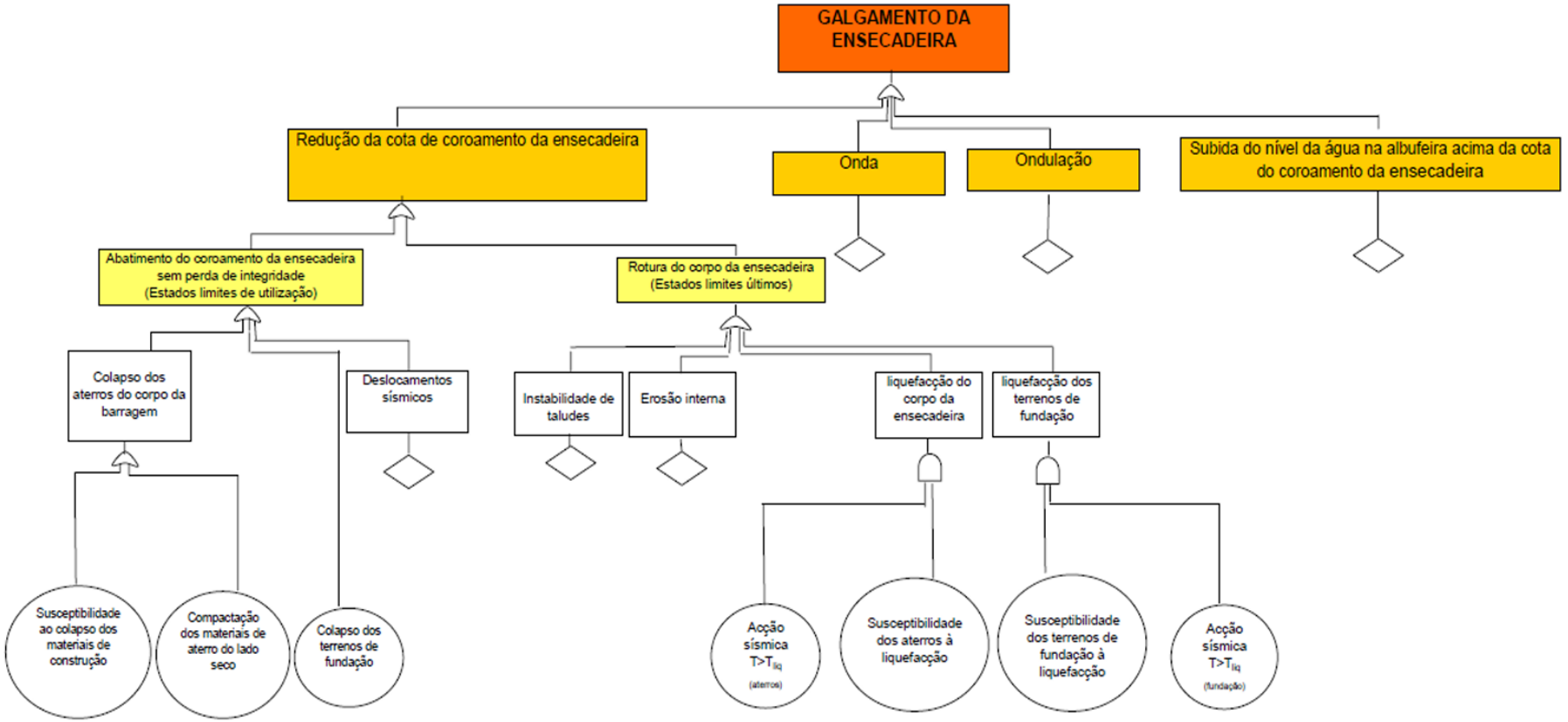
A Figura 55 ilustra a representação esquemática da FTA e, na Figura 56, tem-se um exemplo de aplicação do método, cujo evento de topo é o galgamento da ensecadeira.

Figura 55 – Representação esquemática da FTA



Fonte: Sakurada (2001)

Figura 56 – Exemplo prático de uma árvore de falha



Fonte: CNPGB (2005)

Ladeira (2007) ressalta que a análise de árvore de falhas é particularmente adequada ao tratamento de acidentes de grande escala pelo fato de identificar todas as combinações de eventos que conduzem à ruptura do sistema em análise.

Para o caso de barragens, que são sistemas altamente complexos, o método FTA pode se tornar bastante extenso, dificultando sua aplicação; seu uso ideal são eventos de topo considerados críticos para a segurança da barragem (MELO, 2014).

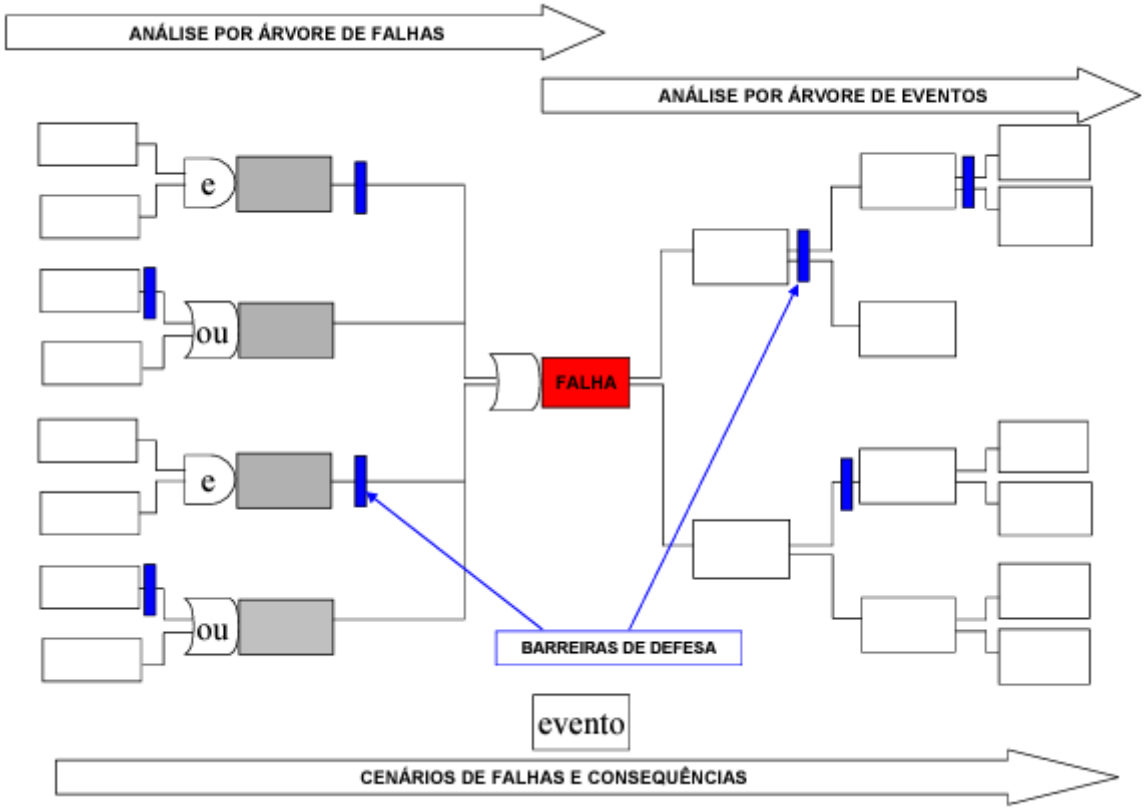
2.10.2.2.5 Nó Borboleta (Noeud Papillon)

O método denominado Nó Borboleta é a união dos métodos de árvore de falhas e árvore de eventos (LADEIRA, 2007). Segundo a CNPGB (2005), o evento central constitui uma falha possível do sistema: a parte à esquerda do evento central é uma árvore de falhas, que analisa as sequências e combinações de eventos que conectam os possíveis acontecimentos iniciadores à falha do sistema; à direita, tem-se uma árvore de eventos, que analisa os resultados possíveis da falha em análise.

Sua aplicação é morosa, constituindo um método recomendado para falhas particularmente críticas para a segurança e/ou funcionalidade de sistemas.

A seguir, a Figura 57 ilustra uma representação esquemática deste método.

Figura 57 – Método Nó Borboleta



Fonte: CNPGB (2005)

2.10.3 Apreciação do Risco

Adamo et al. (2017) definem a apreciação do risco como o processo no qual os riscos são examinados em termos de custos e benefícios, e avaliados em termos de aceitabilidade, levando em consideração as necessidades, problemas e preocupações das partes interessadas.

De acordo com Viseu e Almeida (2009), a etapa de apreciação do risco é aquela em que as restrições sociais e julgamentos influenciam o processo de decisão, explícita ou implicitamente, formulando considerações sobre a importância relativa dos riscos calculados e das respectivas consequências sociais, ambientais, econômicas, entre outras, com a finalidade de identificar e analisar a gama de alternativas que se apresentam no âmbito da gestão dos riscos.

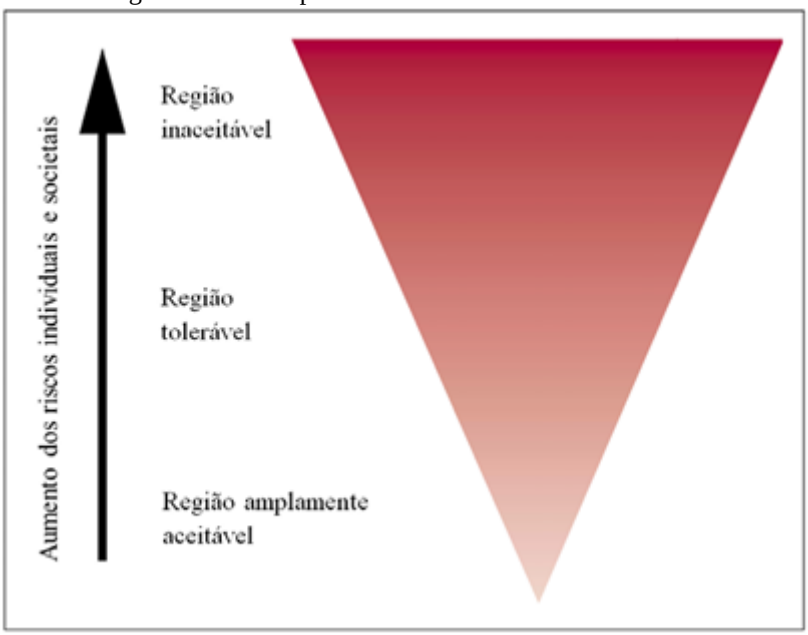
A apreciação do risco ultrapassa a fronteira do âmbito técnico da engenharia de barragens, em direção a um enfoque mais subjetivo de julgamento de valores, abordando interesses políticos, sociais, econômicos e legais (MELO, 2014).

Segundo Melo (2014), para o entendimento da matéria, é importante discutir os conceitos de risco individual (de interesse para os indivíduos) e de risco societal (de interesse à sociedade como um todo).

Para Leite (2019), o risco individual corresponde ao incremento de risco imposto a um indivíduo pela existência de um novo empreendimento; no caso de barragens, esse incremento é o aumento do risco de morte. Por sua vez, o risco societal é aquele que assume consequências de grande escala e implica em uma resposta do meio social e político, por meio de discussão pública e de mecanismos de regulação. O risco societal é tipicamente distribuído de maneira desigual, assim como os seus respectivos benefícios esperados.

A Figura 58 apresenta os critérios de aceitabilidade e tolerabilidade. Sua terminologia de divulgação, amplamente aceita atualmente, é definida pelo *Health & Safety Executive* (HSE), agência responsável pelo incentivo, regulamentação e aplicação da saúde e segurança do Reino Unido. O triângulo representa o aumento do nível de risco para uma atividade perigosa em particular; na parte superior, situam-se os riscos considerados inaceitáveis, não importando o nível de benefícios associados a esta atividade; na base, encontram-se os riscos de natureza aceitável, considerados baixos, sem grande relevância e controláveis. Para a zona intermediária, considerada uma região tolerável, os riscos são tipicamente de atividades para as quais a população está preparada para tolerar em troca da garantia de benefícios (MELO, 2014).

Figura 58 – Princípios de aceitabilidade e tolerabilidade

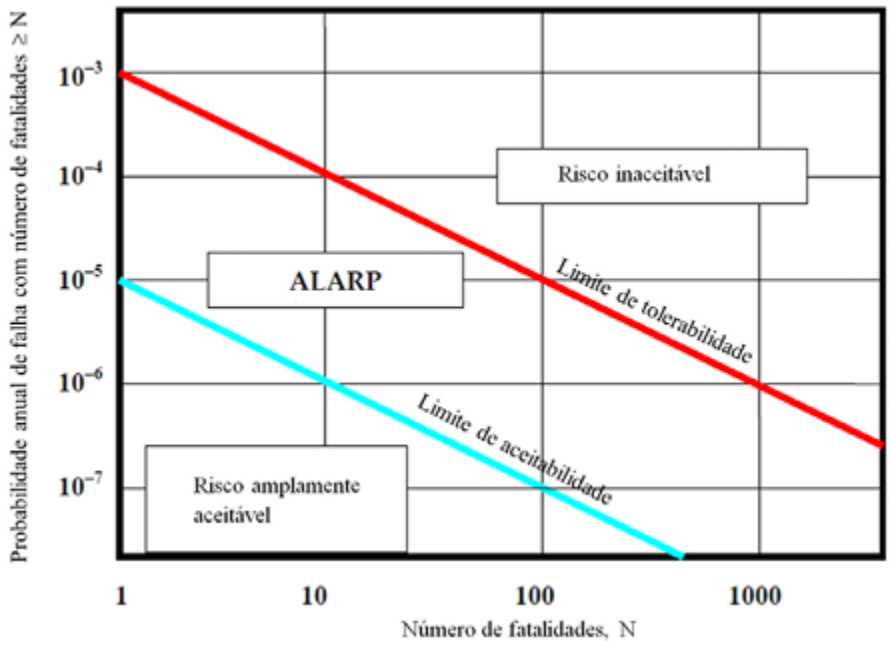


Fonte: Melo (2014), adaptado de HSE (2001)

Segundo Viseu e Almeida (2009), o critério de aceitabilidade do risco societal é geralmente representado em curvas F-N: na ordenada, plota-se o valor de F (probabilidade anual de um acidente com um número de fatalidades igual ou superior a N) e, na abscissa, o valor de N (número de fatalidades), como pode ser observado na Figura 59.

Nesse modo de representação, considera-se apenas a consequência associada à perda de vidas humanas, não exprimindo outros impactos possíveis, como os econômicos e os ambientais (MELO, 2014).

Figura 59 – Exemplo de curva F-N



Fonte: Melo (2014), adaptado de CDA (2007)

Para Melo (2014), é possível distinguir três zonas de análises nas curvas F-N, delimitadas pelos limites de tolerabilidade e aceitabilidade: a zona de risco aceitável, a de risco inaceitável e a zona intermediária, na qual os riscos são toleráveis, mas podem não ser aceitáveis, aplicando-se o princípio *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP)[21].

Ainda segundo o autor, os resultados obtidos a partir da apreciação do risco desempenham papel fundamental no contexto da gestão do risco, pois fomentam o processo de decisão.

[21] Princípio metodológico que estabelece que os riscos, inferiores aos limites de tolerabilidade, só são toleráveis se a sua redução for impraticável ou se os custos associados a essa redução forem fortemente desproporcionais, quando comparado aos benefícios obtidos (CNPGB, 2005).

2.10.4 Controle de Risco

De acordo com Pimenta (2009), o controle de riscos encerra um conjunto de atividades integradas que engloba a decisão, mitigação, prevenção, detecção, planejamento de emergência, revisão e, por fim, a comunicação de riscos.

O *Australia / New Zealand Standards* (AS/NZS, 1999) cita que as opções de controle de risco podem ser agrupadas nas seguintes categorias, sob a perspectiva da gestão de risco:

- evitar o risco;
- reduzir (prevenir) a probabilidade de ocorrência;
- reduzir (mitigar) as consequências;
- transferir o risco;
- manter (aceitar) o risco.

Para Bowles (2010), além das abordagens de prevenir e mitigar o risco, visando reduzir a probabilidade e as consequências de uma ruptura de barragem, sempre que possível, uma terceira abordagem de controle deve ser adotada para limitar as consequências associadas à ruptura, como por exemplo, a utilização de recursos à prova de falhas.

2.11 FATORES DE RISCOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS

Segundo Viseu (2021), a ruptura de uma barragem é um acidente com baixa probabilidade de ocorrência, mas com consequências potenciais muito significativas no vale a jusante, no caso de ruptura.

A segurança de qualquer barragem depende de três aspectos principais: capacidade de vazão do vertedouro, integridade estrutural e resistência a terremotos (PISANIELLO, 1997).

O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II (ANA, 2016), estabelece que os tipos mais frequentes de anomalias em barragens são:

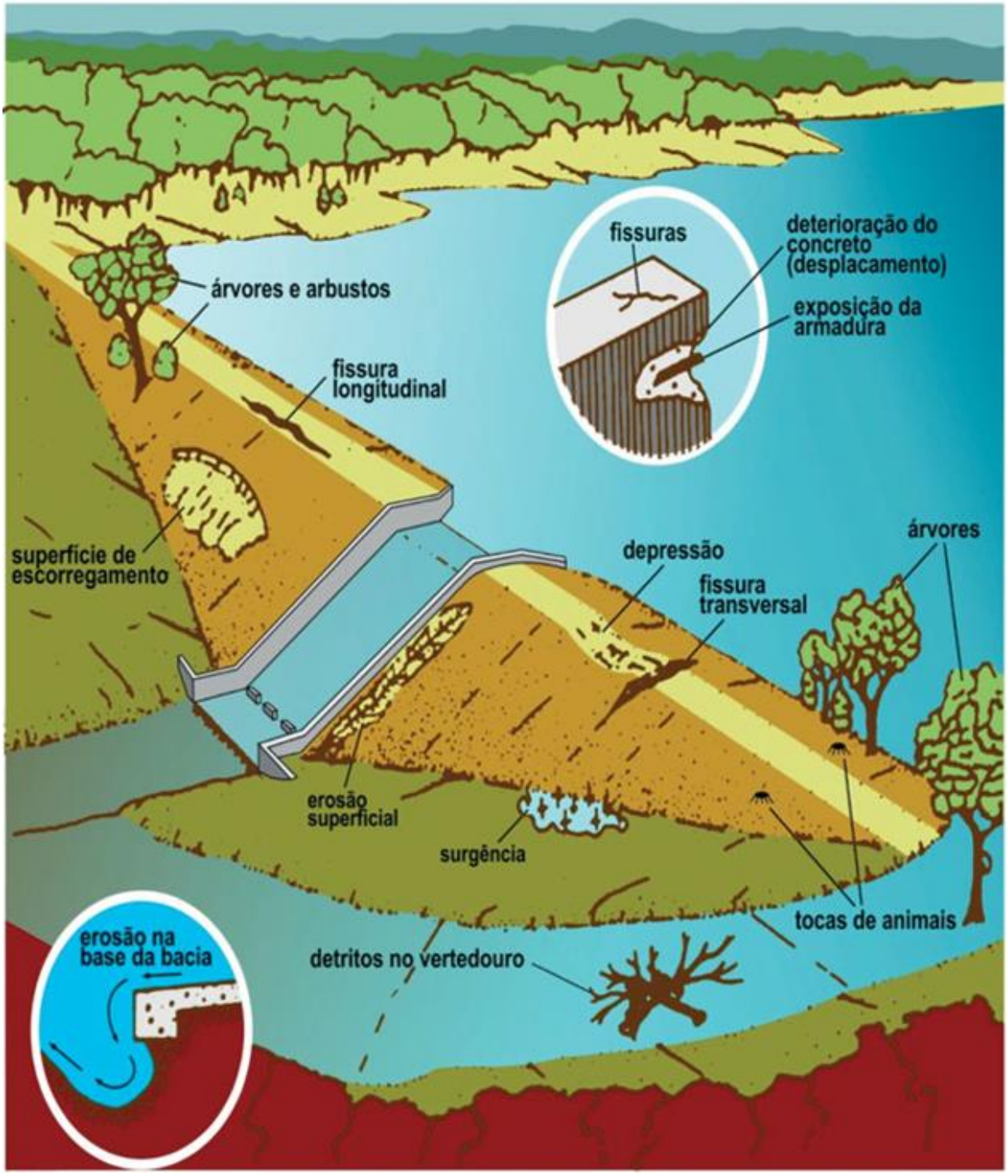
- fissuras;
- surgências[22];

[22] Ocorrência de água, por percolação, na face do paramento de jusante da barragem, nas ombreiras, no pé de jusante e na faixa logo a jusante do pé da barragem (ANA, 2016).

- instabilidade de taludes;
- depressões
    - recalques localizados;
    - afundamentos;
- proteção deficiente dos taludes;
- erosão superficial;
- ocorrência e árvores de arbustos;
- tocas de animais.

A Figura 60 representa esquematicamente as anomalias citadas anteriormente.

Figura 60 – Representação esquemática das anomalias em barragens



Fonte: ANA (2016)

De acordo com Leite (2019), as causas identificadas como fatores de risco, em geral, são sistematizadas em aspectos relativos ao homem, ao ambiente e à máquina (sistema técnico, em uma visão mais abrangente).

Melo (2014) considera as seguintes classes de fatores que impactam no risco da barragem: condições externas ou ambientais, condição da barragem/confiabilidade e potenciais danos humanos e econômicos.

A classe de fatores externos ou ambientais apresenta as fontes de perigo externas, empregando descritores como sismicidade, escorregamento de taludes no reservatório, cheias que ultrapassam às de projeto, tipo de operação do reservatório e ações ambientais agressivas. A classe associada à confiabilidade considera a adequação do dimensionamento estrutural, das fundações, dos órgãos de descarga e manutenção da barragem, ou seja, condições que dependem da barragem. Por último, a classe dos fatores de danos potenciais humanos e econômicos relaciona-se às consequências de uma ruptura, considerando o volume do reservatório e existência de instalações a jusante (MELO, 2014). Todas essas informações estão compiladas na Figura 61, a seguir.

Figura 61 – Fatores de riscos associados à barragens

Fator	Tipo	Definição
Fatores Naturais ou Ambientais	Risco Hidrológico	Probabilidade de falha de uma estrutura hidráulica face a ocorrência de vazão superior àquela para a qual foi dimensionada. Matematicamente é definido como produto entre a probabilidade de ocorrência de uma cheia associada a um determinado período de retorno e os danos que se esperam dessa ocorrência.
	Sismicidade	Um sismo é um fenômeno de vibração brusca e passageira da superfície da Terra, resultante de movimentos subterrâneos de placas rochosas, de atividade vulcânica, ou por deslocamentos de gases no interior da Terra, principalmente metano. O enchimento de reservatórios formados pela construção de barragens ou açudes pode induzir a ocorrência de sismos e eventualmente produzir danos severos a essas estruturas e benfeitorias vizinhas.
	Escorregamento	Possibilidade de escorregamento de taludes de terra ou rochosos nas margens dos reservatórios, movimentando uma massa significativa para dentro do lago, podendo vir a causar ondas significativas no reservatório e o galgamento da barragem.
	Ações Agressivas	Atuação das intempéries (chuva, vento, calor, frio) alternadamente sobre a barragem e estruturas associadas podendo causar, ao longo do tempo, desagregação, envelhecimento, erosão e corrosão, dentre outros fenômenos térmicos, mecânicos e químicos.
Fatores Internos (Dependentes da Barragem)	Riscos na Operação do Reservatório	Vertedouros hidrologicamente subdimensionados e/ou apresentando grau de incerteza na determinação da capacidade de descarga devido a dimensionamento por critérios empíricos, dados cadastrais e informações geométricas inconsistentes
	Riscos Geológicos	Possibilidade de ocorrência de condições geológicas durante uma obra, diferentes daquelas previstas nos estudos de projeto, gerando impactos nas soluções adotadas no projeto, no prazo de execução e no custo da obra.
	Riscos Estruturais	Fatores ligados ao dimensionamento estrutural e geotécnico, que podem levar à falha de estruturas da barragem na resposta aos carregamentos a elas impostas
	Riscos associados ao Monitoramento	Relativos ao controle permanente do comportamento das estruturas por meio das atividades de auscultação de barragens (manutenção preditiva), ou seja, das inspeções visuais e da análise dos dados da instrumentação instalada.
	Riscos Técnico-Organizacionais	Fatores associados à gestão dos riscos pelas empresas de projeto, construção e operação dos empreendimentos.
	Riscos Associados à Gestão de Emergências	Relativos às respostas as emergências para se evitar uma ruptura ou, se esta for inevitável, reduzir as suas consequências na área industrial e no vale a jusante
	Riscos de Ruptura de Barragens em Cascata	Causados pela possibilidade de ruptura de uma barragem, causando uma onda de cheia e transbordamento de barragens existentes a jusante, podendo levá-las a ruptura.
Fatores Externos	Socioeconômicos	São riscos externos ao sistema barragem e associados às consequencias humanas e econômicas no caso de ruptura

Fonte: Leite (2019), adaptado de Melo e Fusaro (2015)

Para Warren (2011), algumas causas genéricas para falha estrutural de barragens podem ser enumeradas (Tabela 6).

Tabela 6 – Causas genéricas para falha estrutural de barragens

Causa genérica	**Exemplos**
Planejamento do projeto	Falta de escopo definido
	Expectativas conflitantes do cliente
Investigação do *site*	Escopo ou extensão de investigações de campo inadequados
	Interpretação errada de informações
Erros de projeto	Erros conceituais
	Falta de redundância
	Falha da identificação dos carregamentos e suas combinações
	Erros de cálculo
	Deficiências em detalhamentos
	Deficiências em especificações
	Falha na consideração de vigilância, monitoramento e manutenção
Erros de construção	Sequência de trabalhos imprópria
	Métodos de trabalho ou tempo de construção inadequados
	Carregamentos excessivos durante a construção
Deficiências nos materiais	Inconsistência dos materiais
	Deterioração prematura
	Defeitos de fabricação
Erros operacionais	Alterações estruturais
	Operação superior ao escopo considerado em projeto
	Modificação no uso da estrutura
	Vigilância, monitoramento e manutenção inadequados

Fonte: Warren (2011)

Segundo o RSB de 2020, no período de abrangência do relatório foram relatados 44 acidentes e 95 incidentes com barragens no Brasil. Esses quantitativos são muito superiores aos verificados em todos os anos anteriores, provavelmente devido ao aumento de eventos como cheias, más condições de conservação de barragens e aumento do conhecimento dos

fiscalizadores sobre os incidentes e acidentes, e respectivas notificações para o RSB; os relatos são enviados pelos respectivos órgãos fiscalizadores para a fonte primária de informações sobre acidentes e incidentes ocorridos.

De acordo com dados divulgados no mencionado relatório, 25 órgãos fiscalizadores reportaram 122 barragens críticas em 23 estados brasileiros, com destaque para Minas Gerais (42 barragens) e Pernambuco (12 barragens).

3 PESQUISA DE CAMPO

3.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi conduzido a partir da coleta de dados, seguida da organização das informações obtidas para que fosse possível realizar as análises relacionadas à condução da gestão de riscos em barragens hidrelétricas sob a ótica dos agentes envolvidos, com a finalidade de propor melhorias sobre o assunto.

As entrevistas visando à coleta de dados foram realizadas com agentes envolvidos em segurança de barragens, de empresas brasileiras de grande relevância no segmento de geração de energia hidrelétrica.

Previamente às entrevistas, foi elaborado um questionário com perguntas abertas e fechadas sobre os tópicos abordados na Lei de Segurança de Barragens, no qual os entrevistados puderam contribuir com suas experiências e opiniões pessoais.

A estrutura do questionário foi dividida da seguinte forma:

- caracterização dos respondentes e de suas barragens;
- critérios para classificação de uma barragem quanto à CRI e DPA;
- PSB;
- inspeção e monitoramento;
- PAE;
- opiniões pessoais acerca da Lei de Segurança de Barragens.

As respostas dos entrevistados e o guia utilizado para as entrevistas estão disponibilizados no Apêndice 2 deste trabalho.

3.1.1 Caracterização dos Respondentes e de suas Barragens

As três primeiras perguntas do questionário abordam qual é o cargo do entrevistado na organização, há quanto tempo trabalha com gestão de riscos em barragens e se é sua a responsabilidade pela gestão da equipe. As respostas dos participantes encontram-se no Quadro 5, a seguir.

Quadro 5 – Caracterização dos entrevistados

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	**Entrevistado 2**	**Entrevistado 3**	**Entrevistado 4**
1	Qual das categorias abaixo melhor enquadra seu cargo na organização? - técnico / operacional - coordenação - outro	Técnico em edificações	Coordenação, engenheiro civil	Coordenação, engenheiro civil	Outro, engenheiro especialista
2	Há quanto tempo trabalha com gestão de riscos em barragens?	Pela empresa atual, trabalha há 3 anos e 8 meses; na UHE em questão, 12 anos	10 anos na atual empresa	4 anos	10 anos
3	Você é responsável pela gestão de uma equipe? Se sim, quantas pessoas compõem sua equipe?	Não é responsável por uma equipe. A equipe é formada pelo entrevistado, por um auxiliar e pelo engenheiro, que fica no escritório em São Paulo	Sim, em torno de 10 pessoas na equipe	Sim. Equipe direta com 3 pessoas	Matricialmente não, mas a equipe de segurança de barragens é composta por duas pessoas

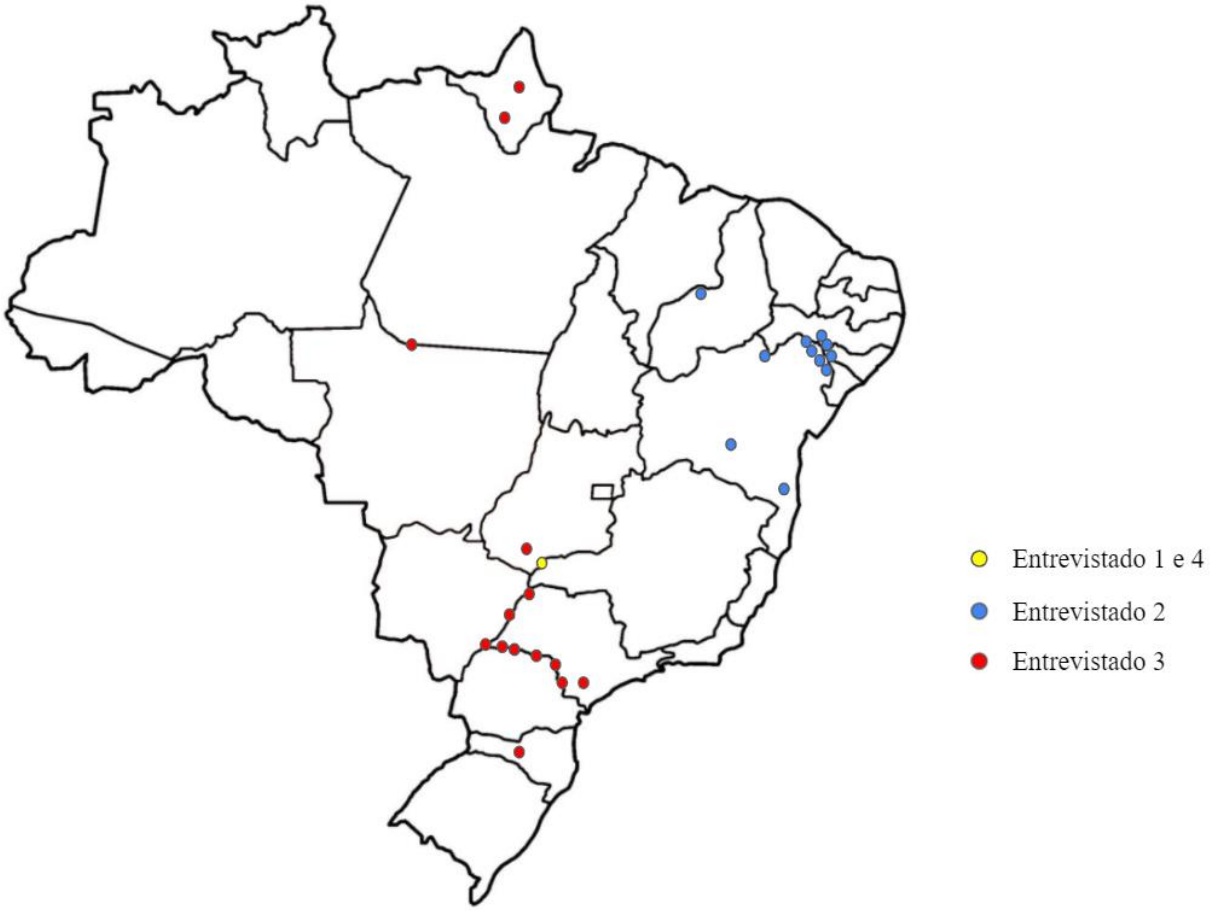
Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Como é possível perceber, os entrevistados, em sua maioria, são engenheiros.

A localização das barragens hidrelétricas e quantos barramentos a empresa possui são as indagações da questão 4. A barragem da empresa dos entrevistados 1 e 4 está localizada na divisa dos estados de Minas Gerais e Goiás; para o entrevistado 2, todas as barragens sob sua responsabilidade situam-se na bacia do Rio São Francisco e, por fim, a empresa do entrevistado 3 possui barragens distribuídas ao longo dos rios Paraná, Paranapanema, Verde e Canoas.

A Figura 62 indica as localizações aproximadas das barragens hidrelétricas mencionadas nas entrevistas.

Figura 62 – Localização das barragens hidrelétricas dos respectivos entrevistados



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Ainda sobre as perguntas relacionadas à caracterização das barragens, prosseguiu-se com questionamentos relacionados à idade do barramento, altura e capacidade do reservatório, cujas respostas foram compiladas no Quadro 6.

Quadro 6 – Características técnicas dos barramentos

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	**Entrevistado 2**	**Entrevistado 3**	**Entrevistado 4**
5	Qual o tipo de barragem?	Dividida em duas partes: concreto e enrocamento. Onde passam os dutos, casa de forças = concreto; braços são compostos por argila com enrocamento	Grande maioria é de concreto, mas possui também enrocamento com face de concreto	Maioria é mista: parte concreto, parte terra	Dividida em duas partes: concreto e enrocamento. Onde passam os dutos, casa de forças = concreto; braços são compostos por argila com enrocamento
6	Qual a idade da barragem?	43 anos	As barragens diferem entre si na idade, abrangendo a faixa de 1960 a 1980, em média	Varia da década de 60 até o ano de 2014	43 anos
7	Qual a altura da barragem?	85 m para a barragem de concreto; 70 m para a barragem de terra	Todas as barragens geridas pelo entrevistado possuem mais de 15 m	Varia entre 18 m e 92 m	85 m para a barragem de concreto; 70 m para a barragem de terra
8	Qual a capacidade do reservatório?	125.400 m³	Difere muito entre uma e outra	Varia entre 16.000.000 m³ e 22.273.000.000 m³	125.400 m³

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

No que se refere aos tipos de barragens, todos os participantes responderam que suas barragens possuem parte em concreto, com idade de 43 anos para mais. Com relação à altura, tem-se uma diversidade de valores partindo de 15 m até 92 m de altura. Por fim, sobre a capacidade do reservatório, os valores também oscilam muito entre si, de 125.400 m^3 a 22.273.000.000 m^3 de água.

3.1.2 Critérios para Classificação da Barragem quanto à CRI e DPA

As questões tratadas neste bloco referem-se às classificações das barragens hidrelétricas mencionadas durante as entrevistas. Todas as barragens das empresas dos entrevistados são de classe B, com risco baixo e dano potencial associado alto.

A questão 10 procurou saber se os respondentes concordavam com a classificação da barragem quanto à CRI e DPA. Os entrevistados 1 e 4 afirmaram que concordam com a

classificação B; o entrevistado 2 concorda com a classificação final, entretanto, acredita que a matriz de risco utilizada no cálculo é muito simplista e acrescenta que outros métodos de critério deveriam ser adotados, pois a questão social é pouco discutida e considera somente a perda de vida, sem abordar questões sociais que impactam a vida das famílias no caso de um rompimento, como a perda de convívio no local onde morava antes do acidente, a perda de identidade cultural e traumas. O entrevistado 3 concorda, de maneira geral, com a classificação, mas considera a matriz de risco muito genérica.

Em seguida, foram realizadas questões fechadas, nas quais os entrevistados deveriam enumerar, em ordem decrescente de importância, os critérios utilizados para classificação de uma barragem quanto à CRI e DPA.

Na questão 11, os respondentes classificaram, em ordem decrescente de importância, os critérios estabelecidos para o grupo Características Técnicas, sendo a pontuação 7 para o critério considerado mais importante e 1, para o menos importante. Os critérios que compõem o grupo Características Técnicas são: altura, comprimento, tipo de barragem quanto ao material de construção, tipo de fundação, idade da barragem, vazão de projeto e casa de força.

Para a questão 12, os participantes relacionaram, em ordem decrescente de importância, os critérios referentes ao grupo Estado de Conservação, utilizando 6 para o critério considerado mais importante e 1, para o menos importante. Os critérios que compõem o grupo Estado de Conservação são: confiabilidade das estruturas extravasoras, confiabilidade das estruturas de adução, percolação, deformação e recalques, deterioração dos taludes/paramentos e eclusa.

A questão 13 seguiu o mesmo raciocínio das questões 11 e 12: a classificação, em ordem decrescente, dos critérios para o grupo Plano de Segurança, sendo 5 o critério mais importante e 1, o menos importante. Os critérios são: existência de documentação de projeto da barragem, 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 e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Para finalizar o bloco de questões fechadas, na questão 14, os entrevistados classificaram, em ordem decrescente de importância, os critérios referentes ao Dano Potencial, sendo 7 o critério mais importante e 1, o menos importante. Os critérios são: existência de população a 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, natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados e volume.

As respostas das questões 11 a 14 estão apresentadas nos Quadros 7, 8, 9 e 10.

Quadro 7 – Classificação em ordem decrescente sobre o grupo Características Técnicas

Critério	Altura							Comprimento							Tipo de barragem quanto ao material de construção							Tipo de fundação							Idade da barragem							Vazão de projeto							Casa de força						
Pontuação	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Entrevistado 1																																																
Entrevistado 2																																																
Entrevistado 3																																																
Entrevistado 4																																																

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Com base nas respostas dos participantes, percebe-se que o tipo de fundação é o critério mais importante para os entrevistados 1 e 2; o tipo de barragem quanto ao material de construção recebeu pontuação 6 para os entrevistados 2 e 4, e pontuação 5 para os entrevistados 1 e 3 e. A vazão de projeto foi classificada com pontuação 4 pelos entrevistados 1, 3 e 4; o critério de comprimento foi classificado com pontuação 2 pelos entrevistados 1 e 4. A casa de força representa o critério menos importante para os entrevistados 3 e 4; por fim, para os entrevistados 1 e 2, a idade da barragem é o critério menos importante.

Quadro 8 – Classificação em ordem decrescente sobre o grupo Estado de Conservação

Critério	Confiabilidade das estruturas extravasoras						Confiabilidade das estruturas de adução						Percolação						Deformações e recalques						Deterioração dos taludes/paramentos						Eclusa					
Pontuação	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Entrevistado 1																																				
Entrevistado 2																																				
Entrevistado 3																																				
Entrevistado 4																																				

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Com base nas respostas dos participantes, nota-se que a deterioração dos taludes / paramentos é o critério mais importante para os entrevistados 1 e 2, enquanto para os entrevistados 3 e 4, a confiabilidade das estruturas extravasoras é o critério de maior importância. O critério percolação recebeu pontuação 5 dos entrevistados 1 e 3; para os entrevistados 2 e 4, as deformações e recalques foram classificadas com pontuação 5. A confiabilidade das estruturas extravasoras foi classificada com pontuação 4 pelos entrevistados 1 e 2; o critério de deterioração dos taludes / paramentos obteve pontuação 3 dos entrevistados 3 e 4, e a confiabilidade das estruturas de adução recebeu pontuação 2 dos entrevistados 2, 3 e 4. A presença de eclusa foi o critério de menor importância para os quatro respondentes.

Quadro 9 – Classificação em ordem decrescente sobre o grupo Plano de Segurança da Barragem

Critério	Existência de documentação de projeto da barragem					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				
Pontuação	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Entrevistado 1																									
Entrevistado 2																									
Entrevistado 3																									
Entrevistado 4																									

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

O grupo Plano de Segurança da Barragem foi o que apresentou respostas mais divergentes entre os participantes. Os entrevistados 3 e 4 consideraram a estrutura organizacional e a qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem como o critério mais importante; para o critério de pontuação 4, as respostas divergiram entre os respondentes. A pontuação 3 foi atribuída ao procedimento de inspeção de segurança e de monitoramento pelos entrevistados 1 e 4, que também classificaram a regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem com pontuação 2. Os relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação foram considerados o critério menos importante pelos entrevistados 1 e 3.

Quadro 10 – Classificação em ordem decrescente sobre o DPA

Critério	Existência de população a 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							Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados							Volume						
Pontuação	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Entrevistado 1																																																	
Entrevistado 2																																																	
Entrevistado 3																																																	
Entrevistado 4																																																	

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Com relação aos critérios para classificação do DPA, todos os participantes consideraram a existência de população com potencial de perda de vidas humanas como o critério de maior importância. Os entrevistados 1 e 4 atribuíram a pontuação 6 à existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários; não houve convergência na escolha do critério para as pontuações 5 e 4. A existência de infraestrutura ou serviços foi classificada com pontuação 3 pelos entrevistados 2 e 4; os respondentes 1 e 2 consideraram a existência de áreas protegidas definidas em legislação como um critério de importância 2. A natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados foi classificada como menos importante por três respondentes, com exceção do entrevistado 4, que atribuiu à existência de áreas protegidas definidas em legislação o critério de menor importância.

Após a rodada de perguntas fechadas, os participantes responderam se a empresa para a qual prestam serviços considerava outros critérios para a classificação dos riscos e danos potenciais ou se existe algum critério que deveria ser levado em conta para essas classificações.

O entrevistado 1 acredita que os critérios utilizados com base nas matrizes de risco e dano potencial já são suficientes para a classificação de barragens hidrelétricas; por sua vez, o entrevistado 2 pontuou que, além do critério de perda de vidas, deveriam ser considerados critérios que abordassem os impactos na vida das famílias, a perda de identidade do local, perdas de empregos ou incapacidade das pessoas afetadas pelo acidente.

Na opinião do entrevistado 3, falta a abordagem de rompimento de barragens em cascatas, pois os danos potenciais são avaliados com base no rompimento de uma barragem sozinha, sem levar em consideração o efeito dominó no caso de uma ruptura desse tipo. Além disso, no grupo Características Técnicas, não existe critério de análise acerca de estruturas extravasoras, se o vertedouro da barragem é de soleira livre ou controlado por comportas, e esse é um aspecto importante a ser considerado. Com relação ao grupo Plano de Segurança da Barragem, o participante acredita que um critério que abordasse a RPSB deveria ser acrescentado, o que não existe atualmente. A matriz de classificação quanto ao DPA também foi alvo de comentário, pois o entrevistado considera necessária a inclusão do PAE, discorrendo sobre os seguintes critérios: PAE elaborado, implantado e em operação, e treinamentos conceituais e simulados internos e externos na ZAS. Hoje em dia, a matriz DPA não apresenta nenhum critério relacionado ao PAE.

Finalizando, o entrevistado 4 entende que o método construtivo da barragem deveria ser levado em consideração na matriz de Características Técnicas.

3.1.3 PSB

Para o bloco relacionado ao PSB, foram formuladas perguntas sobre as competências técnicas para a escolha do profissional responsável pela elaboração do documento, quais as informações necessárias para sua elaboração, qual a opinião do entrevistado sobre o prazo de elaboração do PSB, se a empresa em que trabalha vai além das diretrizes previstas em Lei e como é o processo de envio desse documento à Aneel.

O entrevistado 1 optou por não responder à questão 16, que faz referência às competências técnicas para a escolha do profissional responsável pela elaboração do documento; para o entrevistado 2, as competências técnicas necessárias à elaboração do PSB

relacionam-se à formação em engenharia, com experiência em manutenção de barragens. Em sua opinião, o documento não deveria ser elaborado apenas pelo engenheiro civil, mas por uma equipe colegiada com experiência em manutenção, eletromecânica e civil, pois grande parte dos acidentes está relacionada aos dispositivos extravasores.

O entrevistado 3 relatou que, para a elaboração do PSB, são contratadas empresas renomadas, constituídas por profissionais com experiência; por fim, o entrevistado 4 relatou a contratação de uma empresa para a elaboração do documento e que a Lei não exige experiência do profissional que formulará o plano.

A questão 17 investigou quais são as informações necessárias para a elaboração de um PSB. Para o entrevistado 1, há necessidade de documentação técnica da barragem, tais como projetos, relatórios de inspeções e histórico do comportamento da estrutura; os entrevistados 2 e 3 relataram que as informações que constam no Manual do Empreendedor da ANA (2016) são suficientes para a elaboração do plano e que suas empresas seguem esse documento para a formulação de seus PSBs. Para o entrevistado 4, os projetos constituem a parte mais deficiente dentre as informações necessárias para elaboração do plano, devido à idade elevada das barragens.

Quanto às opiniões dos entrevistados sobre o prazo para elaboração do PSB e se suas empresas vão além dos prazos previstos em lei, três participantes responderam que os prazos previstos na legislação foram seguidos, conforme o número de usinas por empreendedor. Um deles relatou que o prazo de dois anos previsto em lei não foi respeitado pelo fato de que, quando sua empresa assumiu a concessão da UHE, o PSB não havia sido elaborado pela concessionária anterior.

O Quadro 11 compila as respostas dos entrevistados para a questão relacionada ao processo de envio do PSB à Aneel.

Quadro 11 – Questão 19 e suas respostas

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	**Entrevistado 2**	**Entrevistado 3**	**Entrevistado 4**
19	Como é o processo de envio do PSB à Aneel?		Não existe obrigatoriedade de realizar o envio do PSB à Aneel. Primeiramente, preenche-se o Formulário de Segurança de Barragem (FSB); se a Agência achar necessário, realiza-se o envio do PSB	O PSB não é enviado via SNISB (nenhuma empresa do setor tem essa prática)	A Aneel não recebe nem aprova o PSB e o documento é solicitado nas fiscalizações realizadas pelo órgão. Não existe periodicidade para as fiscalizações, mas pela experiência do entrevistado, eles se baseiam no Formulário de Segurança de Barragens (FSB): uma mudança drástica em sua pontuação ou alguma alteração de característica de um ano para o outro gera um alerta à Aneel que, por sua vez, realiza a fiscalização. O órgão encaminha ofício solicitando o preenchimento do FSB no início de cada ano

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Diante das respostas contidas no Quadro 11, não há obrigatoriedade de envio do PSB à Aneel; após o preenchimento do FSB, caso o órgão entenda necessária a checagem do documento, o envio do plano é solicitado.

3.1.4 Inspeção e Monitoramento

No que concerne aos temas inspeção e monitoramento, as questões apresentadas tiveram por objetivo compreender como esses assuntos são conduzidos pelas empresas em suas respectivas barragens.

Os entrevistados responderam perguntas sobre quais itens são examinados durante uma inspeção de segurança, qual é a qualificação necessária da equipe responsável por essas inspeções; os aspectos a serem observados durante esse exercício; os equipamentos utilizados durante a atividade; a periodicidade com que são realizadas as inspeções e se a empresa vai além dos prazos previstos em lei; como é feita a análise dos dados coletados na inspeção; quais são os instrumentos utilizados para o monitoramento da barragem e com qual frequência suas leituras são realizadas; qual a diretriz adotada para especificação, quantidade e localização dos instrumentos empregados no monitoramento; e como é feita a análise dos registros dos instrumentos.

Para a questão sobre os itens examinados durante uma inspeção de segurança, o entrevistado 1 relatou a checagem da casa de força, da estrutura da barragem e transições entre barragem de terra e concreto; para o entrevistado 2, os componentes verificados são a casa de força, crista da barragem, diques, taludes de montante e jusante, coroamento, vertedouros e estruturas de concreto. O entrevistado 3 destacou que, durante uma inspeção de segurança, são averiguados os paramentos, ombreiras, estruturas de concreto, estado de conservação dos equipamentos de medição e instrumentação da barragem, equipamentos eletromecânicos. Por fim, o entrevistado 4 pontuou as ombreiras, vertedouros e tomadas d’água como itens inspecionáveis.

As respostas acerca das questões sobre a qualificação necessária da equipe de inspeção, os aspectos a serem observados em campo e os equipamentos necessários para realização da inspeção estão compilados no Quadro 12.

Quadro 12 – Questões 21 a 23 e suas respostas

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	**Entrevistado 2**	**Entrevistado 3**	**Entrevistado 4**
21	Qual a qualificação necessária da equipe responsável pela inspeção de barragens?	Técnicos de edificações e engenheiros civis	Ser engenheiro	Técnicos em edificação e engenheiros civis	Possuir formação em engenharia
22	Quais aspectos devem ser observados em campo durante uma inspeção?	Principalmente fissuras na barragem de terra e percolamento de água; depois vem vegetação e presença de animais que fazem buraco, principalmente na base da barragem	Fissuras, surgência, abatimento (recalque) na barragem, presença de erosão, presença de vegetação, formigueiros ou tocas de animais, indícios de movimento	Presença de fissuras, vegetação, deformações, recalques, indícios de surgência, desestabilização de taludes, possibilidade de erosão de alguma encosta	Percolação, fissuras, deslocamentos, vegetação mais verde do que as outras a jusante das outras (indicação de infiltração), vegetação excessiva em taludes que prejudicam a visualização de alguma anomalia, características físicas da proteção da barragem a montante e a jusante
23	Quais são os equipamentos necessários para a realização de uma inspeção de segurança?	Guia de inspeção, juntamente com um *tablet* de acesso ao aplicativo de monitoramento, tomada de anotações e captura de fotos	Prancheta, trena eletrônica, máquina fotográfica, roteiro de inspeção impresso	Uso de *tablet* para tomada de informações e realização de fotos	Bloco de anotação, caneta, máquina fotográfica, lanterna, EPIs

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Para a questão 24, que abordou a periodicidade com que são realizadas as inspeções, o entrevistado 1 relatou que uma inspeção informal é realizada mensalmente, a inspeção formal para a seguradora é feita a cada três meses e que, além dessas inspeções internas, a cada sete anos a Aneel visita a usina e inspeciona a barragem junto ao time da UHE. O entrevistado 2 pontuou que os engenheiros civis responsáveis pelas usinas realizam as inspeções anualmente, porém, cada UHE possui uma equipe responsável por essa atividade, que costuma ser realizada mensalmente ou conforme demanda semanal. Para o entrevistado 3, as inspeções são realizadas mensalmente e anualmente, e o entrevistado 4 informou que as inspeções rotineiras são praticamente diárias.

Na questão 25, os entrevistados foram indagados sobre suas empresas, se elas iam além dos prazos previstos em lei para a realização das inspeções. Todos responderam que seguem os prazos da legislação e vão além, pois realizam outras verificações além das anuais (para barragens classe B, a periodicidade limite das inspeções é anual).

As respostas relacionadas às questões sobre a análise dos dados coletados durante a inspeção, quais os instrumentos utilizados no monitoramento de barragens, com qual frequência são realizadas leituras nesses instrumentos e qual a diretriz usada na especificação, quantidade e localização dos instrumentos de monitoramento, encontram-se no Quadro 13.

Quadro 13 – Questões 26 a 29 e suas respostas

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	**Entrevistado 2**	**Entrevistado 3**	**Entrevistado 4**
26	Como é feita a análise dos dados coletados na inspeção?	Utilização de *software* chamado SYSDAM para análise dos dados, que gera níveis de controle e, caso uma leitura indique um nível de alerta, um alerta é disparado (*e-mails* e mensagem celular) para as pessoas envolvidas (engenheiro civil, entrevistado, gerente da usina e setor de engenharia de São Paulo)	Quem realiza a inspeção, faz o relatório. A informação é coletada por escrito, fotos e drones em estruturas de difícil alcance. A análise é feita a partir da alimentação de um *template* pré-definido no Excel	Os dados são anotados em um coletor de dados; posteriormente, as informações são descarregadas no *software* SYSDAM, por meio do qual o departamento de engenharia realiza a análise dos dados e emite um parecer mensal de conformidade	Comparações visuais entre as inspeções anteriores e as atuais. Caso seja identificada uma anomalia nova, verifica-se o impacto possível. Além das verificações visuais, utiliza-se um sistema para armazenar os dados dos levantamentos e o histórico
27	Quais instrumentos são utilizados para o monitoramento das barragens?	Vertedores de vazão, extensômetros de haste, piezômetros pneumáticos Hall, piezômetro Casagrande, base de alongâmetro, furos de drenagem, pêndulos, inclinômetro de recalque	Medidor de vazão, piezômetro, marco superficial, células de recalque (mais utilizado em barragem de enrocamento com face de concreto), medidor triortogonal, pêndulo, distanciômetro, extensômetro, termômetro, entre outros	Piezômetro, medidor de vazão, inclinômetro, pêndulo, extensômetro, medidor triortogonal	Piezômetro, nível d'água, inclinômetro, pêndulo, triortogonal

(Continua)

Quadro 13 – Questões 26 a 29 e suas respostas

(Conclusão)

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	**Entrevistado 2**	**Entrevistado 3**	**Entrevistado 4**
28	Com qual frequência são realizadas leituras dos instrumentos de monitoramento?	Semanalmente para vertedores de vazão; quinzenalmente para extensômetros de haste; mensalmente para piezômetros pneumáticos Hall, piezômetro Casagrande, base de alongâmetro, furos de drenagem, pêndulos e inclinômetro de recalque	Praticamente todos os dias existem pessoas realizando leituras de instrumentos em algum setor da barragem. Semanal / quinzenal: marco superficial, medidor de vazão; Mensal: medidor triortogonal	As leituras são realizadas com uma periodicidade que permita a elaboração de um parecer mensal	Alguns instrumentos são medidos semestralmente, outros semanalmente e outros quinzenalmente. Caso alguma leitura apresente alteração, a periodicidade é aumentada para acompanhamento. O medidor de vazão é checado semanalmente e os marcos superficiais são lidos semestralmente
29	Qual a diretriz utilizada para especificação, quantidade e localização dos instrumentos de monitoramento?	Essa definição vem desde o projeto de construção da barragem, com a quantidade e localização dos instrumentos	Essa definição vem de projeto, desde a concepção da barragem. Quando a estrutura é pouco instrumentada, podem ser instalados instrumentos a partir da contratação de uma empresa que realiza estudos indicando o local e qual instrumento deve ser instalado	Essa definição ocorre na fase de projeto, na concepção. Durante revisão periódica de segurança de barragem, pode surgir a necessidade de instalação de novos instrumentos	O relatório de inspeção regular tem o poder de solicitar alterações nas quantidades / localização dos instrumentos. Essas diretrizes não necessariamente partem apenas da concepção do projeto, principalmente em barragens antigas em que, normalmente, há necessidade de complementar a instrumentação

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A questão 30 abordou a forma como é feita a análise dos registros obtidos nos instrumentos de monitoramento. Os entrevistados 1, 3 e 4 relataram que utilizam o *software* SYSDAM para realização das análises e que esse programa possui parâmetros e alertas caso alguma leitura esteja fora de determinado valor de referência. O entrevistado 2 pontuou que os dados são imputados no sistema praticamente todos os dias e que, atualmente, a análise é feita diretamente no Excel, por meio de planilhas e gráficos. Caso uma leitura apresente um valor muito discrepante dos padrões preestabelecidos, a medição é refeita naquele instrumento para checar se trata-se de um erro de leitura, de digitação, problema no instrumento ou algum problema na estrutura.

Para encerrar o bloco de perguntas, os respondentes foram questionados sobre o laudo de estabilidade: se este se constitui em um documento obrigatório, se alguma empresa é contratada para a sua elaboração, quais informações constam nesse documento e quais dados devem ser fornecidos para a sua elaboração, com qual frequência esse documento é elaborado e se é apresentado a algum órgão fiscalizador.

De acordo com o entrevistado 1, o laudo de estabilidade é um documento obrigatório, elaborado anualmente por um engenheiro civil da empresa e, a cada sete anos, contrata-se uma empresa para apoiar a elaboração do RPSB. Para tanto, são necessários dados de comportamento da estrutura coletados por meio de instrumentação, além de todos os dados obtidos a partir das inspeções visuais.

O entrevistado 2 relatou que o laudo de estabilidade não é um documento obrigatório e que nenhuma empresa é contratada para sua elaboração, sendo os engenheiros internos da empresa os responsáveis por atestar as condições da barragem. Para a elaboração do laudo, que acontece anualmente, é necessário o estudo de estabilidade da barragem, incluindo esforços diversos de tombamento, arraste, fundação, entre outros. A Aneel pode solicitar sua apresentação a qualquer momento.

Para o entrevistado 3, o laudo de estabilidade não é um documento obrigatório. No setor elétrico existe a RPSB, quando os consultores avaliam a estabilidade da barragem e, no relatório, consta se a estrutura está estável ou não. A cada sete anos, a RPSB é elaborada por uma junta de consultores independentes, conforme previsto em Lei para barragens classe B.

O entrevistado 4 assegurou que trata-se de documento obrigatório, elaborado por uma empresa terceirizada. Nele constam o levantamento das inspeções, imagens, análises da instrumentação e a conclusão a respeito da estabilidade da estrutura. Para sua formulação, que

ocorre a cada sete anos, dados técnicos da barragem, plantas, cortes, tipos de materiais, inspeções realizadas e dados da instrumentação são fundamentais. Esse documento só é apresentado quando solicitado.

3.1.5 PAE

Para o bloco de questões relacionadas ao PAE, os entrevistados responderam se o documento era elaborado independentemente da categoria de risco e DPA da barragem; se na empresa existia a função de Coordenador do PAE e por quem era desempenhada; com qual periodicidade a empresa revisava esse documento; qual é o critério adotado para definição da ZAS; como é definido o mapa de inundação; se existem cidades / infraestrutura a jusante das barragens; qual a periodicidade de realização de simulação com a população; como funciona o processo de notificação das entidades e da população em risco no caso de uma emergência; quais instrumentos e meios são utilizados para notificar a população; quais situações podem afetar a segurança da barragem e produzir uma situação de emergência; e quais são as ações de resposta a serem desempenhadas em função do nível de resposta.

Todos os respondentes informaram que suas empresas elaboraram seus PAEs, que constitui peça obrigatória para barragens de classes A ou B. Segundo os participantes 1, 3 e 4, a função de Coordenador do PAE é desempenhada pelo gerente da usina e, no caso do entrevistado 2, essa função é exercida pelo gerente de departamento, que é responsável por todas as regionais e seus respectivos gerentes de divisão.

Com relação à periodicidade de revisão do PAE, os entrevistados 1 e 3 informaram que o documento é revisto anualmente; o entrevistado 2 relatou que o PAE é revisto sob demanda, sempre que houver necessidade e, para o respondente 4, esse documento deveria ser revisto minimamente a cada sete anos, juntamente com a RPSB.

Para a definição da ZAS, o entrevistado 1 relatou que a área deve estar localizada em um ponto elevado, onde a pessoa consiga chegar rapidamente; para essa definição, uma empresa foi contratada. Para os participantes 2, 3 e 4, a ZAS é definida como a menor das distâncias, que corresponde a um tempo de chegada da onda igual a 30 minutos ou 10 km.

De acordo com os entrevistados, o mapa de inundação é definido com base na simulação de um *software*, a partir do qual é possível representar o rompimento da barragem, a onda gerada pela ruptura e os pontos por ela atingidos.

Para todas as barragens informadas, existem cidades a jusante das estruturas e, até o momento, não foi possível realizar exercícios de simulação com a população em razão da pandemia. O entrevistado 2 relatou que foram feitas simulações com os funcionários das usinas; o participante 3, por sua vez, esclareceu que sua empresa está finalizando a implantação de placas, rotas de fuga e sirenes e que os exercícios envolvendo a comunidade de forma mais ativa estarão presentes em 2023. Segundo o entrevistado 4, a empresa está programando para 2022 uma simulação presencial com a comunidade a jusante da barragem.

Quanto ao processo de notificação da população em risco no caso de uma emergência, o entrevistado 1 declarou que o procedimento consiste, inicialmente, em informar o time de engenharia da empresa e, até o nível amarelo, a situação é tratada internamente. No caso de ruptura, o time jurídico da empresa é envolvido, assim como a área de comunicação, responsável por contatar os bombeiros e a defesa civil. A usina soa a sirene para evacuação do pessoal que trabalha na UHE e alerta a população a jusante.

O respondente 2 relatou que, no PAE, existe um organograma com a indicação do responsável por cada órgão. Em caso de emergência, a partir de um telefonema indicando que houve algum problema na usina, os agentes responsáveis pelo PAE tomam ciência da situação e o setor de regulação notifica os órgãos envolvidos. Quando há necessidade de comunicar a população, uma sirene toca fora da usina, enquanto carros alertam os cidadãos. Atualmente, a empresa está estudando a possibilidade de envio de SMS para notificação dos moradores.

O entrevistado 3 também mencionou a existência de fluxograma de notificação com o contato das pessoas / órgãos a serem acionados e informou que, primeiramente, a emergência é identificada, avaliada e classificada, para que então seja declarada e executada. Os agentes envolvidos são avisados por telefone, sendo que a área de comunicação da empresa faz contato tanto com defesa civil quanto com os municípios que serão impactados.

Por fim, o participante 4 reportou que sua empresa está instalando sirenes e implementando aplicativo para comunicação com a comunidade; já existem placas de sinalização instaladas nas ruas, indicando pontos de encontro e rotas de fuga.

As respostas para a questão 40 discorreram sobre quais situações podem afetar a segurança e produzir uma situação de emergência para a barragem. Na opinião do entrevistado 1, as situações são, principalmente, fissuras, percolação de material e galgamento, caso uma comporta não abra; para o entrevistado 2, são as cheias que podem provocar galgamento, falhas nos funcionamentos de comportas, problemas estruturais, surgência sem monitoramento e

terremotos. O entrevistado 3 mencionou que as situações passíveis de afetar a segurança da barragem são cheias extremas, falta de manutenção de equipamentos, descaso com a segurança da barragem, falta de inspeções e análises erradas de instrumentos e, finalizando, o entrevistado 4 destacou as infiltrações, percolações, deslocamentos e terremotos.

Para encerrar o bloco de questões relativas ao PAE, os entrevistados foram indagados sobre quais são as ações de resposta a serem desempenhadas em função do nível de resposta. Os entrevistados 1, 3 e 4 se baseiam nas ações previstas do Manual do Empreendedor – Volume IV (ANA, 2016); o entrevistado 2 disse acreditar que a empresa se pauta pelos critérios previstos nesse documento e que considera a atuação do PAE somente nos níveis laranja e vermelho, pois as situações envolvendo os níveis verde e amarelo são tratadas internamente. O entrevistado 3 também ponderou que o PAE é acionado de fato para níveis laranja e vermelho; o nível de resposta verde não é considerado uma emergência e, para o nível amarelo, a empresa consegue mitigar o problema internamente.

3.1.6 Opiniões Pessoais

Para concluir o questionário, os participantes externaram suas opiniões pessoais acerca da Lei de Segurança de Barragens, relatando se utilizam outras diretrizes para a gestão de segurança de barragens e quais discussões precisam existir no Brasil no que se refere à lei e suas diretrizes.

Segundo o entrevistado 1, os aspectos previstos em lei atendem de forma efetiva a segurança de barragens hidrelétricas, desde que os processos sejam respeitados e executados pelo empreendedor.

O entrevistado 2, por sua vez, acredita que a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), publicada tardiamente em 2010, é bastante genérica, sendo que muitos órgãos tiveram dificuldades para elaborar suas resoluções; no geral, este respondente considera que se trata de uma vitória, pois passou-se a discutir mais ativamente a questão de gestão de riscos e segurança de barragens, conferindo maior visibilidade ao profissional dessa área. Para ele, a lei está a contento, desde que o empreendedor execute o que está previsto na legislação.

A lei é considerada boa pelo entrevistado 3, contudo, as alterações feitas pela Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020) trouxeram algumas questões sobre o fato de o empreendedor estender os elementos de autoproteção para além da ZAS, quando o órgão de defesa civil não tiver condições de atuar, o que pode lhe trazer custos que inviabilizem a geração de energia, como

no caso de PCHs, que são usinas pequenas, com baixa receita. No geral, o setor hidrelétrico é considerado bem regulamentado, mas ainda pode melhorar, como por exemplo, com a adição de critérios nas matrizes de categoria de risco e dano potencial.

Para o entrevistado 4, a lei é boa, mas incompleta e muito abrangente, e a falta de detalhamento deixa muita margem para interpretação. Este participante considera a Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020) melhor, pois alterou alguns aspectos da Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) e conferiu mais responsabilidade para os empreendedores, e não somente para os técnicos.

Os entrevistados 1, 2 e 4 contaram que não se utilizam de outras diretrizes para a gestão de segurança de barragens, no entanto, o entrevistado 3 respondeu que sim, pois adota o critério da FEMA para a delimitação da ZAS, a partir da consideração de que o nível d'água a jusante da barragem (pós-rompimento) é inaceitável para profundidades maiores do que 2 pés, e utiliza-se de critérios adicionais que não estão previstos nas matrizes de categoria de risco e dano potencial.

Por fim, as discussões que ainda precisam existir, na opinião do entrevistado 1, recaem sobre o fato de a Aneel permanecer distante das usinas. A visita a cada sete anos deveria ser realizada em um período menor (a cada três anos, por exemplo), até mesmo para incentivar uma maior cautela por parte dos colaboradores do próprio empreendimento.

De acordo com o entrevistado 2, a gestão de risco deveria ser tratada desde o início do projeto; sob sua ótica, esta não envolve somente o plano, que nada mais é do que um instrumento que cria diretrizes e ações, não caracterizando uma gestão. O respondente acredita ser necessária a criação de uma política de gestão por meio de matrizes de gestão de riscos, o que, atualmente, não é bem discutido no país; ademais, os outros danos que podem atingir as pessoas no caso de um rompimento deveriam ser considerados, e não somente a perda de vida.

Na opinião do entrevistado 3, as responsabilidades precisam estar mais claras antes de estabelecer cobranças. É necessário saber se existe organização institucional para tal, pois não há sentido definir papéis para cada agente envolvido se a execução ocorrer separadamente; além disso, existem instituições que não possuem condições financeiras ou técnicas para desempenhar seus papéis, como por exemplo, os órgãos de defesa civil.

O entrevistado 4 pontuou que precisam haver discussões que abordem o investimento público, já que muitas prefeituras de comunidades não contam com defesa civil ou bombeiros, ou seja, nenhum órgão que consiga fazer essa gestão de segurança em caso de uma ruptura de

barragem. Além da falta de verba, existe a falta de conhecimento técnico para atuação no caso de um acidente.

3.1.7 Análise dos Dados Coletados nas Entrevistas

As discussões a seguir serão encaminhadas a partir dos referenciais teóricos abordados, principalmente a Lei de Segurança de Barragens nº 12.334 (BRASIL, 2010), a Resolução nº 696 (BRASIL, 2015), da Aneel, os Manuais do Empreendedor sobre Segurança de Barragens da ANA (2016) e as diretrizes estabelecidas pela FEMA.

As respostas completas dos entrevistados podem ser encontradas no Apêndice 1 deste trabalho.

3.1.7.1 Comparação dos critérios de classificação de barragens: FEMA *versus* legislação brasileira

Para as questões 11 a 14, os participantes foram solicitados a listar, em ordem decrescente de importância, os critérios estabelecidos na Resolução nº 696 (BRASIL, 2015), da Aneel, para a classificação quanto à categoria de risco e dano potencial associado de barragens fiscalizadas pela agência.

Enquanto o sistema de classificação brasileiro utiliza-se de critérios tanto para a categoria de risco quanto para o dano potencial, o sistema de classificação usado pela FEMA baseia-se, por exemplo, apenas no dano potencial para categorizar suas barragens (FEMA, 2004).

A FEMA, assim como a legislação brasileira, adota três níveis de classificação para o dano potencial: dano potencial baixo, significativo e alto, no entanto, a agência norte-americana, diferentemente do Brasil, emprega apenas do dano potencial para classificar suas barragens, levando em consideração os critérios de probabilidade de perdas de vidas humanas e o potencial para perdas econômicas, ambientais e serviços vitais (FEMA, 2004). As respostas fornecidas pelos entrevistados com a ordem de importância de cada critério adotado para classificação na legislação brasileira encontram-se detalhadas nos Quadros 7, 8, 9 e 10, na seção 3.1.2.

Na questão 15, os entrevistados comentaram quais outros critérios deveriam ser considerados para a classificação de riscos e danos potenciais associados de barragens. No que

tange ao dano potencial, todos pontuaram resumidamente: aspectos sociais (perda de identidade do local em caso de acidente, impactos nas famílias afetadas), rompimento de barragens em cascata e não apenas de uma barragem sozinha, e inclusão do PAE para classificação quanto ao DPA.

Comparando os critérios para classificação relacionada ao dano potencial da legislação brasileira e diretrizes da FEMA, observa-se que ambas consideram a perda de vida humana como o fator de maior importância.

Além dos critérios relativos à perda de vidas humanas e perdas materiais, a legislação brasileira aborda critérios para a classificação do dano potencial que não são percebidos na diretriz norte-americana, como a existência de áreas protegidas definidas em legislação, a natureza dos rejeitos / resíduos armazenados e o volume. Nenhuma das diretrizes dos dois países trata a questão de impactos sociais quando da ocorrência de um acidente e a contribuição do PAE para a classificação quanto ao DPA.

No que concerne à ruptura de barragens em cascata, a FEMA defende que, caso a ruptura ou mau funcionamento de uma estrutura contribua para o rompimento de barragens a jusante, a classificação do dano potencial da estrutura deve ser, pelo menos, tão alta quanto a classificação da barragem a jusante.

3.1.7.2 Comparação relacionada ao PSB

A primeira pergunta do bloco relativo ao PSB abordou as competências técnicas necessárias para a escolha do profissional responsável pela elaboração do documento. Dois dos entrevistados relataram ter contratado empresas para a confecção do plano, um terceiro participante não respondeu à pergunta e o outro disse ter sido responsável pela execução do documento, e que também não considera fundamental a especialização em segurança de barragens para a formulação do plano de segurança.

A legislação brasileira não especifica a necessidade de formação em engenharia para elaborar o PSB, mencionando somente que o documento deve ser confeccionado por responsável técnico, com registro no respectivo conselho profissional. Dessa forma, subentende-se que um engenheiro civil recém-formado ou sem experiência prévia em estruturas de barragens pode se responsabilizar pela sua elaboração, mesmo que não possua nenhuma experiência / competência no âmbito de segurança de barragens.

A questão 17 tratou das informações necessárias para a elaboração do PSB. Suas empresas basearam-se nas instruções do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume I (ANA, 2016) para a elaboração do documento, contendo resumidamente: informações gerais e declaração de classificação da barragem quanto à CRI e DPA, documentação técnica do empreendimento, planos e procedimentos, registros e controles, PAE, RPSB e resumo executivo. Um dos entrevistados mencionou que sua empresa vai além das informações mínimas necessárias, informando também o levantamento da população na ZAS.

Quanto ao prazo para elaboração do PSB, a Resolução nº 696 (BRASIL, 2015) estabelece o prazo limite de até três anos para empreendedores que possuam de seis a 15 usinas, conforme Quadro 2 da seção 2.6.1.2. Os entrevistados informaram que suas empresas respeitaram os prazos previstos em lei para a confecção de tal documento.

A questão 19 teve como foco o processo de envio do PSB à Aneel. Na legislação brasileira, não há clareza sobre a necessidade ou obrigatoriedade de envio do documento ao órgão fiscalizador; a Resolução nº 696 (BRASIL, 2015) menciona apenas que os documentos devem estar disponíveis para fiscalização da Agência a qualquer momento. Os entrevistados que responderam à questão pontuaram que esse envio não é prática comum – apenas sua elaboração é necessária para atender a uma possível solicitação da entidade fiscalizadora.

3.1.7.3 Comparação relacionada às práticas de monitoramento e inspeções

O bloco de questões de 20 a 30 abordou as práticas relativas às inspeções e ao monitoramento de barragens.

A questão 20 tratou dos itens examinados durante uma inspeção de segurança. A Resolução da Aneel nº 696 (BRASIL, 2015) não deixa claro quais itens devem ser inspecionados, citando apenas que a verificação deve abranger todas as estruturas de barramento do empreendimento. Por sua vez, o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II (ANA, 2016) lista os aspectos considerados essenciais na execução de inspeções de segurança regulares, como por exemplo, os taludes, as ombreiras, a crista e estruturas auxiliares. Os quatro entrevistados responderam a esta questão de forma similar, mencionando as seguintes estruturas em comum: casa de força, ombreiras e vertedouros.

Sobre a qualificação necessária da equipe responsável pela inspeção, a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) dispõe que a inspeção de segurança regular deve ser realizada por equipe composta por profissionais treinados e capacitados, sendo preferencialmente colaboradores do

próprio empreendedor. O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II (ANA, 2016) pontua que o relatório de inspeção sempre deve ser assinado por um engenheiro com qualificação em barragens, seja ele um colaborador do próprio empreendedor ou um profissional contratado. Todos os participantes responderam que a qualificação necessária da equipe responsável é possuir formação técnica em edificações ou engenharia.

Na questão 22, os participantes discorreram sobre os aspectos que devem ser observados em campo durante uma inspeção. O volume II do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA, 2016) lista os aspectos específicos essenciais a serem avaliados na execução das inspeções de segurança regulares, sendo alguns deles a proteção do talude de montante, a erosão, fissuras no concreto, presença de vegetação, buracos causados por animais, percolação, sinais de deslocamentos, entre outros. As respostas dos entrevistados estão em consonância com o que preconiza o documento citado.

Ainda segundo o documento, os recursos necessários para a realização de uma inspeção são o nível, o martelo de geólogo, a corda, lanterna, binóculo, trena, sacos para amostras, câmera de vídeo, máquina fotográfica, GPS, caderno de apontamentos e caneta, equipamentos de proteção individuais (EPIs) e coletivos (EPCs) (ANA, 2016). As respostas dadas pelos participantes contemplaram, ao menos, um dos recursos ora mencionados.

A Resolução nº 696 (BRASIL, 2015) estabelece que as inspeções de segurança regular sejam realizadas sempre que houver alteração do nível de segurança da barragem, respeitando a periodicidade limite de um ano para barragens classe B. Os entrevistados reportaram que efetuam outras inspeções além da anual prevista em lei, tais como inspeções semanais e mensais.

O volume II do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA, 2016) define os instrumentos que, quando existentes, devem ser consultados: piezômetros, medidores de tensão, medidores de recalque, inclinômetros, extensômetros, marcos de referência, medidores de nível de água no reservatório, medidores de vazão. Quando questionados, os participantes relataram o uso de, ao menos, um dos instrumentos citados para a realização do monitoramento da barragem.

Com relação à frequência de leitura dos instrumentos, referido manual estabelece as frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de terra e enrocamento (ANA, 2016), conforme pode ser observado na Figura 63.

Figura 63 – Frequências mínimas de leitura recomendadas para a instrumentação de barragens de concreto

Tipo de Observação	Período Construtivo	Enchimento do reservatório	Período Inicial de Operação (*)	Período de Operação
Deslocamentos superficiais (topografia)	mensal	semanal	mensal	Semestral (verão e inverno)
Deslocamentos internos (verticais e horizontais)	semanal	semanal	quinzenal	mensal
Deformação	semanal	semanal	quinzenal	mensal
Pressão total / efetiva	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Poropressão	semanal	2 semanais	semanal	quinzenal
Subpressão	semanal	3 semanais	semanal	quinzenal
Nível d'água	semanal	3 semanais	semanal	quinzenal
Vazão de infiltração	-	diárias	3 semanais	semanal

Tipo de Observação	Período Construtivo	Enchimento do reservatório	Período Inicial de Operação (*)	Período de Operação
Deslocamentos "absolutos" (geodesia)	ao final da construção	mensal	trimestral	semestral
Deslocamentos relativos	2 semanais	3 semanais	semanal	quinzenal
Deslocamentos entre blocos/ monolitos	semanal	2 semanais	quinzenal	mensal
Deformação interna	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Tensão	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Pressão intersticial no concreto	semanal	2 semanais	semanal	mensal
Subpressão	semanal	3 semanais	2 semanais	semanal a quinzenal
Vazão de infiltração	-	diárias	3 semanais	semanal
Temperatura do concreto	semanal	2 semanais	semanal	mensal

(*) Estas frequências devem se estender por um ano geralmente.

Leituras deverão ser intensificadas após sismo ou cheia excepcional.

Fonte: ANA (2016)

As respostas dos entrevistados sobre a frequência de leitura dos instrumentos podem ser encontradas no Apêndice 1, questão 28.

Com relação à análise dos registros obtidos nos instrumentos, o volume VII do Manual do Empreendedor (ANA, 2016) dispõe que os dados obtidos devem ser comparados com os anteriormente apurados em situações semelhantes, de modo a identificar se houve alterações de comportamento ou simplesmente leituras incorretas. Com exceção de um dos entrevistados, todos os outros utilizam-se de *software* para análise das leituras realizadas.

Na questão 31, os respondentes discorreram sobre laudo de estabilidade. A Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) aponta como uma das obrigações do empreendedor a apresentação periódica de declaração de condição de estabilidade (DCE) da barragem, quando exigida pelo órgão fiscalizador. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, a DCE é um documento assinado pelo empreendedor e pelo responsável técnico que o elaborou, atestando a condição de estabilidade da estrutura em análise, com cópia da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

Para estruturas de mineração, a apresentação desse documento é obrigatória e, quando o empreendedor não entrega a DCE, o sistema gera automaticamente uma multa e a barragem é interditada. Para o caso de barragens hidrelétricas, o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume III (ANA, 2016) elenca as atividades a serem incluídas na RPSB; dentre elas, estão presentes a análise de estabilidade da barragem e a análise de estabilidade das ombreiras, no entanto, dois entrevistados afirmaram que esse documento não é obrigatório. Maiores detalhes estão disponíveis no Apêndice 1, questão 31.

3.1.7.4 Comparação sobre o PAE

De acordo com a Resolução nº 696 (BRASIL, 2015), o PAE constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B. As barragens mencionadas pelos entrevistados possuem classificação B e, segundo os participantes, o documento em questão foi elaborado para as estruturas.

A questão 33 verificou se há um coordenador para o PAE ou se essa função é desempenhada pelo empreendedor. O Volume IV do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA, 2016) estabelece que o coordenador do PAE é o responsável por coordenar as ações descritas no plano, devendo estar disponível para atuar prontamente nas

situações de emergência em potencial da barragem. Todos os entrevistados responderam que essa função existe e que, em sua maioria, é desempenhada pelo gerente da usina.

De acordo com a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), o PAE deve ser revisto periodicamente nas seguintes ocasiões: quando o relatório de inspeção ou a RPSB assim o recomendar; sempre que a instalação sofrer modificações físicas, operacionais ou organizacionais capazes de influenciar no risco de acidente ou desastre; quando a execução do PAE em exercício simulado, acidente ou desastre indicar a sua necessidade; em outras situações a critério do órgão fiscalizador. Na questão 34, os entrevistados abordaram a periodicidade de revisão do PAE e suas respostas variaram entre anualmente e conforme a demanda.

O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV (ANA, 2016) estabelece que a ZAS corresponde à região a jusante da barragem, na qual se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente; os critérios dessa definição variam de país para país. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico dispõe que, para a determinação dessa zona, é preciso adotar a menor das seguintes distâncias: 10 km ou a distância que corresponda a um tempo da onda de inundação igual a 30 minutos. Nesta questão, a maioria dos entrevistados respondeu em conformidade com a definição da Agência.

A questão 36 quis saber como é definido o mapa de inundação, que é definido pela Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) como a delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por eventual vazamento ou ruptura da barragem e seus possíveis cenários associados, cujo objetivo é facilitar a notificação eficiente e a evacuação de áreas afetadas por essa situação. A delimitação das áreas de inundação deve ser feita preferencialmente sobre cartografia 1:25000 (ANA, 2016) e, para a definição da área de inundação, os entrevistados reportaram a contratação de empresas para a elaboração do estudo de ruptura e delimitação da mancha de inundação.

O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV (ANA, 2016) indica os procedimentos de notificação das entidades e população. Segundo o documento, a notificação deve ser estabelecida entre os indivíduos responsáveis pela operação e segurança da barragem (notificação interna) e entre estes e as entidades externas. As entidades a serem notificadas devem ser, obrigatoriamente: o empreendedor, a entidade fiscalizadora e o sistema de defesa civil, a variar de acordo com o âmbito municipal, estadual ou federal. Para a Agência, os meios passíveis de serem utilizados para notificação das entidades são o serviço telefônico

fixo, redes de comunicações celular, serviço de acesso à internet e serviço de radiocomunicações.

Ainda segundo a ANA (2016), o sistema de alerta é estabelecido por meio da comunicação entre os agentes responsáveis pela operação e segurança da barragem e a população em risco na ZAS. Os meios de alerta mais diretos à população são os alarmes domésticos, por meio de telefones fixos e celulares; alarmes públicos, por sinais sonoros (sirenes fixas e megafones em viaturas móveis); e mensagens ao público, mediante boletins de rádio e televisão, publicação e fixação de comunicados de alerta e avisos pessoais “porta a porta”.

A escolha do método de notificação da população deve basear-se na extensão da zona afetada, no tipo, dimensão e dispersão geográfica da população a ser avisada, na proximidade geográfica dos agentes de defesa civil e nos meios e recursos disponíveis pelo sistema de defesa civil (ANA, 2016). Nas respostas à questão 39, que tratou do processo de notificação das entidades e população no caso de uma emergência, todos os participantes mencionaram, ao menos, um dos meios de notificação citados acima, conforme pode se observar no Apêndice 1.

De acordo com o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV (ANA, 2016), o PAE deve contar com uma descrição das situações que podem afetar a segurança e produzir uma situação de emergência para a barragem e o respectivo nível de resposta, que são classificados em verde, amarelo, laranja ou vermelho. As ações esperadas em função de cada nível de resposta também podem ser encontradas no documento.

A última questão do bloco relacionado ao PAE, de número 41, investigou quais são as ações de respostas a serem desempenhadas em função do nível de resposta. A maioria dos respondentes baseia-se no Manual do Empreendedor da ANA (2016) para os níveis laranja e vermelho; para os níveis verde e amarelo, o PAE não é acionado e a questão é tratada internamente.

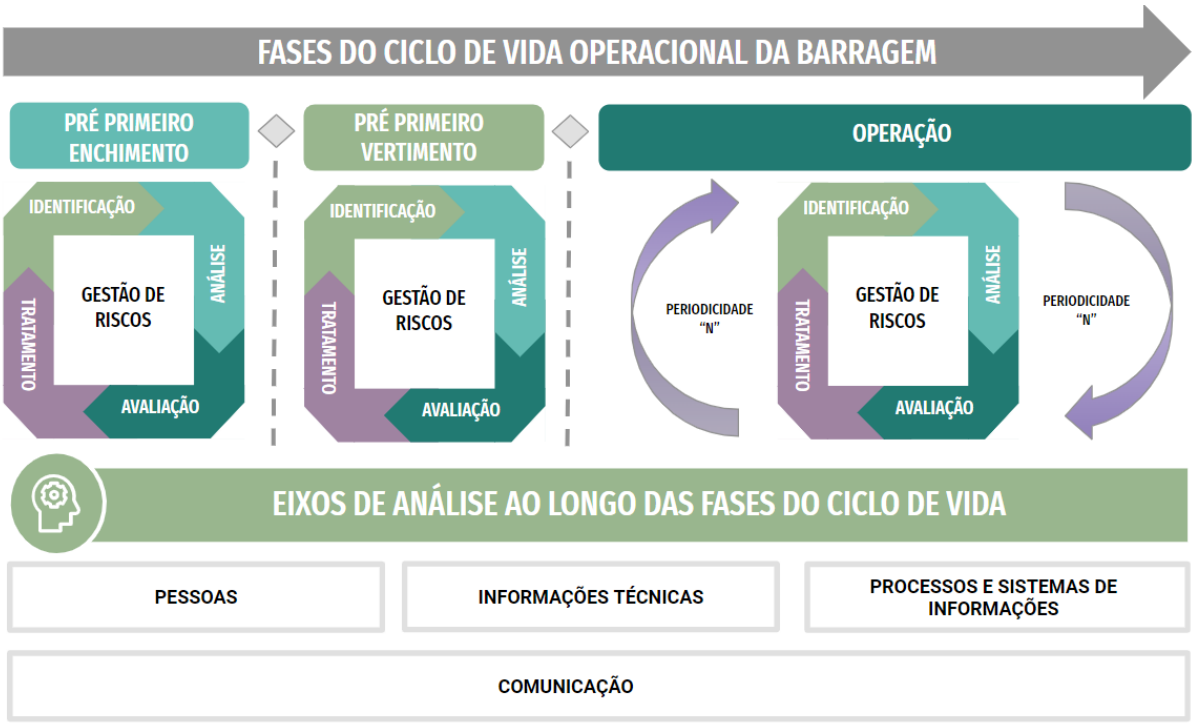
3.2 PAINEL DE ESPECIALISTAS

3.2.1 Modelo Preliminar de Recomendações para a Gestão de Riscos em Barragens Hidrelétricas

Com a finalidade de propor diretrizes para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas durante o ciclo de vida operacional, desenvolveu-se um modelo conceitual preliminar (Figura 64) que contempla as fases de pré primeiro enchimento e pré primeiro vertimento e operação, além da definição de eixos de análise para que a gestão aconteça. Os eixos escolhidos foram: pessoas, informações técnicas, processos e sistemas de informação e comunicação.

Trata-se de um modelo preliminar a ser submetido a um painel de especialistas, que contribuirão com suas experiências e opiniões acerca do assunto. É importante salientar que o enfoque do modelo é abordar a gestão de riscos na barragem, e não na UHE como um todo.

Figura 64 – Modelo conceitual preliminar para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

O modelo desenvolvido focou as fases de pré primeiro enchimento e pré primeiro vertimento, por serem etapas que antecedem a operação e pela criticidade que o enchimento do reservatório apresenta à barragem, constituindo-se na fase mais delicada na vida útil da estrutura, pois a maioria dos problemas ocorre durante essa etapa e no primeiro ano subsequente (PIASENTIN, 2021).

Segundo o Banco Mundial (2020), as estatísticas mostram claramente que a probabilidade de falha é mais alta nos primeiros anos após o primeiro enchimento do reservatório. As falhas nesse período, geralmente, são consequência de erros no projeto ou construção e que, caso não sejam detectados, podem evoluir gradualmente para um incidente ou ruptura em um estágio posterior.

Na fase de operação, foco deste trabalho, considerou-se a retroalimentação do processo de gestão de riscos em uma periodicidade “n”, que será definida pela equipe responsável pela gestão da barragem.

Para a gestão de riscos ao longo das fases do ciclo de vida operacional da estrutura, foram consideradas as etapas de identificação, análise, avaliação e tratamento de riscos, definidas pela ABNT NBR ISO 31000:2018, conforme ilustrado na Figura 65.

Figura 65 – Etapas consideradas para a gestão de riscos segundo a ISO 31000:2018

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

3.2.2 Eixos de Análise

Sobre os eixos escolhidos para discutir a gestão de riscos nas fases do ciclo de vida operacional da barragem, escolheu-se pessoas pelo fato de serem responsáveis pela tomada de decisões e pelo processo de gestão da barragem

O eixo relativo a informações técnicas foi estabelecido pelo fato de os dados da estrutura (projetos, memoriais, manuais, entre outros) auxiliarem na compreensão do histórico do barramento (qual o tipo da barragem, qual foi o método utilizado em sua construção, controles

da qualidade da execução, quando a obra de implantação teve início, quando entrou em operação, entre outros aspectos).

O terceiro eixo de análise corresponde a processos e sistemas de informações, os quais, por meio das informações coletadas, subsidiam a tomada de decisões pelas pessoas, além de possibilitar a realização das análises.

Por fim, escolheu-se a comunicação como o eixo que abrange todos os demais, constituindo-se do combustível para um processo de gestão adequado pelo fato de possibilitar que a informação chegue devidamente àqueles que devem recebê-la.

Os quatro eixos relacionam-se entre si, pois as pessoas são responsáveis pelo processo de gestão como um todo, realizando o manuseio e uso de informações técnicas, a definição e aplicação dos processos e a operacionalização da comunicação.

A partir da definição dos eixos de análise, foram estabelecidas diretrizes para cada um deles, a fim de garantir a gestão de riscos em barragens hidrelétricas durante a fase de operação. As diretrizes propostas encontram-se elencadas a seguir.

3.2.2.1 Eixo pessoas: diretrizes preliminares

No que diz respeito às pessoas, é preciso considerar quem e quantas pessoas comporão o comitê de riscos da barragem, qual deve ser a competência/experiência dos colaboradores que farão parte do grupo que tratará da gestão de riscos da estrutura, qual o papel de cada um e de qual maneira podem atuar, com o propósito de garantir que o acidente não aconteça.

É de extrema importância que as pessoas à frente do processo de gestão de riscos possuam conhecimentos técnicos, pois a experiência e competências aplicadas possibilitarão uma gestão mais acertada, identificando com antecedência riscos que poderiam vir a se tornar acidentes, mitigando, assim, suas causas.

Os especialistas das disciplinas técnicas que envolvem riscos em barragens, como por exemplo, hidráulica, hidrologia, hidroeletromecânica, estruturas de concreto, geologia e geotecnia, podem contribuir em todas as etapas da gestão de riscos (identificação, análise, avaliação e tratamento), pois dominam tecnicamente o tema de sua especialidade e podem elencar os riscos específicos referentes à cada fase do ciclo de vida operacional da barragem. Caberá ao gestor de riscos atribuir as responsabilidades e ações a serem adotadas, fazendo com que o ciclo da gestão caminhe de forma correta e eficaz.

Especialistas externos podem ser necessários para aconselhamento sobre a análise de risco detalhada para barragens de alto risco, quando o conhecimento e a capacidade do empreendedor são limitados (BM, 2020).

Além dos colaboradores envolvidos na gestão de risco da barragem, é primordial considerar a importância das pessoas que podem ser afetadas caso algum acidente aconteça; mencionam-se aqui as comunidades que vivem a jusante da barragem e as entidades fiscalizadoras, que devem ser comunicadas em caso de sinistro – afinal, na ocorrência de acidente, vidas podem ser perdidas e é responsabilidade do empreendedor da barragem alertar a população que pode ser potencialmente afetada na ZAS e notificar as autoridades públicas em caso de emergência (ANA, 2016).

3.2.2.2 Eixo informações técnicas: diretrizes preliminares

Os riscos associados à segurança das barragens variam de acordo com os componentes estruturais, fatores socioeconômicos e o ambiente no qual a estrutura está sendo construída e irá operar (BM, 2020).

Para a realização da análise dos riscos, deve-se levar em consideração o nível de conhecimento disponível sobre:

a) infraestrutura (por exemplo, componentes estruturais);
b) instituição (por exemplo, estrutura de gestão e capacidade do proprietário, operador e regulador da barragem);
c) informações (por exemplo, dados de monitoramento e vigilância, população a jusante, ativos, entre outros).

De acordo com o Banco Mundial (2020), ao identificar o “i” mais fraco, define-se o ponto de entrada para avaliar o suporte necessário para melhorar a gestão de riscos.

De posse da documentação adequada relacionada às características da barragem, sua condição atual e o histórico de seu desempenho, é possível avaliar a necessidade de efetuar adequações nos quesitos de operação e manutenção (O&M) da estrutura e, caso seja preciso, definir quais ações corretivas deverão ser propostas.

Como exemplo de informações técnicas, citam-se:

a) projetos: estudos topográficos, hidrológicos, geológicos, ensaios laboratoriais de mecânica dos solos, cálculos de estabilidade e hidráulicos, memoriais descritivos, projeto preliminar, projeto executivo;

b) documentos da construção: desenhos de detalhe, especificações, relatórios de análise, relatórios de controle da qualidade da execução, projetos *as built*;

c) relatórios de vigilância, O&M da barragem: relatórios de vistoria e inspeção, contemplando todos os dados de monitoramento e sua interpretação, todos os documentos sobre trabalhos de manutenção (de rotina ou reabilitação).

Para a classificação quanto à categoria de risco e dano potencial associado de barragens brasileiras destinadas à acumulação de água, a Resolução nº 696 (BRASIL, 2015) contempla os seguintes critérios, que também podem ser considerados informações técnicas da barragem:

- altura;
- comprimento;
- tipo da barragem quanto ao material de construção;
- tipo de fundação;
- idade;
- volume total do reservatório;
- estado de conservação dos sistemas que compõem o barramento (estruturas extravasoras, de adução e taludes);
- existência de documentação de projeto;
- estrutura organizacional e qualificação técnica da equipe responsável pela segurança da barragem;
- procedimentos para inspeções de segurança;
- relatórios de inspeção de segurança;
- existência de população com potencial de perda de vidas humanas;
- existência de unidades habitacionais, equipamentos e infraestrutura a jusante;
- natureza dos rejeitos.

As informações técnicas, em conjunto com a instrumentação da estrutura, fornecem dados que possibilitam a gestão de riscos da barragem pelo fato de a instrumentação apresentar elementos sobre a condição atual do barramento, enquanto as informações técnicas apresentam dados relativos do histórico da barragem.

Segundo o Banco Mundial (2020), o objetivo principal da instrumentação é medir, coletar e analisar dados dos principais parâmetros físicos de uma barragem e suas estruturas associadas, com a finalidade de avaliar seu desempenho e comportamento, detectar possíveis defeitos e deficiências em um estágio inicial e verificar se essas estruturas funcionam em conformidade com o projeto.

O plano de instrumentação visa fornecer uma descrição detalhada dos instrumentos para monitorar e registrar o comportamento e o desempenho da barragem e estruturas associadas, bem como avaliar o desempenho durante a construção e enchimento do primeiro reservatório e durante todo o período de operação da barragem. Seu escopo e detalhes devem ser proporcionais ao tipo, tamanho, risco potencial da barragem (BM, 2020).

Para Fonseca (2003), o projeto de instrumentação deve ser formulado por especialistas em instrumentação geotécnica e compatibilizado com as condições do projeto da própria barragem. A instalação dos instrumentos deve ser realizada por equipes experientes de campo, com definição clara e adequada quanto aos procedimentos de aquisição, registro e apresentação dos dados concernentes às grandezas a serem medidas, incluindo-se valores limites para a detecção de eventuais anomalias.

Para a realização da gestão de riscos, a equipe responsável precisa ter em mente quais as grandezas a serem monitoradas (pressões, recalques, deslocamentos, vazões, entre outros), a fim de mapear o desempenho da estrutura. Complementarmente, deve-se ter em mãos o projeto de instrumentação da barragem, com a localização dos instrumentos, especificações e quantidades, acompanhados de fichas individuais com a descrição da função de cada instrumento, informações sobre como ele deve ser calibrado, como deve ser sua manutenção, em qual periodicidade e quais os valores de alerta, para que sirvam como sinal de um possível problema na segurança da estrutura.

O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II (ANA, 2016) estabelece os instrumentos que devem ser lidos quando existentes, quais sejam piezômetros, medidores de tensão, medidores de recalque, inclinômetros, extensômetros, marcos de referência, medidores de nível de água no reservatório e medidores de vazão.

Ademais, a leitura e análise dos dados da instrumentação devem ser realizados por equipe técnica treinada e especializada. Os procedimentos de reavaliação e manutenção dos instrumentos devem ser feitos periodicamente, complementando as análises dos dados obtidos na instrumentação (FONSECA, 2003).

As inspeções devem ser concluídas com um relatório escrito, mesmo quando nada de significativo foi observado e a análise dos dados deve ser feita imediatamente (não mais de um ou dois dias) após a conclusão do processo de leitura (ICOLD, 2017).

É preciso ter em mente a necessidade de implementação de um sistema de armazenamento de dados. De acordo com a ICOLD (2017), a melhor ferramenta para armazenar dados é o banco de dados de um computador, com mecanismos confiáveis para inserir elementos e estabelecer parâmetros. Cada dado está vinculado à data de medição, ao nível do reservatório, ao conjunto de parâmetros a serem adotados e comentários sobre a condição do instrumento, eventos observados durante as leituras, etc.

Em suma, as diretrizes sugeridas para o eixo informações técnicas são:

a) a equipe responsável pela gestão da barragem deve avaliar o nível de conhecimento disponível sobre estudos, ensaios laboratoriais, cálculos, memoriais descritivos, projetos, documentos da construção, relatórios de controle da qualidade da execução, condições da obra e os componentes estruturais da barragem, projetos *as built*, relatórios de vistoria e inspeção contemplando dados de monitoramento e sua interpretação, estrutura organizacional e qualificação técnica da equipe responsável pela segurança da barragem, existência de população com potencial de perda de vidas humanas e de unidades habitacionais, equipamentos e infraestrutura a jusante;

b) ao identificar deficiência de conhecimento em alguma das áreas acima citadas, é necessário buscar formas de corrigi-la;

c) no quesito instrumentação, a equipe responsável deve considerar quais as grandezas a serem monitoradas (pressões, recalques, deslocamentos, vazões, entre outros), a fim de mapear o desempenho da estrutura;

d) além da definição das grandezas a serem monitoradas, a equipe deve ter em mãos o projeto de instrumentação da barragem, com a localização dos instrumentos, especificações e quantidades, acompanhado de fichas individuais com a descrição da função de cada instrumento, informações sobre como deve ser calibrado, como deve ser

sua manutenção, em qual periodicidade e quais os valores de alerta, para que sirva como sinal de um possível problema na segurança da estrutura;

e) a análise dos dados da instrumentação deve ser realizada por equipe técnica treinada e especializada, imediatamente (não mais de um ou dois dias) após a conclusão do processo de leitura. Os procedimentos de reavaliação e manutenção dos instrumentos precisam ser feitos periodicamente, complementando as análises dos dados obtidos na instrumentação;

f) a conclusão das inspeções deve constar em um relatório escrito, mesmo quando nada de significativo for observado;

g) é importante ter em mente a necessidade de implementação de um sistema de armazenamento de dados, sendo que a melhor forma é o banco de dados de um computador, no qual seja possível estabelecer parâmetros para análise dos elementos coletados e registros das informações.

3.2.2.3 Eixos processos e sistemas de informações: diretrizes preliminares

A ABNT NBR ISO 31000:2018 define o processo de gestão de riscos como a aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas de gestão para as atividades de comunicação, consulta, estabelecimento do contexto e na identificação, análise, avaliação, tratamento, monitoramento e análise crítica dos riscos.

Segundo o Banco Mundial (2020), mecanismos robustos de O&M devem ser estabelecidos e mantidos para garantir um sistema eficaz de gestão de riscos em vigor durante todo o ciclo de vida do projeto.

Tendo em mente que os processos possibilitam uma gestão de riscos eficiente, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- gestão de pessoas, com a definição de responsabilidades e entregas a serem desempenhadas por cada agente participante na gestão da barragem;
- treinamento de equipe para maior capacitação;
- controle da qualidade da informação, a fim de garantir a posse de dados confiáveis que possam respaldar os agentes envolvidos em uma tomada de decisão;

- avaliação dos dados técnicos da estrutura, principalmente acerca da categoria de risco e dano potencial associado;
- fluxo de apresentação de documentos obrigatórios às entidades fiscalizadoras;
- plano de O&M da estrutura;
- planos de monitoramento e instrumentação;
- procedimentos periódicos de inspeção;
- plano de ação de emergência;
- sequenciamento das ações de remediação a serem adotadas, visando à mitigação de riscos;
- plano de gestão de riscos;
- gestão da comunicação.

Indicadores devem ser estabelecidos para verificar se o processo de gestão da barragem está a contento ou se há necessidade de ajuste em algum parâmetro. Como exemplos de indicadores, citam-se**:**

- presença da equipe nos treinamentos de capacitação;
- quantidade e especificação dos treinamentos propostos;
- atendimento aos prazos de entrega de relatórios internos pelos agentes envolvidos;
- atendimento aos prazos de submissão de relatórios técnicos da barragem às entidades fiscalizadoras;
- dados de leituras dos instrumentos de monitoramento;
- informações contidas nos relatórios de inspeção;
- alocação de recursos (humanos, financeiros, entre outros) disponíveis, com capacidade de lidar com condições normais e anormais de operação em todas as fases do ciclo de vida da barragem (ICOLD, 2017).

A ICOLD (2017) recomenda que o sistema de gerenciamento de segurança de barragens consista em processos sistemáticos e abrangentes, garantindo que os riscos sejam gerenciados adequadamente e que todos os aspectos relacionados ao gerenciamento da segurança sejam integrados ou alinhados com a estrutura geral de gerenciamento da organização.

Esse sistema deverá ser conceituado de forma a congregar os dados referentes aos processos anteriormente mencionados, possibilitando a sua conversão em informações que serão disseminadas com a finalidade de subsidiar a tomada de decisões, para que ações adequadas sejam adotadas quando necessário. As informações devem ser facilmente acessadas por cada agente envolvido na gestão da barragem para que possam atuar e mitigar os riscos, tendo em vista que são as pessoas, juntamente com as informações, que fazem o processo de gestão acontecer.

O sistema de gerenciamento de segurança da barragem deve incluir:

- organização e responsabilidades dentro da organização;
- políticas, diretrizes e procedimentos;
- gerenciamento de riscos e avaliação de segurança;
- gerenciamento e controle de documentos;
- práticas documentadas de O&M;
- relatórios de inspeção e monitoramento;
- treinamento de pessoal;
- preparação e respostas a emergências;
- relatório de incidentes;
- auditorias e garantia de qualidade.

Com relação ao plano de O&M, é preciso ter em mente que o escopo e detalhes variam de acordo com a classificação de risco da barragem, mas normalmente é composto por:

a) estrutura de O&M, incluindo as pessoas, suas qualificações necessárias, experiência e necessidades de treinamento;

b) procedimentos e manual de O&M para as instalações e equipamentos eletromecânicos;

c) procedimentos de vigilância, monitoramento de instrumentos, relatórios de inspeções periódicas;

d) procedimentos de operação do reservatório durante as estações normal, cheia e seca, incluindo procedimentos de notificação e alerta à jusante;

e) planos para O&M (custos, prazos e suprimentos) a curto e médio prazo.

Barragens possuem requisitos de manutenção condicional, sendo a corretiva o tipo mais frequente. O objetivo deste trabalho não é apresentar os tipos de manutenções possíveis, de acordo com o tipo de barragem e suas patologias, mas é primordial salientar a importância que essa atividade tem sobre a segurança da estrutura. Como exemplo de manutenção, cita-se a limpeza do sistema de descarga de fundo, que está ligada à pressão d'água medida e ao vazamento (ICOLD, 2017).

3.2.2.4 Eixo comunicação: diretrizes preliminares

A ABNT NBR ISO 31000:2018 define que os planos de comunicação da organização devem abordar questões relacionadas com o risco propriamente dito, suas causas, consequências (se conhecidas) e as medidas que estão sendo adotadas para tratá-los.

O plano de comunicação precisa considerar:

a) quais são as partes interessadas internas e externas;
b) qual será a estratégia de abordagem para cada parte interessada, baseando-se nas necessidades e requisitos de cada *stakeholder* (parte interessada);
c) definição da mensagem a ser transmitida e por qual meio, a fim de garantir uma boa compreensão;
d) quando a mensagem deverá ser transmitida e quem tem a responsabilidade de comunicação;
e) definição de mecanismo para confirmar que a parte interessada compreendeu corretamente a mensagem.

O fluxo de comunicação é estabelecido entre emissor e receptor a partir de um meio pelo qual a mensagem é transmitida. No âmbito da gestão de barragens, são considerados emissores as informações técnicas da barragem (projetos, relatórios de inspeção e instrumentação, entre outros), enquanto os receptores são constituídos pelos agentes envolvidos na gestão da barragem, pela população a jusante, entidades fiscalizadoras, entre outros. Em posse das informações relacionadas à condição do barramento, os receptores poderão tomar decisões e agir, a fim de mitigar os riscos.

Ainda de acordo com a ABNT NBR ISO 31000:2018, a comunicação e a consulta interna e externa devem ser realizadas com a finalidade de assegurar que os responsáveis pela implementação do processo de gestão de riscos e as partes interessadas compreendam os

fundamentos sobre os quais as decisões são tomadas e as razões pelas quais ações específicas são requeridas.

É preciso ter em mente que a comunicação deve ser estabelecida internamente entre os agentes responsáveis pela gestão da barragem e também com aqueles que podem ser afetados por essa gestão.

No caso do acionamento do PAE da barragem, em caso de emergência, deve-se definir quem notifica e quem é notificado, e quais serão os meios de comunicação interno (entre os agentes responsáveis pela operação e segurança da barragem) e entre estes e as partes interessadas externas, que poderão ser afetadas caso algum acidente ocorra (população a jusante, agentes envolvidos no controle da situação de emergência, entidades fiscalizadoras).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2016), os meios passíveis de utilização para notificar as entidades são o serviço telefônico fixo, redes de comunicações celular, serviço de acesso à internet e serviço de radiocomunicações. Para a realização de alerta à população, os meios mais diretos são os alarmes domésticos, por meio de telefones fixos e celulares; alarmes públicos, por sinais sonoros (sirenes fixas e megafones em viaturas móveis); e mensagens ao público, mediante boletins de rádio e televisão, publicação e fixação de comunicados de alerta e avisos pessoais “porta a porta”.

A comunicação deve ser fluida e eficiente, de forma que a mensagem a ser transmitida chegue de forma ágil e clara àqueles interessados em recebê-la. No caso de notificação da população, o método escolhido deve basear-se na extensão da zona afetada, no tipo, dimensão e dispersão geográfica da população a ser avisada, na proximidade geográfica dos agentes de defesa civil e nos meios e recursos disponíveis pelo sistema de defesa civil (ANA, 2016).

É importante que os proprietários de barragens, operadores e outras agências relevantes realizem exercícios, testes e treinamento para garantir uma coordenação suave em caso de emergência (BM, 2020).

Sugere-se que a equipe responsável pela gestão da barragem separe os processos relacionados à comunicação em três blocos: comunicação de emergência, comunicação gerencial e comunicação intrínseca à barragem.

A comunicação de emergência precisa estar estruturada em função do nível de resposta esperado para cada situação, para que a equipe possa implementar as ações de resposta adequadas e em consonância com aquela condição. Por exemplo, o nível de resposta verde tem como ação de resposta esperada a notificação dos recursos humanos da barragem e o

empreendedor, enquanto o nível de resposta vermelho compreende o acionamento do sistema de alerta da população na ZAS, visando sua evacuação (ANA, 2016).

A comunicação gerencial deve ser estruturada de forma que as informações referentes aos processos gerenciais da barragem, como por exemplo, operação, manutenção e gestão de riscos em si, cheguem de forma clara àqueles que podem atuar nesses temas.

Os blocos de comunicação gerencial e intrínseca à barragem foram pensados separadamente por que a primeira é alimentada pela segunda; esta, por sua vez, compreende a coleta de dados dos instrumentos, inspeções cotidianas e elaboração de relatórios, que são inerentes à operação da barragem e que fornecem dados que propiciam a realização de gestão de riscos.

3.2.3 Apresentação do Modelo de Recomendações ao Painel de Especialistas

A apresentação do modelo preliminar de recomendações aconteceu no dia 20 de abril de 2022, às 08h00, com duração aproximada de 2h30, via plataforma do Google Meet®. A sessão foi gravada para melhor aproveitamento acadêmico e de revisão do conteúdo, e pode ser consultada na íntegra no Apêndice 3 desta monografia.

3.2.3.1 Definição dos especialistas

A escolha dos profissionais para a composição do painel levou em consideração a experiência e o domínio do tema abordado. Dessa forma, o painel foi composto por três profissionais que atuam nas áreas de riscos e barragens, sendo um deles um gestor de riscos no mercado segurador; o segundo participante é engenheiro civil e atua em segurança de barragens em uma empresa renomada no âmbito de geração de energia elétrica; e o terceiro atua na área de geotecnia.

3.2.3.2 Estruturação e apresentação ao painel

A dinâmica proposta para a estruturação do painel seguiu a seguinte abordagem:

- **apresentação da autora:** breve descrição da autora, sua experiência acadêmica e profissional;

- **apresentação dos participantes:** momento de apresentação dos participantes do painel de especialistas;
- **acerca do trabalho em desenvolvimento:** seção para descrição do objetivo da monografia, justificativa e a metodologia utilizada;
- **apresentação do modelo de recomendações:** exibição do modelo preliminar, com explicação sobre as justificativas para a escolha das fases do ciclo de vida operacional da barragem, as etapas da gestão de riscos segundo a ISO 31000:2018 e os eixos de análise escolhidos. Foram feitas perguntas aos participantes com o objetivo de discutir o modelo apresentado e algumas das questões abordadas referiram-se à necessidade de acréscimo ou alteração de alguma fase do ciclo de vida operacional ou de algum eixo não considerado;
- **justificativa para escolha dos eixos de análise:** seção para apresentação das justificativas de escolha de cada eixo. Nesta etapa do painel, foi utilizada a ferramenta de lousa interativa do Google Meet® para conferir dinâmica e maior interação junto aos participantes; além disso, foi solicitado que os especialistas escrevessem suas justificativas sobre a importância do uso dos eixos escolhidos;
- **apresentação das diretrizes propostas para cada eixo de análise:** última etapa, com a exposição das diretrizes relacionadas aos eixos escolhidos.

3.2.3.3 Questões discutidas no painel de especialistas

A primeira parte do painel consistiu na introdução do modelo preliminar de recomendações. Após a apresentação do modelo completo, contemplando as fases do ciclo de vida operacional da barragem, as etapas da gestão de riscos e os eixos de análise, os especialistas sugeriram que a fase de pré primeiro vertimento não fosse considerada uma etapa separada das demais, pelo fato de o vertimento fazer parte da operação. O pré primeiro enchimento, por sua vez, pode ser considerado separadamente da operação.

Além dessa observação, os especialistas comentaram que sentiram falta de uma representação gráfica que remetesse à vivacidade e à retroalimentação presentes no processo de gestão de riscos, afinal, trata-se de um processo vivo. O modelo estava muito segmentado ao longo das fases do ciclo de vida operacional, como se a gestão de riscos fosse feita separadamente para cada fase.

Ainda sobre o modelo, os especialistas questionaram o motivo de considerar as fases anteriores ao enchimento e vertimento (pré) e não o enchimento e vertimento em si. Foi explicado que foram consideradas etapas anteriores para que a gestão de riscos pudesse ser feita antes da ocorrência de possíveis acidentes que provocassem perdas, visando à sua prevenção.

Com relação aos eixos de análise, os participantes levantaram uma discussão acerca do nome adotado para o eixo pessoas e relataram que, durante a leitura prévia do trabalho, ficaram na dúvida sobre o significado desse eixo. A sugestão apresentada foi que, ao invés de "pessoas", fosse adotado o termo "partes interessadas", possibilitando, dessa forma, a abordagem relativa aos profissionais e suas competências, às comunidades que vivem no entorno da barragem, aos fornecedores que prestam serviço à empresa detentora do barramento e às entidades fiscalizadoras. Trazendo o eixo partes interessadas para a prática, os especialistas mencionaram a importância de considerar as expectativas das partes interessadas, a fim de que o processo siga o caminho estipulado.

Para o eixo informações técnicas, os especialistas ressaltaram que a própria obrigatoriedade do PSB ratifica a sua importância, pois compila todos os dados técnicos da barragem, e que as informações técnicas precisam ser vivas e não podem ser negligenciadas. Com relação à instrumentação, que está inserida neste eixo, os profissionais pontuaram a necessidade de trocar a ordem dos parágrafos para um melhor entendimento, já que o termo instrumentação está um pouco distante das diretrizes propostas para o tema.

No eixo processos e sistemas de informações, os especialistas mencionaram que as diretrizes ficaram um pouco confusas e abrangentes demais, e sinalizaram como ponto de melhoria do trabalho a materialização dos processos, trazendo-os para a aplicação prática. Ademais, a importância de abordar que a gestão de riscos nas plantas hidrelétricas fomenta a gestão de riscos corporativos mereceu destaque.

Por fim, no eixo comunicação, os profissionais sugeriram a adoção do nome "comunicação e consulta", pois, dessa forma, utiliza-se o mesmo termo empregado na norma da ISO 31000:2018, por exemplo. Outra proposta foi abordar como é feita a comunicação entre o nível operacional e o nível de conselho de administração da empresa, e de separar o plano de comunicação em interno e externo, sendo o interno responsável pela comunicação no nível operacional e pela forma com a qual a informação chegará até o nível da alta direção, e o externo incumbido de estabelecer contato com as comunidades que vivem próximas à barragem e com as entidades fiscalizadoras.

4 RESULTADOS

4.1 MODELO FINAL DE RECOMENDAÇÕES PARA A GESTÃO DE RISCOS EM BARRAGENS HIDRELÉTRICAS

A realização do painel de especialistas possibilitou a discussão de questões que contribuíram para o aperfeiçoamento do modelo e diretrizes. A Figura 66 apresenta o modelo conceitual final.

Figura 66 – Modelo conceitual final para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

O modelo foi desenvolvido com foco nas fases de pré primeiro enchimento, pré primeiro vertimento e operação da barragem hidrelétrica, pelo fato de serem etapas que antecedem a operação e pela criticidade que o enchimento do reservatório apresenta à barragem, constituindo a fase mais delicada na vida útil da estrutura, já que a maioria dos problemas ocorre durante essa etapa e no primeiro ano subsequente (PIASENTIN, 2021).

Para a gestão de riscos ao longo das fases do ciclo de vida operacional da estrutura, foram consideradas as etapas de identificação, análise, avaliação e tratamento de riscos, definidas pela ABNT NBR ISO 31000:2018. O modelo conceitual procurou atribuir uma representação gráfica mais dinâmica, que representasse a vivacidade do processo de gestão de riscos.

No que se refere à periodicidade para a retroalimentação do processo de gestão de riscos, considerou-se a frequência “n” a ser definida pela equipe responsável pela gestão de riscos da barragem.

Como eixos de análise no modelo, foram consideradas as partes interessadas, as informações técnicas, os processos e sistemas de informações e a comunicação e consulta.

Tendo em vista que barragens são geridas por empresas e que as partes interessadas exercem forte influência sobre a operação das plantas, é preciso ter em mente que a gestão de riscos deve fazer parte do modelo de governança, a fim de garantir o atendimento aos interesses das partes. De acordo com o Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (IBGC), governança corporativa é o sistema pelo qual as empresas e demais organizações são dirigidas, monitoradas e incentivadas, envolvendo os relacionamentos entre sócios, conselho de administração, diretoria, órgãos de fiscalização e controle e demais partes interessadas.

O modelo contemplado considera os quatros princípios básicos de governança (transparência, equidade, prestação de contas e responsabilidade corporativa). Segundo o IBGC (2021), a transparência consiste no desejo de disponibilizar para as partes interessadas as informações que sejam de seu interesse, e não apenas aquelas impostas por disposições de leis ou regulamentos, relacionando-se, assim, com os eixos partes interessadas, informações técnicas e processos e sistemas de informações do modelo. A equidade caracteriza-se pelo tratamento justo e isonômico de todos os sócios e demais partes interessadas, tendo em vista seus direitos, deveres, necessidades, interesses e expectativas. A prestação de contas segue no sentido de que os agentes de governança devem prestar contas de sua atuação de modo claro, conciso, compreensível e tempestivo, assumindo integralmente as consequências de seus atos e omissões, relacionando-se com a importância do envolvimento das partes interessadas e suas responsabilidades no processo de gestão de riscos. Por fim, o princípio de responsabilidade corporativa, que se relaciona com o zelo pela viabilidade econômico-financeira das organizações, a redução de externalidades negativas dos negócios e operações, o aumento das externalidades positivas, considerando, no modelo de negócio, os diversos capitais (financeiro, intelectual, humano, social, entre outros) no curto, médio e longo prazos, relacionando-se com o eixo partes interessadas (alta direção da empresa) e com as tomadas de decisões.

O conceito e as práticas de governança corporativa estão diretamente ligados ao processo de gestão, responsável por planejar a maneira mais adequada de implementar as

diretrizes estabelecidas, executar os planos e controlar os indicadores, enquanto a governança está ligada ao processo de tomada de decisões, direção, comunicação e controle.

4.2 EIXOS DE ANÁLISE E AS DIRETRIZES

4.2.1 Eixo Partes Interessadas: diretrizes finais

Segundo a ABNT (2018), parte interessada é a pessoa ou organização que pode afetar, ser afetada ou perceber-se afetada por uma decisão ou atividade. Em princípio, é possível considerar como partes interessadas na gestão de riscos de uma barragem os colaboradores da empresa; a alta direção; as outras plantas hidrelétricas localizadas no entorno; as empresas relacionadas à transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica; os fornecedores; as organizações não governamentais (ONGs) relacionadas às causas ambientais; o poder público; as entidades fiscalizadoras e as comunidades que vivem no entorno da estrutura.

No que tange aos colaboradores e a empresa, sugere-se ter em mente quais são as competências, experiências e responsabilidades dos responsáveis pelo processo de gestão de riscos. É de extrema importância que as pessoas à frente do processo de gestão de riscos possuam conhecimentos técnicos, pois a experiência e a competências aplicadas possibilitarão uma gestão mais acertada, identificando com antecedência riscos que podem se tornar acidentes, mitigando suas consequências.

Os especialistas das disciplinas técnicas, como por exemplo, hidráulica, hidrologia, hidroeletromecânica, estruturas de concreto, geologia e geotecnia, podem contribuir em todas as etapas da gestão de riscos (identificação, análise, avaliação e tratamento), pois dominam tecnicamente o tema de sua especialidade, e são capazes de elencar os riscos específicos referentes à cada fase do ciclo de vida operacional da barragem. Especialistas externos podem ser necessários para aconselhar sobre análise de risco detalhada para barragens de alto risco, quando o conhecimento e a capacidade do empreendedor são limitados (BM, 2020).

Os colaboradores à frente da gestão de riscos da barragem devem ter em mente que as pessoas que comporão essa equipe precisam estar engajadas e se sentirem pertencentes àquele núcleo. Dessa forma, entregarão melhores resultados, impactando positivamente no desempenho e segurança da estrutura.

Sugere-se o estabelecimento de rotinas de reportes do status da barragem à alta direção, para que o conselho da empresa fique a par dos assuntos e possa apoiar as tomadas de decisões.

Vale salientar a importância da relação entre a gestão de riscos operacionais e a gestão de riscos corporativos, já que as decisões tomadas no nível operacional da planta podem impactar na tomada de decisão da alta direção da empresa e vice-versa. A nível corporativo, tal impacto abrange desde temas mais simples até assuntos mais estratégicos e complexos, como questões relacionadas a investimentos e desativação de uma planta, por exemplo.

Quanto às ONGs, é fundamental mapear quais organizações estão, de algum modo, envolvidas com barragens, para que os aspectos relacionados a interesses ambientais sejam atendidos, e ter em mente a constante necessidade de entendimento de suas necessidades, percepções e expectativas.

As empresas relacionadas à transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica que possuem ligação direta com a barragem devem ser mapeadas, pois impactam na operação da planta e também podem ser impactadas, a depender da decisão tomada no nível operacional ou corporativo.

Os fornecedores que prestam serviços à empresa detentora da barragem devem ser envolvidos nos diálogos que abordam a gestão de riscos da estrutura, quando necessário. A equipe à frente da gestão de riscos deve conhecer as expectativas e interesses desse *stakeholder*, para que haja uma boa sinergia entre as partes.

No que concerne às entidades fiscalizadoras e ao poder público em geral, elenca-se como principal diretriz o atendimento aos prazos estipulados em lei para a apresentação das documentações pertinentes da barragem. O respeito, cordialidade e o bom relacionamento com os agentes fiscalizadores que fazem as visitas in loco ao site também podem ser considerados diretrizes, pois influenciam no encaminhamento da gestão da estrutura.

Para as comunidades que vivem próximas à barragem, é válido considerar as pessoas que ali habitam, pois são vidas que podem ser afetadas ou até mesmo perdidas caso algum acidente aconteça. A população e a infraestrutura presentes a jusante da barragem devem ser mapeadas, de modo a permitir a mensuração da magnitude das consequências na hipótese de acidente.

O envolvimento adequado das partes interessadas no processo de gestão de riscos possibilita que suas percepções, pontos de vista e conhecimentos sejam levados em consideração, resultando em uma gestão adequada (ABNT, 2018). Recomenda-se que, ao longo desse processo, as partes interessadas sejam continuamente acompanhadas, para que os interesses, expectativas e necessidades desses *stakeholders* sejam garantidos, sem que a operação da planta seja comprometida.

4.2.2 Eixo Informações Técnicas: diretrizes finais

As informações técnicas compreendem um eixo inerente à gestão de riscos, pois constituem dados que não podem ser negligenciados e que fomentam a tomada de decisões para o bom andamento da gestão da estrutura. A própria obrigatoriedade de apresentação do PSB, que compila todos os dados técnicos da barragem e constitui um instrumento da PNSB, confirma a importância desse eixo.

As diretrizes para o eixo de análise em questão estão descritas a seguir:

a) a equipe responsável pela gestão da barragem deve considerar os estudos, ensaios laboratoriais, cálculos, memoriais descritivos, projetos, documentos da construção, relatórios de controle da qualidade da execução, condições dos componentes estruturais da barragem, projetos *as built*, relatórios de vistoria e inspeção contemplando dados de monitoramento e sua interpretação, estrutura organizacional e qualificação técnica da equipe responsável pela segurança da barragem, existência de população com potencial de perda de vidas humanas e de unidades habitacionais, equipamentos e infraestrutura a jusante;

b) quando identificada deficiência de conhecimento em alguma das áreas acima citadas, é preciso buscar formas de corrigi-la;

c) no quesito instrumentação, a equipe responsável deve ter em mente quais as grandezas a serem monitoradas (pressões, recalques, deslocamentos, vazões, entre outros), a fim de mapear o desempenho da estrutura;

d) além da definição das grandezas a monitorar, é necessário ter em mãos o projeto de instrumentação da barragem, contemplando a localização dos instrumentos, especificações e quantidades, acompanhados de fichas individuais com a descrição da função de cada instrumento, informações de como ele deve ser calibrado, como deve

ser sua manutenção e em qual periodicidade, e quais os valores de alerta, para que sirva como sinal de um possível problema na segurança da estrutura;

e) a análise dos dados da instrumentação deve ser realizada por equipe técnica treinada e especializada, imediatamente (não mais de um ou dois dias) após a conclusão do processo de leitura. Os procedimentos de reavaliação e manutenção dos instrumentos devem ser feitos periodicamente, complementando as análises dos dados obtidos na instrumentação;

f) a conclusão das inspeções deve contar de um relatório formalizado, mesmo quando nada de significativo for observado;

g) é preciso ter em mente a necessidade de implementação de um sistema de armazenamento de dados, sendo que a melhor forma é o banco de dados de um sistema computacional, por meio do qual seja possível estabelecer parâmetros para análises dos elementos coletados, a fim de registrar as informações necessárias sobre a barragem.

4.2.3 Eixo Processos e Sistemas de Informações: diretrizes finais

Os processos elencados nas diretrizes preliminares foram estabelecidos de forma abrangente, em função dos demais eixos definidos (partes interessadas, informações técnicas e comunicação e consulta), e a sugestão de adoção de processos mais práticos e materializados foi levada em consideração para o estabelecimento das diretrizes finais desse eixo.

Antes mesmo da etapa de identificação, a equipe responsável pela gestão de riscos da barragem deve ter em mãos todos os documentos relacionados às informações técnicas e, previamente à gestão de riscos propriamente dita, também deve definir os parâmetros para a qualificação e a quantificação dos riscos. Propõe-se a realização de uma reunião envolvendo os especialistas técnicos e a equipe à frente da gestão para discutir se as informações disponibilizadas estão a contento ou se falta algum documento, para que seja possível dar início às análises.

De posse das informações técnicas, sugere-se que os especialistas técnicos e os membros da equipe responsável pela gestão de riscos da barragem identifiquem e analisem os riscos aos quais a estrutura está sujeita; ademais, devem ainda identificar os riscos e descrevê-los, contemplando sua natureza e seu nível. O produto desta etapa será um relatório contendo a identificação, análise dos riscos e planos de ações associados, que deve ser remetido à alta

direção da empresa para que seja debatido em reuniões relacionadas à gestão de riscos corporativos.

O relatório de identificação e análise dos riscos constituirá a etapa inicial da discussão nos *workshops*. A finalidade dessas reuniões é apresentar os riscos identificados e, então, analisá-los, compreendendo sua natureza e seu nível, determinando suas probabilidades e consequências. A escolha do método a ser empregado para identificação e análise do risco depende dos objetivos pretendidos (estabelecimento de controles, planejamento das ações de monitoramento, apoio na tomada de decisão, alocação de recursos, por exemplo), da fase do ciclo de vida em estudo e da complexidade da questão sob análise.

Após a identificação e análise dos riscos, é necessário prosseguir com a avaliação, definindo se eles são aceitáveis ou toleráveis. Caso o risco não seja aceitável, os agentes envolvidos na gestão de riscos devem definir qual é a estratégia mais adequada como resposta ao risco: eliminá-lo, mitigá-lo, transferi-lo ou aceitá-lo.

O produto do *workshop* será o mapeamento dos riscos e o plano de ação inerente a ele, contendo as ações gerenciais a serem desempenhadas para que, na próxima reunião, novos riscos possam ser identificados e o avanço no tratamento dos riscos elencados possa ser discutido.

As discussões desenvolvidas nos *workshops* serão formalizadas em atas de reuniões e disponibilizadas àqueles que participaram do evento e aos membros do conselho da empresa que não puderam estar presentes. Considerando o viés estratégico dessas reuniões, o recebimento das atas não cabe a todos os colaboradores da empresa.

A realização de *workshops* é uma sugestão e a estruturação dessa discussão decorre das características da barragem, dos especialistas envolvidos, da quantidade de partes interessadas, do porte da empresa, das políticas da companhia, entre outros.

No que concerne ao sistema de informação, a ICOLD (2017) recomenda que o sistema de gerenciamento de segurança de barragens consista em processos sistemáticos e abrangentes, a fim de garantir que os riscos sejam administrados adequadamente e que todos os aspectos relacionados ao gerenciamento da segurança sejam integrados ou alinhados à estrutura geral de gerenciamento da organização.

Esse sistema deve ser conceituado de forma a congregar os dados referentes aos processos anteriormente mencionados, possibilitando a sua conversão em informações que serão disseminadas para subsidiar a tomada de decisões, a fim de que ações adequadas sejam

tomadas quando necessário. As informações devem ser acessíveis para cada agente envolvido na gestão da barragem, para que, conhecendo-as, possam atuar e mitigar os riscos, tendo em vista que são as pessoas, juntamente com as informações, que fazem o processo de gestão acontecer.

O sistema de gerenciamento de segurança da barragem deve incluir:

- organização e responsabilidades dentro da organização;
- políticas, diretrizes e procedimentos;
- gerenciamento de riscos e avaliação de segurança;
- gerenciamento e controle de documentos;
- práticas documentadas de O&M;
- relatórios de inspeção e monitoramento;
- treinamento de pessoal;
- preparação e respostas a emergências;
- relatório de incidentes;
- auditorias e garantia de qualidade.

Quanto ao plano de O&M, é preciso ter em mente que o escopo e os detalhes variam de acordo com a classificação de risco da barragem, mas normalmente é composto por:

- estrutura de O&M, incluindo as pessoas, suas qualificações necessárias, experiência e necessidades de treinamento;
- procedimentos e manual de O&M para as instalações e equipamentos eletromecânicos;
- procedimentos de vigilância, monitoramento de instrumentos, relatórios de inspeções periódicas;
- procedimentos de operação do reservatório durante as estações normal, cheia e seca, incluindo procedimentos de notificação e alerta a jusante;
- planos para O&M (custos, prazos e suprimentos) a curto e médio prazo.

Barragens possuem requisitos de manutenção condicional, sendo a corretiva o tipo mais frequente. O objetivo deste trabalho não é apresentar os tipos de manutenções possíveis de acordo com o tipo de barragem e suas patologias, mas é fundamental destacar a importância

que essa atividade tem sobre a segurança da estrutura. A título de exemplo de manutenção, é possível citar a limpeza do sistema de descarga de fundo, que está ligada à pressão d'água medida e vazamento (ICOLD, 2017).

4.2.4 Eixo Comunicação e Consulta: diretrizes finais

A sugestão de alteração do nome deste eixo para comunicação e consulta foi pertinente, pois trata-se de termo utilizado, por exemplo, na norma ABNT NBR ISO 31000:2018.

A comunicação e consulta tem por objetivo auxiliar as partes interessadas na compreensão do risco, promovendo a conscientização e o entendimento, auxiliando na tomada de decisão (ABNT, 2018).

Considerando que os planos de comunicação da organização devem abordar questões relacionadas ao risco propriamente dito, suas causas, consequências (se conhecidas) e as medidas que estão sendo adotadas para tratá-lo, sugere-se que eles sejam segregados em interno e externo. O plano de comunicação interno terá como foco a comunicação no nível operacional da barragem, e entre este e a alta direção; por sua vez, o plano de comunicação externo estabelecerá como será a comunicação entre a corporação e as comunidades que vivem próximas à barragem e as entidades fiscalizadoras.

Independentemente de o plano de comunicação ser interno ou externo, documento deve contemplar:

- as partes interessadas internas e externas;
- a estratégia de abordagem para cada parte interessada, baseando-se nas necessidades e requisitos de cada *stakeholder* (parte interessada);
- definição da mensagem a ser transmitida e por qual meio, a fim de garantir uma boa compreensão;
- quando a mensagem deve ser transmitida e quem tem a responsabilidade de estabelecer a comunicação;
- definição de mecanismo para confirmar que a parte interessada compreendeu corretamente a mensagem.

A comunicação do dia a dia na operação da barragem será pautada nas informações técnicas (projetos, relatórios de inspeção e instrumentação, entre outros). A mensagem que se

deseja transmitir deverá ser emitida de maneira clara, a fim de que seu receptor possa compreendê-la e tomar a ação que lhe compete.

Caberá à equipe de frente da gestão de riscos da barragem consultar se a mensagem transmitida foi compreendida e se a ação requerida está sendo colocada em prática, visando garantir o bom encaminhamento da comunicação e gestão da estrutura.

Pensando na comunicação externa, é importante que os proprietários de barragens, operadores e outras agências relevantes realizem exercícios, testes e treinamentos para garantir uma coordenação suave em caso de emergência (BM, 2020). Entretanto, a equipe à frente da gestão de riscos da barragem deve ter em mente quão sensível é a percepção dessa população para qualquer sinal de movimentação no entorno da barragem, pois caso a comunicação com essas partes interessadas não seja estabelecida de forma clara, os resultados passíveis de serem colhidos são a confusão e o pânico.

Em caso de emergência que demande o acionamento do PAE, é necessário definir quem notifica e quem é notificado, e quais serão os meios de comunicação interno (entre os agentes responsáveis pela operação e segurança da barragem) e entre estes e as partes interessadas externas (população a jusante, agentes envolvidos no controle da situação de emergência, entidades fiscalizadoras).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2016), os meios que podem ser utilizados para notificar as entidades são o serviço telefônico fixo, as redes de comunicações celular, serviço de acesso à internet e serviço de radiocomunicações. Para o alerta à população, os meios mais diretos são os alarmes domésticos, por meio de telefones fixos e celulares; alarmes públicos, por sinais sonoros (sirenes fixas e megafones em viaturas móveis); e mensagens ao público, mediante boletins de rádio e televisão, publicação e fixação de comunicados de alerta e avisos pessoais “porta a porta”.

A comunicação de emergência interna à operação da barragem deve ser estruturada em função do nível de resposta esperado para cada situação, a fim de que a equipe possa implementar as ações de resposta adequadas e em consonância com aquela condição. Por exemplo, o nível de resposta verde tem como ação de resposta esperada a notificação dos recursos humanos da barragem e o empreendedor, enquanto o nível de resposta vermelho compreende o acionamento do sistema de alerta da população na ZAS, visando sua evacuação (ANA, 2016).

O resumo das diretrizes propostas para cada um dos eixos de análise encontra-se no Quadro 14.

Quadro 14 – Resumo das diretrizes propostas para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação

Diretrizes para a gestão de riscos de barragens hidrelétricas na fase de operação	
Partes Interessadas	**Colaboradores:** quais são suas competências, experiências e responsabilidades. Profissionais com competências técnicas é um diferencial. Rotina de reportes acerca do *status* da barragem à alta direção da empresa; **ONGs:** mapeamento de quais organizações estão relacionadas com a barragem, para que se possível seus interesses e necessidades sejam atendidos; **Empresas de transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica:** mapeamento, pois impactam diretamente na operação da planta e também podem ser impactados pelas decisões tomadas; **Entidades fiscalizadoras:** atendimento ao prazo de entrega da documentação da barragem. Bom relacionamento, cordialidade com os agentes fiscalizadores; **Comunidades:** mapeamento da população e infraestrutura a jusante, para que seja possível mensurar magnitude das consequências em caso de ruptura; Mapeamento contínuo dos *stakeholders* que podem influenciar e ser influenciados, para que seus interesses, necessidades e expectativas sejam garantidos.
Informações técnicas	Reunir toda a documentação técnica da barragem (cálculos, ensaios, memoriais descritivos, documentos da construção, projetos as built, entre outros). Caso seja identificada alguma deficiência de documentação, procurar formas de corrigi-la; Para a instrumentação, definir quais grandezas serão monitoradas para mapeamento do desempenho da estrutura. Ter em mãos o projeto de instrumentação da barragem; A análise dos dados coletados em inspeção deverá ser realizada por equipe capacitada, não mais do que dois dias após as leituras dos instrumentos; Apresentação de relatório formalizado após a conclusão das inspeções, mesmo quando nada de significativo for constatado; Importante que haja a implementação de um sistema de armazenamento de dados, sendo a melhor forma o banco de dados em um sistema computacional, para que seja possível a definição de parâmetros para análises dos elementos coletados.
Processos e sistemas de informações	Anteriormente à etapa de identificação dos riscos, a equipe deve ter em mãos todos os documentos relacionados às informações técnicas; Realização de reunião entre equipe e especialistas técnicos a respeito da documentação reunida, para que se inicie as análises; Identificação e análise dos riscos pela equipe à frente da gestão de riscos e os especialistas técnicos. O produto será um relatório a ser submetido para a alta direção da empresa para que seja debatido em reuniões sobre gestão de riscos corporativos; Sugere-se a realização de *workshops* onde os riscos identificados serão apresentados e então analisados. Após a identificação e análise, prossegue-se com a avaliação e tratamento; O produto do *workshop* será o mapeamento dos riscos, contendo as ações gerenciais a serem desempenhadas para que, na próxima reunião, novos riscos possam ser identificados e o avanço no tratamento dos riscos elencados possa ser discutido; Formalização das discussões desenvolvidas nos *workshops* em atas de reuniões; A realização de *workshops* é uma sugestão e a estruturação dessa discussão decorre das características da barragem, dos especialistas envolvidos, da quantidade de partes interessadas, do porte da empresa, das políticas da companhia, entre outros O sistema de informação deverá ser conceituado de forma a congregar os dados referentes aos processos anteriormente mencionados, possibilitando a sua conversão em informações que serão disseminadas para subsidiar a tomada de decisões.
Comunicação e consulta	Segregação do plano de comunicação em interno e externo, sendo o interno relacionado à comunicação no nível operacional da barragem, e entre este e a alta direção. O plano de comunicação externo estabelecerá como será a comunicação entre a corporação e as comunidades que vivem próximas à barragem e as entidades fiscalizadoras; Estruturação do plano de comunicação com a definição de quais são as partes interessadas, a estratégia de abordagem para cada *stakeholder*, a definição da mensagem a ser transmitida e por qual meio, quando a mensagem deverá ser transmitida e definição de mecanismo para confirmar que a parte interessada compreendeu corretamente a mensagem; A comunicação do dia a dia na operação da barragem será pautada nas informações técnicas; Para a comunicação externa, a equipe a frente da gestão de riscos da barragem deverá ter em mente quão sensível é a percepção da população à jusante para qualquer sinal de movimentação no entorno da barragem. Comunicação deverá ser clara para que resultados não sejam confusão e pânico; Em caso de acionamento do PAE, é necessário definir quem notifica e quem é notificado, e quais serão os meios de comunicação interno (entre os agentes responsáveis pela operação e segurança da barragem) e entre estes e as partes interessadas externas (população a jusante, agentes envolvidos no controle da situação de emergência, entidades fiscalizadoras).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta monografia teve por objetivo discutir as práticas de gestão de riscos em barragens hidrelétricas no Brasil, à luz da Lei Brasileira de Segurança de Barragens, e propor diretrizes para a realização de gestão de riscos nessas estruturas, durante a fase de operação.

A partir da revisão bibliográfica, foi possível perceber que existem muitas barragens sem classificação quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado. Essa não classificação impossibilita que o órgão fiscalizador verifique se o barramento se submete ou não à PNSB, impedindo a cobrança ao empreendedor quanto à manutenção da segurança da estrutura, seja com relação ao aspecto estrutural ou documental. É como se os empreendedores gerissem suas barragens sob a perspectiva de que nenhum acidente venha a ocorrer, não dando a devida importância à segurança dessas estruturas. No caso de barragens hidrelétricas, que foram o objeto de estudo desta monografia, a probabilidade de ocorrência de uma ruptura, em geral, é baixa, contudo, as consequências e impactos são altos.

A Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020), que alterou a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), conferiu maior responsabilidade ao empreendedor, como a responsabilidade legal pela segurança da barragem, pelos danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento, independentemente da existência de culpa. Não fica claro, contudo, qual a real atribuição, por exemplo, da defesa civil municipal / estadual. Menciona-se apenas que o empreendedor e os órgãos de proteção e defesa civil devem se articular para promover e operacionalizar os procedimentos emergenciais constantes no PAE, mas essa fala é muito abrangente e não explicita qual é a real função de cada uma das partes. Afinal, não adianta estabelecer papéis sem saber se aquele órgão terá condições de atender à população da forma apropriada, em caso de emergência.

A discussão acerca das práticas de gestão de riscos em barragens hidrelétricas ocorreu a partir da realização de entrevistas com agentes envolvidos nessa área e que foram de grande valia ao trabalho, pois ofereceram uma visão prática sobre como são conduzidos temas como o PSB, as inspeções de segurança, os instrumentos de monitoramento, o PAE e a interação entre a empresa e as comunidades no entorno, no caso de uma emergência, além da percepção de cada entrevistado sobre os critérios utilizados para classificação quanto à categoria de risco e dano potencial associado. Foi possível perceber que as respostas dos entrevistados, principalmente para as questões relacionadas ao atendimento à PNSB, vão ao encontro das previsões legais, comprovando o atendimento à legislação.

A etapa posterior às entrevistas compreendeu a realização de um painel de especialistas, no qual foi apresentado o modelo preliminar de recomendações e as diretrizes sugeridas para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas. A participação desses profissionais conferiu maior embasamento e viés prático para as diretrizes antes sugeridas, além da proposição de melhorias no modelo, as quais foram totalmente pertinentes. Os especialistas foram questionados durante o painel se a abordagem do processo de gestão de riscos segundo a ISO 31000:2018 de forma mais abrangente, sem o detalhamento dos riscos propriamente ditos, fazia sentido, e resposta foi positiva, considerando a infinidade de riscos aos quais uma barragem estará sujeita ao longo de seu ciclo de vida operacional, constituindo uma tarefa extremamente complexa de ser executada.

Mesmo que não tenham sido elencados os riscos aos quais uma barragem pode estar exposta, buscou-se a proposição de diretrizes específicas para cada um dos eixos considerados no modelo. Este foi um grande desafio tanto pelo fato de não ser a área de atuação profissional da autora, quanto pela falta de experiência no assunto.

Com relação à gestão de riscos, predomina a escassez de trabalhos publicados na Língua Portuguesa sobre o tema de diretrizes / boas práticas para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas. O mesmo não pode ser dito sobre boas práticas na gestão de riscos em barragens de rejeitos. Essa maior oferta pode ser explicada pelos acidentes que ocorreram recentemente, conferindo maior preocupação e visibilidade para essas estruturas.

Apesar de barragens hidrelétricas apresentarem menor risco de ruptura quando comparadas a barragens de rejeitos, a gestão de riscos dessas estruturas não deve ser menosprezada. Por esse motivo, este trabalho foi concebido com a finalidade de agregar conhecimento àqueles que se interessam pela temática e de servir como guia para a realização de gestão de riscos nessas estruturas.

Como futuros trabalhos ligados ao tema, sugere-se um estudo sobre a forma de realizar a gestão de riscos em barragens com operação desassistida, nas quais a quantidade de pessoas necessárias para realização das atividades operacionais é otimizada, mantendo a operação remota, ou seja, realizada à distância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMO, N. et al. Risk management concepts in dam safety evaluation: Mosul Dam as a case study. **J Civ Eng Archit**, n. 11, p. 635-652, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjk1NjE3ZjQtNmIzNi00YzkxLWE5Y2UtMTZhZDM4ZDc0MTJlIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9%20>. Acesso em: 26 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, DF: ANEEL, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Definições Importantes sobre Segurança de Barragens.** Brasília, DF: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume I.** Brasília, DF: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II.** Brasília, DF: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume III.** Brasília, DF: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV.** Brasília, DF: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume VII.** Brasília, DF: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2019.** Brasília. DF: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2019/rsb19-v0.pdf>. 01 dez. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANTO BÁSICO (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2020.** Brasília. DF: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 30 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Boletim de Informações Gerenciais**, mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Disponível em: <

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/49034/mod_resource/content/1/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (Brasil). **Declaração de Condição de Estabilidade de barragens pode ser entregue até dia 31**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/noticias/declaracao-de-condicao-de-estabilidade-de-barragens-pode-ser-entregue-ate-dia-31>. Acesso em: 08 jan. 2022.

ANDERÁOS, A.; ARAÚJO, L. M. N.; NUNES, C. M. Classificação de barragem quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado – um exercício. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...].** Bento Gonçalves, 2013. p. 1-8.

ANNOVI, A. **La frana del Vajont. Un fenomeno naturale trasformato dall'uomo in tragedia**. 2007. Página web compilada. Disponível em: <https://www.moproc.com/drupal/files/note_vajont.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2021.

AS/NZS. Risk Management. Australian / New Zealand Standard, AS/NZS 4360, Stathfield, New South Wales, Australia, and Wellington, New Zealand, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000**: Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000**: Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2018.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens [manuscrito]:** estudo de caso: Barragem de Peti, MG / Diego Antônio Fonseca Balbi. 2008.

BANCO MUNDIAL e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Classificação de Barragens:** melhores práticas nacionais e internacionais. 2013.

BANCO MUNDIAL. **Manual de políticas e práticas de segurança de barragens – Manual para empreendedores.** 2014.

BANCO MUNDIAL. **Segurança de barragens:** engenharia a serviço da sociedade. 2015.

BERNSTEIN, P. L. **Desafio aos deuses:** a fascinante história do risco. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

BOWLES, D. S. **Dam safety risk management for hydroelectric projects.** *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROPOWER PROJECTS IN PORTUGAL: a new cycle, v. 17, 2010, Porto.

BRANCO, C. Energia elétrica e capital estrangeiro no Brasil. São Paulo: Omega, 1975.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Resolução nº 91, de 02 de abril de 2012. Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem, conforme art. 8º, 10 e 19 da Lei nº 12.334, de 20 de

setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2012/91-2012.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2022.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei da Câmara nº 168, de 2009. Estabelece a política nacional de segurança de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei nº 1.181 de 2003. Estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 1**, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em: 02 nov. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF.

BRASIL. Lei 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 nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/10/2020&jornal=515&pagina=3&totalArquivos=886>. Acesso em: 11 mar. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 143**, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7° da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20143.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 144**, de 10 de julho de 2012. Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7234>. Acesso em: 11 mar. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 875**, de 10 de março de 2020. Estabelece os requisitos e procedimentos necessários à aprovação dos Estudos de Inventário Hidrelétrico de bacias hidrográficas, à

obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamentos hidrelétricos, à comunicação de implantação de Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida e à aprovação de Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica de Usina Hidrelétrica sujeita à concessão. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-n-875-de-10-de-marco-de-2020-248070610>. Acesso em: 11 mar. 2021.

BROWN, E.T. **Reducing risks in the investigation, design and construction of large concrete dams.** Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516302219>. Acesso em: 30 nov. 2020.

BRUEL, F. **La catastrophe de Malpasset en 1959**. Disponível em: <http://www.ecolo.org/documents/documents_in_french/malpasset/malpasset.htm>. Acesso em: 27 mar. 2021.

CALDEIRA, L. M. M. S. **Análises de riscos em geotecnia:** aplicação a barragens de aterro. Lisboa: LNEC, 2008. 248 p.

CARVALHO, J. A. **Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação**. [s.l.]: Editora UFLA, 2008.

COHEN, M. W.; PALMER, G. R. **Project risk identification and management**, AACE international transaction, p. I013-15, v. 10, 2004.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Disponível em: <http://cbdb.org.br/sistema-informatizado-do-cadastro-nacional-de-barragens-brasil#:~:text=O%20WRC%20est%C3%A1%20at%C3%A9%20hoje,e%2078%20pa%C3%ADses%20n%C3%A3o%20membros>. Acesso em: 03 dez. 2020.

COMISIÓN MUNDIAL DE REPRESAS. **Represas y desarrollo:** un nuevo marco para la toma de decisiones, Comissión Mundial de Represas. Reporte Final, nov. 2000. 404 p.

COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DAS GRANDES BARRAGENS. **Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens:** 1° Relatório de Progresso. CNPGB, 2005, 13 p. Disponível em: <http://cnpgb.inag.pt/imagens/relProgJaneiro05.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2021.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Disponível em: <http://cbdb.org.br/apresentacao-das-barragens>. Acesso em: 30 mar. 2021.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Disponível em: <http://cbdb.org.br/sistema-informatizado-do-cadastro-nacional-de-barragens-brasil>. Acesso em: 30 mar. 2021.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **Main brazilian dams:** design, construction and performance. ICOLD Publications, Brasil, 1982. 653 p.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens**. [s.l.]: Oficina de Textos, 2012.

CRUZ, P. T. da. **100 Barragens Brasileiras:** casos históricos, materiais de construção, projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional**. 2021.

FEMA. **Federal guidelines for dam safety:** emergency action planning for dam owners, apr. 2004.

FEMA. **Federal guidelines for dam safety:** hazard potential classification system for dams, apr. 2004.

FEMA. **Federal guidelines for dam safety risk management**, jan. 2015.

FETTERMAN, D. M. **Ethnography step by step**. Newbury Park, CA: Sage Publications, 1989, p. 11.

FONSECA, A. R. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica:** estudo de caso das barragens da UHE São Simão. 2003.

FUSARO, T. C. **Curso de Segurança de Barragens**, Módulo III: gestão e desempenho de barragens, unidade 1: análise e gestão de riscos, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** [s.l.]: Atlas, 2008.

GODOY, A. S. Pesquisa Qualitativa: Tipos Fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n.3, p. 20-29, maio/junho 1995. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/20595/S0034-75901995000300004.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 28 jun. 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GOVERNANÇA CORPORATIVA (Brasil). Governança corporativa. Disponível em: <https://www.ibgc.org.br/conhecimento/governanca-corporativa>. Acesso em: 04 abr. 2022.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **General Synthesis**. Disponível em: <https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp>. Acesso em: 03 dez. 2020.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Lessons from dam incident**s. Paris, 1974, 1069 p.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. Risk assessment in dam safety management. A reconnaissance of benefits, methods and current application. **ICOLD Bulletin**, 130, 2005.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. Dam safety management: operational phase of the dam life cycle. **Bulletin 154**. Paris: ICOLD/CIGB. 2017.

JANSEN, R. B. Dam and Public Safety. USA: **Water Resources Technical Publication**. Denver: U.S. Department of the Interior, 1980. 332 p.

JANSEN, R. B. **Dams and public safety**. [Washington, D.C.]: Denver, Colo. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O., 1983. 12, 332 p. Disponível em: <https://catalog.hathitrust.org/Record/006184299> / https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.b4199868&view=1up&seq=7>. Acesso em: 29 nov. 2021.

LADEIRA, J. E. R. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos:** o caso UHE São Simão. 2007. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007. 230 p.

LAURIANO, A. W. **Estudo de ruptura da barragem de Funil [manuscrito]:** comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS, 2009.

LEITE, S. R. **Modelo para avaliação de riscos em segurança de barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e conjuntos Fuzzy**. Universidade de Brasília. 2019.

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. **Capacidade de reservatórios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2002.

MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra.** Barragens de Terra e Enrocamento, Cap. 5, 2004.

MARY, M. **Barrages-voûtes. Historique accidents et incidents**. DUNOD Collection: Paris, 1968, 159 p.

MASCARENHAS, F. C. **Modelação matemática de ondas provocadas por ruptura de barragens.** 1990. Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990. 295 p.

MELO, A. V. de. **Análises de risco aplicadas a barragens de terra e enrocamento [manuscrito]:** estudo de caso de barragens da Cemig GT. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2014.

MELO, A. V. de; FUSARO, T. C. **Avaliação de métodos de análise de risco aplicados a barragens**. *In:* SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 30., Foz do Iguaçu, 2015.

MENDES, N. A. S. **As usinas hidrelétricas e seus impactos:** os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana – Euclides da Cunha Paulista. UNESP, 2005.

MEES, A. **Qualidade de Água em Reservatórios – Unidade 1:** Reservatórios. 2020.

MIELNIK, O.; NEVES C. C. Características da estrutura de produção de energia hidrelétrica no Brasil. *In:* ROSA, L. Pinguelli et al. **Impactos de Grandes Projetos Hidrelétricos e Nucleares. Aspectos Econômicos, Tecnológicos, Sociais e Ambientais**. São Paulo: Marco Zero, 1988. 17-38 p.

MOEDAS DO BRASIL. **1645-1646 Florins holandeses – Ouro**. Disponível em: <http://www.moedasdobrasil.com.br/moedas/info_serie.asp?s=29>. Acesso em: 03 nov. 2020.

MOEDAS DO BRASIL. Moedas Brasileiras – Colônia, 1530 a 1815. Disponível em: <http://www.moedasdobrasil.com.br/moedas/timeline1.asp>. Acesso em: 03 nov. 2020.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

NASCIMENTO, F. P. do. **Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos.** 2021. Disponível em: <http://franciscopaulo.com.br/arquivos/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20da%20Pesquisa.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2022.

NEVES, J. L. **Pesquisa qualitativa – características, usos e possibilidades.** Caderno de pesquisas em administração, São Paulo, v. 1, n. 3, 2. sem./1996.

NEVES, L. P. **Segurança de Barragens – Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada.** Brasília, 2018.

PAIVA JUNIOR, H. B. **Efeitos do rompimento da barragem de camará na área urbana do município de Alagoa Grande / PB**. João Pessoa, Paraíba. 2006.

PETRONILHO, M. R. **Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análise de risco**. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO, 2010.

PIASENTIN, C. **Módulo I – barragens:** aspectos legais, técnicos e socioambientais. Unidade 2: aspectos gerais da segurança de barragens. 2021. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2179/2/Unidade_2-modulo1.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2022.

PIMENTA, L. **Abordagens de riscos em barragens de aterro**. Lisboa: LNEC, 2009.

PISANIELLO, J. D. 1997. **Analysis and modelling of private dam safety assurance policy and flood capability design / Review procedure**. PhD (Thesis) – University of South Australia, Adelaide, 1997.

PLATE, E. J. Dams and safety management at downstream valleys. Dams and safety management in downstream valleys (eds. ALMEIDA, A. B.; VISEU, T.). BALKEMA, A. A. Rotterdam, 1997. 27-43 p.

PORTAL DE ECOLOGIA AQUÁTICA. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=416#maiores>. Acesso em: 21 set. 2020.

PORTES, A. M. C. **Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta [manuscrito].** Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2013.

POSSAN, E. **Unidade 10:** barragens de concreto. Rio Grande do Sul: ICBA – Centro de Línguas, 2019.

ROCHA, G. S. C. **Desvio de rios para a construção de barragens.** 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROGERS, J. D. **Teton Dam Failure:** Department of Geological Sciences & Engineering. University of Missouri-Rolla. 2013. Disponível em: <https://web.mst.edu/~rogersda/teton_dam/Failure%20of%20Teton%20Dam.jpg>. Acesso em: 27 mar. 2021.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. 131 p.

SAMPAIO, M. V. N. **Segurança de barragens de terra:** um relato da experiência do Piauí / 2014.

SAYÃO, A. **Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento.** Curso de Mestrado da PUC -RJ, Rio de Janeiro, 2009

SEVÁ FILHO, A. O. Intervenções e armadilhas de grande porte: um roteiro internacional dos dólares e seus argumentos, e dos seus prejuízos dos cidadãos nas obras hidrelétricas. **Revista Travessia – Barragens**. São Paulo. Publicação do CEM, Ano II, v. 2 n. 6, p. 05-11, jan./abr. 1990.

SEVÁ FILHO, A. O. **Riscos de acidentes, de alterações hidrológicas e de sismos provocados ou induzidos por represas de hidrelétricas:** formulação teórica, compilação de casos no exterior e no Brasil, e um alerta sobre os projetos no rio Ribeira de Iguape, PRSP. Campinas, 2011. 47 p.

SILVA, B. C.; OLIVEIRA, R. L. **Uso e aplicação dos sistemas construtivos visando à segurança de barragens.** Faculdade Evangélica de Jaraguá. Curso de Engenharia Civil. Jaraguá, 2019.

SINGH, V. P. **Dam breach modeling technology**. Kluwer Academic Publishers: Louisiana, 1996, 242 p.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/perguntas-frequentes>. Acesso em: 02 out. 2020.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. Série Diretrizes para o gerenciamento de lagos, v. 9. São Carlos: International Lake Environmental Commite, 2000. 280 p.

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. United States Department of Interior. **A Procedure for estimating loss of life caused by dam failure.** Dam Safety Office. Denver, Colorado, EUA. 1999. 43 p. Disponível em: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/TechDev/DSOTechDev/DSO-99-06.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2021.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Sistema Integrado de Bibliotecas. Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP**. 4. ed. São Paulo: SIBI USP, 2020. 75 p.

Disponível em: <http://www.poli.usp.br/images/stories/media/download/bibliotecas/DiretrizesTesesDissertacoes.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2022.

VALENCIO, N. F. L. S. **O controle das águas como fator de progresso e de risco: as representações institucionais dos Grandes Projetos Hídricos no Nordeste.** *In:* ENCONTRO DA ANPPAS, 3., 2006, Brasília, DF.

VISEU, M. T.; ALMEIDA, A. Dam-break risk management and hazard mitigation. *In:* **Dam-break. Modelling, Laboratory Tests, Prevention, Defence and Case Studies.** WIT Press, v. 36, 2009.

VISEU, M. T. **O risco e as barragens.** 2021. Disponível em: <https://www.uc.pt/fluc/depgeotur/publicacoes/Livros/livro_homenagem_FRebelo/425_440>. Acesso em: 29 nov. 2021.

WALTER, I. L. R. **Análise de riscos em usinas hidrelétricas por abordagens complementares:** estudo prático na usina de Funil. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2019.

WARREN, A. L. **Investigation of dam incidents and failures**. 2011. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/epdf/10.1680/feng.2011.164.1.33>. Acesso em: 29 nov. 2021.

WORLD BANK. **Good practice note on dam safety.** Washington, DC, 2020.

XAVIER, L. V.; CORREA, C. **Acidentes em barragens brasileiras:** barragem de Campos Novos. 2008.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos**.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHENGHUA, G. et al. **Chinese dam safety:** philosophy and practice in International Water Power and Dam Construction, dec. 1999, p. 14-17.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Questionário

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4
1	Qual das categorias abaixo melhor enquadra seu cargo na organização? - técnico/operacional - coordenação - outro	Técnico em edificações, responsável pela área de instrumentação/inspeções visuais	Coordenação, engenheiro civil	Coordenação, engenheiro civil	Outro, engenheiro especialista
2	Há quanto tempo trabalha com gestão de riscos em barragens?	Pela empresa atual, trabalha há 03 anos e 08 meses. Na UHE em questão, 12 anos	10 anos na atual empresa	04 anos	10 anos
3	Você é responsável pela gestão de uma equipe? Se sim, quantas pessoas compõem sua equipe?	Não é responsável por uma equipe. A equipe é formada pelo entrevistado, um auxiliar e o engenheiro que fica no escritório em SP	Sim, em torno de 10 pessoas na equipe	Sim. Equipe direta - 03 pessoas	Matricialmente não, mas a equipe de segurança de barragens é composta por duas pessoas
4	Qual a região em que a barragem está localizada? Quantas barragens a empresa possui?	Divisa de Minas Gerais com Goiás. A empresa possui 01 barragem	Todas as barragens de sua responsabilidade localizam-se na bacia do Rio São Francisco. A empresa possui 11 barragens e entrevistado cuida de 06 barragens	Rio Paraná, rio Paranapanema, rio Verde, rio Canoas. A empresa possui 14 barragens	Fronteira de Goiás com Minas Gerais - 01 barragem
5	Qual o tipo de barragem?	Dividida em duas partes: concreto e enrocamento. Onde passam os dutos, casa de forças = concreto; braços são compostos por argila com enrocamento	Grande maioria é de concreto, mas possui também enrocamento com face de concreto	Maioria é mista - parte concreto, parte terra	Dividida em duas partes: concreto e enrocamento. Onde passa os dutos, casa de forças = concreto; braços é argila com enrocamento
6	Qual a idade da barragem?	43 anos	As barragens diferem entre si na idade, abrangendo a faixa de 1960 a 1980 em média	Varia da década de 60 até o ano de 2014	43 anos
7	Qual a altura da barragem?	85 m - barragem de concreto; 70 m - barragem de terra	Todas as barragens geridas pelo entrevistado possuem mais de 15 m	Varia entre 18 m e 92 m	85 m - barragem de concreto; 70 m - barragem de terra
8	Qual a capacidade do reservatório?	125.400 m³	Difere muito entre cada uma	Varia entre 16 x 10^6 m³ e 22.273 x 10^6 m³	125.400 m³
9	Qual a classificação da barragem quanto ao risco e dano potencial associado a partir da Lei de Segurança de Barragens?	Risco baixo e dano potencial - alto - classe B	Risco baixo e dano potencial alto - classificação B (as 06 barragens)	Risco baixo e dano potencial alto - classe B	Classe B - risco baixo e dano potencial alto
10	Você concorda com a classificação quanto à categoria de risco e DPA atribuída a barragem?	Sim	Concorda com a classificação final. Considera a matriz de risco utilizada no cálculo muito simplista, considera interessante se fosse utilizado outros métodos de critério - método de multicritério. Considera a questão social muito pouco tratada, pois na matriz de classificação quanto ao DPA, leva-se em consideração a perda de vida humana, mas não apenas a morte traria grandes malefícios. Pode-se citar como exemplos: uma família atingida que terá outros problemas como perda de convívio no local onde morava antes do acidente, perda de identidade cultural, danos irreparáveis que dificultem o trabalho dessas pessoas no futuro, traumas. Considera que os critérios para classificação quanto às características técnicas retratam bem a condição da barragem	De maneira geral concorda, pois tratam-se de barragens de risco de ruptura baixo mas em caso de rompimento o dano seria muito grande. O ponto que merece atenção é em relação à matriz de risco da ANEEL (Resolução 696/2015) pois é muito genérica. "Talvez", com algumas melhorias na matriz poderíamos ter alterações em algumas categorias de riscos e consequentemente poderíamos ter outras classificações (Classes A, C e etc...)	Sim

Perguntas		Respostas							
		Entrevistado 1		Entrevistado 2		Entrevistado 3		Entrevistado 4	
11	De acordo com sua percepção, classifique em ordem decrescente de importância os seguintes critérios estabelecidos para o grupo Características Técnicas: - altura; - comprimento; - tipo de barragem quanto ao material de construção; - tipo de fundação; - idade da barragem; - vazão de projeto; - casa de força.	Altura	3	Altura	4	Altura	6	Altura	7
		Comprimento	2	Comprimento	5	Comprimento	3	Comprimento	2
		Tipo de barragem quanto ao material de construção	5	Tipo de barragem quanto ao material de construção	6	Tipo de barragem quanto ao material de construção	5	Tipo de barragem quanto ao material de construção	6
		Tipo de fundação	7	Tipo de fundação	7	Tipo de fundação	2	Tipo de fundação	5
		Idade da barragem	1	Idade da barragem	1	Idade da barragem	7	Idade da barragem	3
		Vazão de projeto	4	Vazão de projeto	2	Vazão de projeto	4	Vazão de projeto	4
		Casa de força	6	Casa de força	3	Casa de força	1	Casa de força	1
12	De acordo com sua percepção, classifique em ordem decrescente de importância os seguintes critérios estabelecidos para o grupo Estado de Conservação: - confiabilidade das estruturas extravasoras; - confiabilidade das estruturas de adução; - percolação; - deformações e recalques; - deterioração dos taludes/paramentos; - eclusa.	Confiabilidade das estruturas extravasoras	4	Confiabilidade das estruturas extravasoras	4	Confiabilidade das estruturas extravasoras	6	Confiabilidade das estruturas extravasoras	6
		Confiabilidade das estruturas de adução	3	Confiabilidade das estruturas de adução	2	Confiabilidade das estruturas de adução	2	Confiabilidade das estruturas de adução	2
		Percolação	5	Percolação	3	Percolação	5	Percolação	4
		Deformações e recalques	2	Deformações e recalques	5	Deformações e recalques	4	Deformações e recalques	5
		Deterioração dos taludes/paramentos	6	Deterioração dos taludes/paramentos	6	Deterioração dos taludes/paramentos	3	Deterioração dos taludes/paramentos	3
		Eclusa	1	Eclusa	1	Eclusa	1	Eclusa	1

Perguntas		Respostas							
		Entrevistado 1		Entrevistado 2		Entrevistado 3		Entrevistado 4	
13	De acordo com sua percepção, classifique em ordem decrescente de importância os seguintes critérios estabelecidos para o grupo Plano de Segurança: - existência de documentação de projeto da barragem; - 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.	Existência de documentação de projeto da barragem	5	Existência de documentação de projeto da barragem	4	Existência de documentação de projeto da barragem	3	Existência de documentação de projeto da barragem	1
		Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem	4	Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem	1	Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem	5	Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem	5
		Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento	3	Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento	5	Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento	2	Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento	3
		Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	2	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	3	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	4	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	2
		Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	1	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	2	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	1	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	4
14	De acordo com sua percepção, classifique em ordem decrescente de importância os seguintes critérios estabelecidos para a classificação de dano potencial associado de uma barragem: - existência de população a 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; - natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; - volume.	Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas	7	Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas	7	Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas	7	Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas	7
		Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários	6	Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários	5	Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários	4	Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários	6
		Existência de infraestrutura ou serviços	4	Existência de infraestrutura ou serviços	3	Existência de infraestrutura ou serviços	5	Existência de infraestrutura ou serviços	3
		Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais	3	Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais	4	Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais	6	Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais	2
		Existência de áreas protegidas definidas em legislação	2	Existência de áreas protegidas definidas em legislação	2	Existência de áreas protegidas definidas em legislação	3	Existência de áreas protegidas definidas em legislação	1
		Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados	1	Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados	1	Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados	1	Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados	5
		Volume	5	Volume	6	Volume	2	Volume	4

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4
15	Quais outros critérios adicionais são levados/deveriam ser levados em consideração para classificação dos riscos e danos potenciais da barragem?	Considera que os critérios utilizados atualmente já atendem para classificação de barragens hidrelétricas	Não só a perda da vida humana como um todo, mas os impactos nas famílias, perda de identidade do local, perda de emprego ou incapacidade	Não existe nada que trate sobre rompimento de barragens em cascata, é um tema importantíssimo. Os danos potenciais hoje são avaliados baseados no rompimento da barragem sozinha, não considerando o efeito dominó no caso de uma ruptura. A empresa tem realizado um trabalho interno que visa melhorar a matriz de risco para classificação das barragens, exemplo para o critério vazão de projeto: para UHE - TR=10.000 anos (01 ponto), para PCH, TR=1.000 anos (se perigo sério de materiais a jusante - 01 ponto). Outro exemplo é com relação ao tipo de estrutura extravasora (não existe na matriz) - vertedouro de soleira livre ou controlado por comportas? Com relação ao Plano de Segurança de Barragens, incluíram a revisão periódica de segurança de barragem (que não consta na Resolução da ANEEL) Na matriz de classificação quanto ao DPA, considera necessária a inclusão do PAE, com os seguintes parâmetros: PAE elaborado, implantado e em operação, treinamentos conceitual e simulados internos e externos na ZAS e atualizado regularmente ou não é exigido o PAE Para a gestão de riscos interna, a empresa considera esses aspectos além dos previstos em Lei	Acredita que deveria ser levado em consideração o método construtivo da barragem, agregando ao grupo de Características Técnicas. Além disso, considerar o critério de instrumentação, pois nada sobre esse quesito é mencionado nas matrizes de classificação. Outro critério a ser considerado seria os níveis de resposta, pois se uma barragem nunca entrou num nível laranja/vermelho, é uma barragem mais segura quando comparada à outra que já tenha passado nesses níveis mais críticos
16	Acerca do Plano de Segurança de Barragens, quais as competências técnicas e parâmetros utilizados para escolha do profissional responsável pela elaboração do documento?		O entrevistado foi o responsável pela elaboração de todos os PSB das barragens. As competências técnicas necessárias é que seja elaborado por um engenheiro com experiência em manutenção de barragem. Acredita que não deveria ser elaborado apenas por engenheiro civil e sim por uma equipe colegiada com experiência em manutenção, eletromecânica e civil, pois boa parte dos acidentes que ocorrem estão relacionados aos dispositivos extravasores. Não enxerga ainda a necessidade de uma especialização em segurança de barragens	Para a elaboração do documento, uma empresa é contratada (não contratam profissionais diretamente e sim, uma empresa). Parâmetros são empresas renomadas, profissionais com experiência	A Lei não exige experiência do profissional para a elaboração do PSB. A empresa contratou uma empresa para elaboração do plano

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4
17	Quais as informações necessárias para elaboração de um PSB?	Documentos técnicos das barragens (projetos, relatórios) são o ponto de partida. Depois vem as inspeções/histórico do comportamento da barragem	Caderno 1: Identificação do empreendedor (informações da empresa, sobre os empreendimentos, quem é o presidente, CNPJ); Caderno 2: dados técnicos da barragem e todos os projetos que possuem; estrutura organizacional onde mostra cada equipe e o cargo de cada um envolvido; manuais de roteiros para inspeções de segurança para a manutenção como um todo; regra operacional dos dispositivos (quando deve abrir, de que forma deve abrir as comportas); indicação da área de entorno (mapas basicamente, imagens de satélite), PAE contemplando identificação e avaliação dos riscos, mapa de inundação, identificação e dados técnicos das estruturas; relatórios de inspeções de segurança regular e especial e revisões periódicas. A empresa seguiu os tópicos previstos em Lei para elaboração do PSB	Baseiam-se nas informações necessárias que constam no Manual do Empreendedor da ANA	A empresa que executou o PSB seguiu as informações previstas em Lei, mas sente que o aspecto de documentação técnica do empreendimento (projetos) é a parte mais deficiente devido à idade das barragens. Além disso, informaram no PSB o levantamento da população na ZAS (PAE não tem obrigatoriedade de levantar e cadastrar a população à jusante)
18	Qual sua opinião sobre o prazo para elaboração do PSB? Sua empresa vai além dos prazos previstos em Lei?	A empresa não vai além do prazo previsto na Lei (02 anos) para barragens classe B	A empresa seguiu o prazo previsto em Lei para elaboração do PSB	A empresa seguiu os prazos previstos na resolução da ANEEL. Foi realizado o PSB das 14 barragens de uma única vez pela empresa contratada	A empresa assumiu a concessão da barragem depois da Resolução. Quando receberam a barragem, o plano não havia sido feito pela concessionária anterior, então o prazo de 02 anos previsto na Lei acabou não sendo respeitado não por vontade deles e sim pois receberam o empreendimento sem essa documentação. Para barragens antigas, considera o prazo de 02 anos muito curto para elaboração do documento
19	Como é o processo de envio do PSB à ANEEL?		Não existe obrigatoriedade de realizar o envio do PSB à ANEEL. Primeiramente preenche-se o Formulário de Segurança de Barragem (FSB), se ANEEL achar necessário faz-se o envio do PSB.	O PSB não é enviado via SNISB (nenhuma empresa do setor tem essa prática)	A ANEEL não recebe nem aprova o PSB. Nas fiscalizações realizadas pelo órgão, é solicitado o documento. Não existe periodicidade para as fiscalizações, mas pela experiência do entrevistado, eles se baseiam no Formulário de Segurança de Barragens (FSB) - se houve mudança drástica em sua pontuação ou houve alguma alteração de característica de um ano pro outro, isso gera um alerta à ANEEL e é realizada fiscalização. O órgão envia ofício solicitando preenchimento do FSB no início de cada ano
20	Qual o roteiro (itens inspecionáveis) para realização de inspeção de segurança?	Inspecionam casa de força, estrutura da barragem, reservatório, transições entre barragem terra e concreto	Casa de força, crista da barragem, diques, taludes de montante e jusante, coroamento, ombreiras, vertedouros, estruturas de concreto	Verificam os paramentos, presença de vegetação, erosão nos encontros das ombreiras, fissuras, deterioração na superfície do concreto, surgência de água, infiltração de água no concreto, estado de conservação dos equipamentos de medição e instrumentação da barragem. Todos os componentes, inclusive os equipamentos eletromecânicos são inspecionados visualmente pela área de engenharia civil e segurança de barragem.	Seccionam as inspeções por estruturas: ombreira direita, ombreira esquerda, barragem central, vertedouro, tomada d'água. Então analisa as características na estruturas: percolação nas margens, deslizamento, fissura (da superestrutura para as estruturas menores).
21	Qual a qualificação necessária da equipe responsável pela inspeção de barragens?	Técnicos de edificações e engenheiros civis	Ser engenheiro	Técnicos em edificação e engenheiros civis	Possuir formação em engenharia

22	Quais os aspectos devem ser observados em campo durante uma inspeção?	Principalmente fissuras na barragem de terra e percolamento de água. Depois vem vegetação e presença de animais que fazem buraco, principalmente na base da barragem	Fissuras, surgência, abatimento (recalque) na barragem, presença de erosão, presença de vegetação, formigueiros ou tocas de animais, indícios de movimento	Presença de fissuras, vegetação, deformações, recalques, indícios de surgência, desestabilização de taludes, possibilidade de alguma encosta erodir	Percolação, fissuras, deslocamentos, vegetação mais verde do que as outras à jusante das outras (indicação de infiltração), vegetação excessiva em taludes que prejudicam a visualização de alguma anomalia, características físicas da proteção da barragem à montante e jusante
23	Quais os equipamentos necessários para realização de uma inspeção de segurança?	Guia de inspeção, juntamente com um tablet de acesso ao aplicativo de monitoramento, tomada de anotações e captura de fotos	Prancheta, trena eletrônica, máquina fotográfica, roteiro de inspeção impresso	Utilizado tablet para tomada de informações e realização de fotos	Bloco de anotação, caneta, máquina fotográfica, lanterna, EPIs
24	Qual a periodicidade em que as inspeções são realizadas?	Inspeção informal é realizada mensalmente, inspeção formal a cada 03 meses (para seguradora). Além disso, a cada 07 anos equipe da ANEEL visita a usina e verifica se as documentações estão em dia e inspeciona a barragem junto ao time da UHE	Os engenheiros civis responsáveis pelas usinas realizam as inspeções anualmente. Porém, cada barragem possui equipe responsável por inspeção regular. Costumam realizá-la mensalmente ou então por demanda semanal	Mensal e anual	As inspeções rotineiras são praticamente diárias
25	Sua empresa vai além dos prazos previstos na Lei para realização das inspeções?	Respeita o prazo previsto em Lei e realiza mais inspeções do que o solicitado na legislação	A empresa vai além dos prazos pois realizam outras inspeções além da anual, que é a prevista em Lei para barragens classe B	Segue os prazos previstos em Lei (anualmente para classe B) e vão além pois realizam inspeções mensais também	Sim, pois realizam as inspeções rotineiras e emitem relatórios trimestrais para envio à seguradora
26	Como é feita a análise dos dados coletados na inspeção?	Utilizam *software* chamado SYSDAM para análise dos dados. Esse *software* gera níveis de controle. Caso uma leitura indique um nível de alerta é disparado um alerta (e-mails e mensagem celular) às pessoas envolvidas (engenheiro civil, entrevistado, gerente da usina e setor de engenharia de SP)	Quem realiza a inspeção, faz o relatório. A informação é coletada por escrito, fotos e drones em estruturas de difícil alcance. A análise é feita a partir da alimentação de um template pré definido no Excel	Os dados são anotados num coletor de dados e depois é descarregado as informações no *software* SYSDAM, no qual o departamento de engenharia faz análise dos dados e emite um parecer mensal de conformidade	Realiza-se comparações visuais entre as inspeções anteriores e as atuais. Caso seja identificada uma anomalia nova, tentam verificar o impacto possível (se ela pode crescer, evoluir). Se é uma anomalia antiga, tentam classificar se evoluiu, permaneceu, aumentou ou diminuiu. Além das verificações visuais, utilizam um sistema para armazenar os dados dos levantamentos e o histórico
27	Quais instrumentos são utilizados para o monitoramento das barragens?	Vertedores de vazão, extensômetros de haste, piezômetros pneumáticos Hall, piezômetro Casagrande, base de alongâmetro, furos de drenagem, pêndulos, inclinômetro de recalque	Medidor de vazão, piezômetro, marco superficial, células de recalque (mais utilizado em barragem de enrocamento com face de concreto), medidor triortogonal, pêndulo, distanciômetro, extensômetro, termômetro entre outros	Piezômetro, medidor de vazão, inclinômetro, pêndulo, extensômetro, medidor triortogonal	Piezômetro, nível d'água, inclinômetro, pêndulo, triortogonal
28	Com qual frequência são realizadas leituras dos instrumentos de monitoramento?	Semanalmente: vertedores de vazão, quinzenalmente: extensômetros de haste, mensalmente: piezômetros pneumáticos hall, piezômetro casagrande, base de alongâmetro, furos de drenagem, pêndulos e inclinômetro de recalque	Praticamente diariamente existem pessoas realizando leituras de instrumentos em algum setor da barragem. Semanal/quinzenal: marco superficial, medidor de vazão; Mensal: medidor triortogonal	As leituras são realizadas em uma periodicidade que permita ser realizado um parecer mensal	Tem instrumento que é medido semestralmente, outros semanalmente, outros quinzenalmente. Caso alguma leitura apresente alteração, a periodicidade de leitura é aumentada para acompanhamento. Medidor de vazão é medido semanalmente. Os marcos superficiais são lidos semestralmente
29	Qual a diretriz utilizada para especificação, quantidade e localização dos instrumentos de monitoramento?	Essa definição vem desde o projeto de construção da barragem, com a quantidade e localização dos instrumentos	Essa definição vem de projeto, desde a concepção da barragem. Quando a barragem é pouco instrumentada, podem ser instalados instrumentos a partir da contratação de uma empresa que realiza estudo indicando o local e qual instrumento deverá ser instalado	Essa definição vem na fase de projeto, na concepção. Durante revisão periódica de segurança de barragem, pode surgir a necessidade de instalação de novos instrumentos	O relatório de inspeção regular tem o poder de solicitar alterações nas quantidades/localização dos instrumentos. Essas diretrizes não necessariamente partem apenas da concepção do projeto, principalmente em barragens antigas onde normalmente há a necessidade de complementar a instrumentação

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4
30	Como é feita a análise dos registros dos instrumentos, tais como piezômetros, medidores de tensão, medidores de recalques, inclinômetros?	O *software* possui parâmetros e alertas caso alguma leitura esteja fora de determinado valor. Além disso, o engenheiro civil analisa leitura por leitura imputada no *software* SYSDAM pelo técnico	Os dados são imputados praticamente diariamente. Atualmente a análise é feita diretamente no Excel através de planilhas e gráficos. Caso haja uma leitura de valor divergente dos padrões já estabelecidos, refaz-se a medição naquele instrumento para verificar se trata-se de um erro de leitura, erro de digitação, problema no instrumento ou então algum problema na estrutura	Os registros são feitos num coletor de dados, posteriormente armazenados no sistema e então feitas as análises são feitas no *software* SYSDAM	Utilizam *software* para análise das leituras. Quem realiza a leitura dos instrumentos, consegue imputar os dados coletados diretamente no sistema via celular. Caso algum registro apresente valor superior aos parâmetros de projeto, é emitido um alerta informando que aquele instrumento tem alguma alteração que deve ser revista
31	Acerca do laudo de estabilidade, discorra sobre o assunto	O laudo de estabilidade é um documento obrigatório. É elaborado anualmente por um engenheiro civil da empresa e a cada 07 anos, é contratada uma empresa para apoiar na elaboração da RPSB. Para sua elaboração, devem conter todos os dados do comportamento da estrutura coletados através de instrumentação e todos os dados obtidos a partir das inspeções visuais, além de informações acerca das melhorias realizadas na estrutura do barramento	Não é um documento obrigatório. Não é contratada nenhuma empresa para elaboração do documento, sendo os engenheiros internos da empresa quem atestam as condições da barragem. Para sua elaboração, é necessário o estudo de estabilidade da barragem, incluindo esforços diversos de tombamento, arraste, fundação, entre outros. Esse documento é elaborado anualmente e a ANEEL pode solicitar sua apresentação a qualquer momento	Não é um documento obrigatório de se ter. No setor elétrico e para barragens de acumulação de água nunca foi solicitado o laudo de estabilidade. Acontece que após a ruptura das barragens de mineração houve uma pressão neste sentido mas não vingou. No setor elétrico, existe a RPSB (Revisão Periódica de Segurança de Barragens) onde os consultores avaliam a estabilidade da barragem e no relatório consta que a barragem está estável. A RPSB é feita por uma junta de consultores "independentes" (contratados), a cada 07 anos conforme previsto em Lei para barragens classe B	É um documento obrigatório, elaborado por uma empresa terceirizada. Nesse documento consta o levantamento das inspeções, imagens, análises da instrumentação e a conclusão a respeito da estabilidade da estrutura. Para sua elaboração, precisa-se dos dados técnicos da barragem, plantas, cortes, tipos de materiais, inspeções realizadas e dados da instrumentação. É elaborado a cada 07 anos e apresentado somente se solicitado
32	Sua empresa elaborou o Plano de Ação de Emergência independentemente da categoria de risco e de dano potencial associado da barragem?	Sim	Sim	Sim, pois para as barragens classe B é necessário, conforme estabelece a Lei	Sim
33	Em sua empresa existe a função de Coordenador do PAE ou a função é desempenhada pelo Empreendedor?	Sim, a função é desempenhada pelo gerente da usina	Existe e não é desempenhada pelo empreendedor e sim pelo gerente de departamento (responsável por todas as regionais e seus gerentes de divisão)	Existe a função de coordenador do PAE, é representada pelo gerente da usina	A função é desempenhada pelo gerente da usina
34	Com qual periodicidade sua empresa revisa o PAE?	A revisão do PAE é feita anualmente	O PAE é revisado sob demanda, sempre que houver necessidade	O PAE é elaborado uma vez e atualizado e/ou revisado anualmente ou quando necessário	A revisão periódica de segurança de barragem (RPSB) corresponde à revisão de toda a documentação da barragem. Por esse motivo, no entendimento do entrevistado o PAE deve ser revisto minimamente à cada 07 anos (conforme Lei) ou a cada período da revisão periódica
35	Qual o critério para definição da Zona de Autossalvamento?	Deve ser localizado numa área elevada, que a pessoa consiga chegar rapidamente nesse local. Para essa definição, contratou-se uma empresa para realizar estudo de inundação e definição dessa área	Região localizada a 10 km ou 30 minutos do ponto de rompimento da barragem	Para a definição da ZAS, considera-se a menor das distâncias que corresponda à um tempo de chegada da onda igual a 30 minutos ou 10 km	Na ZAS, a pessoa deve ter condições de se auto salvar no caso de uma ruptura. Para delimitação da área, leva-se em consideração a distância que a água percorre em 30 minutos ou 10 km para a onda chegar naquele ponto. A definição é a partir de simulação com software
36	Como é definido o mapa de inundação?	A partir da contratação de uma empresa responsável pela elaboração do mapa de inundação	A partir da utilização de um software chamado HEC-RAS, onde pode-se simular onde seria uma brecha de rompimento, como seria e com isso, o software simula uma onda, indicando em quais pontos a dada onda (de altura e velocidade) chega em qual ponto	A partir da contratação de uma empresa, que realizou o estudo de ruptura de barragens e delimitação das manchas de inundação para as 14 usinas	A partir de simulação com software, a partir da contratação de uma empresa responsável por esse serviço

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4
37	Existem cidades/infraestrutura à jusante da barragem?	Sim	Sim	Sim	Sim
38	São realizados exercícios de simulação com as entidades e população? Qual a periodicidade?	Não foi realizado ainda devido à pandemia. Em tempos normais, são realizados a cada 04 meses	Ainda não foi realizado exercícios com população, porém foram realizadas simulações com os funcionários das barragens	Ainda não foram realizados. Irão finalizar a implantação de placas, de rotas, instalar sirenes e a partir de 2023, começarão exercícios envolvendo a comunidade mais ativamente	Não foi possível a realização presencialmente com a comunidade devido à pandemia. Estão programando para o ano que vem simulação presencial com a comunidade. Será a primeira vez
39	Como funciona o processo de notificação das entidades e da população em risco, no caso de uma emergência?	No momento que foi detectado uma anomalia, se algo simples é apenas informado ao time de engenharia. Até um nível amarelo, é tratado internamente. Se for um caso de ruptura, é envolvido time jurídico, área de comunicação (que liga para bombeiro, defesa civil). Usina toca a sirene para evacuar pessoal que trabalha na usina e alertar a população à jusante	No PAE existe um organograma com indicação de cada pessoa/responsável por cada órgão. A empresa já possui um cadastro prévio com contato de cada pessoa a ser acionada em caso de emergência. A partir de um telefonema indicando que houve problema em alguma usina, os agentes responsáveis pelo PAE ficam cientes da situação e o setor de regulação realiza a notificação aos órgãos envolvidos, a partir de um telefonema indicando que houve problema em alguma usina. Quando for necessário notificar a população, haverá sirene tocando fora da usina e também carros notificando os cidadãos e atualmente, estão estudando a possibilidade de envio de SMS aos moradores	No PAE existe um fluxograma de notificação com o contato das pessoas/órgãos a serem notificados. Primeiro identifica-se a emergência, depois avalia e classifica para então declarar e atuar nessa emergência. Utiliza-se telefone para avisar os agentes envolvidos. Área de comunicação da empresa entra em contato com defesa civil e os municípios que serão impactados	Estão instalando sirenes, implementando um aplicativo para comunicação com comunidade, possuem placa de sinalização instaladas nas ruas, rotas de fuga, placas de sinalização indicando pontos de encontro
40	Quais são as situações que podem afetar a segurança e produzir uma situação de emergência para a barragem?	Principalmente fissuras/percolação de material e galgamento, caso comporta não abra	Cheia que pode provocar um galgamento, falha no funcionamento de comporta, problema estrutural, surgência sem monitoramento, terremotos	Cheia extrema, falta de manutenção de equipamentos, descaso com a segurança da barragem, falta de inspeções, análise errada de instrumento, negligenciar alguma informação	Infiltração, percolação, deslocamento, terremoto
41	Quais são as ações de resposta a serem desempenhadas em função do nível de resposta?	A empresa segue as ações de respostas previstas no Manual do Empreendedor da ANA	Não soube dizer se o PAE elaborado segue exatamente os níveis de resposta previstos no manual da ANA, mas acredita que seja baseado nesses critérios. Considera a atuação do PAE somente nos níveis laranja e vermelho. Níveis verde e amarelo são tratados internamente	Baseiam-se no guia da ANA para os níveis laranja e vermelho. No nível de resposta verde consideram como não emergência, no nível amarelo a empresa consegue mitigar o problema internamente. Consideram emergência apenas níveis laranja e vermelho e nesses níveis, de fato acionam o PAE (envolvem o comitê de crise da empresa, acionar o sistema de alerta e começar a disparar informações à barragem de montante, jusante e ANEEL)	Consideram as ações de resposta a serem desempenhadas conforme o Manual do Empreendedor da ANA

Perguntas		Respostas			
		Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3	Entrevistado 4
42	Qual sua opinião pessoal sobre a Lei de Segurança de Barragens?	Tem a opinião de que os aspectos previstos na Lei atendem de forma efetiva a segurança de barragens hidrelétricas, desde que os processos sejam respeitados e realizados pelo empreendedor	A Lei 12.334 foi publicada tardiamente em 2010, embora fosse um tema discutido há muito tempo. Considerou a Lei muito genérica e muitos órgãos tiveram dificuldades em elaborar suas Resoluções. Considera a Lei 14.066 muito incisiva pois veio a cargo da mineração e do pouco cuidado que o setor de mineração tinha com as barragens No geral, considera uma vitória extremamente necessária, passou-se a discutir muito mais a questão de gestão de risco em barragens, de segurança de barragens, foi dado muito mais visibilidade ao profissional de segurança de barragens. Achou a Lei genérica inicialmente mas acha que está a contento, desde que seja feito pelo empreendedor o que está previsto em Lei	Considera uma lei boa, mas a Lei 14.066 trouxe algumas questões a respeito do empreendedor estender os elementos de autoproteção (placas, sirenes) para além da ZAS, quando o órgão de defesa civil não tiver condições de atuação, o que pode trazer um custo para o empreendedor que pode até vir a inviabilizar a geração de energia (exemplo de PCHs são usinas pequenas e que possuem receita baixa) Considera o setor hidrelétrico bem regulamentado e regulado, mas como tudo, pode melhorar, como exemplo a adição de critérios nas matrizes de categoria de risco e dano potencial	Considera a Lei boa, mas incompleta. Poderia ser mais completa e detalhada, deixa muita margem de qualidade de material, é muito aberta. A nova Lei 14.066 melhorou pois traz mais responsabilidade para os empreendedores e não somente para os técnicos, o que não tinha na Lei 12.334
43	Vocês utilizam outras diretrizes para a gestão de segurança de barragens?	Não	Não, a empresa já realizava gestão de segurança de barragens antes mesmo da publicação da Lei 12.334	Sim, critério da FEMA para delimitação da ZAS, a partir da consideração de que o nível de água a jusante da barragem (pós rompimento) é inaceitável para profundidades maiores que 02 pés, além dos critérios adicionais que não estão previstos na matriz de risco e dano potencial	Não
44	Em sua opinião, quais discussões precisam existir no Brasil a respeito da Lei de Segurança de Barragens e suas diretrizes?	Percebe a ANEEL distante das usinas. A visita a cada 07 anos deveria ser realizada num período menor (a cada 03 anos, 05 anos no máximo), até mesmo para incentivar o pessoal do próprio empreendimento a ter mais cuidado	Tratar da gestão de risco desde o início do projeto, ponto que precisa ser muito amadurecido e construído. Sobre a gestão de risco propriamente dita, considera que não trata-se apenas de planos e o plano é apenas um instrumento, que cria diretrizes e ações mas não é uma gestão propriamente dita. Considera necessária a criação de uma política de gestão através de matrizes de gestão de riscos, ponto esse que não é bem discutido no país. E também levar em consideração os demais danos que podem atingir as pessoas, não somente a perda de vida	As responsabilidades precisam estar mais claras. Antes de haver cobranças, é necessário saber se existe organização institucional para tal (não adianta estabelecer os papéis de cada um se cada um o fizer separadamente e depois querer juntar e além disso, existem instituições que não possuem condições para realizar o que precisa, como por exemplo os órgãos de defesa civil)	Discussões acerca de investimento público. Muitas prefeituras de comunidades não possuem defesa civil, bombeiros, nenhum órgão que consiga fazer essa gestão de segurança em caso de uma ruptura de barragem. Além da falta de verba, também existe a falta de conhecimento técnico para atuação no caso de um acidente com barragem

Apêndice 2 – Guia para entrevista

01
Classificação
quanto à CRI e DPA

Definições
Categoria de Risco (CRI)
classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre
Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

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)	Casa de força (g)
Altura <= 15m (0)	Comprimento <= 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem casa de força associada (0)
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)	Casa de força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc (2)
30m <= Altura <= 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)	Casa de força ao pé da barragem (5)
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 = ∑ (a até g):						

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Estado de Conservação (EC)

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes/ Paramentos (k)	Eclusa (l)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento/ canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos 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 hidroeletromecânicas 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 hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando (1)

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

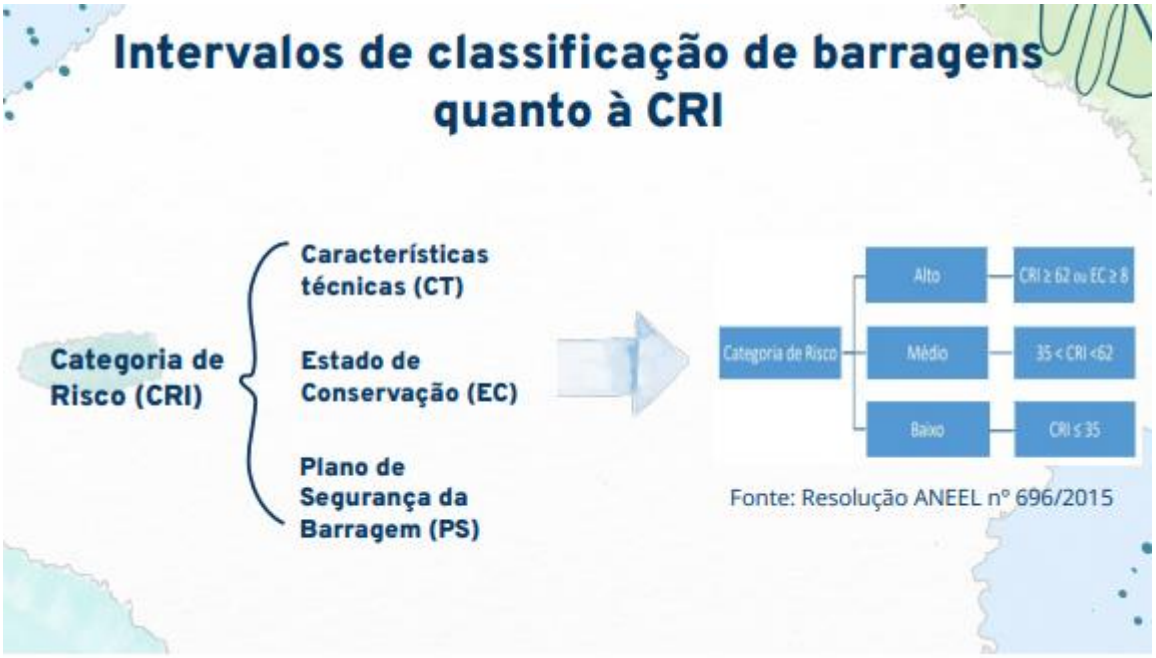
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecanicos 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 hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)
EC = ∑ (g até l):					

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Plano de Segurança da Barragem (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 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 (6)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-
PS = ∑ (n até r):				

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015


Intervalos de classificação de barragens quanto à CRI
Categoria de Risco (CRI)
Características técnicas (CT)
Estado de Conservação (EC)
Plano de Segurança da Barragem (PS)
Categoria de Risco
Alto
CRI ≥ 62 ou EC ≥ 8
Médio
35 < CRI <62
Baixo
CRI ≤ 35
Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Definições
Dano Potencial Associado (DPA)
dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais
Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Matriz de classificação quanto ao DPA

Volume total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Pequeno <= 5 milhões m³ (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 m³ (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)

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

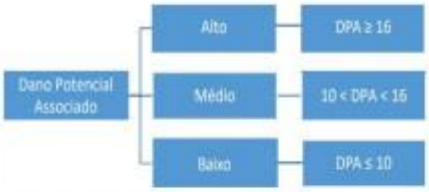
Matriz de classificação quanto ao DPA

Volume total do Reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Grande 75 milhões a 200 milhões m³ (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 m³ (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-
DPA = ∑ (a até d):			

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Intervalos de classificação de barragens quanto à DPA

Pontuação obtida na matriz de classificação quanto ao dano potencial associado



Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Matriz de classificação de barragens

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

02
Plano de Segurança
da Barragem (PSB)

Definições
Plano de Segurança da Barragem
(PSB)
instrumento da PNSB, de implementação obrigatória pelo empreendedor da barragem, cujo objetivo é auxiliá-lo na gestão da segurança. Compreende um conjunto de informações e documentos sobre o projeto da barragem, procedimentos de inspeção, regra operacional e relatório de inspeção, entre outros, devendo estar disponível à entidade fiscalizadora
Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume I, ANA, 2016

Informações mínimas de um PSB

I - identificação do empreendedor;

II - dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III - estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

IV - manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

V - regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

VI - indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;

VII - Plano de Ação de Emergência (PAE);

VIII - relatórios das inspeções de segurança regular e especial;

Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Informações mínimas de um PSB

IX - revisões periódicas de segurança;

X - identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre;

XI - mapa de inundação, considerado o pior cenário identificado;

XII - identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem.

Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

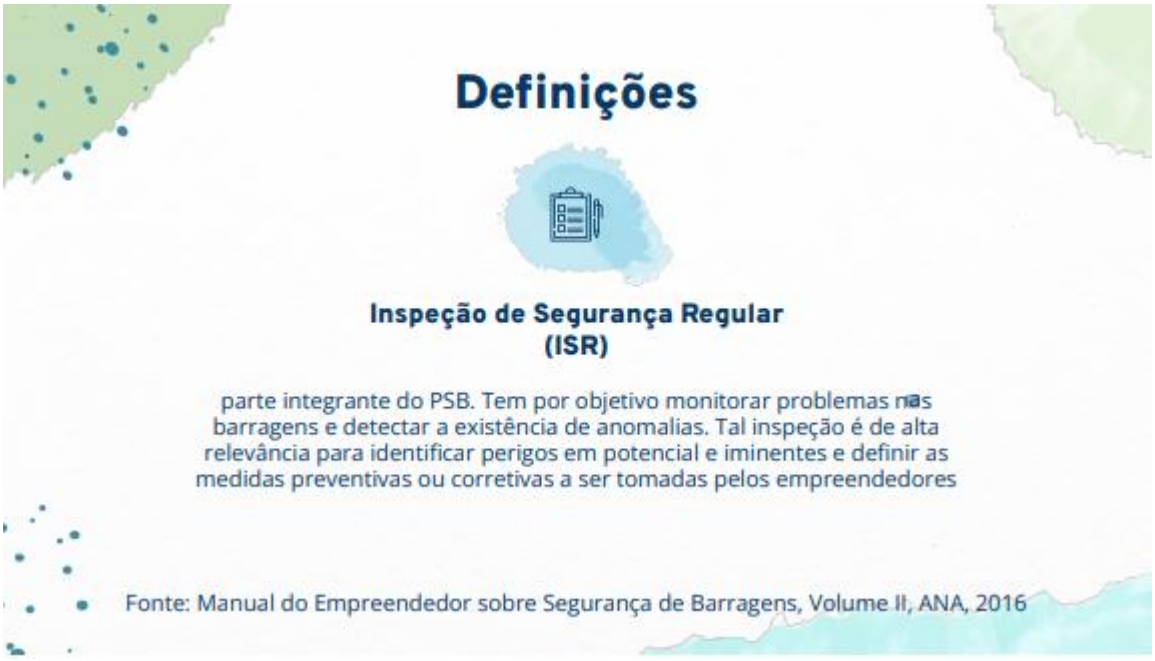
Prazo para elaboração do PSB

Número de usinas por empreendedor	Prazos para elaboração do Plano de Segurança da Barragem	
	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 ANEEL nº 696/2015

03

Inspeções de segurança regulares e especiais


Definições
Inspeção de Segurança Regular
(ISR)
parte integrante do PSB. Tem por objetivo monitorar problemas nas barragens e detectar a existência de anomalias. Tal inspeção é de alta relevância para identificar perigos em potencial e iminentes e definir as medidas preventivas ou corretivas a ser tomadas pelos empreendedores
Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume II, ANA, 2016

Informações mínimas de um relatório de ISR
I – identificação do representante legal do empreendedor;
II – identificação do responsável técnico;
III – avaliação da instrumentação disponível na barragem, indicando necessidade de manutenção, reparo ou aquisição de equipamentos;
IV – avaliação de anomalias que acarretem em mau funcionamento, em indícios de deterioração ou em defeitos construtivos da barragem;
V – comparativo com ISR anterior;
Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Informações mínimas de um relatório de ISR

VI – diagnóstico do nível de segurança da barragem, de acordo com estas 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 representarem risco à segurança da barragem, exigindo providências para manutenção das condições de segurança;

d) emergência: quando as anomalias representarem risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

VII – indicação de medidas necessárias à garantia da segurança da barragem.

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Periodicidade limite ISR

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

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Nível de segurança da barragem

Normal	Quando não são encontradas anomalias ou as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo.
Atenção	Quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem em curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas ao longo do tempo.
Alerta	Quando as anomalias encontradas representam risco à segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema.
Emergência	Quando as anomalias encontradas representam risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes de uma eventual ruptura da barragem.

Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume II, ANA, 2016

Informações mínimas de um relatório de ISE

O conteúdo mínimo necessário que deverá constar no relatório de inspeção de segurança especial é o mesmo descrito para o relatório de inspeção de segurança regular

Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Periodicidade ISE

A ISE deverá ser realizada na sequência de ocorrências excepcionais como cheias ou sismos, com período de recorrência superior ao previsto, bem como de circunstâncias anômalas que possam influenciar a segurança ou funcionalidade da obra, como ruptura de barragens situadas a montante, queda de taludes para o interior do reservatório

Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume II, ANA, 2016

04
Instrumentos de monitoramento

05
Plano de Ação de Emergência (PAE)

Definições
Plano de Ação de Emergência (PAE)
parte integrante do PSB. Estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor, na hipótese do nível de segurança da barragem enquadrar-se na categoria de emergência. Constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B
Fonte: Resolução ANEEL nº 696/2015

Definições
Zona de Autossalvamento (ZAS)
trecho do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para intervenção da autoridade competente em situação de emergência, conforme mapa de inundação
Zona de Segurança Secundária (ZSS)
Trecho constante do mapa de inundação não definido como zona de autossalvamento
Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Definições

Mapa de inundação

delimitação geográfica georreferenciada das áreas potencialmente afetadas por eventual vazamento ou ruptura da barragem e seus possíveis cenários associados e que objetiva facilitar a notificação eficiente e a evacuação de áreas afetadas por essa situação

Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Informações mínimas de um PAE

I - descrição das instalações da barragem e das possíveis situações de emergência;

II - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento, de condições potenciais de ruptura da barragem ou de outras ocorrências anormais;

III - procedimentos preventivos e corretivos e ações de resposta às situações emergenciais identificadas nos cenários acidentais;

IV - programas de treinamento e divulgação para os envolvidos e para as comunidades potencialmente afetadas, com a realização de exercícios simulados periódicos;

V - atribuições e responsabilidades dos envolvidos e fluxograma de acionamento;

VI - medidas específicas, em articulação com o poder público, para resgatar atingidos, pessoas e animais, para mitigar impactos ambientais, para assegurar o abastecimento de água potável e para resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural; II

VII - dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários para resposta ao pior cenário identificado;

Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Informações mínimas de um PAE

VIII - delimitação da Zona de Autossalvamento (ZAS) e da Zona de Segurança Secundária (ZSS), a partir do mapa de inundação;

IX - levantamento cadastral e mapeamento atualizado da população existente na ZAS, incluindo a identificação de vulnerabilidades sociais;

X - sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem integrado aos procedimentos emergenciais;

XI - plano de comunicação, incluindo contatos dos responsáveis pelo PAE no empreendimento, da prefeitura municipal, dos órgãos de segurança pública e de proteção e defesa civil, das unidades hospitalares mais próximas e das demais entidades envolvidas;

XII - previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência, com alcance definido pelo órgão fiscalizador;

XIII - planejamento de rotas de fuga e pontos de encontro, com a respectiva sinalização.

Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Periodicidade PAE

O PAE deverá ser revisto periodicamente, a critério do órgão fiscalizador, nas seguintes ocasiões:

I - quando o relatório de inspeção ou a Revisão Periódica de Segurança de Barragem assim o recomendar;

II - sempre que a instalação sofrer modificações físicas, operacionais ou organizacionais capazes de influenciar no risco de acidente ou desastre;

III - quando a execução do PAE em exercício simulado, acidente ou desastre indicar a sua necessidade;

IV - em outras situações, a critério do órgão fiscalizador

Fonte: Lei 12.334, de 20 de Setembro de 2010

Definições

Nível de resposta

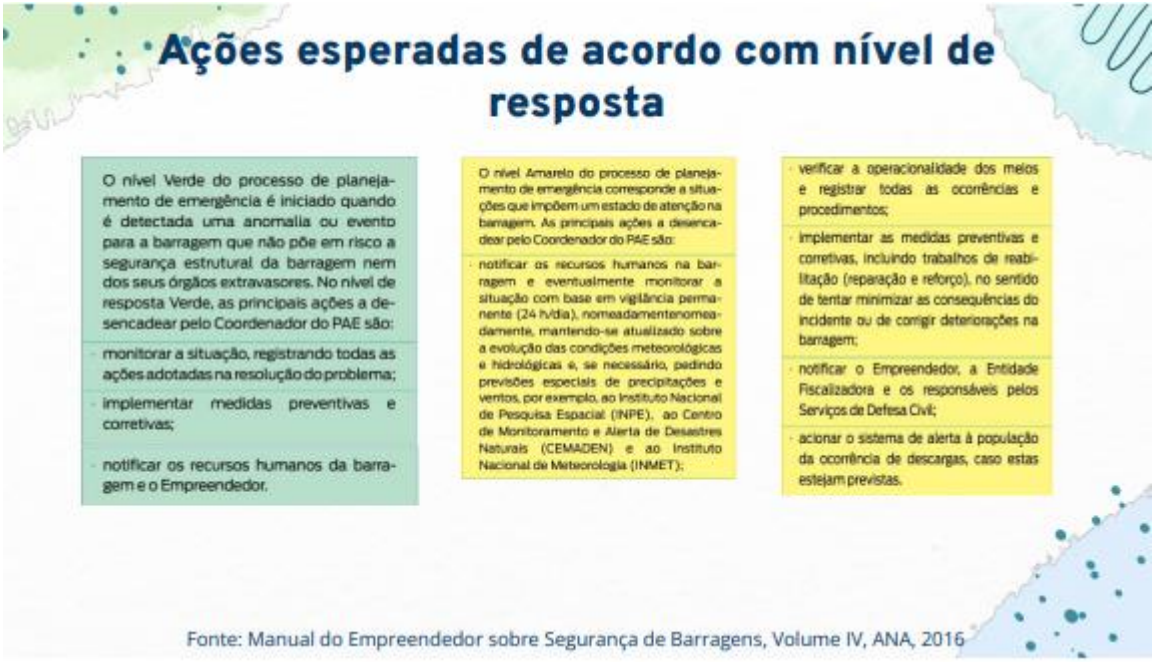
convenção utilizada para graduar as situações que podem comprometer a segurança da barragem e ocupações a jusante e ativar um processo de emergência na barragem

Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume IV, ANA, 2016

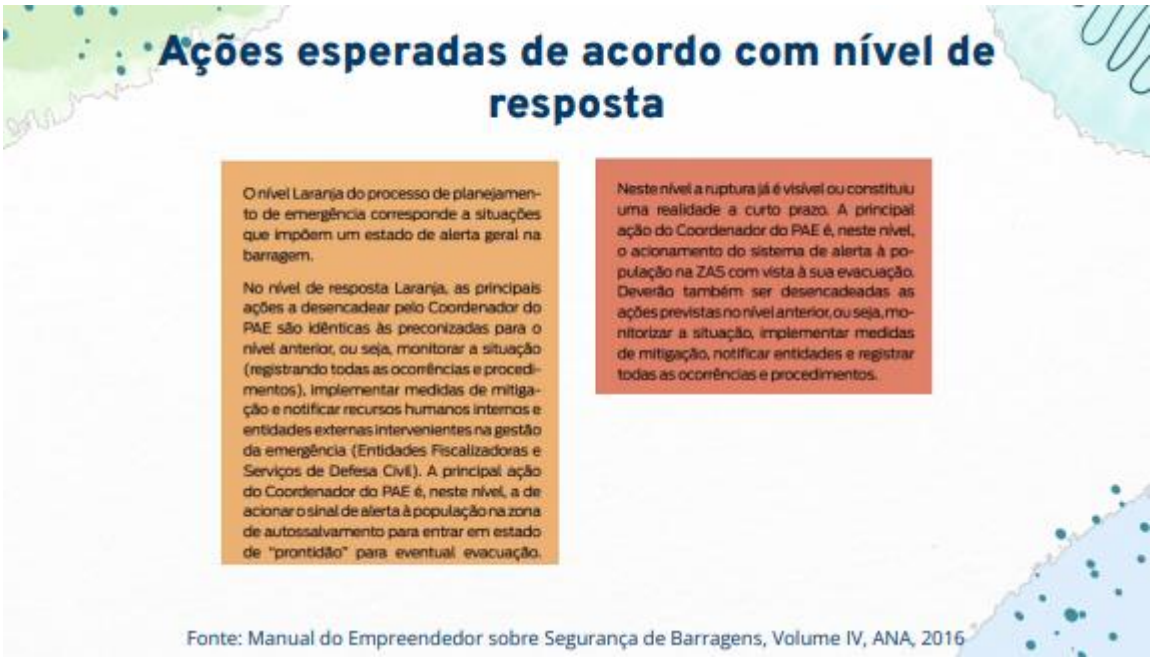
Situações e os níveis de resposta PAE

Nível de Resposta	Situação
VERDE	Situações de incidente declarado ou previsível, com as seguintes características: i) serem estáveis ou que se desenvolvem muito lentamente no tempo; ii) poderem ser controladas pelo Empreendedor; iii) poderem ser ultrapassadas sem consequências nocivas no vale a jusante.
AMARELO	Situações que impõem um estado de atenção na barragem e/ou no vale a jusante, inclusive no caso em que a magnitude da vazão afluente ao reservatório exija a liberação de vazão efluente superior às condições de restrição a jusante (cotas ou vazões limites impostas para evitar inundação de habitações ou infraestruturas importantes). As características principais são: i) a situação tende a progredir lentamente, permitindo a realização de estudos para apoio à tomada de decisão; ii) existe a convicção de ser possível controlar a situação, embora o coordenador do PAE possa vir a necessitar de assistência especial de entidades externas; iii) existe a possibilidade de a situação se agravar e de se desenvolverem efeitos perigosos no vale a jusante sobre pessoas e bens.
LARANJA	Situações que impõem um estado de alerta geral na barragem. As características principais deste nível de resposta são as seguintes: i) a situação tende a progredir rapidamente, podendo não existir tempo disponível para a realização de estudos para apoio à tomada de decisão; ii) admite-se não ser possível controlar o acidente, tornando-se indispensável a intervenção de entidades externas; iii) existe a possibilidade de a situação se agravar com a ocorrência de consequências muito graves no vale a jusante.
VERMELHO	Situação de catástrofe inevitável, incluindo o início da ruptura da barragem.

Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume IV, ANA, 2016



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume IV, ANA, 2016



Fonte: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, Volume IV, ANA, 2016

06
Opinião pessoal

Obrigada pela sua participação!

Apêndice 3 - Apresentação ao painel de especialistas

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA

Painel de especialistas - Modelo de recomendações para gestão de riscos em barragens hidrelétricas

Brunna Magri de Andrade
Abril - 2022
Orientadora: Prof.ª Drª. Flávia Rodrigues de Souza

PAINEL DE ESPECIALISTAS - ROTEIRO SUGERIDO

- APRESENTAÇÃO DA AUTORA - ALUNA
- APRESENTAÇÃO DOS PARTICIPANTES
- ACERCA DO TRABALHO EM DESENVOLVIMENTO
- MODELO DE RECOMENDAÇÕES - EIXOS E DIRETRIZES
- CONTRIBUIÇÃO - PERGUNTAS, COMENTÁRIOS E SUGESTÕES

APRESENTAÇÃO DA AUTORA - ALUNA

GRADUAÇÃO

Engenharia civil - Instituto Mauá de Tecnologia

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

Atuação em empresas de pequeno e grande porte, no ramo de obras rápidas de varejo e interiores corporativos

CONHECIMENTOS

Planejamento, custos, compatibilização de propostas de fornecedores, contratações

APRESENTAÇÃO DOS PARTICIPANTES

ACERCA DO TRABALHO EM DESENVOLVIMENTO

OBJETIVO

Discutir as práticas de gestão de riscos em barragens hidrelétricas à luz da Lei nº 12.334/2010 e propor diretrizes para essa gestão, durante a fase de operação

JUSTIFICATIVA

Brasil possui abundância de recursos hídricos, maior parte da matriz elétrica brasileira composta pela hidreletricidade. Em 2021, mais da metade das barragens cadastradas no SNISB* não possuíam classificação quanto à risco e dano potencial. Embora o risco de ruptura em barragens hidrelétricas seja baixo, o dano potencial em caso de acidente é alto

METODOLOGIA

Estudo de caso conduzido a partir da:

- Revisão bibliográfica acerca do tema (legislação brasileira, manuais da ANA, manuais do banco mundial);
- Coleta de dados através de entrevistas com agentes envolvidos em barragens hidrelétricas;
- Elaboração de modelo com diretrizes para a gestão de riscos em barragens hidrelétricas;
- Avaliação do modelo proposto por especialistas;
- Aperfeiçoamento do modelo em função dos resultados obtidos pós painel

*SNISB: Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

Modelo de recomendações

Discussão acerca do modelo

1) As fases do ciclo de vida operacional da barragem estão fazendo sentido?

   a) Você enxerga a necessidade de alteração/acréscimo de alguma fase não considerada?

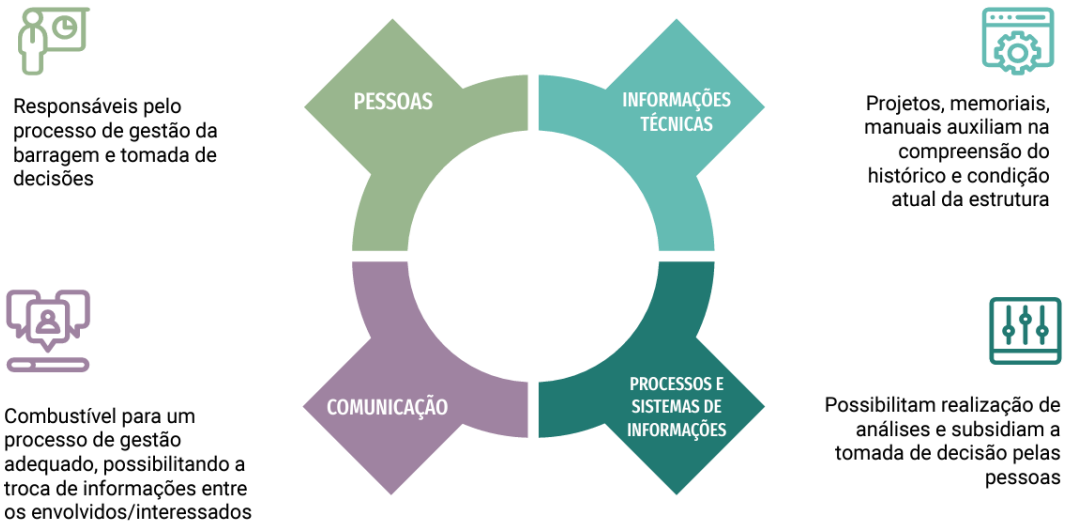
2) Faz sentido a abordagem do processo de gestão de riscos de forma mais abrangente, sem detalhamento dos riscos propriamente ditos?

3) Os eixos considerados são adequados para que a gestão de riscos de uma barragem hidrelétrica na fase operacional aconteça?

   a) Nesses eixos, cabe-se a sobreposição sendo possível a supressão de algum deles? Ou todos os eixos são válidos de serem mantidos?

   b) Há necessidade de adicionar algum outro eixo?

Eixos de análise e as justificativas



Eixo pessoas e as diretrizes propostas

- ➔ Definição de quantas e quais pessoas farão parte do comitê de risco da barragem;
- ➔ Quais as competências e grau de experiência necessárias para compor essa equipe;
- ➔ Definição das responsabilidades individuais;
- ➔ Presença de colaboradores especialistas em disciplinas técnicas (hidráulica, hidrologia, hidroeletromecânica, entre outras);
- ➔ Caso o conhecimento e a capacidade do empreendedor sejam limitados, pode ser necessário o aconselhamento de especialistas externos;
- ➔ Levar em consideração durante a gestão da barragem a importância das população que vive à jusante da estrutura e como poderão ser afetadas caso algum acidente aconteça.

Discussão acerca do eixo pessoas

1) As recomendações estão bem estruturadas e fazem sentido?
2) Sentiram falta de alguma recomendação?
3) Vocês concordam com a forma como as diretrizes estão sendo apresentadas?
4) Vocês suprimiriam alguma diretriz proposta?
5) Vocês têm alguma sugestão de melhoria?

Eixo informações técnicas e as diretrizes propostas

- ➔ Avaliação do nível de conhecimento disponível sobre ensaios laboratoriais, cálculos, memoriais descritivos, projetos, relatórios de controle de qualidade da execução, condições da obra e os componentes estruturais da barragem, projetos *as built*, relatórios de vistoria e inspeção com dados de monitoramento e suas interpretações, estrutura organizacional e qualificação técnica da equipe responsável pela segurança da barragem, existência de infraestrutura, unidades habitacionais e população à jusante;
- ➔ Caso seja identificada alguma deficiência, buscar formas a fim de corrigí-la;
- ➔ No âmbito da instrumentação, a equipe deverá ter em mente as grandezas a serem monitoradas na barragem, além do projeto de instrumentação da barragem, acompanhado de fichas individuais com descrição, calibração, manutenção de cada instrumento;
- ➔ A análise dos dados obtidos a partir da leitura dos instrumentos deverá ser realizada por equipe técnica treinada e realizada imediatamente após a conclusão dos levantamentos;
- ➔ Os procedimentos de reavaliação e manutenção dos instrumentos deverão ser feitos periodicamente;
- ➔ As inspeções deverão ser concluídas com um relatório escrito, mesmo quando nada de significativo for constatado;
- ➔ Necessária a implementação de um sistema de armazenamento de dados, sendo a melhor forma através de banco de dados num computador, onde seja possível o estabelecimento de parâmetros para análise dos dados coletados e registro das informações.

Discussão acerca do eixo informações técnicas

1) As recomendações estão bem estruturadas e fazem sentido?
2) Sentiram falta de alguma recomendação?
3) Vocês concordam com a forma como as diretrizes estão sendo apresentadas?
4) Vocês suprimiriam alguma diretriz proposta?
5) Vocês têm alguma sugestão de melhoria?

Eixo processos e sistemas de informações e as diretrizes propostas

- Definição de processos relacionados aos aspectos:
  - gestão de pessoas, com a definição de responsabilidades e entregas a serem desempenhadas por cada agente participante na gestão da barragem;
  - treinamento de equipe para maior capacitação;
  - controle da qualidade da informação, a fim de se garantir a posse de dados confiáveis que possam respaldar os agentes envolvidos numa tomada de decisão;
  - avaliação dos dados técnicos da estrutura, principalmente acerca da categoria de risco e dano potencial associado;
  - fluxo de apresentação de documentos obrigatórios às entidades fiscalizadoras;
  - plano de operação e manutenção da estrutura;
  - planos de monitoramento e instrumentação;
  - procedimentos periódicos de inspeção;
  - plano de ação de emergência;
  - sequenciamento das ações de remediação a serem adotadas a fim de mitigar riscos;
  - plano de gestão de riscos;
  - gestão da comunicação.
- Definição de indicadores a fim de se verificar se o processo de gestão da barragem está a contento ou precisa de ajuste. Exemplos de indicadores:
  - presença da equipe nos treinamentos de capacitação;
  - quantidade e especificação dos treinamentos propostos;
  - atendimento aos prazos de entrega de relatórios internos pelos agentes envolvidos;
  - atendimento aos prazos de submissão de relatórios técnicos da barragem às entidades fiscalizadoras;
  - dados de leituras dos instrumentos de monitoramento;
  - informações contidas nos relatórios de inspeção;
  - alocação de recursos (humanos, financeiros, entre outros) disponíveis, com capacidade de lidar com condições normais e anormais de operação em todas as fases do ciclo de vida da barragem (ICOLD, 2017).

Eixo processos e sistemas de informações e as diretrizes propostas

- Estabelecimento de um sistema de gerenciamento de segurança a fim de garantir que os riscos sejam gerenciados adequadamente e que todos os aspectos relacionados ao gerenciamento da segurança da barragem sejam integrados e alinhados com a estrutura geral da organização;
- O sistema de gerenciamento deverá incluir:
  - organização e responsabilidades dentro da organização;
  - políticas, diretrizes e procedimentos;
  - gerenciamento de riscos e avaliação de segurança;
  - gerenciamento e controle de documentos;
  - práticas documentadas de operação e manutenção;
  - relatórios de inspeção e monitoramento;
  - treinamento de pessoal;
  - preparação e respostas à emergências;
  - relatório de incidentes;
  - auditorias e garantia de qualidade.
- Focando-se na operação, o escopo e detalhes do plano de operação e manutenção variarão de acordo com a classificação de risco da barragem, porém normalmente é composto por:
  - estrutura de O&M*, incluindo as pessoas, suas qualificações necessárias, experiência e necessidades de treinamento;
  - procedimentos e manual de O&M para as instalações e equipamentos eletromecânicos;
  - procedimentos de vigilância, monitoramento de instrumentos, relatórios de inspeções periódicas;
  - procedimentos de operação do reservatório durante as estações normal, cheia e seca, incluindo procedimentos de notificação e alerta à jusante;
  - planos para O&M (custos, prazos e suprimentos) a curto e médio prazo.
- Estabelecimento de mecanismos robustos de O&M a fim de se manter um sistema eficaz de gestão de riscos em vigor durante todo o ciclo de vida do projeto.

*O&M: Operação e Manutenção

Discussão acerca do eixo processos e sistemas de informações

1) As recomendações estão bem estruturadas e fazem sentido?
2) Sentiram falta de alguma recomendação?
3) Vocês concordam com a forma como as diretrizes estão sendo apresentadas?
4) Vocês suprimiriam alguma diretriz proposta?
5) Vocês têm alguma sugestão de melhoria?

Eixo comunicação e as diretrizes propostas

- Estabelecimento de um plano de comunicação, contemplando:
  - quais são as partes interessadas internas e externas;
  - qual deverá ser a estratégia de abordagem para cada parte interessada, baseando-se nas necessidades e requisitos de cada stakeholder;
  - definição da mensagem a ser transmitida e através de qual meio, a fim de garantir uma boa compreensão da mensagem;
  - quando a mensagem deverá ser transmitida e quem tem a responsabilidade de comunicar;
  - definição de mecanismo para confirmar que a parte interessada compreendeu corretamente a mensagem.
- Comunicação deverá ser estabelecida internamente entre os agentes responsáveis pela gestão da barragem e também com aqueles que podem ser afetados por essa gestão (população que vive próxima à barragem, entidades fiscalizadoras);
- Definição de quem notifica e quem é notificado e quais serão os meios de comunicação interno e entre esses e as partes interessadas externas, no caso de acionamento do PAE;
- No caso de notificação da população, o método deverá ser escolhido em função da zona afetada, dimensão e dispersão geográfica da população a ser avisada e também nos recursos disponíveis pelo sistema de defesa civil;
- Realização de exercícios, testes e treinamentos para garantir uma coordenação suave em caso de emergência;
- Separação dos processos relacionados à comunicação em três blocos:
  - comunicação de emergência (em função do nível de resposta esperado para cada situação);
  - comunicação intrínseca à barragem (coleta de dados dos instrumentos, inspeções cotidianas, elaboração de relatórios);
  - comunicação gerencial (alimentada com dados acima mencionados na comunicação intrínseca, além de informações relacionada à O&M e à gestão de riscos em si).

Discussão acerca do eixo comunicação

1) As recomendações estão bem estruturadas e fazem sentido?
2) Sentiram falta de alguma recomendação?
3) Vocês concordam com a forma como as diretrizes estão sendo apresentadas?
4) Vocês suprimiriam alguma diretriz proposta?
5) Vocês têm alguma sugestão de melhoria?

FDTE
FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO · ESCOLA POLITÉCNICA ·

Obrigada pela sua participação!